

Heinz-Adalbert Krebs
Patricia Hagenweiler

Inspektion von Brücken und Ingenieurbauwerken mit unbemannten Luftfahrzeugsystemen

Konzeptstudie

Heinz-A. Krebs – Patricia Hagenweiler

Inspektion von Brücken und Ingenieurbauwerken mit unbemannten Luftfahrzeugsystemen

Konzeptstudie

Gefördert durch



Bundesministerium
für Verkehr und
digitale Infrastruktur

im Rahmen des



kassel
university



press

Dr. Heinz-A. Krebs

Green Excellence GmbH, Düsseldorf
Universität Kassel, Fachgebiet Wirtschaftsinformatik

Dr. Patricia Hagenweiler

Green Excellence GmbH, Düsseldorf

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek
Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen
Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über
<http://dnb.dnb.de> abrufbar

ISBN 978-3-7376-5092-2

© 2019, kassel university press GmbH, Kassel
www.upress.uni-kassel.de

Druck und Verarbeitung: docupoint GmbH, Barleben

Zusammenfassung

Herkömmlich eingesetzte Verfahren zur Inspektion von Brücken und Ingenieurbauwerken (in der vorliegenden Studie werden ebenfalls Ingenieurbauwerke einer Betrachtung unterzogen, welche Kritischen Infrastrukturen zuzurechnen sind) zeichnen sich dadurch aus, dass sie zeitintensiv sind und teilweise hohe Kosten verursachen. Die vorliegende Studie hat ein Konzept zu einem optimierten Verfahren zur Inspektion von Brücken und Ingenieurbauwerken mithilfe des Einsatzes von automatisiert fliegenden Luftfahrzeugen sowie damit verbundener Systeme (UAS) entwickelt. Unter der Anwendung digitaler und automatisierter Workflows, vorhandener Datenbestände, dem Einsatz von Building Information Modeling (BIM), der Implementierung innovativer Geschäftsprozesse sowie der Einhaltung gesetzlicher Rahmenbedingungen und sicherheitstechnischer Maßnahmen soll künftig eine effektive und effiziente Inspektion der Ingenieurbauwerke („smart inspection“) ermöglicht werden. Die ganzheitliche und interdisziplinäre Betrachtung der vorliegenden Konzeptstudie bildet aus Sicht der Verfasser eine „Conditio-sine-qua-non“ für die nachhaltige Einführung von unbemannten Luftfahrzeugsystemen, welche bisher in der beschriebenen Form noch nicht vorgelegt wurde.

Die Green Excellence GmbH dankt der Pretherm GmbH für die Unterstützung bei der Würdigung und Erweiterung der Kapitel, welche sich mit der Inspektion von Kritischen Infrastrukturen beschäftigen.¹

¹ Vgl. Kap. 2.5.4; 2.7.2; 2.9.3; 3.1.2; 3.2.4; 4.1.5.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	III
Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis	VIII
Abkürzungsverzeichnis	IX
1 Einleitung: Ausgangssituation und Grundlagen	1
1.1 Brücken und deren Inspektion.....	1
1.2 Unbemannte Luftfahrzeuge und Luftfahrzeugsysteme.....	14
1.3 Kritische Infrastrukturen	18
1.4 Forschung	27
1.5 Zielsetzung der Studie.....	28
1.6 Methodik und Aufbau der Studie	29
2 Ist-Analyse	31
2.1 Aufnahme der Stakeholder.....	31
2.1.1 Interne Stakeholder	32
2.1.2 Externe Stakeholder.....	34
2.2 Datenbestände des Bundes	47
2.2.1 Terminologische Grundlagen	48
2.2.2 Offene Verwaltungsdaten.....	57
2.2.3 Luftbild- und Satellitenbilddaten.....	62
2.3 Aufnahme der betroffenen IT-Systeme.....	65
2.3.1 Systeme zur Unterstützung von Geschäftsprozessen	66
2.3.2 Systeme zur Unterstützung der Instandhaltung	67
2.3.3 Datenbanksysteme zur Unterstützung der Instandhaltung von Bauwerken ..	68
2.3.4 Systeme zur Nutzung digitaler Bauwerksmodelle	73
2.4 Aufnahme der relevanten Geschäftsprozesse.....	77
2.5 Organisation Kritischer Infrastrukturen	83
2.5.1 Branche Straßenverkehr	84
2.5.2 Branche Schienenverkehr	86
2.5.3 Branche Binnenschifffahrt	88
2.5.4 Organisation zum Schutz Kritischer Infrastrukturen	88
2.6 Selektion der Inspektionsgeräte und Verfahren	90
2.6.1 Handnahe Bauwerksprüfung	90

2.6.2	Inspektion unter dem Einsatz von UAS	101
2.7	Risikoanalyseansätze Kritischer Infrastrukturen	108
2.7.1	Schutz Kritischer Infrastrukturen.....	108
2.7.2	Schutz Kritischer Brücken	113
2.8	Dokumentation bestehender Untersuchungen.....	114
2.9	Management Kritischer Infrastrukturen	120
2.9.1	Business Continuity Management System	121
2.9.2	Managementsystem für Informationssicherheit	122
2.9.3	Maßnahmen in kritischen Situationen von Brücken	126
2.10	Aufnahme der Dokumentation	127
2.11	Aufnahme der Hard- und Software	129
2.12	Aufnahme der Sensorik.....	132
2.13	Gesetzliche Rahmenbedingungen.....	135
2.14	Zusammenfassung	141
3	Schwachstellen-Analyse	143
3.1	Defizite der bestehenden Einzelkomponenten	143
3.1.1	Forschungsstand und Technologie.....	143
3.1.2	Verwendung von Building Information Modeling.....	145
3.1.3	Dienstleister zur Inspektion mit UAS	146
3.1.4	Qualitätsstandards zur Inspektion von Brücken mit UAS.....	147
3.1.5	Einrichtungen an Ingenieurbauwerken zur Inspektion mit UAS	148
3.2	Schwachstellen der Systemlösungen und Prozesse	149
3.2.1	Datenbestände und Datenauswertung	149
3.2.2	IT-Systeme.....	151
3.2.3	Datenmanagement.....	151
3.2.4	Kritische Infrastrukturen	152
3.3	Bewertung der Kostensenkungspotenziale	153
3.4	Datenschutz und Datensicherheit.....	158
3.4.1	Terminologie	158
3.4.2	Unbemannte Luftfahrzeugsysteme und Datenschutz	158
3.4.3	Satellitendatensicherheitsgesetz	161
3.4.4	Data Science und Datenschutz	163
3.5	Zusammenfassung	163
4	Sollkonzept	165

4.1 Anforderungsprofil an eine optimierte Lösung unter Verwendung von BIM-Daten	166
4.1.1 Kollisionsschutzsysteme	167
4.1.2 Automatisierung	167
4.1.3 Luftverkehrsmanagement.....	169
4.1.4 IT-Systeme zur Inspektion unter Nutzung von BIM-Modellen	171
4.1.5 Einsatz innovativer Technologien zum Schutz Kritischer Infrastrukturen	173
4.2 Erforderliche Partner und Technologien.....	175
4.3 Entwicklung einer Systemarchitektur für ein ganzheitliches Inspektionskonzept	177
4.3.1 Data Governance unter dem Einsatz von UAS.....	178
4.3.2 Datenmanagement im Rahmen der Inspektion mit UAS.....	180
4.3.3 Digitale Geschäftsmodelle mit UAS.....	188
4.3.4 Recht des Eigentums und der Verwertung von Daten	192
4.3.5 Informationssicherheitsmanagementsystem.....	197
4.3.6 Erforderliche Qualitätsstandards zur Inspektion von Brücken.....	204
4.3.7 Gesetzesgrundlage für UAS.....	206
4.3.8 Zertifizierung von Einsätzen mit UAS	210
4.4 Maßnahmenplanung zur Umsetzung.....	213
4.4.1 P.1 Prozesse.....	214
4.4.2 K.2 Kritische Infrastrukturen	216
4.4.3 I.3 Informatik	217
4.4.4 R.4 Recht.....	220
4.4.5 T.5 Technologie	224
5 Fazit und Forschungsbedarf.....	228
Literaturverzeichnis	231

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Brückenbestand in Deutschland (Stand: 2018).....	2
Abbildung 2:	Verteilung der Brücken an Bundesfernstraßen nach Baustoff.....	3
Abbildung 3:	Verteilung kommunaler Brücken nach Material (n = 313)	4
Abbildung 4:	Verteilung der Eisenbahnbrücken nach Bauformen (Stand: 2018).....	5
Abbildung 5:	Transportleistung von Straßen und Schienen im Güterverkehr.....	6
Abbildung 6:	Verteilung der Brücken an Bundesfernstraßen nach Zustandsnoten	7
Abbildung 7:	Verteilung kommunaler Brücken nach Zustandsnoten (n = 306).....	7
Abbildung 8:	Verteilung der Eisenbahnbrücken nach Zustandsnoten.....	8
Abbildung 9:	Definition Instandhaltung nach DIN 31051.....	10
Abbildung 10:	Bauwerksprüfungen nach DIN 1076	11
Abbildung 11:	Bauwerksprüfungen nach Ril 804	12
Abbildung 12:	Anwendung des Verfahrens – Identifizierung in sieben Schritten	20
Abbildung 13:	Wertschöpfungskette Sektor Transport und Verkehr	22
Abbildung 14:	Aktuelle Förderprojekte des BMVI (mFund).....	27
Abbildung 15:	Maschinelles Lernen.....	52
Abbildung 16:	Analyseverfahren strukturierte und unstrukturierten Daten	53
Abbildung 17:	Sollkonzept.....	165
Abbildung 18:	Liefergegenstände der Maßnahmenplanung	214

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Arbeitspakete der Ist-Analyse.....	31
Tabelle 2: Arbeitspakete der Schwachstellen-Analyse.....	143
Tabelle 3: Arbeitspakete des Sollkonzepts	166

Abkürzungsverzeichnis

AEG	Allgemeines Eisenbahngesetz
ADI	Automatic Detailed Inspection
A/D-Wandler	Analog-Digital-Wandler
AGCS	Allianz Global Corporate & Specialty
AMBOS	Abwehr von unbemannten Flugobjekten für Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben
AP	Arbeitspaket
ARIS	Architektur für integrierte Anwendungssysteme
ASB-ING	Straßeninformationsbank für Ingenieurbauten, Teilsystem Bauwerksdaten
Asctec	Ascending Technologies
ASFINAG	Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft (Österreich)
ASTM	American Society for Testing and Materials
ASTRA	Bundesamt für Strassen (Schweiz)
ATM	Air Traffic Management
BAF	Bundesaufsichtsamt für Flugsicherung
BAG	Bundesamt für Güterverkehr
BAM	Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
BASt	Bundesanstalt für Straßenwesen
BAV	Bundesanstalt für Verwaltungsdienstleistungen
BAW	Bundesanstalt für Wasserbau
BBK	Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe
BCMS	Business Continuity Management System
BDL	Bundesverband der Deutschen Luftverkehrswirtschaft
BDLI	Bundesverband der Deutschen Luft- und Raumfahrtindustrie
BDSG	Bundesdatenschutzgesetz
BEPS	Base Erosion and Profit Shifting
BEV	Bundeseisenbahnvermögen

BfG	Bundesanstalt für Gewässerkunde
BFU	Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung
BIM	Building Information Modeling
BIT	Bundesamt für Informatik und Telekommunikation (Schweiz)
Bitkom	Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien
BITMi	Bundesverband IT-Mittelstand
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMC	Business Model Canvas
BMI	Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat
BMS	Bauwerk-Management-System
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BMVIT	Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (Österreich)
BMWI	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
BNetzA	Bundesnetzagentur
BOS	Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben
BPMN	Business Process Model and Notation
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
BSI	Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik
BSIG	BSI-Gesetz
BSI-KritisV	BSI-Kritis Verordnung
BSU	Bundesstelle für Seeunfalluntersuchung
BUVUS	Bundesverband für unbemannte Systeme
BVCP	Bundesverband Copter Piloten
BVLOS	Beyond Visual Line of Sight
BVZD	Branchenverband Zivile Drohnen
CAD	Computer Aided Design
CAPEX	Capital Expenditure

X

CEOS	Committee on Earth Observation Satellites
CPS	Cyber-physische Systeme
CRM	Customer Relationship Management
CRISP-DM	CRoss-Industry Standard Process for Data Mining
CURPAS	Civil Use of Remotely Piloted Aircraft Systems
DB	Deutsche Bahn
DFD	Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
DFS	Deutsche Flugsicherung GmbH
DGZfP	Deutsche Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung
DJI	Dà-Jiāng Innovations Science and Technology
DIN	Deutsches Institut für Normung
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
DRONEII	Drone Industry Insights
D-SDA	Deutsches Satellitendatenarchiv
DSGVO	Datenschutz-Grundverordnung
DSMS	Datenschutzmanagementsystem
DUSS	Deutsche Umschlaggesellschaft Schiene
DWD	Deutscher Wetterdienst
EA	Enterprise Architecture
EAM	SAP Enterprise Asset Management
EASA	Europäische Agentur für Flugsicherheit
EBA	Eisenbahn-Bundesamt
EBC	Eisenbahn-Cert
EGovG	EGovernment-Gesetz
EIU	Eisenbahninfrastrukturunternehmen
EO	Earth Observation
EOC	Earth Observation Center
EPK	Ereignisgesteuerte Prozesskette
ERP	Enterprise Resource Planning

ERegG	Eisenbahnregulierungsgesetz
ESA	European Space Agency
ETCS	European Train Control System
EU	Europäische Union
EUROCAE	European Organization for Civil Aviation Equipment
EUROCONTROL	Europäische Organisation zur Sicherung der Luftfahrt
EVLOS	Extended Visual Line of Sight
EVU	Eisenbahnverkehrsunternehmen
EWD	Einstellwinkeldifferenz
FIS	Forschungs-Informationen-System für Mobilität und Verkehr
FKIE	Fraunhofer Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie
FSR	Institut für Flugsysteme und Regelungstechnik
FSTrG	Bundesfernstraßengesetz
FT	Institut für Flugsystemtechnik
FwDV	Feuerwehr-Dienstvorschrift
GG	Grundgesetz
GDWS	Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt
GeoZG	Geodatenzugangsgesetz
GIS	Geografisches Informationssystem/Geoinformationssystem
GLCF	Global Land Cover Facility
GPS	Global Positioning System
HPI	Hasso-Plattner-Institut
ICAO	International Civil Aviation Organization
IDEF	Integration Definition for Function Modeling
IFC	Industry Foundation Classes
IFF	Institut für Flugführung
IFR	Instrument Flight Rules
IKI	Institut für konstruktiven Ingenieurbau
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
XII	

IMF	Institut für Methodik der Fernerkundung
IPM	Fraunhofer Institut für Physikalische Messtechnik
IoT	Internet of Things
ISMS	Informationssicherheitsmanagementsystem
ISO	International Organization for Standardization
IT	Informationstechnologie
IT-SiG	IT-Sicherheitsgesetz
IuS	Institut für unbemannte Systeme
IWG	Informationsweiterverwendungsgesetz
JARUS	Joint Authorities for Rulemaking on Unmanned Systems
KBA	Kraftfahrt-Bundesamt
KI	Künstliche Intelligenz
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
KRITIS	Kritische Infrastrukturen
KUBA	Kunstabt Management System
LBA	Luftfahrt-Bundesamt
LiDAR	Light Detection and Ranging
LuftVG	Luftverkehrsgesetz
LuftVO	Luftverkehrs-Ordnung
LuftVZO	Luftverkehrs-Zulassungs-Ordnung
MIRT	Mobile Incident Response Team
NGA	National Geospatial-Intelligence Agency
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NBS	Northern Business School
NIS-Richtlinie	Richtlinie zur Netzwerk- und Informationssicherheit
NoSQL	Not only Structured Query Language
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
OKSTRA	Objektkatalog für das Straßen- und Verkehrswesen
OPEX	Operational Expenditure

OSA	Objektbezogene Schadensanalyse
PDCA	Plan Do Check Act
PM	Projektmanagement
PMI	Project Management Institute
PwC	PricewaterhouseCoopers
QM	Qualitätsmanagement
RatSWD	Rat für Sozial- und Wirtschaftsdaten
RI-EBW-PRÜF	Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076
Ril	Richtlinie
RTCA	Radio Technical Commission for Aeronautics
RVP	Richtlinie zur Ermittlung der Vergütung für die statische und konstruktive Prüfung von Ingenieurbauwerken für Verkehrsanlagen
RWTH	Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule
SAR	Synthetic Aperture Radar
SatDSIG	Satellitendatensicherheitsgesetz
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
SESAR	European Sky ATM Research
SfM	Structure from motion
SIB	Straßeninformationsbank
SKRIBT	Schutz kritischer Brücken und Tunnel im Zuge von Straßen
SORA	Specific Operational Risk Assessment
SQL	Structured Query Language
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
TanDEM-X	TerraSAR-X add-on for Digital Elevation Measurement
THW	Technisches Hilfswerk
TTS	Testgelände Technische Sicherheit
UA	Unmanned Aircraft
UAS	Unmanned Aircraft Systems
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
XIV	

UAV Dach	Verband für unbemannte Luftfahrt
UGV	Unmanned Ground Vehicle
UMS	Unmanned System
UP	Umsetzungsplan
UrhG	Urhebergesetz
USGS	United States Geological Survey
UTM	Unmanned Air Traffic Management
VDI	Verband deutscher Ingenieure
VFIB	Verein zur Förderung der Qualitätssicherung und Zertifizierung der Aus- und Fortbildung von Ingenieurinnen/Ingenieuren der Bauwerksprüfung
VFR	Visual Flight Rules
VLOS	Visual Line Of Sight
VPN	Virtual Private Network
VTOL	Vertical Take-Off and Landing
VUL	Verband Unbemannte Luftfahrt
WaStrG	Bundeswasserstraßengesetz
WDC-RSAT	Weltdatenzentrum für Fernerkundung der Atmosphäre
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WLAN	Wireless LAN
WSV	Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes
ZfP	Zerstörungsfreie Prüfung
ZITI	Institut für Technische Informatik
ZKI	Zentrum für satellitengestützte Kriseninformation
ZSKG	Zivilschutz- und Katastrophenhilfegesetz

1 Einleitung: Ausgangssituation und Grundlagen

1.1 Brücken und deren Inspektion

Brücken, welche zu den Ingenieurbauwerken „im Zuge von Wegen und Straßen“ gehören, werden in der DIN 1076 als „Überführungen eines Verkehrsweges über einen anderen Verkehrsweg, über ein Gewässer oder tiefer liegendes Gelände, wenn ihre lichte Weite rechtwinklig zwischen den Widerlagern gemessen 2,00 m oder mehr beträgt“, definiert.² Die Bauwerke werden grundsätzlich nach der Art der Nutzung in Straßenbrücken, Eisenbahnbrücken, Fußgänger- bzw. Radwegbrücken, Kanalbrücken, Grünbrücken, Leitungsbrücken sowie Mischformen dieser Nutzungen unterschieden.³ Darüber hinaus können sie nach Baustoff, wie Stein, Stahl, Beton und Holz, nach der Tragwerksart, wie Balken-, Bogen-, Rahmen-, Fachwerkbrücken, sowie dem überbrückten Hindernis, wie Fluss- oder Talbrücken, differenziert werden. Eisenbahnbrücken können zudem in folgende Brückengruppen untergliedert werden: Kurze und lange Eisenbahnüberführungen, Talbrücken und Großbrücken.⁴ Sie führen als Hochleistungstragwerke den Schienenverkehr über Täler und Gewässer und unterscheiden sich aufgrund komplexer Nutzungsanforderungen in der Auswahl des Materials und im statischen System voneinander.⁵

In der vorliegenden Studie stehen insbesondere Brücken, welche für den öffentlichen Kraftfahrzeugverkehr zugelassen sind, sowie Brücken des Schienenverkehrs im Fokus der Betrachtung. Neben Brücken gehören zu den Ingenieurbauwerken gemäß DIN 1076 Verkehrszeichenbrücken,⁶ Tunnel, Trogbauwerke,⁷ Stützbau-, Lärmschutz- und sonstige Ingenieurbauwerke, wie Gabionen⁸ mit einer Stützfunktion ab 1,50 m sichtbarer Höhe sowie Schutzwände/ -zäune, sofern diese auf einem Ingenieurbauwerk befestigt sind.⁹ Ein Ingenieurbauwerk kann dabei aus den folgenden Teilen bestehen: Überbau, Unterbau, Bauwerk, Vorspannung, Gründungen, Erd- und Felsanker, Brückenseile und -kabel, Lager, Fahrbahnübergänge, Abdichtungen, Beläge, Kappen, Schutzeinrichtungen und Sonstige.¹⁰

Gemäß der Brückenstatistik, herausgegeben von der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), befinden sich im Jahre 2018 39.619 Brücken bzw. 51.608 Brücken-Teilbauwerke¹¹

² Vgl. DIN 1076 (1999); BMVBS (2013) S. 8; Mertens (2015) S. 17; RI-EBW-PRÜF (2017) S. 6.

³ Vgl. Geißler (2014) S. 9.

⁴ Vgl. Mölter/Pfeifer/Fiedler (2017) S. 61.

⁵ Vgl. Structurae (o.J.); Structurae Projektbeispiele (2014) S. 1.

⁶ Nach DIN 1076 (1999) Tragkonstruktionen zur Befestigung von Schildern über dem Verkehrsraum, vgl. BMVBS (2013) S. 8; Schnellenbach-Held/Fakhouri/Karczewski (2013) S. 81.

⁷ Nach DIN 1076 (1999) Stützbau- bzw. Rampenbauwerke und/oder Grundwasserwannen, bestehend aus Stützwänden mit einer geschlossenen Sohle, vgl. BMVBS (2013) S. 8; Schnellenbach-Held/Fakhouri/Karczewski (2013) S. 76.

⁸ Steinschlichtkörbe: Mit Steinen befüllte Stahl- und Draht-Gitterkörbe, welche z. B. im Straßen- und Wegebau zur Böschung- oder Hangstützung, zur Errichtung von Wällen oder Lärmschutzanlagen angewandt werden, vgl. RI-EBW-PRÜF (2017) S. 6; Wietek (2017) S. 117. Diese werden nach DIN 1076 nicht einbezogen, sondern unter „Andere Bauwerke“ definiert, weil sie „keiner grundsätzlichen Prüfungs- und Überwachungspflicht unterliegen“, nach RI-EBW-PRÜF werden sie unter „Sonstige Ingenieurbauwerke“ betrachtet, vgl. BMVBS (2013) S. 9; Mertens (2015) S. 19; RI-EBW-PRÜF (2017) S. 6.

⁹ Vgl. Mertens (2015) S. 17 ff.; RI-EBW-PRÜF (2017) S. 6.

¹⁰ Vgl. RI-EBW-PRÜF (2017) S. 7.

¹¹ „Jedes Bauwerk besteht aus mindestens einem Teilbauwerk. Bei Brücken mit mehreren Überbauten ist jeder Überbau als Teilbauwerk zu betrachten.“, Schnellenbach-Held/Fakhouri/Karczewski (2013) S. 75.

im Netz der Bundesfernstraßen (Bundesstraßen und Bundesautobahnen).¹² Die Anzahl der Brücken in kommunaler Baulast wurde im Jahre 2013 auf ca. 67.000 geschätzt, wobei sich fast 70 % in kleineren Gemeinden mit weniger als 20.000 Einwohnern befinden.¹³

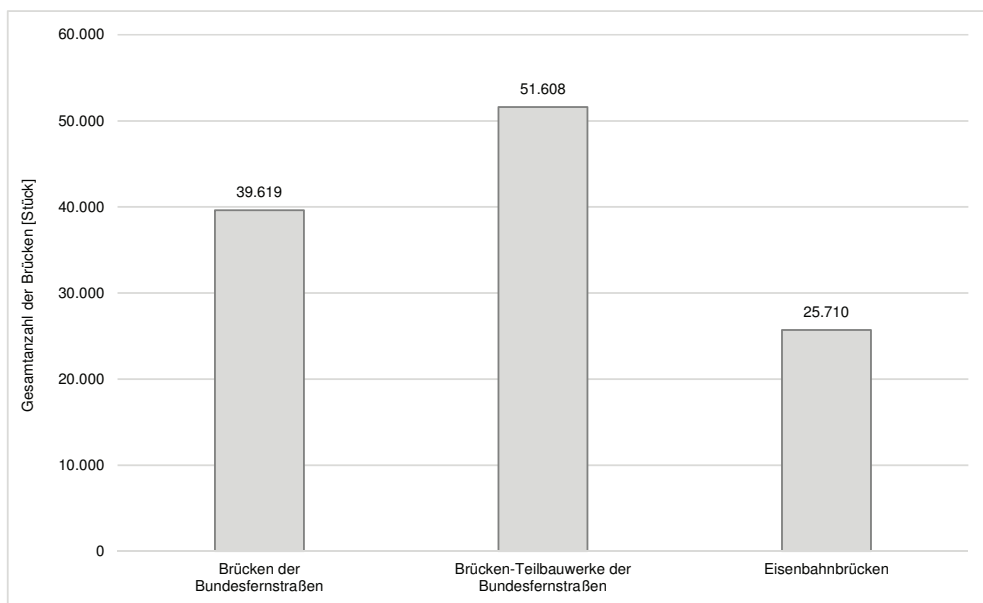


Abbildung 1: Brückenbestand in Deutschland (Stand: 2018)

Quelle: Eigene Darstellung nach Daten von BASt (2018a) und Deutsche Bahn (2019b) S. 9.

Während in den alten Bundesländern die meisten der Brücken an Bundesfernstraßen zwischen 1960 und 1985 gebaut wurden, erfolgten in den neuen Bundesländern größere Neu- baumaßnahmen erst nach der Wiedervereinigung im Jahre 1989.¹⁴ Bei den kommunalen Brücken wurden 34 % zwischen 1960 und 1980 sowie 36 % nach 1980 gebaut, ein Drittel wurde vor 1945 (17 %) und zwischen 1946 und 1959 (13 %) errichtet (n = 331).¹⁵ Aufgrund des teilweise alten bzw. zunehmend älter werdenden Brückenbestandes in Verbindung mit einer zunehmenden Verkehrsbelastung auf den Bundesfernstraßen kommt der Prüfung dieser Ingenieurbauwerke eine immer größere Bedeutung zu,¹⁶ wobei der Aufwand für Bauwerksprüfungen in der Vergangenheit bereits gestiegen ist und zukünftig weiter ansteigen wird.¹⁷ Bei den kommunalen Brücken liegt der hohe Investitionsrückstand u.a. durch die andauernden Haushaltsdefizite in vielen Gemeinden und Kreisen begründet.¹⁸

¹² Vgl. BASt (2018a).

¹³ Vgl. Arndt/Beckmann u.a. (2013) S. 7 f., S. 19, S. 36 f. Ein aktueller konkreter Wert liegt nicht vor, da bislang keine zentrale Erfassung der Brücken im Vergleich zu den Brücken der Bundesfernstraßen erfolgt ist.

¹⁴ Vgl. BMVBS (2013) S. 5.

¹⁵ Vgl. Arndt/Beckmann u.a. (2013) S. 51.

¹⁶ Vgl. BMVBS (2013) S. 15.

¹⁷ Vgl. BMVBS (2013) S. 71.

¹⁸ Vgl. Arndt/Beckmann u.a. (2013) S. 7.

Den mit Abstand größten Anteil des Brückenbestandes an Bundesfernstraßen bilden die Spannbetonbrücken mit 70 %, gefolgt von Betonbrücken mit 17,1 %, Stahlverbundbrücken mit 6,8 %, Stahlbrücken mit 6,1 %, Steinbrücken mit 0,5 % und schließlich Holzbrücken mit 0,04 %.¹⁹

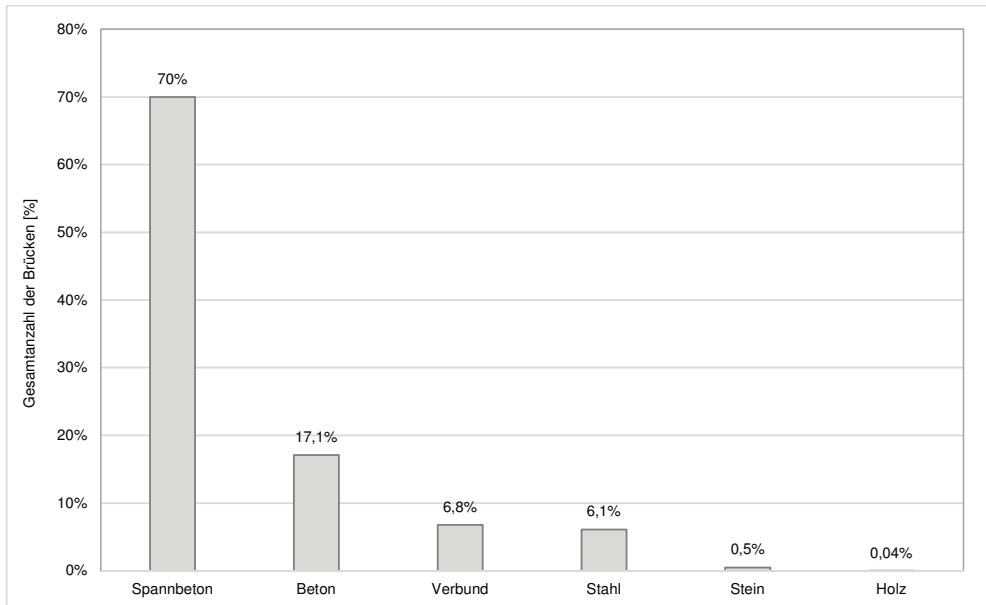


Abbildung 2: Verteilung der Brücken an Bundesfernstraßen nach Baustoff

Quelle: Eigene Darstellung nach Daten von BASt (2018a).

Bei den kommunalen Brücken (n = 313) bestehen gemäß einer Umfrage bei den Kommunen aus dem Jahre 2013 70 % der Bauwerke aus Beton, wovon 16 % aus Spannbeton und 54 % aus anderen Betonkonstruktionen, vor allem Stahlbeton bestehen, und jeweils 8 % bestehen aus Verbund, Stahl und Stein sowie weitere 6 % sind jeweils aus Holz oder sonstigen Materialien errichtet.²⁰

¹⁹ Vgl. BASt (2018a).

²⁰ Vgl. Arndt/Beckmann u.a. (2013) S. 9, S. 49.

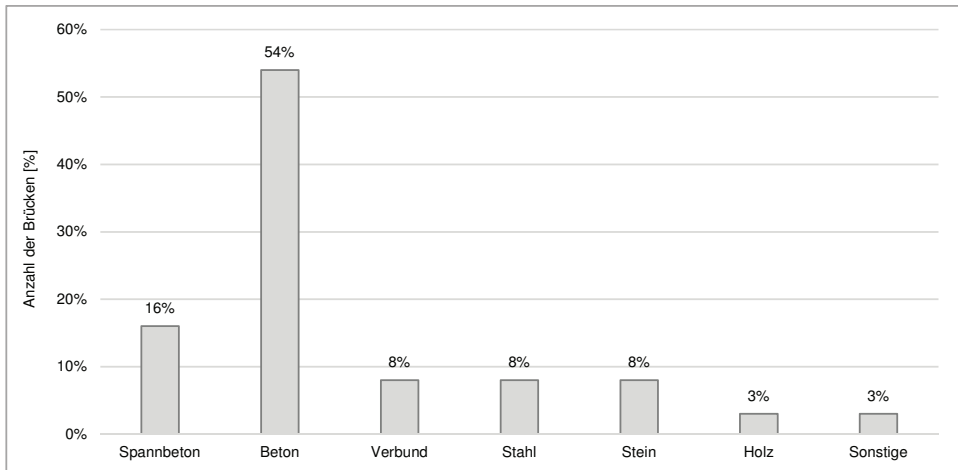


Abbildung 3: Verteilung kommunaler Brücken nach Material (n = 313)

Quelle: Eigene Darstellung nach Daten von Arndt/Beckmann u.a. (2013) S. 49.

Die Deutsche Bahn AG unterhielt in Deutschland im Jahre 2018 25.710 Eisenbahnbrücken, wovon 6.077 Gewölbebrücken, 5.709 Walzträger in Beton, 4.312 Stahlbrücken, 4.722 Rahmenbrücken und 1.910 Stahlbetonbrücken sind. Weitere 2.980 Brücken werden unter sonstige Bauformen zusammengefasst.²¹ Das Durchschnittsalter der Eisenbahnbrücken betrug im Jahre 2018 72,5 Jahre, die meisten dieser Brücken (Gewölbebrücken) sind über 100 Jahre alt, stammen also aus der Zeit zwischen 1900 und 1920. Ein weiterer großer Teil der Eisenbahnbrücken ist zwischen 1970 und 1995 entstanden, wobei seit den 60er Jahren zunehmend Stahlbeton- und Spannbetonkonstruktionen errichtet worden sind.²²

²¹ Vgl. Deutsche Bahn (2019b) S. 130.

²² Vgl. Structurae Projektbeispiele (2014) S. 1; DB Netz (2017) S. 8 ff.; Deutsche Bahn (2019b) S. 110.

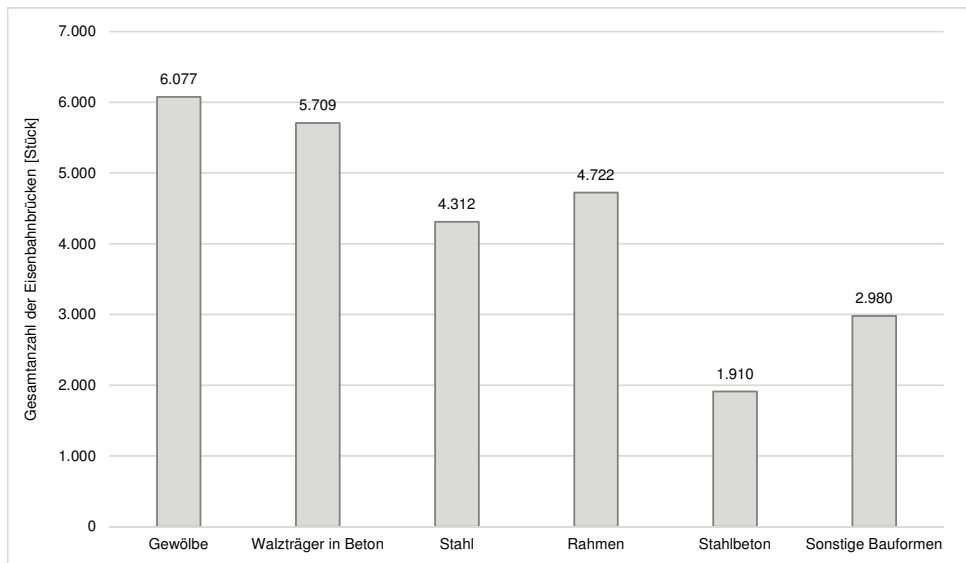


Abbildung 4: Verteilung der Eisenbahnbrücken nach Bauformen (Stand: 2018)

Quelle: Eigene Darstellung nach Daten von Deutsche Bahn (2019b) S. 130.

Die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung unterhält ca. 1.300 Straßen- und Bahnbrücken über Bundeswasserstraßen sowie 40 Kanalbrücken.²³

Die Verkehrsinfrastruktur in Deutschland befindet sich in einem maroden Zustand, wobei neben dem wachsenden Alter der Brücken sowohl die stetig wachsende Belastung durch den zunehmenden Verkehr, vor allem des Schwerverkehrs, und durch Geschwindigkeitssteigerungen, als auch Versäumnisse in der Erhaltung des Bestandes dafür verantwortlich gemacht werden können.²⁴ Im Jahre 2016 wurde im Straßenverkehr (LKW) in Deutschland eine Gesamttransportleistung von ca. 313 Mio. tkm und auf den Eisenbahnschienen von ca. 112 Mio. tkm verzeichnet.²⁵ Auch durch frühere massive Streusalzeinsätze, den „sauren Regen“ und „sauren Nebel“ sind Betonkonstruktionen stark angegriffen worden.²⁶

²³ Vgl. WSV.

²⁴ Vgl. BMVBS (2013) S. 5; Arndt/Beckmann u.a. (2013) S. 7, S. 15 f.; BMVI (2016a) S. 1.

²⁵ Vgl. Statista (2018a).

²⁶ Vgl. Arndt/Beckmann u.a. (2013) S. 7, S. 16.

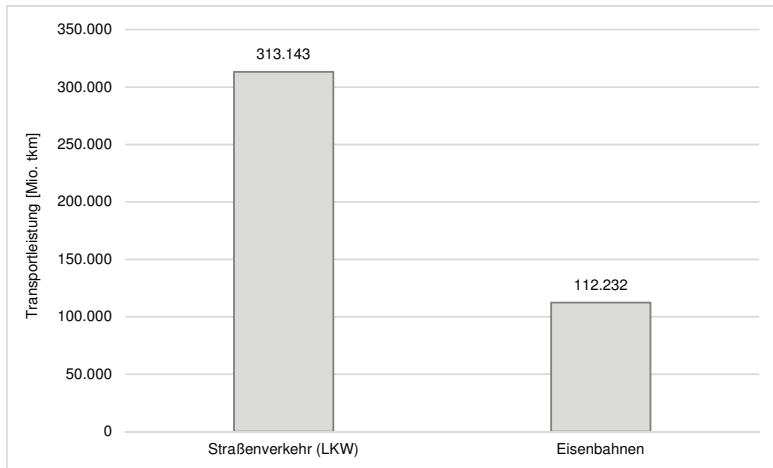


Abbildung 5: Transportleistung von Straßen und Schienen im Güterverkehr

Quelle: Eigene Darstellung nach Daten von Statista (2018a).

Nach Angaben der BASt ist im Jahre 2018 der Zustand der Brücken an Bundesfernstraßen bei 3,4 % als „sehr gut“ (1,0–1,4), bei 9 % als „gut“ (1,5–1,9), bei 42,5 % als „befriedigend“ (2,0–2,4), bei 33 % als „ausreichend“ (2,5–2,9), bei 10,4 % als „nicht ausreichend“ (3,0–3,4) und schließlich bei 1,7 % als „ungenügend“ (3,5–4,0) zu bewerten (vgl. Kap. 2.2.2).²⁷ Es wurde daher bereits 2013 von dem damaligen Bundesverkehrsministerium (BMVBS, heute BMVI) zusammen mit der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) und den Straßenbauverwaltungen der Länder eine „Strategie zur Ertüchtigung der Straßenbrücken im Bestand der Bundesfernstraßen“ entwickelt, mit der die Brücken seitdem zukunftsfähig ertüchtigt respektive modernisiert werden.²⁸

²⁷ Vgl. BMVBS (2013) S. 31; BASt (2018a).

²⁸ Vgl. BMVI (2016a) S. 1, S. 6.

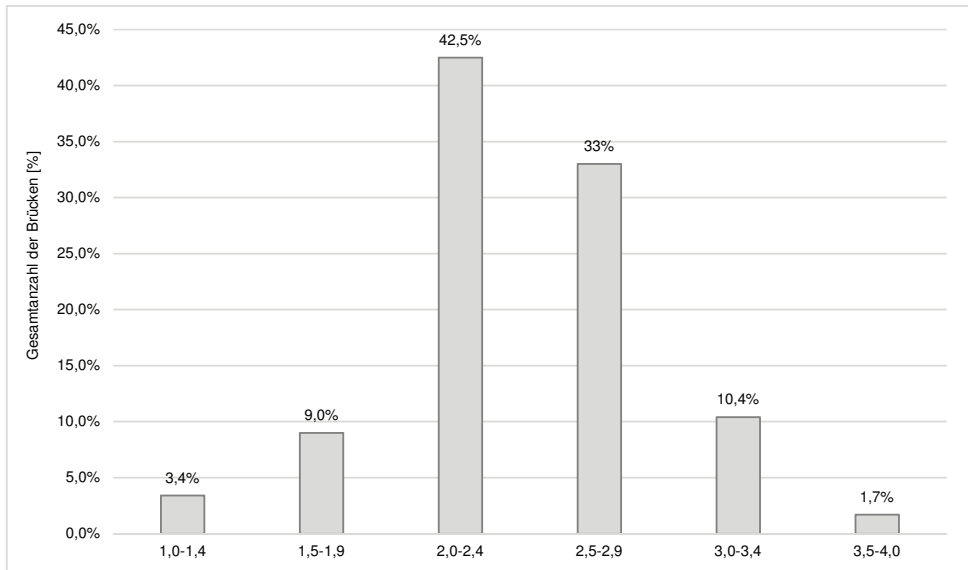


Abbildung 6: Verteilung der Brücken an Bundesfernstraßen nach Zustandsnoten

Quelle: Eigene Darstellung nach Daten von BASt (2018a).

Bei den kommunalen Brücken (n = 306) weisen ca. 50 % die Zustandsnote 2,5 und höher auf, wovon 7 % die schlechteste Zustandsnote erhalten haben (Stand 2013).²⁹

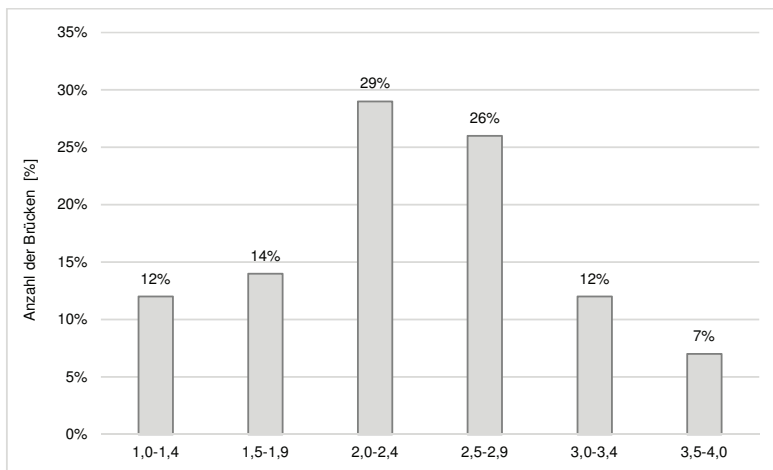


Abbildung 7: Verteilung kommunaler Brücken nach Zustandsnoten (n = 306)

Quelle: Eigene Darstellung nach Daten von Arndt/Beckmann u.a. (2013) S. 52.

Nach dem Brückenunglück in Genua (Italien) im August 2018, bei dem eine Autobahnbrücke (Morandi-Brücke) mehr als 200 m eingestürzt ist und dabei über 40 Menschen ums Leben

²⁹ Vgl. Arndt/Beckmann u.a. (2013) S. 9, S. 52.

gekommen sind, hat Bundesverkehrsminister Andreas Scheuer ein verbessertes Kontrollsystem für die Brücken in Deutschland angekündigt, wobei zum Ende des Jahres 2018 ein neuer weiterentwickelter Prüfindex für Brücken vorgelegt werden sollte, um den Zustand der Brücken noch präziser als bislang abbilden zu können.³⁰

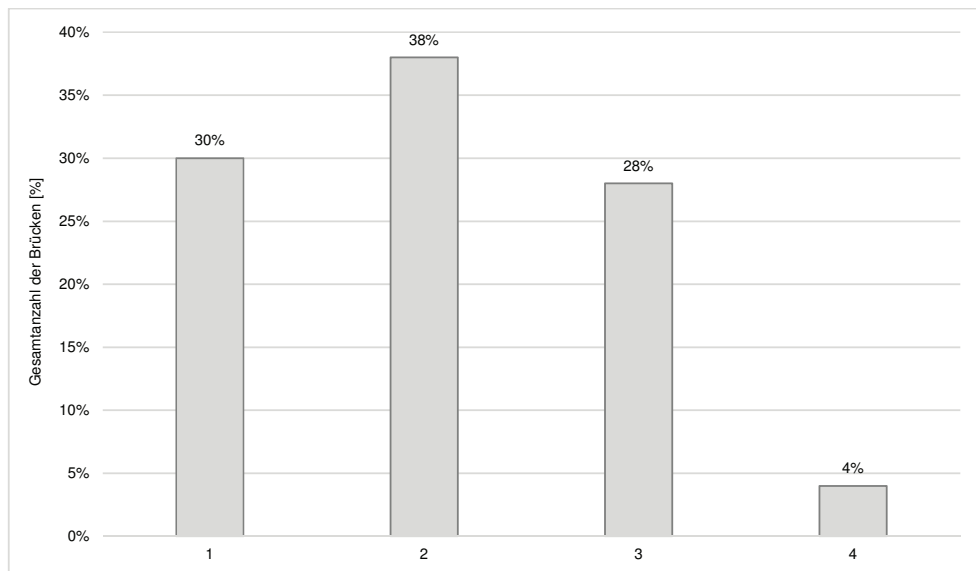


Abbildung 8: Verteilung der Eisenbahnbrücken nach Zustandsnoten

Quelle: Eigene Darstellung nach Daten von Deutsche Bahn (2019b) S. 111.

Auch ein Drittel der deutschen Eisenbahnbrücken ist einem „bedenklichen“ oder nicht mehr sanierungsfähigen Zustand. Zur Bewertung des Zustands werden im Regelwerk vier Zustandskategorien beschrieben: 1 (punktuelle Schäden), 2 (größere Schäden), 3 (umfangreiche Schäden) und 4 (gravierende Schäden), wobei bei Kategorie 4 zwar die Sicherheit noch nicht beeinflusst wird, allerdings eine wirtschaftliche Instandsetzung nicht mehr möglich ist.³¹ Vor allem die älteren Stahltragwerke sind aufgrund der hohen zyklischen Lasten einer enormen Ermüdungsbeanspruchung ausgesetzt.³² Insbesondere in Hochgeschwindigkeitsnetzen kann es zu Überlastungen und überproportionalem Verschleiß der Fahrbahn auf Eisenbahnbrücken kommen.³³ In den Jahren 2019 bis 2023 sollen insgesamt 956 Eisenbahnbrücken voll- bzw. teilerneuert werden.³⁴

Eine vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) in Auftrag gegebene Machbarkeitsstudie zur Digitalisierung der Eisenbahn kommt zu dem Ergebnis, dass

³⁰ Vgl. n-tv (2018).

³¹ Vgl. Deutsche Bahn (2019b) S. 81 f., S. 111.

³² Vgl. Structurae Projektbeispiele (2014) S. 2.

³³ Vgl. Structurae Projektbeispiele (2014) S. 4.

³⁴ Vgl. Deutsche Bahn (2019b) S. 56.

die Ausrüstung des deutschen Schienennetzes mit der europäischen Leit- und Sicherungstechnik (ETCS)³⁵ sowie gleichzeitiger Einführung digitaler Stellwerkstechnologie u.a. die Erhöhung der Kapazität auf der Schiene und somit angesichts des fortschreitenden Verkehrswachstum die Verlagerung des Verkehrs von der Straße auf die Schiene ermöglicht sowie die Erhöhung der Energieeffizienz und verringerte CO₂-Emissionen und eine Senkung der Betriebskosten hinsichtlich der Instandhaltung und des Betriebs hervorbringen.³⁶ Gleichzeitig ist allerdings mit der Verlagerung des Verkehrs auf die Schiene eine deutliche Erhöhung der Inspektion und Wartung der Eisenbahninfrastruktur zu erwarten.

Gemäß der DIN 31501 beinhaltet die Instandhaltung „Kombinationen aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements während des Lebenszyklus einer Einheit, die dem Erhalt oder der Wiederherstellung ihres funktionsfähigen Zustands dienen, sodass sie die geforderte Funktion erfüllen kann.“ Unter dem Oberbegriff Instandhaltung werden hiernach die vier Grundmaßnahmen Inspektion, Wartung, Instandsetzung und Verbesserung subsumiert, wonach gemäß DIN 31051 unter Inspektion „alle Maßnahmen zur Feststellung und Beurteilung des Ist-Zustandes einer Einheit einschließlich der Bestimmung der Ursachen der Abnutzung und dem Ableiten der notwendigen Konsequenzen für eine künftige Nutzung“ von Maschinen, Anlagen und Ausrüstungen bezeichnet wird.³⁷ Im Rahmen der Inspektion eines Ingenieurbauwerks wird demzufolge nicht nur dessen Ist-Zustand, also die Summe aller vorhandenen Eigenschaften und Beanspruchungen, festgestellt und beurteilt,³⁸ sondern auch die Ursachen für Schäden und Mängeln erforscht, um hieraus Konsequenzen für eine zukünftige Nutzung des Bauwerks ziehen zu können. Als Maßnahmen der Inspektion werden insbesondere die Prüfung, Messung, Beobachtung, Beurteilung und Ableitung von Konsequenzen genannt.³⁹ Die Inspektion erfolgt zu einem bestimmten diskreten Inspektionszeitpunkt (t_{Insp}), wobei das Ingenieurbauwerk an einer Stelle, wo es erforderlich ist, wie z. B. der Verdacht auf eine aktive Korrosion,⁴⁰ analysiert respektive geprüft wird, inwieweit die vermutete Schädigung tatsächlich vorliegt.⁴¹

Unter Wartung benennt die DIN 31052 „alle Maßnahmen zur Verzögerung des Abbaus des vorhandenen Abnutzungsvorrats“, wozu u.a. die Sichtprüfung, Auswechslung, Ergänzung, Konservierung, Reinigung und Funktionsprüfung gehören.⁴² Die Instandsetzung subsumiert „alle physischen Maßnahmen, die ausgeführt werden, um die Funktion einer fehlerhaften Einheit wiederherzustellen,“ wie der Austausch, die Wiederherstellung von Funktionen sowie die Beseitigung von Störungen z. B. einzelner Bauteile in Maschinen oder Anlagen.⁴³ Die Verbesserung wird schließlich als „Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements zur Steigerung der Zuverlässigkeit und/oder

³⁵ European Train Control System.

³⁶ Vgl. BMVI (2018).

³⁷ Vgl. DIN 31501 (2012); Liebstückel (2017) S. 34 f.

³⁸ Vgl. Weber (2013) S. 6 f., S. 8.

³⁹ Vgl. DIN 31501 (2012); Liebstückel (2017) S. 35.

⁴⁰ Die Ortung korrosionsaktiver Bereiche erfolgt durch elektrochemische Verfahren, wie der Potenzialfeldmessung, vgl. Mertens (2015) S. 267.

⁴¹ Vgl. Fischer/Straub u.a. (2014) S. 27.

⁴² Vgl. DIN 31501 (2012); Liebstückel (2017) S. 35 f.

⁴³ Vgl. DIN 31501 (2012); Liebstückel (2017) S. 36.

Instandhaltbarkeit und/oder Sicherheit einer Einheit, ohne ihre ursprüngliche Funktion zu ändern“, beschrieben. Hierzu gehören die Beseitigung von Schwachstellen, die Verbesserung der Maschinen- und Anlagenkonstruktion, die Optimierung der Geschäftsprozesse und die Beschleunigung des Informationsaustauschs.⁴⁴

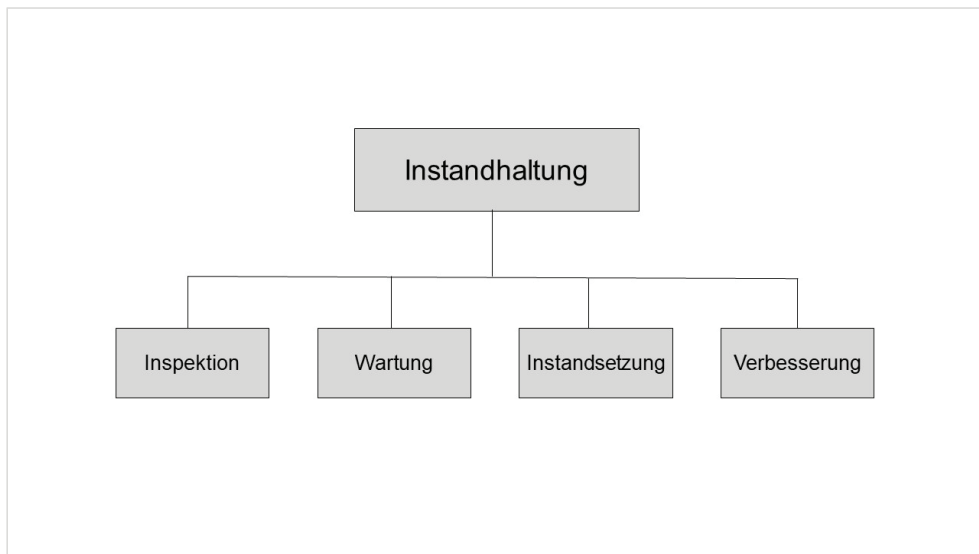


Abbildung 9: Definition Instandhaltung nach DIN 31051

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Liebstückel (2017) S. 35 Abb. 2.1.

Für die Überwachung (Wartung), Prüfung und Bewertung (Inspektion) des (Ist-)Zustandes der Ingenieurbauwerke der Straßen sowie im Bereich der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) hinsichtlich ihrer Standsicherheit, Verkehrssicherheit und Dauerhaftigkeit dient als Grundlage die DIN 1076.⁴⁵ Die Verantwortung für die Durchführung der handnahen Bauwerksprüfung der Ingenieurbauwerke der Straßen liegt bei den Straßenbauverwaltungen der Länder, welche in der Funktion als Baulastträger Bauherr und hoheitliche Bauaufsicht in einem sind,⁴⁶ respektive der Brücken im Bereich der Wasserstraßen bei der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung (WSV).⁴⁷ Neben den Richtlinien für die Durchführung der Überwachung und Prüfung von Ingenieurbauwerken werden in der DIN 1076 die Anforderungen der hierfür erforderlichen Unterlagen beschrieben, wozu das Bauwerksverzeichnis, das Bauwerksbuch und die Bauwerksakte gehören.⁴⁸ Die regelmäßigen Bauwerksprüfungen werden in Hauptprüfungen (vor Abnahme des Bauwerks, vor Ablauf der Verjährungsfrist der Gewährleistung und alle sechs Jahre), einfache Prüfungen (drei Jahre nach der Hauptprüfung) und Sonderprüfungen aus besonderem Anlass unterschieden, wobei alle Bauwerksteile inspiziert

⁴⁴ Vgl. DIN 31501 (2012); Liebstückel (2017) S. 36 f.

⁴⁵ Vgl. DIN 1076 (1999); BMVBS (2013) S. 10, S. 11 ff.; Schnellenbach-Held/Fakhouri/Karczewski (2013) S. 24, 70, S. 81.; Geißler (2014) S. 1159 ff.; Mertens (2015) S. 16, S. 21; Holst (2018) S. 27.

⁴⁶ Vgl. BMVBS (2013) S. 15; Mertens (2015) S. 15.

⁴⁷ Vgl. Holst (2018) S. 27.

⁴⁸ Vgl. DIN 1076 (1999); BMVBS (2013) S. 11; Geißler (2014) S. 1159.

werden müssen.⁴⁹ Neben diesen Prüfungen ist zudem alle halbe Jahre eine laufende Überwachung im Rahmen einer Begehung durchzuführen, um mögliche Schäden, wie Risse, Verformungen oder Schiefstellungen, an den Ingenieurbauwerken zu identifizieren oder bereits bekannte Schäden zu überprüfen, welche im Anschluss erfasst und mithilfe von Zustandsnoten bewertet werden. Darüber hinaus erfolgen jährliche Besichtigungen, wenn keine Prüfungen erfolgen oder nach besonderen Ereignissen, wie z. B. Hochwasser, unter der Nutzung am Bauwerk vorhandener Besichtigungseinrichtungen, um erhebliche Mängel und Schäden zu prüfen und zu dokumentieren.⁵⁰

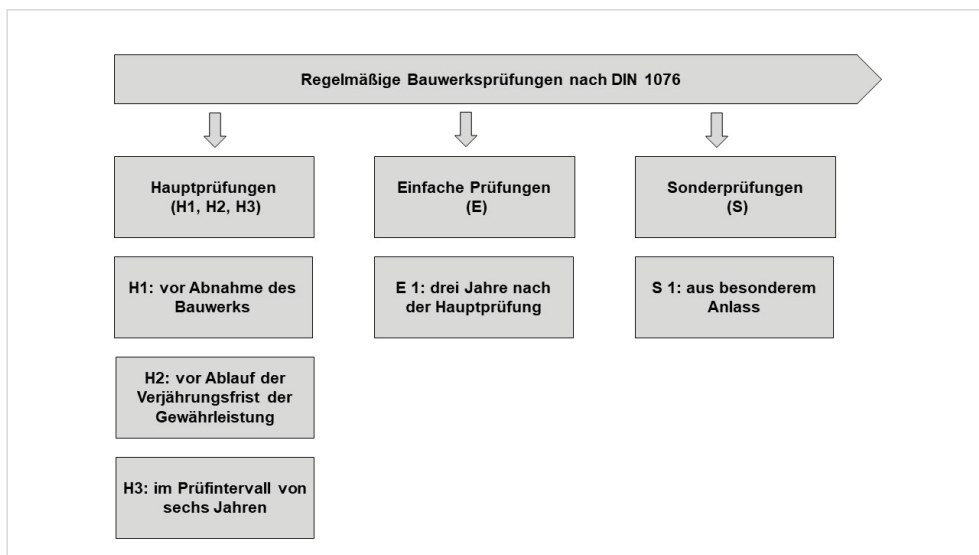


Abbildung 10: Bauwerksprüfungen nach DIN 1076

Quelle: Eigene Darstellung nach Angaben von BMVBS (2013) S. 25 f.

Die auf der Bauwerksprüfung basierende Bewertung erfolgt in Deutschland nach der „Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076“ (RI-EBW-PRÜF).⁵¹ Hiernach wird jeder Schaden des Ingenieurbauwerks hinsichtlich des Bauteilversagens (Standicherheit), seiner planmäßigen Nutzung (Verkehrssicherheit) und der fortschreitenden Schädigung des Bauteils (Dauerhaftigkeit) mit einer Gesamtzustandsnote von sehr gut (1,0 bis 1,4) bis ungenügend (3,5 bis 4,0) bewertet.⁵² So wiesen im Jahr 2010 die Großbrücken (> 500 m) einen schlechteren Zustand als der Durchschnitt auf, wobei ca. 33 % dieser Brücken die Note 3,0 bis 4,0 erhielten.⁵³

⁴⁹ Vgl. BMVBS (2013) S. 21 ff., S. 25 ff.; Schnellenbach-Held/Fakhouri/Karczewski (2013) S. 15; Geißler (2014) S. 1159; Fischer/Straub u.a. (2014) S. 28; Mertens (2015) S. 21.

⁵⁰ Vgl. BMVBS (2013) S. 27 ff.; Schnellenbach-Held/Fakhouri/Karczewski (2013) S. 87 f.; Geißler (2014) S. 1159; Mertens (2015) S. 21.

⁵¹ Vgl. RI-EBW-PRÜF (2017); BMVBS (2013) S. 11 f.; Geißler (2014) S. 1159; Mertens (2015) S. 16 f., S. 22 f.

⁵² Vgl. Geißler (2014) S. 1159 ff.

⁵³ Vgl. Geißler (2014) S. 1159, S. 1161 Abb. 7.33.

Die Prüfung von Ingenieurbauwerken der Deutschen Bahn (DB) erfolgt dagegen gemäß der Richtlinie 804 (Ril 804), Modulgruppen 804.8001–804.8004,⁵⁴ nach den Sicherheitskriterien Betriebssicherheit, Standsicherheit, Verkehrssicherheit und Gebrauchstauglichkeit.⁵⁵ Die DB Netz AG als Eigentümer der Eisenbahninfrastruktur ist für den ordnungsgemäßen Zustand und die Sicherheit der Eisenbahnbrücken verantwortlich.⁵⁶ Neben den erforderlichen Dokumentationsunterlagen, wie Bauwerksbuch und Bauwerksheft, werden die Regelinspektionsfristen, welche weitgehend den Vorgaben der DIN 1076 entsprechen, geregelt.⁵⁷ Hiernach werden die Eisenbahnbrücken alle sechs Jahre einer Begutachtung durch Fachbeauftragte sowie alle drei Jahre einer Untersuchung (Inspektion) unterzogen, zudem erfolgen jährliche Begehungen im Rahmen einer Überwachung, um die Betriebssicherheit, Verkehrssicherheit, Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit zu gewährleisten. Darüber hinaus können Sonderinspektionen je nach Erfordernis erfolgen.⁵⁸ Auf Basis der vorliegenden Zustandsbewertungen der Eisenbahnbrücken wurde für das Jahr 2018 die mittlere Gesamtzustandsnote, gewichtet nach der Brückenfläche (aus dem Produkt von Länge und Breite), mit 2,02 bewertet.⁵⁹

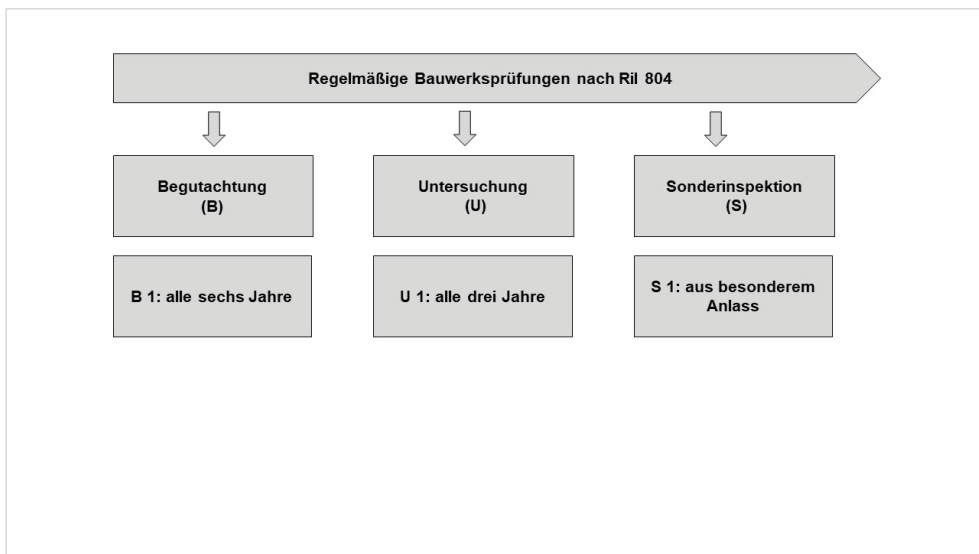


Abbildung 11: Bauwerksprüfungen nach Ril 804

Quelle: Eigene Darstellung nach Angaben von Muncke (2006).

⁵⁴ Vgl. DB Netz (2015) Module 804.8001–804.8004, welche lediglich im Logistikcenter Karlsruhe erhältlich sind. Da eine Studie wie die im Vergleich vom BMVBS (2013) erstellte Publikation zur DIN 1076 für die Ril 804 nicht vorliegt, werden in der vorliegenden Studie primär die Angaben der DIN 1076 nach BMVBS (2013) für die handnahe Bauwerksprüfung von Straßenbrücken thematisiert.

⁵⁵ Vgl. Mölter/Pfeifer/Fiedler (2017) S. 643; Mölter/Fiedler (2019) S. 377; RH RLP (2013) S. 19 f.; Holst (2018) S. 26.

⁵⁶ Vgl. Art. 87e GG (2019); § 4 (1) AEG (2019); BSI (2015) S. 49; DB Netz (2017) S. 14 f.; EBA.

⁵⁷ Vgl. RH RLP (2013) S. 19; DB Netz (2015) Modul 804.8001 Nr. V01, V02.

⁵⁸ Vgl. DB Netz (o.J.a.); Muncke (2006); Mölter/Pfeifer/Fiedler (2017) S. 643.

⁵⁹ Vgl. Deutsche Bahn (2019b) S. 111.

Die Daten über den Bestand und Zustand der Straßenbrücken werden im Bauwerk-Management-System (BMS), das von der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) zusammen mit dem damaligen Bundesverkehrsministerium (BMVBS, heute BMVI) und den Straßenbauverwaltungen der Länder konzipiert wurde, abgelegt und im Rahmen der Bauwerksprüfung mithilfe des Programmsystems Straßeninformationsbank (SIB-Bauwerke) erfasst.⁶⁰

Die handnahe Bauwerksprüfung erfolgt zum einen unter Nutzung von stationären Besichtigungseinrichtungen, welche individuell für ihre Einsätze konzipiert werden müssen und nur noch selten zum Tragen kommen, zum anderen mithilfe ortsveränderlicher Besichtigungsgeräte.⁶¹ Zu den ortsveränderlichen Besichtigungsgeräten gehören Hubarbeitsbühnen für den Überflurbetrieb mit einer möglichen Arbeitshöhe von über 100 m.⁶² Ferner werden Unterflurarbeitsbühnen mit Besichtigungstürmen oder Hydroliften, Pfeilerbefahrergeräte, Unterflurbesichtigungsgeräte mit steuerbarem Korb, Büro- oder Gerätewagen sowie Zweivegefahrzeuge oder Hubmontagewagen bei der Prüfung von Brücken über Gleisen und speziell ausgerüstete Motorschiffe bei der Prüfung von Brücken über Wasserstraßen eingesetzt.⁶³ Maßgebend für den Einsatz der Geräte zur Inspektion und Instandhaltung der Eisenbahnbrücken ist die Höhenlage über dem Gelände, was bedeutet, dass die Brücken beim Bau so konzipiert werden, dass im Rahmen der Inspektion alle Tragwerksteile möglichst handnah zugänglich sind. Bei Eisenbahnbrücken kommen insbesondere für hohe Talbrücken speziell konzipierte Brückenbesichtigungsfahrzeuge zum Tragen.⁶⁴ Zudem stehen verschiedene Werkzeuge und Hilfsmittel sowie ein Notebook für die Datenerfassung und Auswertung im Prüfwagen zur Verfügung.⁶⁵ Darüber hinaus sind neben der Schutzausrüstung der Ingenieure und Prüftechniker Verkehrssicherheitsmaßnahmen, wie das Aufstellen von Sicherungsfahrzeugen oder Absperrgeräten, zur Kennzeichnung der Bauwerksprüfung zwingend erforderlich.⁶⁶

Neben dem komplexen und zeitintensiven Einsatz von Besichtigungsgeräten, Werkzeugen und Hilfsmitteln ist die handnahe Bauwerksprüfung besonderen Gefährdungen und Belastungen ausgesetzt, sodass die Belange der Arbeitssicherheit und des Gesundheitsschutzes einer besonderen Beachtung zukommen.⁶⁷ Folgende Gefährdungen sind im Rahmen der Bauwerksprüfung zu beachten: mechanische, elektrische und biologische Gefährdungen, Gefährdungen durch Gefahrstoffe, Brand, Explosion, thermische und physikalische Einwirkungen, Arbeitsumgebungsbedingungen sowie psychische Belastungen.⁶⁸

Die Kosten der Bauwerksprüfung sind insbesondere von der Brückenfläche abhängig, was bedeutet, dass bei kleineren Bauwerken der Kostenanteil für die Leistungen zur Vorbereitung, Dokumentation und für die Fahrzeiten im Verhältnis zur Bauwerksprüfung hoch sind,

⁶⁰ Vgl. BASt (o.J.); BMVBS (2013) S. 11 ff., S. 18 ff.; Geißler (2014) S. 1162 f.

⁶¹ Vgl. BMVBS (2013) S. 47.

⁶² Vgl. BMVBS (2013) S. 48.

⁶³ Vgl. Muncke (2006); BMVBS (2013) S. 49 ff.; Mölter/Pfeifer/Fiedler (2017) S. 63 f. Abb. 3.4.

⁶⁴ Vgl. Mölter/Pfeifer/Fiedler (2017) S. 62 ff. Abb. 3.2, 3.3, 3.4; Mölter/Fiedler (2019) S. 379 Abb. 7.2.5.

⁶⁵ Vgl. BMVBS (2013) S. 54 ff.

⁶⁶ Vgl. BMVBS (2013) S. 59 f.

⁶⁷ Vgl. BMVBS (2013) S. 57 ff.

⁶⁸ Vgl. BMVBS (2013) S. 59.

da der Anteil der konstanten Kosten mit zunehmender Fläche geringer wird.⁶⁹ Darüber hinaus wird der Aufwand der Bauwerksprüfung von folgenden Faktoren beeinflusst: Art der Bauwerksprüfung, Größe, Lage, Bauart, Baustoff, Alter, Zustand und Ausstattung des Ingenieurbauwerks, kreuzende Verkehrswege und Gewässer, Anfahrtswege, Arten der Besichtigungsgeräte und schließlich Verkehrssicherung.⁷⁰

Durch den Einsatz neuer Technologien, beispielsweise von unbemannten Luftfahrzeugen (UAS) und/oder Robotern, wie z. B. unbemannte Bodenfahrzeuge (UGV), kann die Inspektion und deren Aufwand sowohl personell als auch logistisch erheblich reduziert und optimiert werden. So wurde im Rahmen einer Pilotstudie der TÜV Rheinland GmbH dafür plädiert, einen Leitfaden für die Bauwerksprüfung mithilfe von UAS zu erstellen, um Rechtssicherheit, Reproduzierbarkeit, Ergebnissicherheit und Einbindung der Ergebnisse in die Dokumentation zu gewährleisten,⁷¹ was eine mögliche Themenstellung für eine Folgestudie darstellen könnte.

1.2 Unbemannte Luftfahrzeuge und Luftfahrzeugsysteme

Unbemannte Luftfahrzeuge wurden zunächst für militärische Zwecke Anfang des 20. Jahrhunderts hergestellt. Im Laufe ihrer Weiterentwicklung wurden und werden sie mit einer Vielzahl an anwendungs-/ einsatzspezifischen technischen Funktionen ausgestattet und können mittlerweile neben ihrer Fernsteuerung durch einen Copter-Piloten am Boden automatisch oder vollkommen autonom fliegen.⁷² Fliegt der Copter-Pilot respektive Steuerer das Flugobjekt ohne direkter Sichtverbindung, spricht man von BVLOS (Beyond Visual Line of Sight), im Gegensatz zu VLOS (Visual Line Of Sight).⁷³ Darüber hinaus gibt es Flüge auf Sicht, bei dem eine andere Person als der Pilot die Sichtverbindung aufrechterhält und über einen Kommunikationskanal mit dem Copter-Piloten in permanenter Verbindung steht. Diese Form der Steuerung von UAS wird EVLOS (Extended Visual Line of Sight) bezeichnet, womit großräumige Missionen und Langstrecken-Flugmissionen durchgeführt werden können.⁷⁴ Die erweiterten Flugmöglichkeiten werden neben der stetig verbesserten Technik der Sensorik, Kameras, Steuerungssysteme sowie speziellen Softwareprogramme bewirken, dass die Einsatzmöglichkeiten von UAS stetig wachsen werden.⁷⁵ Nach der Luftverkehrsordnung (LuftVO) sind bislang nur Flüge von UAS im Sichtflug erlaubt, der Betrieb eines UAS ist außerhalb der Sichtweite des Steuerers verboten, z. B. bei Verschwinden hinter Gebäuden oder anderen Hindernissen (BVLOS), bei einem Gewicht von 5 kg und weniger, sofern er nicht

⁶⁹ Vgl. BMVBS (2013) S. 67.

⁷⁰ Vgl. BMVBS (2013) S. 61; Weber (2013) S. 59.

⁷¹ Vgl. Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 62.

⁷² Vgl. Kornmeier (2012) S. 8 f.; Morgenthal/Hallermann/Achtelik (2015) S. 10; Giumulla/van Schyndel/Friedl (2018) S. 1.

⁷³ Vgl. Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhardt/Moll (2018) S. 63 f.; Orter (2018a).

⁷⁴ Vgl. Orter (2018a); Dieckert/Eich (2018) S. 179.

⁷⁵ Vgl. Kornmeier (2012) S. 12 ff.; Morgenthal/Hallermann/Achtelik (2015) S. 10.

durch eine Behörde, also mit einer speziellen Genehmigung, oder unter deren Aufsicht erfolgt (vgl. Kap. 2.13).⁷⁶

Terminologie

Die verschiedenen Bezeichnungen für unbemannte Luftfahrzeuge, wie Unmanned Aerial Vehicles (UAV), Unmanned Aircraft Systems (UAS) respektive Luftfahrzeugsysteme oder umgangssprachlich Drohnen, wurden erst in jüngerer Zeit durch entsprechende Normen und Definitionen konkretisiert.⁷⁷

Unbemanntes Luftfahrzeugsystem

Nach dem Luftverkehrsgesetz (LuftVG) ist unter einem Luftfahrzeug ein für die Benutzung des Luftraums bestimmtes Gerät zu verstehen, sofern es in einer Höhe von mehr als 30 m über dem Grund oder Wasser betrieben werden kann. Hierzu gehören auch „unbemannte Fluggeräte einschließlich ihrer Kontrollstation, die nicht zu Zwecken des Sports oder der Freizeitgestaltung betrieben werden (unbemannte Luftfahrtsysteme).“⁷⁸ Darüber hinaus können Multicopter aufgrund ihrer Rotoren zudem unter den aufgeführten „Drehflüglern“ subsumiert werden.⁷⁹ Damit gelten für die Nutzung unbemannter Luftfahrzeugsysteme die Regeln und Bestimmungen des LuftVG. In der europäischen Verordnung für die Zivilluftfahrt und Flugsicherheit wird als Luftfahrzeug jede Maschine bezeichnet, „die sich aufgrund von Reaktionen der Luft, mit Ausnahme von Reaktionen der Luft gegenüber der Erdoberfläche, in der Atmosphäre halten kann“.⁸⁰

Das Deutsche Institut für Normung (DIN) hat die Begriffe der unbemannten Luftfahrzeugsysteme in der neuen DIN 5452-1 (Teil 1) im Jahre 2018 zusammengefasst, wobei es den Begriff unbemanntes Luftfahrzeugsystem der International Civil Aviation Organization (ICAO) übernommen hat.⁸¹ „Dieses Dokument definiert Benennungen für die Anwendung im Bereich der unbemannten Luftfahrzeugsysteme, die von privaten, kommerziellen und öffentlich-rechtlichen Anwendern sowie Herstellern genutzt werden. Daneben sind Regulierungs- und Aufsichtsbehörden sowie Prüfinstitute Adressaten dieses Dokuments.“⁸²

Unmanned aerial vehicle und Unmanned aircraft system

Im Global Air Traffic Management Operational Concept, herausgegeben von der International Civil Aviation Organization (ICAO) im Jahre 2005, wird der Begriff „Unmanned aerial vehicle“ (Unbemanntes Luftfahrzeug), wie folgt, definiert: „An unmanned aerial vehicle is a pilotless aircraft, in the sense of Article 8 of the Convention on International Civil Aviation“,⁸³

⁷⁶ Vgl. § 21b (1) Nr. 1 LuftVO (2017).

⁷⁷ Vgl. Petermann/Grünwald (2011) S. 25.

⁷⁸ Vgl. § 1 (2) LuftVG (2017); Dieckert/Eich (2018) S. 352 f.; Giemulla/van Schyndel/Friedl (2018) S. 8 f.

⁷⁹ Vgl. § 1 (2) Nr. 2, Nr. 11 LuftVG (2017).

⁸⁰ Vgl. Art. 3 Nr. 28 Verordnung EU (2018a).

⁸¹ Vgl. DIN 5452-1 (2018); UAV Dach (2018).

⁸² DIN 5452-1 (2018).

⁸³ Article 8 of the Convention on International Civil Aviation, signed at Chicago on 7 December 1944, vgl. ICAO (2011) S. 3.

which is flown without a pilot-in-command on-board and is either remotely and fully controlled from another place (ground, another aircraft, space) or programmed and fully autonomous.”⁸⁴

Im Rahmen der zweiten Konferenz der ICAO in Palm Coast (Florida) im Jahre 2007 wurde u.a. im Einvernehmen mit der Radio Technical Commission for Aeronautics (RTCA) und der European Organization for Civil Aviation Equipment (EUROCAE) empfohlen, die bisherige Bezeichnung „Unmanned aerial vehicle“ (UAV) durch die Bezeichnung „Unmanned aircraft system“ (UAS) abzulösen und fortan diesen Begriff zu verwenden.⁸⁵

Die Definition für „Unmanned aircraft system“ (UAS) respektive unbemanntes Luftfahrzeugsystem aus dem Jahre 2011 gemäß der ICAO lautet, wie folgt: „An aircraft and its associated elements which are operated with no pilot on board“.⁸⁶ Ein unbemanntes Luftfahrzeug respektive „Unmanned aircraft“ (UA) wird dagegen gemäß der ICAO als „An aircraft which is intended to operate with no pilot on board“ definiert.⁸⁷ Der Begriff UAS bezieht damit neben dem Fluggerät (UAV/UA) alle dazugehörigen Teile („and its associated elements“) des Gesamtsystems des Luftfahrzeugs (z. B. Kontrollstation, Datenverbindung) mit ein. So wird ein UAV dann zum UAS, wenn das unbemannte Fluggerät mit einer sensorgesteuerten Flugsteuerung (Hardware) und einem Autopiloten (Software) ausgestattet wird und somit ein Betrieb auch außerhalb der Sichtweite ermöglicht wird.⁸⁸ In der vorliegenden Studie werden die Begriffe unbemanntes Luftfahrzeugsystem respektive UAS verwendet und die Terminologie von UAS im Rahmen der Schwachstellenanalyse erneut thematisiert.

Unbemannte Systeme

Parallel hierzu werden unter dem Oberbegriff „unbemannte Systeme“ (Unmanned Systems) Systeme für die verschiedenen Erkundungsbereiche Land (Boden), Luft, über und unter Wasser zusammengefasst, welcher wie bei dem Begriff UAS die verschiedenen Komponenten unbemannter Systeme (UMS) subsumiert, wobei neben dem eigentlichen Fahrzeug als Hauptbestandteil eine (bemannte) Steuer-/Kontrollstation, eine Start- oder Absetzeinrichtung, eine Kommunikationsverbindung, ein Datenübertragungssegment, ein Lande- oder Aufnahmesystem, eine Instandsetzungseinheit sowie diverse Hilfsvorrichtungen, wie z. B. Transportbehälter, inbegriffen sind. Unbemannte Systeme sind demnach angetriebene Fahrzeuge, welche autonom oder ferngesteuert Missionen durchführen können.⁸⁹

⁸⁴ Vgl. ICAO (2005) Appendix B-6; ICAO (2011) S. 3.

⁸⁵ Vgl. ICAO (2011) S. 7.

⁸⁶ Vgl. ICAO (2011) S. X; Dieckert/Eich (2018) S. 351.

⁸⁷ Vgl. ICAO (2011) S. X; Dieckert/Eich (2018) S. 351.

⁸⁸ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 101, S. 351.

⁸⁹ Vgl. Petermann/Grünwald (2011) S. 6, S. 25 ff.

Private und staatliche Einsatzmöglichkeiten

Der Anwendungsbereich der unbemannten Luftfahrzeugsysteme (UAS) liegt zum Zeitpunkt des Anfertigers der Studie vor allem in der Informationsbeschaffung bzw. Datensammlung. Hierzu gehören die Aufzeichnung und Übertragung von Bild-, Video- und Tonaufnahmen sowie Messungen mithilfe von Infrarot- und Wärmebildkameras.⁹⁰ Die Einsatzmöglichkeiten der unbemannten Luftfahrzeugsysteme sind aufgrund der rasanten Entwicklung ihrer Technik als sehr vielseitig einzustufen und erfahren darüber hinaus eine permanente Erweiterung.⁹¹ Zudem weisen sie gegenüber bemannten Luftfahrzeugen wesentliche Vorteile auf, wie z. B. Ausdauer, Reichweite und Flughöhe (aufgrund der Größe), Kostenersparnis bei Erwerb und Einsatz sowie geringere Emissionen.⁹² Grundsätzlich können sich die Einsätze in eine private Nutzung, wie wissenschaftliche Forschungen (u.a. Archäologie, Denkmalschutz, Geologie, Kartografie, Meereskunde, Vulkanologie) und kommerzielle Anwendungen (u.a. Bergbau, Land- und Forstwirtschaft, Verkehr, Versicherung, Umweltschutz), und eine staatliche Nutzung (u.a. Katastrophenschutz, Bevölkerungsschutz,⁹³ insbesondere im Umfeld Kritischer Infrastrukturen, Polizei,⁹⁴ Feuerwehr) eingruppiert lassen.⁹⁵ Im Rahmen militärischer Einsätze reicht das Größenspektrum der unbemannten Luftsysteme von libellengroßen Kleinstaufklärern bis zu strategischen Aufklärungsflugsystemen in der Größenordnung eines Verkehrsflugzeugs.⁹⁶

Unbemannte Bodenfahrzeuge (UGV) respektive Landsysteme können sowohl durch eine Person tragbare Geräte als auch Systeme mit den Ausmaßen eines Kampfpanzers umfassen. Neben dem Einsatz zur Überwachung und Erkundung von Geländen, Transportleitungen, Straßen und Gebäuden sowie bei Such- und Rettungsmissionen (Katastrophenschutz und -prävention) und der polizeilichen Gefahrenvorsorge und -abwehr dienen sie im militärischen Bereich primär zur Kampfmittelräumung. Auf dem Wasser operierende Systeme können bis zu 11 m lang sein und sind für den Schutz von Küsten und Küsteninfrastrukturen ausgerichtet. Schließlich werden Unterwasserfahrzeuge zur Minenbekämpfung, aber auch zur wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Erkundung des Meeresgrundes sowie zum Abbau von Rohstoffen eingesetzt.⁹⁷

PricewaterhouseCoopers (PwC) geht davon aus, dass der weltweite Markt von UAS und deren Dienstleistungen im Jahr 2020 ein Volumen von ca. 127 Milliarden US-Dollar aufweisen werden, wobei zu den wichtigsten Segmenten mit 45 Milliarden US-Dollar die Überwachung und Analyse von Infrastrukturen, wie Pipelines, Industrieanlagen und Kraftwerken, gehören werden.⁹⁸ Eine besondere Bedeutung wird in der Überwachung von Kraftwerken, insbesondere von Kernkraftwerken, Freileitungen im Höchst- und Hochspannungsbereich

⁹⁰ Vgl. Plücken (2017) S. 28; Landrock/Baumgärtel (2018) S. 49.

⁹¹ Vgl. Morgenthal/Hallermann/Achtelik (2015) S. 10; Plücken (2017) S. 29 f.

⁹² Vgl. Plücken (2017) S. 23 ff.

⁹³ Vernetzte integrierte UAS-gestützte Datenerfassung und -aufbereitung für die Unterstützung von Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben im Bevölkerungsschutz – VISION (Laufzeit: 10/2018 - 09/2021), vgl. BMVI (o.J.).

⁹⁴ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 460 ff.

⁹⁵ Vgl. Petermann/Grünwald (2011) S. 13; Kornmeier (2012) S. 30 f., S. 31 f., S. 33 ff.; Morgenthal/Hallermann/Achtelik (2015) S. 10.

⁹⁶ Vgl. Petermann/Grünwald (2011) S. 6; Plücken (2017) S. 12 f.

⁹⁷ Vgl. Petermann/Grünwald (2011) S. 6, S. 13.

⁹⁸ Vgl. Reder (2017).

sowie Umspannstationen angesiedelt sein. Umspannstationen, welche eine maßgebliche Rolle bei der Lieferung von Elektrizität spielen, sind in der Nähe bevölkerter Bereiche angesiedelt, sodass sie auf ihre Sicherheit in mehrerer Hinsicht (Energielieferung, Bevölkerungsschutz) zu überwachen und zu warten sind. Da diese unbemannt und weit verteilt sind, werden derzeit automatische Steuerungs- und Videoüberwachungssysteme mittels Videosever, IP-Kameras sowie Software eingesetzt, welche vor Einbruch oder Sabotage schützen und Störfälle verhindern können. Die Überwachungssysteme, welche in bestehende zentrale Steuerungssysteme integrierbar sind, geben einem Systemadministrator zusätzlich zum Datenmanagement die Möglichkeit zu einer visuellen Steuerung und Überwachung.⁹⁹

1.3 Kritische Infrastrukturen

Die Inspektion mithilfe von unbemannten Luftfahrzeugsystemen wird nicht nur stetig an Bedeutung zunehmen, sondern zukünftige Einsätze werden sich verstärkt auch auf die Überwachung und Analyse von Kritischen Infrastrukturen, wie Pipelines, Industrieanlagen, Kraftwerken, Öl- und Stromleitungen sowie Windräder ausweiten.¹⁰⁰ Der Betrieb von Luftfahrzeugsystemen und Kritischen Infrastrukturen ist in der Luftverkehrsordnung (LuftVO) ausdrücklich geregelt.¹⁰¹ „Kritische Infrastrukturen sind Organisationen und Einrichtungen mit wichtiger Bedeutung für das staatliche Gemeinwesen, bei deren Ausfall oder Beeinträchtigung nachhaltig wirkende Versorgungsengpässe, erhebliche Störungen der öffentlichen Sicherheit oder andere dramatische Folgen eintreten würden.“¹⁰² Diese Infrastrukturen werden in die folgenden neun Sektoren eingeteilt: Energie, Informationstechnik und Telekommunikation, Transport und Verkehr, Gesundheit, Wasser, Ernährung, Finanz- und Versicherungswesen, Staat und Verwaltung sowie Medien und Kultur, welche sich wiederum in 29 Branchen gruppieren lassen. So wird der Sektor Transport und Verkehr in die Branchen Luftfahrt, Seeschifffahrt, Binnenschifffahrt, Schienenverkehr, Straßenverkehr und Logistik untergliedert.¹⁰³

Um in einer Krise die Funktionsfähigkeit von Kritischen Infrastrukturen (KRITIS) zum Schutz der Bevölkerung aufrechterhalten zu können, sind zielgerichtete Maßnahmen in Risikomanagement und Notfallplanung zu ergreifen. Hierfür wurde vom Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) gemeinsam mit dem Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) eine Methode zur Identifizierung von Kritischen Infrastrukturen (KRITIS) entwickelt, da nicht alle Bestandteile der Kritischen Infrastrukturen (KRITIS) in einer Krise in Funktion zu halten sind.¹⁰⁴ Diese Methode soll es Akteuren im Bevölkerungsschutz ermöglichen, die folgenden vier Bestandteile Kritischer Infrastrukturen (KRITIS) zu erheben:

⁹⁹ Vgl. MOXA (2009).

¹⁰⁰ Vgl. Kornmeier (2012) S. 32 ff.; Reder (2017); Landrock/Baumgärtel (2018) S. 33 f., S. 36 ff., S. 41 ff.

¹⁰¹ Vgl. § 21 a (2) LuftVO (2017); § 21 b (1) LuftVO (2017).

¹⁰² BMI (2009) S. 3; vgl. BBK (2017) S. 11, S. 16; Brauner/Friedrich (2018) S. 208.

¹⁰³ Vgl. BMI (2011) S. 8; BBK (2017) S. 16 f., S. 38 Tab. 2; Brauner/Friedrich (2018) S. 209; Schläger/Thode (2018) S. 494 f.

¹⁰⁴ Vgl. BBK (2017) S. 16.

Kritische Dienstleistungen, kritische Prozesse, kritische Anlagen sowie Betreiber, was zusammengefasst „System KRITIS“ genannt wird.¹⁰⁵ Hieraus ist die Anwendungsempfehlung „Identifizierung in sieben Schritten“ entstanden.¹⁰⁶ Die erarbeitete Methode wurde auf Bundesebene bereits angewendet, wodurch Kritischen Infrastrukturen (KRITIS) nach dem IT-Sicherheitsgesetz in der BSI-KRITIS-Verordnung (BSI-KritisV)¹⁰⁷ festgelegt wurden. Gemäß dieser Verordnung sind die Sektoren Staat und Verwaltung (Behörden) sowie Medien und Kultur, Notsysteme des Bevölkerungsschutzes sowie KRITIS auf Landes- oder kommunaler Ebene nicht Bestandteil des IT-Sicherheitsgesetzes.¹⁰⁸

Innerhalb der oben genannten Sektoren und Branchen werden verschiedene „kritische Dienstleistungen“ erbracht, welche essentiell für die Daseinsvorsorge sind. Im Sektor Transport und Verkehr sind dies u.a. Leistungen zum Transport von Personen und Gütern.¹⁰⁹ Ihre weitere Unterteilung sind die „kritischen Prozesse“, welche in der Krise wichtig für die zu erbringende Dienstleistung sind. Die physischen Bestandteile der Infrastrukturen sind die „kritischen Anlagen“, welche ebenfalls erforderlich für die zu erbringende Dienstleistung sind. Auf Bundesebene wurde im Rahmen des IT-Sicherheitsgesetzes der grundlegende Schwellenwert für Anlagen, ob und wie weit diese im „System KRITIS“ kritisch sind, auf 500.000 direkt oder indirekt betroffene Menschen festgelegt.¹¹⁰

Die Methode zur Identifizierung von Kritischen Infrastrukturen (KRITIS) basiert auf den folgenden drei Kriterien, mit denen die essentiellen Bestandteile der Infrastrukturen bestimmt und möglicherweise priorisiert werden können: Qualität, Quantität und Zeit. Mithilfe der Kriterien Qualität und Quantität sollen kritische von nicht kritischen Dienstleistungen, Prozessen und Anlagen getrennt werden. Das Kriterium Zeit dient dazu, kritische Anlagen hinsichtlich ihrer Bedeutung zueinander zu priorisieren.¹¹¹ Während das Ergebnis des Kriteriums Qualität eine Liste aller kritischen Dienstleistungen mit ihren wichtigsten Prozessen im Rahmen des untersuchten Bereichs enthält,¹¹² beinhaltet das Ergebnis des Kriteriums Quantität eine Liste der kritischen Anlagen für den untersuchten Raum. Nachdem durch diese beiden Kriterien zunächst alle kritischen Dienstleistungen, Prozesse und Anlagen im Zuständigkeitsbereich erfasst wurden, können diese anschließend den jeweiligen Betreibern zugeordnet werden.¹¹³ Zudem können über das Kriterium Zeit die identifizierten Anlagen im untersuchten Raum priorisiert werden.¹¹⁴

Die Methode zur Identifizierung erfolgt in sieben Verfahrensschritten, welche auf Formblättern dargestellt werden.¹¹⁵ Auf diesen werden im „Kopf“ der Analysebereich und der Bearbeitungsschritt genannt sowie die Fragestellung und das Ziel des Bearbeitungsschrittes

¹⁰⁵ Vgl. BBK (2017) S. 16 Abb. 2.

¹⁰⁶ Vgl. BBK (2017) S. 11, S. 23 Abb. 4.

¹⁰⁷ Vgl. IT-SiG (2015); § 2 (10) BSiG (2017); § 2–8 BSI-KritisV (2017); BSI (2017a) S. 16 f.

¹⁰⁸ Vgl. IT-SiG (2015); BBK (2017) S. 12.

¹⁰⁹ Vgl. BBK (2017) S. 17, S. 38 Tab. 2.

¹¹⁰ Vgl. IT-SiG (2015); BBK (2017) S. 17; BSI (2017a) S. 16.

¹¹¹ Vgl. BBK (2017) S. 18 Abb. 3.

¹¹² Vgl. BBK (2017) S. 19.

¹¹³ Vgl. BBK (2017) S. 20.

¹¹⁴ Vgl. BBK (2017) S. 21.

¹¹⁵ Vgl. BBK (2017) S. 23 f. Abb. 4.

gegenübergestellt. Im „Input“ werden die Vorarbeiten für die Durchführung des Analyseschrittes festgehalten, welcher aus den vorangehenden Schritten generiert wird, und im „Vorgehen“ dessen Umsetzung beschrieben. Im Feld „Ergebnisse“ werden die Ergebnisse des Arbeitsschrittes dokumentiert und abschließend unter „Anmerkungen und Hinweise“ mögliche Ergänzungen sowie konkrete Hinweise benannt.¹¹⁶ Die sieben Verfahrensschritte bestehen aus der Vorplanung, der Erhebung der Dienstleistungen, der Identifizierung der kritischen Dienstleistungen – Kriterium Qualität I, der Identifizierung der kritischen Prozesse – Kriterium Qualität II, des Umfangs der Auswirkungen – Kriterium Quantität, der Priorisierung der kritischen Anlagen anhand der Zeit – Kriterium Zeit sowie der Identifizierung der Betreiber kritischer Anlagen.¹¹⁷

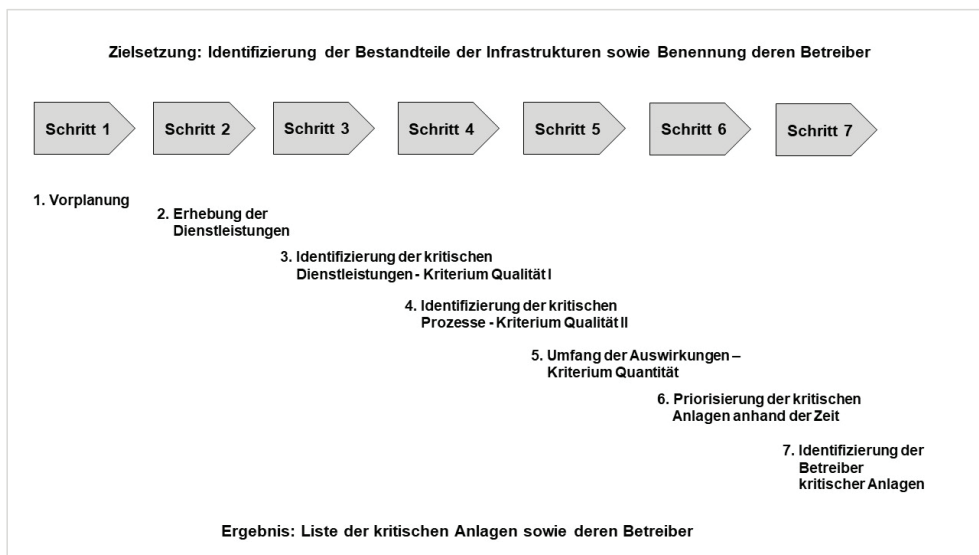


Abbildung 12: Anwendung des Verfahrens – Identifizierung in sieben Schritten

Quelle: Eigene Darstellung nach Angaben von BSI (2017a) S. 27.

Anhand der Kenntnis der wichtigsten kritischen Anlagen und Betreiber können im Rahmen des Risiko- und Krisenmanagements mögliche Schutzmaßnahmen diskutiert und konkretisiert werden. Die Methode zur Identifizierung in sieben Schritten dient damit als Bestandteil weiterer Planungen.¹¹⁸

Betreiber von kritischen Infrastrukturen besitzen im Gegensatz zu anderen Unternehmen respektive Infrastrukturen ein besonders hohes Schadenspotenzial in Bezug auf die Gesellschaft, da dies bei deren Ausfall oder Beeinträchtigung sowohl zu Versorgungsengpässen als auch zu Störungen der öffentlichen Sicherheit führen kann.¹¹⁹ So garantieren Brücken- und Tunnelbauwerke als Bestandteile des bundesdeutschen Fernstraßennetzes nicht nur

¹¹⁶ Vgl. BBK (2017) S. 24.

¹¹⁷ Vgl. BBK (2017) S. 26 ff.

¹¹⁸ Vgl. BBK (2017) S. 51.

¹¹⁹ Vgl. BSI (2017a) S. 5.

eine leistungsfähige Infrastruktur für den Güter- und Personenverkehr, sondern stellen gleichzeitig aufgrund ihrer geografisch bedingten „Flaschenhalsfunktion“ im Straßennetz besonders Kritische Infrastrukturen dar und haben einen bedeutenden volkswirtschaftlichen Vermögenswert. Der Ausfall nur einer Brücke oder eines Tunnels infolge terroristischer Anschläge, Großunfälle oder Naturkatastrophen kann sowohl zu erheblichen Beeinträchtigungen der Netzkapazität führen als auch die Nutzer dieser Bauwerke einer großen Gefahr aussetzen. Darüber hinaus verursachen hohe Wiederherstellungskosten und lange Ausfallzeiten einen erheblichen volkswirtschaftlichen Schaden, sodass dem Schutz dieser Bauwerke eine immense Bedeutung zukommt.¹²⁰ Im Rahmen der Verbundprojekte „Schutz kritischer Brücken und Tunnel im Zuge von Straßen“ (SKRIBT und SKRIBT^{Plus}), welche im Programm „Forschung für die zivile Sicherheit“ angesiedelt sind und durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert werden, sind mehrere Forschungsarbeiten (2008–2015) entstanden, welche sich mit der Sicherheit und dem Schutz der Nutzer sowie dem Schutz und der hohen Verfügbarkeit der Bauwerke auseinandersetzen.¹²¹ So wurde mithilfe einer Objektanalyse ein Verfahren entwickelt, mit dem ein beliebiges Brückenbauwerk aus bautechnischer Sicht bezüglich seiner Kritikalität beurteilt werden kann, sodass objektbezogen effektive Schutzmaßnahmen abgeleitet werden können.¹²²

Die zentrale Bedeutung der Verkehrsinfrastruktur, insbesondere Straßen und Eisenbahnen, für die Versorgung von Staat und Gesellschaft mit Gütern und Dienstleistungen lässt sich sowohl aus den Beförderungszahlen (478,5 Mrd. tkm Güter in der Branche Straßenverkehr und 116,3 Mrd. tkm in der Branche Schienenverkehr im Jahr 2017)¹²³ als auch aus der Abhängigkeit und Vernetzung anderer Sektoren, wie z. B. der Energieversorgung, vom Sektor Transport und Verkehr ableiten. Störungen oder Ausfälle im Transportwesen haben sowohl große Auswirkungen auf die Wirtschaft hinsichtlich der Verzögerungen bei der Produktion und Auslieferung von Waren sowie der Verfügbarkeit von Personal, als auch auf die Verwaltung und das gesellschaftliche Leben. Die Energieversorgung ist als kritische Dienstleistung insofern als besonders bedeutend anzusehen, als alle weiteren genannten Kritischen Infrastrukturen von ihr abhängen. So würde der Sektor Transport und Verkehr, wie z. B. der Betrieb der Eisenbahn oder die Verkehrslenkung mithilfe von Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) ohne Stromversorgung nicht funktionieren können.¹²⁴

Die Branchen Straßen- und Schienenverkehr im Sektor Transport und Verkehr lassen sich im Bereich der Infrastruktur in die Prozesse der Planung, Erstellung, Wartung und technischen Betriebsführung gliedern, denen wiederum Funktionen zugeordnet werden können. Die Planung der Infrastruktur des Schienenverkehrs, wie u.a. Brücken, Bahnkörper, Umschlaghallen und Bahnhöfe, sowie des Straßenverkehrs, wie u.a. Straßen, Ingenieurbauwerke, erfolgt nach fünf grundsätzlichen Verfahrensschritten: Bedarfsplanung, Vorplanung,

¹²⁰ Vgl. SKRIBT Schlussbericht (o.J.) S. 4.

¹²¹ Vgl. BBK (o.J.).

¹²² Vgl. SKRIBT Bauwerksbezogene Objektanalyse (o.J.) S. 2.

¹²³ Vgl. Statista (2018b).

¹²⁴ Vgl. BBK (2014) S. 15 ff.; Schnieder (2018) S. 1 f.

Entwurfsplanung, Genehmigungsplanung (Planfeststellungsverfahren) und Ausführungsplanung.¹²⁵ Die Bauphasen der Infrastruktur bestehen aus den Schritten Entwurf, Konstruktion und Bemessung.¹²⁶ Bei der Wartung geht es um die Instandhaltung sowie Erneuerung der Infrastruktur und die technische Betriebsführung umfasst die sicherheitstechnische Überwachung, operative Betriebsleitung sowie Energieversorgung.¹²⁷

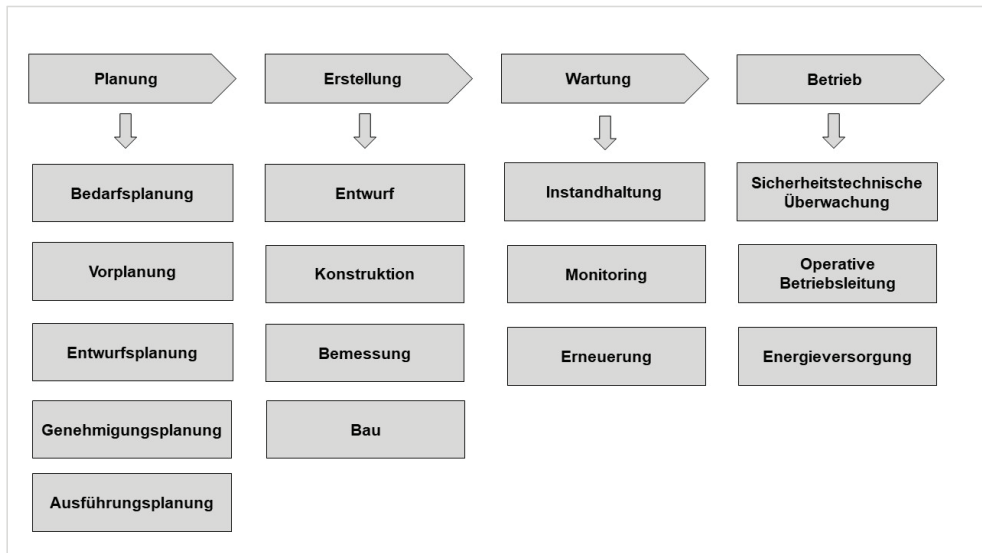


Abbildung 13: Wertschöpfungskette Sektor Transport und Verkehr

Quelle: Eigene Darstellung.

Während die Transportleistung durch Personen- oder Güterverkehr auf den Schienen vor allem durch Schieneninfrastrukturanbieter der DB Netz AG und nur durch wenige nicht-bundeseigene Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) öffentlichen oder privaten Eigentums erfolgt,¹²⁸ wird der Transport von Gütern und Personen auf den Straßen durch private Unternehmen, wie z. B. Speditionen, oder öffentliche Verkehrsmittel geregelt.

Die DB Netz AG betreibt als größten Netzbetreiber die Eisenbahninfrastruktur der bundeseigenen Deutschen Bahn (DB) und ist für die Erstellung der Fahrpläne, die Betriebsführung, das Baumanagement sowie die Instandhaltung des Schienennetzes verantwortlich.¹²⁹ Die DB Energie GmbH verantwortet als Stromnetzbetreiber u.a. den Betrieb des 16,7-Hz-Bahnstromnetzes sowie die 177 50-Hz-Verteilernetze im Bahnumfeld.¹³⁰

¹²⁵ Vgl. Straßenbau NRW (o.J.); Straßenbau NI (o.J.).

¹²⁶ Vgl. Geißler (2014).

¹²⁷ Vgl. Schmidt (2009) S. 37 f.

¹²⁸ Vgl. BSI (2015) S. 40 f.; DB Netz (2019).

¹²⁹ Vgl. DB Netz (2019).

¹³⁰ Vgl. BSI (2015) S. 43; DB Energie GmbH.

Für Planung, Bau, Betrieb und Unterhaltung der Straßen und deren zugehörigen Infrastruktur ist der jeweilige Bauasträger des Bundes, der Länder, Kreise oder Gemeinden zuständig.¹³¹ Die Abteilung Bundesfernstraßen des BMVI ist für den Betrieb, Erhalt, Aus- und Neubau des Straßennetzes der Bundesstraßen und Bundesautobahnen sowie deren Infrastruktur verantwortlich.¹³² Die Sicherheit und Ordnung der Ingenieurbauwerke nach DIN 1076 verantworten schließlich die Straßenbauverwaltungen der Länder.¹³³

Aufgrund der zunehmenden Digitalisierung entstehen neue Gefahren, insbesondere durch Cyber-Angriffe auf die IT-Infrastruktur, die neben staatlichen Stellen und Unternehmen auch KRITIS betreffen und daher besondere Schutzmaßnahmen erfordern. Derzeit ist ein IT-Sicherheitsvorfall bei einem Tochterunternehmen eines deutschen Energieversorgers bekannt, der jedoch nicht auf eine Beeinträchtigung der kritischen Dienstleistung hinweist. Vonseiten des BSI wurde bekannt gegeben, dass die Anzahl und Qualität der Cyber-Angriffe allerdings zunimmt und Betreiber von KRITIS verstärkt im Fokus sind, was eine Weiterentwicklung in Schutzmaßnahmen erforderlich macht.¹³⁴

Im Zuge der Digitalisierung verändern sich auch die Prozesse im Straßen- und Schienenverkehr, welche optimiert und angepasst werden müssen. Es entstehen Möglichkeiten und Funktionalitäten mit neuen Technologien und damit neue Geschäftsmodelle,¹³⁵ gleichzeitig müssen auch die Schutzmaßnahmen gegenüber äußeren Angriffen ausgerichtet bzw. angepasst werden.

Um die Planung und Realisierung von öffentlichen Baumaßnahmen hinsichtlich der Kosten und Zeit mithilfe digitaler Methoden zu optimieren, hat das BMVI einen Stufenplan vorgelegt, bis 2020 alle öffentlichen Bauvorhaben in deren Zuständigkeitsbereich auf der Grundlage von Building Information Modeling (BIM) abzuwickeln.¹³⁶ Zu den Pilotprojekten gehören der Rastatter Tunnel (Karlsruhe-Basel) und die Filstalbrücke (Wendlingen-Ulm) der Deutschen Bahn sowie der Ersatzneubau der Brücke über den Petersdorfer See (Mecklenburg-Vorpommern) und der Neubau der Auenbachtalbrücke, südlich von Chemnitz, der Projektmanagementgesellschaft DEGES.¹³⁷ Auch im Rahmen des Verkehrsmanagements werden zunehmend digitale Systeme eingesetzt. So hat z. B. das Land Hessen eine Leitlinie für seine zukünftige Mobilitätspolitik entwickelt, die u.a. die Verkehrsinfrastruktur, intelligente Verkehrssysteme und die Elektromobilität umfasst. Neben der Optimierung der Verkehrsträger sind dies vor allem eine intelligente Vernetzung der verschiedenen Verkehrsmittel und -teilnehmer untereinander in Verbindung mit hochpräzisen Mobilitätsdaten in Echtzeit. Um die Verkehrssicherheit und -effizienz im gesamten Straßennetz weiter zu verbessern, wird zudem ein vernetztes und automatisiertes Fahren forciert.¹³⁸

¹³¹ Vgl. § 3 FStrG (2018); BSI (2015) S. 59.

¹³² Vgl. BMVI.

¹³³ Vgl. Mertens (2015) S. 30.

¹³⁴ Vgl. BSI (2018).

¹³⁵ Vgl. Huber (2018) S. 7.

¹³⁶ Vgl. BMVI (2015a) S. 5; Singer/Borrmann (2016) S. 6 f.; Liebich/Borrmann u.a. (2018) S. 3.

¹³⁷ Vgl. Liebich/Borrmann u.a. (2018) S. 3 ff.

¹³⁸ Vgl. Digitales Hessen (2016) S. 79, S. 81 f.

Die Deutsche Bahn setzt im Rahmen der Digitalisierung Multicopter für unterschiedliche Anwendungsfelder ein. So werden unbemannte Luftfahrzeugsysteme im Rahmen der sicherheitstechnischen Überwachung und Inspektion des Streckennetzes oder der Infrastruktur, wie z. B. Brücken, genutzt. Darüber hinaus sollen bis 2020 sämtliche Großbauprojekte der Bahn mithilfe der Copter digital geplant und dokumentiert werden.¹³⁹ Wie in der Energiewirtschaft verändert sich auch die klassische Wertschöpfungskette des Sektors Transport und Verkehr zunehmend zu einer datenbasierten Wertschöpfung. Dies bedeutet, dass sich mit der Einführung technologischer Neuerungen und der zunehmenden Vernetzung und Abhängigkeiten von IT-Strukturen die Sicherheitsrisiken erhöhen werden.¹⁴⁰

Bereits 2007 sind zwei Initiativen zum Schutz von Kritischen Infrastrukturen entstanden: Zum einen der UP¹⁴¹ Bund, welcher für den Schutz der IT des Sektors Staat und Verwaltung zuständig ist, zum anderen der UP KRITIS, eine öffentlich-private Partnerschaft zwischen Betreibern von Kritischen Infrastrukturen, deren Verbänden sowie den zuständigen staatlichen Stellen, welche die anderen acht Sektoren der Kritischen Infrastrukturen adressiert und das Ziel hat, die Versorgung mit Dienstleistungen von Kritischen Infrastrukturen in Deutschland uneingeschränkt aufrecht zu erhalten.¹⁴² Es gilt in diesem Rahmen, Kritische Infrastrukturen zu schützen und die Versorgung sicherzustellen, wobei der Fokus primär auf die IT der kritischen Prozesse gelegt wird.¹⁴³ Hierfür arbeiten in Branchen- (u.a. Transport und Verkehr) und Themenarbeitskreisen Betreiber von Kritischen Infrastrukturen, Behörden und Verbände gemeinsam am Schutz der Kritischen Infrastrukturen, indem Analysen durchgeführt sowie Empfehlungen und Vorgaben erarbeitet werden und darüber hinaus ein regelmäßiger Austausch über Vorfälle stattfindet, um somit ein gemeinsames Lagebild erstellen zu können.¹⁴⁴

2009 wurde im BSI-Gesetz (BSIG) zunächst der Schutz der IT des Sektors Staat und Verwaltung reguliert.¹⁴⁵ Zur Erhöhung der Sicherheit der IT-Systeme und digitalen Infrastrukturen Deutschlands ist 2015 das IT-Sicherheitsgesetz in Kraft getreten, das als Artikelgesetz neben dem BSI-Gesetz weitere Gesetze, wie u.a. das Energiewirtschaftsgesetz und das Telekommunikationsgesetz, ergänzt, indem es Regelungen zur Verbesserung der Verfügbarkeit und (Cyber-)Sicherheit sowie des Schutzes der IT-Systeme, speziell im Bereich der Kritischen Infrastrukturen, enthält.¹⁴⁶ Mit diesem Gesetz sind Betreiber von Kritischen Infrastrukturen verpflichtet, ein Mindestniveau an IT-Sicherheit als präventive Maßnahme einzuhalten respektive nach dem Stand der Technik abzusichern, und diese Sicherheit mindestens alle zwei Jahre einer Prüfung zu unterziehen sowie darüber hinaus erhebliche IT-Störungen

¹³⁹ Vgl. Thomas (2017).

¹⁴⁰ Vgl. BSI (2017a) S. 5.

¹⁴¹ Umsetzungsplan.

¹⁴² Vgl. BSI (2016) S. 13; BSI (2017a) S. 9, S. 18 ff., S. 20.

¹⁴³ Vgl. BSI (2017a) S. 20.

¹⁴⁴ Vgl. BSI (2017a) S. 18 f.

¹⁴⁵ Vgl. § 5, 5a BSIG (2017).

¹⁴⁶ Vgl. § 8a BSIG (2017); BSI (2016) S. 5; BSI (2017a) S. 9, S. 11.

an das BSI zu melden, sofern diese Auswirkungen auf die Verfügbarkeit kritischer Dienstleistungen haben.¹⁴⁷ Um eine schnelle Meldung gewährleisten zu können, sind ferner Detektionsmechanismen vorgeschrieben.¹⁴⁸ Zur Konkretisierung der IT-Sicherheit nach dem „Stand der Technik“ können von den einzelnen Branchen spezifische Sicherheitsstandards erarbeitet werden, wie dies bereits in den Branchenkreisen der UP KRITIS erfolgt, wobei diese Unterstützung durch das BSI erhalten.¹⁴⁹

Die „Allianz für Cyber-Sicherheit“ ist eine 2012 gegründete Initiative des BSI und des Bundesverbandes Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (Bitkom), welcher mehr als 2.300 Institutionen angehören, und die das Ziel hat, die Widerstandsfähigkeit Deutschlands gegenüber Cyber-Angriffen zu stärken, die IT-Sicherheitskompetenz in Organisationen auszubauen, Informationen und Handlungsempfehlungen zur Verfügung zu stellen sowie eine bessere einheitliche Lagebeurteilung voranzutreiben.¹⁵⁰

Mit der Umsetzung der europäischen Richtlinie zur Netzwerk- und Informationssicherheit (NIS-Richtlinie) in nationales Recht im Mai 2018 wurde schließlich ein einheitlicher Rechtsrahmen für den „EU-weiten Aufbau nationaler Kapazitäten für die Cyber-Sicherheit“ geschaffen, der u.a. neben den Mindestsicherheitsanforderungen für Kritische Infrastrukturen und deren Meldepflichten auch Regelungen für Anbieter digitaler Dienste wie Cloud-Services sowie Online-Marktplätze und Suchmaschinen vorsieht.¹⁵¹ Das neue Gesetz erweitert damit die Aufsichts- und Durchsetzungsbefugnisse des BSI als nationale IT- und Cyber-Sicherheitsbehörde gegenüber Betreibern von KRITIS.¹⁵² So werden Informationen, die für die Abwehr von Gefahren der IT relevant sind, wie z. B. Sicherheitslücken, Schadprogramme sowie Angriffe, gesammelt und ausgewertet. Hieraus wird ein Gesamtbild der aktuellen Sicherheitslage im IT-Lagezentrum des BSI erstellt, welches kontinuierlich aktualisiert wird, um somit Handlungsoptionen einschätzen zu können. Gemeinsam mit den Aufsichtsbehörden und dem BBK werden darauf aufbauend Auswirkungen auf die Verfügbarkeit der KRITIS analysiert.¹⁵³ Betreiber von KRITIS können bei der Sicherung ihrer IT-Technik im nationalen IT-Krisenreaktionszentrum des BSI beraten und unterstützt werden, um somit schnell und effizient die Behebung von Störungen in der IT-Infrastruktur sicherzustellen. Künftig sollen Betreiber von KRITIS durch sogenannte Mobile Incident Response Teams (MIRT) bei der Bewältigung von IT-Störungen aktiv vor Ort unterstützt werden können.¹⁵⁴ Im Koalitionsvertrag sind neben dem geplanten Ausbau des BSI und des nationalen Cyber-Abwehrzentrum die Weiterentwicklung des IT-Sicherheitsgesetzes als erste Schritte verankert, die zeitnah konsequent umgesetzt werden müssen.¹⁵⁵ Die aktuellen Hackerangriffe im Dezember 2018 auf Daten von Politikern und Prominenten sowie deren Veröffentlichung untermauern die

¹⁴⁷ Vgl. § 8a-b BSIG (2017); BSI (2016) S. 7; BSI (2017a) S. 11, S. 13 f., S. 25, S. 28 f.

¹⁴⁸ Vgl. BSI (2017a) S. 28.

¹⁴⁹ Vgl. BSI (2017a) S. 25.

¹⁵⁰ Vgl. § 8a-b BSIG (2017); BSI (2016) S. 13; BSI (2017a) S. 30; BSI (2017b).

¹⁵¹ Vgl. NIS-Gesetz (2017); BSI (2017a) S. 11; BSI (o.J.).

¹⁵² Vgl. BSI (2017a) S. 11; BSI (o.J.).

¹⁵³ Vgl. BSI (2017a) S. 25 f.

¹⁵⁴ Vgl. BSI (2017a) S. 32.

¹⁵⁵ Vgl. BSI (2018).

Dringlichkeit der Umsetzung der geplanten Sicherheitsmaßnahmen. In diesem Zusammenhang wurde vorgeschlagen, Parteien und ihre Netzwerke zukünftig als Kritische Infrastrukturen des Staates anzusehen, welche als weitere Branche unter dem Sektor Staat und Verwaltung anzusiedeln sind.¹⁵⁶

Darüber hinaus wird die Inspektion von KRITIS durch den Einsatz von UAS künftig ein weiterer Bestandteil im Rahmen der Schutzmaßnahmen von KRITIS sein, mit denen ergänzend zu den Sicherheitsmaßnahmen in der IT Vorkehrungen zum Schutz an den Infrastrukturen selbst vorgenommen werden können. In diesem Rahmen ist auch das Projekt „Abwehr von unbemannten Flugobjekten für Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben“ (AMBOS) zu erwähnen, woran sich u.a. Einrichtungen der Polizei neben privaten Firmen¹⁵⁷ und Forschungseinrichtungen beteiligen und welches vom Fraunhofer Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie (FKIE) koordiniert wird.¹⁵⁸ Neben möglichen Gefahren durch eine zivile Nutzung von „Drohnen“, z. B. Kollisionsgefahren in der Nähe von Flughäfen, sind im extremen Fall terroristische Angriffe, insbesondere auch auf Kritische Infrastrukturen, mit UAS als eine Möglichkeit zu betrachten.¹⁵⁹ Hauptziele des Projekts sind daher insbesondere, gefährliche Fluggeräte verlässlich zu identifizieren und diese unschädlich zu machen.¹⁶⁰ Die Abwehrsysteme für den Schutz Kritischer Infrastrukturen vor zivilen UAS sind in die vorhandenen Sicherheitssysteme integrierbar. So besteht die von der Dedrone GmbH entwickelte Technologie aus einer intelligenten Detektionssoftware und verschiedenen Sensoren, wie Funkfrequenz- und Videosensoren, welche den Luftraum permanent überwachen. Mittels eines Vier- bis Fünfphasenmodells erkennt und ortet das System alle Fluggeräte automatisch (Detektion, Verifikation, Identifikation), lokalisiert die Piloten (Lokalisation und Authentifikation), alarmiert anschließend die Sicherheitskräfte und aktiviert Schutz- und Abwehrmaßnahmen.¹⁶¹ Da die eingesetzte Sensorik der Abwehrsysteme Audio- und Videodaten des unerwünschten Fluggeräts generieren, um Schutzmaßnahmen aktivieren zu können, sind die Richtlinien des Datenschutzes zu beachten, insbesondere wenn das Detektionssystem mit mobilen Videoüberwachungssystemen verbunden ist. Daneben können die Wi-Fi-Sensoren¹⁶² in der Lage sein, Daten von in der Nähe befindlichen anderen Geräten zu erfassen, welche über WLAN¹⁶³ kommunizieren, wie Tablets oder Smartphones. Es gilt demnach bei der Einrichtung dieser Abwehrsysteme sicherzustellen, dass diese datenschutzkonform betrieben werden.¹⁶⁴

Die bisher bekannte Abwehr- und Erkennungstechnik, welche sich vor allem auf Multicopter fokussiert, kann allerdings mit entsprechenden Gegenmaßnahmen leicht umgangen werden, sodass derzeit noch kein sicheres „Drohnen-Abwehrsystem“ vorliegt, was sowohl für den

¹⁵⁶ Vgl. Haerder (2019).

¹⁵⁷ Vgl. Dedrone GmbH.

¹⁵⁸ Vgl. FKIE (o.J.).

¹⁵⁹ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 422 ff, S. 431 ff.

¹⁶⁰ Vgl. FKIE (o.J.).

¹⁶¹ Vgl. Maas (2018); Dieckert/Eich (2018) S. 421 f., S. 434 ff. mit Verweis auf weitere Hersteller.

¹⁶² Wireless Fidelity.

¹⁶³ Wireless LAN.

¹⁶⁴ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 438 f.

zivilen als auch für den behördlichen Einsatz geeignet wäre, sondern die Technik zur Erkennung und Identifizierung von „Drohnenangriffen“ sowie entsprechende Gegenmaßnahmen befinden sich noch in der Entwicklung.¹⁶⁵

Umgekehrt muss auch im Umfeld der UAS der Cyber-Sicherheit Beachtung geschenkt werden. Wie jedes andere IT-System sind auch die Systeme der Fluggeräte durch entsprechende Sicherheitsmaßnahmen, wie z. B. durch Verschlüsselung, vor Angriffen zu schützen.¹⁶⁶

1.4 Forschung

Im Rahmen der Forschungsinitiative mFUND (Modernitätsfonds) fördert das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) derzeit mehrere Forschungsprojekte, welche sich mit den Methoden der Instandhaltung und Überwachung von Brücken respektive Infrastrukturbauten, teilweise unter dem Einsatz von UAS, beschäftigen und im Folgenden kurz skizziert werden.

- Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bergisch Gladbach
Online-Sicherheits-Managementsystem für Brücken – OSIMAB
- PROFI Engineering Systems AG, Darmstadt
Brückenmonitoring – ein IT-gestützter Lösungsansatz – Brückenerhaltungsmanagement Stufe II – PoC
- Siemens AG, München
Intelligente Überwachung der Eisenbahnstruktur mit Hilfe von Drohnen- und externen Datenservices – SMARAGD
- Viscan Solutions GmbH, Weimar
Durchführbarkeitsstudie zur softwaregestützten Erkennung von oberflächigen Schäden im Beton- und Ingenieurbau – softEroS
- Leibniz Universität Hannover
Digitale Instandhaltung von Eisenbahnbrücken – DiMaRB
- flyXdrive GmbH, Aachen
Vernetzte integrierte UAS-gestützte Datenerfassung und -aufbereitung für die Unterstützung von Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben im Bevölkerungsschutz – VISION

Abbildung 14: Aktuelle Förderprojekte des BMVI (mFund)

Quelle: Eigene Darstellung.

Die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) in Bergisch Gladbach möchte mit einem innovativen Ansatz ein dynamisches, webbasiertes Risikomanagementtool für Straßenbrücken entwickeln. Hierfür wird ein ganzheitliches Konzept für die Überwachung und Zustandsbewertung von Straßenbrücken umgesetzt.¹⁶⁷

¹⁶⁵ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 350.

¹⁶⁶ Vgl. Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhardt/Moll (2018) S. 118 f.; Landrock/Baumgärtel (2018) S. 12.

¹⁶⁷ Online-Sicherheits-Managementsystem für Brücken – OSIMAB (Laufzeit: 05/2017–04/2020), vgl. BMVI (o.J.).

Das Projekt der PROFI Engineering Systems AG in Darmstadt dient dem Nachweis, dass auf der Basis vorhandener Daten mittels einer speziellen Analysesoftware Prognosen zur erforderlichen Überprüfung des Erhaltungszustandes von Autobahnbrücken gewonnen werden können.¹⁶⁸

Das Vorhaben der Siemens AG München soll aufzeigen, dass automatisch fliegende Drohnen und die automatisierte Auswertung der generierten Bilder durch Nutzung von Building Information Modeling (BIM) zur Überwachung und Diagnose von (groß-)flächigen Eisenbahn-Infrastrukturen (Brücken, Oberleitungen, Trassen) eingesetzt werden können.¹⁶⁹

Die Viscan Solutions GmbH führt eine Studie mit der Zielsetzung durch, Grundlagen für ein Verfahren zur automatisierten softwaregestützten Prüfung von Beton- und Ingenieurbauten, u.a. von Brücken, zu erarbeiten.¹⁷⁰

Das Projekt DiMaRB entwickelt ein digitales, präventives Instandhaltungskonzept für Eisenbahnbrücken, unter der Nutzung von Inspektions- und Monitoring-Daten mit digitalen Bauwerksmodellen.¹⁷¹

In dem Projekt Vision wird eine cloudbasierte Lösung entwickelt, welche Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) in die Lage versetzt, UAS mit einem deutlichen Mehrwert einzusetzen.¹⁷²

In diesen Forschungsrahmen reiht sich auch die vorliegende Studie ein.

1.5 Zielsetzung der Studie

Das Ziel der vorliegenden Studie besteht in der Entwicklung eines Konzeptes zu einem optimierten Verfahren zur Inspektion von Brücken und Ingenieurbauwerken, in welchem der Einsatz von automatisiert fliegenden Luftfahrzeugen sowie damit unmittelbar verbundener Systeme (UAS) im Fokus der Betrachtung stehen. In der Praxis wird mittlerweile in unterschiedlicher Ausprägung modulare Software für die Planung, Befliegung und Analyse angeboten, mit welcher Unternehmen unbemannte Luftfahrzeugsysteme automatisiert für industrielle Datenanwendungen einsetzen und in bestehende – künftig zunehmend digitalisierte – Geschäftsprozesse integrieren können. Unter der Anwendung digitaler und automatisierter Workflows, der Einbeziehung externer Datenbestände, dem Einsatz von Building Information Modeling (BIM) sowie der Implementierung innovativer Geschäftsprozesse soll künftig eine effektive und effiziente Inspektion der Ingenieurbauwerke („smart inspection“) folgen.

¹⁶⁸ Brückenmonitoring – ein IT-gestützter Lösungsansatz – Brückenerhaltungsmanagement Stufe II – PoC (Laufzeit: 08/2018–07/2019, vgl. BMVI (o.J.).

¹⁶⁹ Intelligente Überwachung der Eisenbahninfrastruktur mit Hilfe von Drohnen- und externen Dataservices – SMARAGD (Laufzeit: 08/2018–07/2020, vgl. BMVI (o.J.).

¹⁷⁰ Durchführbarkeitsstudie zur softwaregestützten Erkennung von oberflächigen Schäden im Beton- und Ingenieurbau – softEroS (Laufzeit: 08/2018–07/2019, vgl. BMVI (o.J.).

¹⁷¹ Digitale Instandhaltung von Eisenbahnbrücken – DiMaRB (Laufzeit: 09/2018–08/2021, vgl. BMVI (o.J.).

¹⁷² Vernetzte integrierte UAS-gestützte Datenerfassung und -aufbereitung für die Unterstützung von Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben im Bevölkerungsschutz – VISION (Laufzeit: 10/2018–09/2021, vgl. BMVI (o.J.).

Da ein Teil der Brücken und Ingenieurbauwerke zu den Kritischen Infrastrukturen des Sektors Transport und Verkehr gehören, werden Kritische Infrastrukturen (KRITIS)¹⁷³ sowie deren Schutzmaßnahmen u.a. auf Basis eines Risiko- und Krisenmanagements im Besonderen untersucht. Darüber hinaus sollen im Rahmen des zu entwickelnden Verfahrens die zunehmend an Bedeutung gewinnenden Aspekte Datenschutz und Datensicherheit, welche untrennbar mit der Datengenerierung, der Entwicklung von Algorithmen und der Datenauswertung verbunden sind, berücksichtigt werden. Auf der Basis der erarbeiteten Ergebnisse wird eine Fortsetzung der Studie evaluiert und der entsprechende Content selektiert.

1.6 Methodik und Aufbau der Studie

Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), Abteilung Digitale Gesellschaft, fördert im Rahmen der Forschungsinitiative mFund, welche Projekte zur Themstellung „Digitale datenbasierte Anwendungen für die Mobilität 4.0“ unterstützt, die vorliegende Konzeptstudie. Ursprünglich war geplant, im Rahmen der Konzeptentwicklung die relevanten Daten eines Infrastrukturbetreibers (führendes deutsches Logistikunternehmen) in die Studie einfließen zu lassen respektive diese Daten einer genaueren Betrachtung im Umfeld von Inspektionen unter Verwendung innovativer Technologien zu unterziehen. Unter dem Imperativ der Prüfung einer Machbarkeit (Konzeptstudie) des Einsatzes von unbemannten Luftfahrzeugsystemen sowie eines strukturierten Vorgehens gilt es zunächst, bestehende Datenstrukturen, Tabellen und Inhalte in der mCloud,¹⁷⁴ welche durch das BMVI als zentraler Zugangspunkt zu offenen Verwaltungsdaten bereitgestellt werden, zu sichten und auf mögliche Anreicherungen zu prüfen. Die konkrete unmittelbare Einbindung des ursprünglich vorgesehenen Logistikunternehmens ist für ein Folgeprojekt geplant, in welchem beabsichtigt ist, die in der vorliegenden Studie gewonnenen Erkenntnisse in die Praxis zu übertragen. Mit dem Infrastrukturdienstleister SPIE SAG und deren Tochterunternehmen Bohlen & Doynen, welches u.a. im Tief- und Infrastrukturbau tätig ist, konnte ein adäquater Partner zur Unterzeichnung eines für die Projektbewilligung erforderlichen LOI (Letter of Intent) gewonnen werden, welcher mit der Bereitstellung des Dokumentes ein Interesse an den Forschungsergebnissen der Konzeptstudie, an einem daraus resultierenden Folgeprojekt sowie einer möglichen späteren Vermarktung der Ergebnisse signalisiert hat. Eine aktive Mitarbeit an der im Vorfeld einer Umsetzung erforderlichen Machbarkeitsprüfung war für die ersten Untersuchungen nicht erforderlich/sinnvoll und wurde daher nicht vereinbart.¹⁷⁵ Da es sich im vorliegenden Projekt, wie oben bereits erwähnt, um die Entwicklung eines Konzeptes zu einem optimierten Verfahren zur Inspektion von Brücken und Ingenieurbauwerken unter dem Einsatz von UAS handelt und – in dieser Phase des Projektes – (noch) nicht um die Entwicklung eines Verfahrens selbst, welches an einem Referenzprojekt aufzuzeigen wäre und hierfür konkrete Daten einer Brücke respektive des Trägers einer Baulast maßgeblich

¹⁷³ Vgl. Kapitel 2.5.4; 2.7.2; 2.9.3; 3.1.2; 3.2.4; 4.1.5. Die Unterstützung zur Erstellung der Kapitel erfolgte durch die Pretherm GmbH, Berlin.

¹⁷⁴ Vgl. mCLOUD.

¹⁷⁵ Vgl. SPIE SAG GmbH.

wären, gilt es in der vorliegenden Studie zu eruieren, welche Art von Daten grundsätzlich notwendig sind respektive welche Voraussetzung im Vorfeld des Projektes zu berücksichtigen ist.

Zur Erstellung der Studie wurden zum einen wissenschaftliche Literatur zur Thematik und zu angrenzenden Gebieten in Datenbanken verschiedener Hochschulbibliotheken¹⁷⁶ recherchiert und ausgewertet, zum anderen mittels Internetrecherchen aktuelle Beiträge sowie Webpräsenzen von Behörden, Forschungsinstituten und -zentren, Verbänden und Unternehmen gesichtet und einbezogen.¹⁷⁷ Den Internetrecherchen galt es, eine besondere Aufmerksamkeit zukommen zu lassen, welcher der zügigen Entwicklung der behandelten Technologien geschuldet ist.

Die Studie wurde nach einem international etablierten Projektmanagement-Standard durchgeführt und basiert neben der Einführung in die Thematik auf einem Vierphasenmodell.¹⁷⁸ In der ersten Phase, der Ist-Analyse (AP 1), werden zunächst alle erforderlichen sowie bei Antragstellung aufgeführten Parameter erörtert. Auf dieser Grundlage werden in der zweiten Phase, der Schwachstellen-Analyse (AP 2), die derzeitigen erkennbaren Defizite und Mängel abgeleitet sowie mögliche Innovationsansätze im Sollkonzept der Phase 3 (AP 3) generiert. Abschließend erfolgen im Rahmen eines Fazits die Zusammenfassung der relevanten Ergebnisse sowie Anregungen zum Forschungsbedarf für weiterführende Studien.

¹⁷⁶ Technische Hochschule Köln, Bibliothek; Universitätsbibliothek Köln; Universitätsbibliothek Essen.

¹⁷⁷ Vgl. hierzu das Literaturverzeichnis. Da eine Studie wie die im Vergleich vom BMVBS (2013) erstellte Publikation zur DIN 1076 für die Ril 804 nicht vorliegt, werden in der vorliegenden Studie primär die Angaben der DIN 1076 nach BMVBS (2013) für die handnahe Bauwerksprüfung von Straßenbrücken thematisiert.

¹⁷⁸ Die einzelnen Phasen wurden in der beim BMVI eingereichten Projektskizze jeweils als Arbeitspakete (AP 1 bis AP 4) bezeichnet.

2 Ist-Analyse

Im Rahmen der Ist-Analyse (Arbeitspaket 1) werden alle erforderlichen Einflussparameter (AP 1–AP 13) behandelt, um zunächst ein Gesamtbild der gegenwärtigen Situation des zu erarbeitenden Themas zu erhalten sowie die Bereitstellung der Liefergegenstände gemäß PMI-Standard¹⁷⁹ zu gewährleisten.

Tabelle 1: Arbeitspakete der Ist-Analyse

Quelle: Eigene Darstellung.

Arbeitspakete	Ist-Analyse
AP 1	2.1 Aufnahme der Stakeholder
AP 2	2.2 Datenbestände des Bundes
AP 3	2.3 Aufnahme der betroffenen IT-Systeme
AP 4	2.4 Aufnahme der relevanten Geschäftsprozesse
AP 5	2.5 Organisationen Kritischer Infrastrukturen
AP 6	2.6 Selektion der Inspektionsgeräte und Verfahren
AP 7	2.7 Risikoanalyseansätze Kritischer Infrastrukturen
AP 8	2.8 Dokumentation bestehender Untersuchungen
AP 9	2.9 Management Kritischer Infrastrukturen
AP 10	2.10 Aufnahme der Dokumentation
AP 11	2.11 Aufnahme der Hardware und Software
AP 12	2.12 Aufnahme der Sensorik
AP 13	2.13 Gesetzliche Rahmenbedingungen
	2.14 Zusammenfassung

2.1 Aufnahme der Stakeholder

Stakeholder sind Individuen und/oder Organisationen/Gruppen, welche direkt an einem Projekt beteiligt sind und/oder deren Interessen als Folge der Projektdurchführung oder des Projektergebnisses positiv oder negativ beeinflusst werden können (indirekte Beteiligung).¹⁸⁰ In der vorliegenden Studie werden interne und externe Stakeholder aus dem Projektumfeld der unbemannten Luftfahrzeugsysteme identifiziert und hinsichtlich ihrer Beziehungen und Erwartungen zum Vorhaben der Studie analysiert.

¹⁷⁹ Vgl. PMI (2013).

¹⁸⁰ Vgl. PMI (2013) S. 30, S. 394; GPM (2014) Bd. 1, S. 71 f.

2.1.1 Interne Stakeholder

Im folgenden Abschnitt werden zunächst die internen Stakeholder beschrieben, welche direkt an der Konzeption respektive Förderung der Studie beteiligt sind.

Green Excellence GmbH

Die Green Excellence GmbH mit Sitz in Düsseldorf, welche den Förderantrag beim Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) für die vorliegende Studie gestellt hat, ist insbesondere auf die Beratung von Energieversorgern (Strom, Gas, Wasser) und Netzbetreibern spezialisiert. Die Beratungsdienstleistungen umfassen neben der Organisation und Reorganisation das Geschäfts- und Prozess-/Projektmanagement sowie die Projektentwicklung von Innovationen in den Bereichen der Energieerzeugung (Erneuerbare Energien), Energieübertragung und Energieverteilung. Gemeinsam mit den Fachgebieten Anlagen und Hochspannungstechnik sowie Wirtschaftsinformatik der Universität Kassel wurden Innovationsprojekte zur Thematik „Inspektionen von Freileitungen unter dem Einsatz von Unmanned Aerial Systems (UAS)“ aufgesetzt, welche in der Wertschöpfungskette der Energiewirtschaft disruptive Entwicklungen erwarten lassen. Bei der Umsetzung von Innovationsthemen stellt die Green Excellence GmbH im Rahmen einer interdisziplinären Ausrichtung neben der Informatik, Betriebswirtschaftslehre und Elektrotechnik zunehmend die Integration juristischer Themenstellungen in den Scope ihrer Projekte.¹⁸¹

PRETHERM GmbH

Die PRETHERM GmbH mit Sitz in Berlin berät öffentliche und privatwirtschaftliche Kunden von Ver- und Entsorgungseinrichtungen, Verkehrsnetzen und der öffentlichen Verwaltung. Aufgrund der komplexen rechtlichen, technischen und wirtschaftlichen Grundlagen der verschiedenen Infrastrukturbereiche konzentriert sich die PRETHERM GmbH auf die Gebiete Verkehrsinfrastruktur und Kritische Infrastrukturen (KRITIS) sowie auf die Prozessoptimierung hinsichtlich der Ausgestaltung von IT-Landschaften ihrer Kunden.¹⁸² Im Rahmen der Studie unterstützt die PRETHERM GmbH die Bearbeitung der Arbeitspakete zur Themenstellung „Kritische Infrastrukturen“.

SPIE SAG GmbH

Die SPIE SAG GmbH, einem Infrastrukturdienstleister mit Hauptsitz in Ratingen und über 100 Standorten in Deutschland, gehört zu den führenden herstellerunabhängigen Service- und Systemlieferanten für Strom-, Gas- und Wassernetze sowie für Anlagen der Erzeugung, Bereitstellung und Anwendung von Energie und Medien. Kunden der SPIE SAG GmbH sind regionale und kommunale Energieversorger, Industrieunternehmen, Kraftwerksbetreiber und

¹⁸¹ Vgl. Green Excellence GmbH; Utility Copters.

¹⁸² Vgl. Pretherm GmbH.

Verkehrsbetriebe.¹⁸³ Das Tochterunternehmen Bohlen & Doyen ist im Bereich des Spezialtief- und Infrastrukturbaus, Wasserbaus und der HDD-Technik tätig.¹⁸⁴ Die SPIE SAG GmbH hat mit der Unterzeichnung eines LOI (Letter of Intent) das vorliegende Projektkonzept befürwortet und ihr Interesse an den Forschungsergebnissen signalisiert. Es erfolgt allerdings keine aktive Beteiligung des Unternehmens an der Projektstudie, weder in finanzieller noch in personeller Hinsicht.

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur

Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), welches die vorliegende Studie fördert, umfasst neun Abteilungen mit ca. 1.245 Mitarbeitern, wovon ca. 693 in Bonn, ca. 552 in Berlin und bis zu 15 im Ausland tätig sind. Zu diesen Abteilungen gehören die Abteilung Leitung, Kommunikation, welche unmittelbar dem Minister untersteht, mit der Unterabteilung Strategische Planung, Koordinierung für die Verantwortung politischer Vorhaben, die Zentralabteilung für administrative Aufgaben, die Abteilung Bundesfernstraßen für den Erhalt und Ausbau des Straßennetzes mit besonderem Schwerpunkt der Brückenerhaltung, die Abteilung Straßenverkehr, die Abteilung Eisenbahnen, die Abteilung Grundsatzangelegenheiten für die bedarfsgerechte Planung der Bundesverkehrswege, die Abteilung Digitale Gesellschaft betreff der Digitalisierung der Infrastrukturen (Smart Living), die Abteilung Luftfahrt für Angelegenheiten des nationalen und internationalen Luftverkehrs und der Luftverkehrspolitik, der Flughäfen und der Sicherheit in der Luftfahrt und schließlich die Abteilung Wasserstraßen, Schifffahrt für den Erhalt und Ausbau der Bundeswasserstraßen.¹⁸⁵

Innerhalb der Abteilung Digitale Gesellschaft ist die Forschungsinitiative mFund (Modernitätsfonds) angesiedelt, in deren Rahmen seit 2016 Forschungs- und Entwicklungsprojekte von der Idee bis zur Entwicklung von Gründern, Startups, Unternehmen, Behörden und Hochschulen im Bereich der Mobilität auf Basis digitaler Daten gefördert werden. Eine Forschungsgrundlage für die Projekte bilden die Datenbestände des Bundes (Mobilitäts-, Geo-, Wetterdaten) in der Rechercheplattform mCLOUD, welche das BMVI zur Verfügung stellt.¹⁸⁶

TÜV Rheinland Consulting GmbH

Die TÜV Rheinland Consulting GmbH mit Sitz in Köln unterstützt öffentliche Auftraggeber bei der Abwicklung von Förder- und Forschungsprogrammen und übernimmt das fachliche und/oder finanzielle-administrative Controlling. Der Fokus liegt auf den Themenbereichen Mobilität, Verkehrstechnologie, Energie sowie Informations- und Kommunikationstechnologie. Die TÜV Rheinland Consulting GmbH ist u.a. Projektträger für das Programm zur Förderung von Forschung und Entwicklung des „Modernitätsfonds“ mFUND des BMVI.¹⁸⁷

¹⁸³ Vgl. SPIE SAG GmbH.

¹⁸⁴ Vgl. SPIE SAG GmbH.

¹⁸⁵ Vgl. BMVI.

¹⁸⁶ Vgl. mCLOUD; BMVI (2016c).

¹⁸⁷ Vgl. TÜV Rheinland Consulting GmbH.

VDI/VDE Innovation + Technik GmbH

Die VDI/VDE Innovation + Technik GmbH mit Hauptsitz in Berlin und weiteren Standorten in München, Dresden, Stuttgart und Bonn sowie Repräsentanzen in den USA, Chile, Argentinien, Peru und Frankreich unterstützt Auftraggeber aus Bund und Ländern als Projektträger bei der Gestaltung und Durchführung von Fördermaßnahmen in den Bereichen Verkehr, nachhaltige Mobilität und Energieeffizienz. Im Unternehmen arbeiten ca. 480 Mitarbeiter, welche die Fachgebiete Natur-, Sozial-, Wirtschafts-, Ingenieur- und Rechtswissenschaften abdecken. Zusammen mit der TÜV Rheinland Consulting GmbH übernimmt die VDI/VDE-IT die Projektträgerschaft im mFUND.¹⁸⁸

2.1.2 Externe Stakeholder

Zu den externen Stakeholdern, die im Folgenden aufgeführt werden, gehören Behörden, welche für Aufgaben der Bereiche Straßen-, Eisenbahn- und Flugverkehr, Kritische Infrastrukturen, Informationstechnik und Materialprüfung zuständig sind, Forschungszentren und universitäre Einrichtungen, welche sich der Forschung von UAS, der Rechtsinformatik und des Data Science widmen, Verbände zum Zweck der Förderung von UAS, Infrastrukturbetreiber sowie Unternehmen, welche UAS entwickeln und herstellen. Die wachsende Bedeutung der UAS spiegelt sich in den mittlerweile zahlreich entstandenen Verbänden, Forschungseinrichtungen und Unternehmen wider, welche sich mit der technischen Weiterentwicklung und den Einsatzmöglichkeiten von UAS auseinandersetzen, sowie in den geförderten Forschungsprojekten, u.a. des BMVI. Auf eine Vollständigkeit aller Stakeholder, wie ursprünglich vorgesehen, insbesondere bezüglich der angrenzenden Themenbereiche, wie IT oder Recht sowie Hersteller von UAS, wird daher in der vorliegenden Studie kein Anspruch erhoben.¹⁸⁹ So hat das Hamburger Beratungsunternehmen Drone Industry Insights (DRONEII) im Jahre 2018 die „Drone Market Environment Map 2018“ publiziert, welche bereits 1.000 Unternehmen aufführt, wie u.a. Plattformhersteller, Serviceanbieter, Softwarehersteller, Universitäten, Institute und Forschungseinrichtungen, die sich mit der Thematik „Drohnen“ beschäftigen.¹⁹⁰

Behörden

Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe

Das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) ist eine Bundesoberbehörde im Geschäftsbereich des Bundesministeriums des Innern (BMI), welches ca. 300 Mitarbeiter beschäftigt, und gilt als zentrales Organisationselement für die Zivile Sicherheit mit Hauptsitz in Bonn und Nebensitz in Bad Neuenahr-Ahrweiler. Da es alle Bereiche der Zivilen Sicherheitsvorsorge berücksichtigt, ist es sowohl Fachbehörde des BMI als auch für

¹⁸⁸ Vgl. VDI/VDE Innovation + Technik GmbH.

¹⁸⁹ Die Identifizierung der Stakeholder erfolgte mittels Internetrecherche.

¹⁹⁰ Vgl. Landrock/Baumgärtel (2018) S. 5; Droneii (2018).

die anderen Bundes- und Landesbehörden beratend und unterstützend tätig.¹⁹¹ Neben der Abteilung Zentrale Dienste umfasst das BBK folgende vier Abteilungen, welche in Referate gegliedert sind: Krisenmanagement (u.a. Grundlagen und IT-Verfahren, Warnung der Bevölkerung), Risikomanagement, Internationale Angelegenheiten (u.a. Bevölkerungsschutz, Risikomanagement KRITIS), Wissenschaft und Technik (u.a. Forschung, Schutz der Gesundheit, Fahrzeugtechnik und Beschaffung) sowie Zivilschutzausbildung, Akademie für Krisenmanagement, Notfallplanung und Zivilschutz.¹⁹²

Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik

Das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) ist eine obere Bundesbehörde im Geschäftsbereich des Bundesministeriums des Innern (BMI) mit Hauptsitz in Bonn, welches acht Abteilungen mit über 900 Mitarbeitern umfasst. Hierzu gehören die Abteilungen Zentrale Aufgaben, Technik-Kompetenzzentren, Krypto-Technik und IT-Management, Operative Cyber-Sicherheit, Standardisierung und Zertifizierung, Cybersicherheit in der Digitalisierung und für elektronische Identitäten, Beratung für Bund, Länder und Kommunen sowie Cyber-Sicherheit für Wirtschaft und Gesellschaft. Das BSI versteht sich als nationale Cyber-Sicherheitsbehörde mit dem Ziel, einen sicheren Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnik in der Gesellschaft zu gewährleisten.¹⁹³

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung

Die 1871 gegründete Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), in der über 1.700 Mitarbeiter beschäftigt sind, ist eine wissenschaftlich-technische Bundesoberbehörde im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) mit Hauptsitz in Berlin Lichterfelde/Steglitz sowie Zweigstellen in Berlin Adlersdorf und in der Fabbeckstraße. Die BAM umfasst die elf Abteilungen Analytische Chemie, Referenzmaterialien, Chemische Sicherheitstechnik, Gefahrgutumschließungen, Material und Umwelt, Werkstofftechnik, Materialschutz und Oberflächentechnik, Bauwerkssicherheit, Zerstörungsfreie Prüfung, Komponentensicherheit, Qualitätsinfrastruktur sowie Zentrale Dienstleistungen. Diese Abteilungen sind wiederum in Fachbereiche und Referate gegliedert. Folgende Aufgaben werden von der BAM wahrgenommen: Weiterentwicklung von Sicherheit in Technik und Chemie, Durchführung und Auswertung physikalischer und chemischer Prüfungen von Stoffen und Anlagen, Förderung des Wissens- und Technologietransfers in den Arbeitsgebieten der BAM, Mitarbeit bei der Entwicklung gesetzlicher Regelungen, wie Sicherheitsstandards und Grenzwerte, sowie Beratung der Bundesregierung, der Wirtschaft sowie der nationalen und internationalen Organisationen im Bereich der Materialtechnik und Chemie.¹⁹⁴

¹⁹¹ Vgl. BBK.

¹⁹² Vgl. BBK.

¹⁹³ Vgl. BSI.

¹⁹⁴ Vgl. BAM.

Bundesanstalt für Straßenwesen

Die 1951 gegründete Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) in Bergisch Gladbach ist ein technisch-wissenschaftliches Forschungsinstitut des BMVI, an dem ca. 400 Mitarbeiter beschäftigt sind. Die Aufgaben umfassen die Planung, Koordinierung und Durchführung mehrjähriger Forschungsprojekte zu den Themen Straßenbau, Brücken- und Ingenieurbau, Verkehrstechnik, Fahrzeugtechnik sowie Verhalten und Sicherheit. Darüber hinaus führt sie Beratungs-, Gutachter-, Prüfungs-, Zertifizierungs- und Zulassungstätigkeiten aus, arbeitet führend im Netzwerk der nationalen und europäischen Spitzenforschungsinstitute auf dem Gebiet des Straßenwesens und wirkt weltweit maßgeblich bei der Ausarbeitung von Vorschriften und Normen mit.¹⁹⁵

Bundesaufsichtsamt für Flugsicherung

Das Bundesaufsichtsamt für Flugsicherung (BAF) ist eine deutsche Bundesoberbehörde im Geschäftsbereich des BMVI mit Sitz in Langen. Es ist in die fünf Referate Wirtschaftsaufsicht, Luftraum, Flugverfahren und Recht, Sicherheitsaufsicht und Flugsicherungstechnik, Sicherheitsaufsicht, Flugsicherungsorganisationen und Flugsicherungspersonal sowie in die Zentrale Verwaltung gegliedert. Die beiden Stabstellen Presse- und Öffentlichkeitsarbeit sowie Internationales sind direkt der Leitung der Behörde zugeordnet. Das BFA, welches ca. 100 Mitarbeiter beschäftigt, hat die Aufsicht über die zivilen Flugsicherungsorganisationen, inwieweit diese die geltenden Bestimmungen und hohen Sicherheitsstandards einhalten, sowie über die Flugsicherungstechnik. Ferner ist das Verbindungsbüro Militärische Flugsicherung im BAF angegliedert, welches die zivil-militärische Kooperation im Bereich der Flugsicherung gewährleistet.¹⁹⁶

Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung

Die Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung (BFU) mit Sitz in Braunschweig ist eine Bundesoberbehörde im Geschäftsbereich des BMVI. Sie umfasst eine Untersuchungseinheit sowie drei Fachbereiche, in denen ca. 35 Mitarbeiter tätig sind: Fachbereich 1 zur Untersuchung von Speicherauswertungen, Fachbereich 2 für Grundsatzangelegenheiten, Statistik und IT sowie Fachbereich 3 für Verwaltungsaufgaben. Die BFU untersucht Unfälle und schwere Störungen beim Betrieb von Luftfahrzeugen in Deutschland und ermittelt deren Ursachen. Die mittels von Berichten erfassten Untersuchungen und Sicherheitsempfehlungen dienen der Verhütung künftiger Unfälle und Störungen.¹⁹⁷

¹⁹⁵ Vgl. BASt.

¹⁹⁶ Vgl. BAF.

¹⁹⁷ Vgl. BFU.

Eisenbahn-Bundesamt

Das Eisenbahn-Bundesamt (EBA) mit Hauptsitz in Bonn und weiteren zwölf Außenstellen an 15 Standorten ist eine selbständige deutsche Bundesoberbehörde, welche der Fach- und Rechtsaufsicht des BMVI unterliegt. Es ist die deutsche Aufsichts-, Genehmigungs- und Sicherheitsbehörde für Eisenbahnen und Eisenbahnverkehrsunternehmen und organisatorisch der Zertifizierungs- und Inspektionsstelle Eisenbahn-Cert (EBC) angegliedert. Das EBA umfasst mit ca. 1.250 Mitarbeitern, wovon 450 in Bonn tätig sind, neben der Zentrale und dem Leitungsstab die vier folgenden Abteilungen, welche sich in Referate untergliedern: Zentralabteilung, Infrastruktur, Fahrzeuge und Betrieb, Finanzierung sowie Planfeststellung, Umwelt, Fahrgastrechte. Zu den Aufgaben gehören die Planfeststellung für Betriebsanlagen der Eisenbahnen des Bundes, die Zulassung von Fahrzeugen und Schieneninfrastruktur, die Eisenbahnaufsicht und die Bewilligung von Fördermitteln für Investitionen in die Schieneninfrastruktur sowie die Durchsetzung europäischer Fahrgastrechte im Bus-, Eisenbahn- und Schiffsverkehr.¹⁹⁸

Luftfahrt-Bundesamt

Das Luftfahrt-Bundesamt (LBA), welches ca. 1.000 Mitarbeiter beschäftigt, ist die Bundesoberbehörde für die zivilen Aufgaben der zivilen Luftfahrt in Deutschland im Geschäftsbereich des BMVI und in fünf Abteilungen organisiert: Technik/Umweltschutz, Betrieb (u.a. Luftbetrieb, Luftverkehrssicherheit), Luftfahrtpersonal, Luftsicherheit (u.a. Grundsatz- und Rechtsangelegenheiten) sowie Zentrale Dienste, welche wiederum in Referate gegliedert sind. Neben dem Hauptsitz in Braunschweig sind Außenstellen in Berlin, Düsseldorf, Frankfurt, Hamburg, München und Stuttgart vertreten. Das LBA nimmt mehr als 100 Zulassungs-, Genehmigungs- und Aufsichtsfunktionen wahr, um den hohen Sicherheitsstandard der Luftfahrt in Deutschland zu gewährleisten.¹⁹⁹

Straßenbauverwaltungen der Länder

Die Straßenbauverwaltungen der einzelnen Bundesländer sind als Baulastträger respektive als Auftragnehmer für die Sicherheit und Ordnung der Ingenieurbauwerke nach DIN 1076 sowie für die Durchführung der Bauwerksprüfungen verantwortlich. Sie sind in den einzelnen Bundesländern unterschiedlich organisiert, wobei die oberste Behörde stets das jeweilige Landesministerium ist. Die Organisation der Bauwerksprüfung der Ingenieurbauwerke wird von den jeweiligen Straßenbauverwaltungen eigenständig und von den einzelnen Ländern unabhängig festgelegt. Die Aufgaben werden je nach Bundesland zentral oder dezentral organisiert.²⁰⁰

¹⁹⁸ Vgl. EBA.

¹⁹⁹ Vgl. LBA.

²⁰⁰ Vgl. BMVBS (2013) S. 21 ff. Tab. 1; Mertens (2015) S. 15, S. 30 f.

Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes

Die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV), in der bundesweit ca. 11.000 Mitarbeiter tätig sind, gehört zum Geschäftsbereich des BMVI und gliedert sich in die Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (GDWS) mit Dienstsitz in Bonn, die 39 bundesweit vertretenen Wasserstraßen- und Schifffahrtsämter sowie die sieben Wasserstraßen-Neubauämter in Aschaffenburg, Berlin, Datteln, Hannover, Heidelberg, Helmstedt und Magdeburg. Die WSV unterhält und betreibt u.a. 315 Schleusenanlagen, über 300 Wehre, zwei Schiffshebewerke, 1.300 Straßen- und Bahnbrücken sowie zwei Talsperren. Darüber hinaus ist sie für die Unterhaltung, den Betrieb sowie den Aus- und Neubau von Bundeswasserstraßen zuständig, einschließlich der behördlichen Genehmigungsverfahren. Sie agiert u.a. als Strompolizei- und Schifffahrtspolizeibehörde sowie als Bauaufsichtsbehörde.²⁰¹

Verbände

Branchenverband Zivile Drohnen e.V.

Der Branchenverband Zivile Drohnen e.V. (BVZD) mit Sitz in Berlin hat das Ziel, die Industrie der UAS wirtschaftlich zu fördern, die Flugsicherheit in Abgleich mit anderen Verkehrsteilnehmern zu erhöhen sowie politische Rahmenbedingungen positiv auszugestalten.²⁰²

Bundesverband Copter Piloten e.V.

Der Bundesverband Copter Piloten e.V. (BVCP) mit Sitz in Köln gilt im deutschsprachigen Raum als größter Dachverband für Copter-Piloten als Steuerer von UAV und Unternehmen, die sich für die Entwicklung, Herstellung, den Vertrieb und Betrieb von UAV widmen. Neben der Wahrnehmung der Interessen von Copter-Piloten soll der Einsatz von Multicoptern bzw. UAV zu gewerblichen oder privaten Zwecken in Deutschland gefördert werden. Darüber hinaus soll das Sicherheits- und Schutzbedürfnis der Allgemeinheit mit den unterschiedlichen Interessen wirtschaftlicher Unternehmen, Behörden und privater Nutzer vereint werden.²⁰³

Bundesverband für unbemannte Systeme e.V.

Der Bundesverband für unbemannte Systeme e.V. (BUVUS) in Hamburg versteht sich als Interessenvertretung hinsichtlich der Anwendung unbemannter Systeme und deren Fortschritt. Zur Zielgruppe gehören alle Personen, welche in Beziehung zur unbemannten Technologie stehen, indem sie mit dieser arbeiten, sie erforschen, nutzen oder fördern. Der Unternehmensverband vertritt die Interessen der Mitglieder gegenüber der Politik, Behörden und Öffentlichkeit.²⁰⁴

²⁰¹ Vgl. WSV.

²⁰² Vgl. BVZD e.V.

²⁰³ Vgl. BVCP e.V.

²⁰⁴ Vgl. BUVUS e.V.

Civil Use of Remotely Piloted Aircraft Systems e.V.

Der Verband Civil Use of Remotely Piloted Aircraft Systems e.V. (CURPAS) wurde zur Förderung der zivilen Nutzung, Forschung und Entwicklung unbemannter Systeme (vor allem Flugsysteme) in der Region Brandenburg/Berlin und darüber hinaus gegründet. Er besteht aus Unternehmen und wissenschaftlichen Einrichtungen, die überwiegend in der Region Brandenburg/Berlin ansässig sind, mit dem Ziel, Innovationen in unbemannten Systemen weiterzuentwickeln.²⁰⁵

Verband für unbemannte Luftfahrt e.V.

Der Verband für unbemannte Luftfahrt e.V. (UAV DACH e.V.) in Braunschweig versteht sich als nationaler und europäischer Interessenvertreter zur Integration von unbemannten Luftfahrzeugsystemen in den zivilen europäischen Luftraum gegenüber der Öffentlichkeit, Politik und anderen Verbänden. Zu den über 170 Mitgliedern aus Deutschland, Österreich, der Schweiz, den Niederlanden und Italien gehören Forscher, Entwickler, Hersteller, Anwender, Nutzer, Dienstleister und Vereine. Der Verband unterbreitete dem BMVI mehrfach Vorschläge für sicherheitsorientierte Regeln im Luftrecht für unbemannte Luftfahrzeugsysteme.²⁰⁶

Verband Unbemannte Luftfahrt

Der Verband Unbemannte Luftfahrt (VUL) im Haus der Luftfahrt in Berlin ist eine gemeinsame Initiative des Bundesverbandes der Deutschen Luftverkehrswirtschaft (BDL) und des Bundesverbandes der Deutschen Luft- und Raumfahrtindustrie (BDLI), welcher sich vorrangig mit der Zulassung kommerziell genutzter UAS und deren Integration in das bestehende Luftverkehrssystem auseinandersetzt.²⁰⁷

Verein zur Förderung der Qualitätssicherung und Zertifizierung der Aus- und Fortbildung von Ingenieurinnen/Ingenieuren der Bauwerksprüfung e.V.

Der Verein zur Förderung der Qualitätssicherung und Zertifizierung der Aus- und Fortbildung von Ingenieurinnen/Ingenieuren der Bauwerksprüfung e.V. (VFIB) mit Sitz in München hat die Zielsetzung, mit den Baulastträgern und Ingenieurbüros ein hohes Qualitätsniveau im Rahmen der Bauwerksprüfung zu erreichen und zu wahren. Hierfür werden sowohl Lehrgänge angeboten als auch zweimal im Jahr eintägige Fachtagungen durchgeführt.²⁰⁸

²⁰⁵ Vgl. CURPAS e.V.

²⁰⁶ Vgl. UAV Dach e.V.; Giumulla/van Schyndel/Friedl (2018) S. 3.

²⁰⁷ Vgl. VUL.

²⁰⁸ Vgl. VFIB e.V.

Forschungszentren

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum

Das Deutsche Fernerkundungsdatenzentrum (DFD) im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) mit Standorten in Oberpfaffenhofen bei München und in Neustrelitz besteht aus den folgenden sieben Abteilungen: Dynamik der Landoberfläche, Atmosphäre, Georisiken und zivile Sicherheit, Informationstechnik, Nationales Bodensegment, Internationales Bodensegment sowie Wissenschaftskommunikation und Visualisierung. Mit seinen nationalen und internationalen Bodenstationen ermöglicht es den unmittelbaren Zugang zu den Daten nationaler und internationaler Erdbeobachtungssatelliten, prozessiert diese Daten zu Informationen und sichert sie langfristig im Deutschen Satellitendatenarchiv (D-SDA). Zusammen mit dem Institut für Methodik der Fernerkundung (IMF) des DLR bildet es das Earth Observation Center (EOC). Neben dem Satellitendatenarchiv betreibt es zudem das Weltdatenzentrum für Fernerkundung der Atmosphäre (WDC-RSAT) und das Zentrum für satellitengestützte Kriseninformation (ZKI).²⁰⁹

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Earth Observation Center

Das Earth Observation Center (EOC) im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), welches ca. 400 Mitarbeiter beschäftigt, mit Standorten in Oberpfaffenhofen bei München, Neustrelitz und Berlin-Adlershof sowie einer Außenstelle in Bremen gilt als das Kompetenzzentrum für Erdbeobachtung in Deutschland und wird vom Institut für Methodik der Fernerkundung (IMF) und dem Deutschen Fernerkundungsdatenzentrum (DFD) gebildet.²¹⁰

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Institut für Flugsystemtechnik

Am Institut für Flugsystemtechnik (FT) im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Standort Braunschweig, arbeiten ca. 170 Mitarbeiter in den folgenden fünf Abteilungen: Flugdynamik und Simulation, Hubschrauber, Unbemannte Luftfahrzeuge, Flugversuchstechnik und IT sowie Sichere Systeme und Systems Engineering. Zu den Forschungsschwerpunkten der Abteilung „Unbemannte Luftfahrzeuge“ gehören die Flugregelungs- und Missionsteuerungslösungen mit sehr unsicheren System- und Umgebungseigenschaften, die Sensorfusion und Umweltwahrnehmung mit Kamera und Laser als Sensor in der Flugsteuerung sowie systemtechnische Lösungen bei geringem Platzbedarf unbemannter hoch automatisierter Luftfahrzeuge.²¹¹

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Institut für Datenwissenschaften

Am Institut für Datenwissenschaften in Jena, welches dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) angegliedert ist, werden Konzepte zur Verwaltung, Integration, Verarbeitung, Analyse und Aufbereitung großer Datenmengen erforscht und entwickelt, um eine

²⁰⁹ Vgl. DLR, DFD.

²¹⁰ Vgl. DLR, EOC.

²¹¹ Vgl. DLR, FT.

effektive und effiziente Nutzung dieser Daten zu ermöglichen. Darüber hinaus beschäftigt sich das Institut mit Themenstellungen im Rahmen der Digitalisierung, wie Industrie 4.0, Internet der Dinge und IT-Sicherheit. Das im Jahr 2017 gegründete Institut gliedert sich in die Fachbereiche Datenmanagement und Datenanalyse, Softwaresysteme für die Digitalisierung, IT-Sicherheit sowie Bürgerwissenschaften.²¹²

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Institut für Methodik der Fernerkundung

Das Institut für Methodik der Fernerkundung (IMF) im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) hat Standorte in Oberpfaffenhofen bei München, Berlin-Adlershof, Neustrelitz sowie eine Außenstelle in Bremen und leitet die folgenden vier Fachabteilungen: Atmosphärenprozessoren, Fotogrammetrie und Bildanalyse, Experimentelle Verfahren, SAR (Synthetic Aperture Radar) Signalverarbeitung und EO (Earth Observation) Data Science. Am Institut werden Algorithmen und Methoden entwickelt, um Software-Prozessoren zu konfigurieren, welche relevante Geoinformationen aus Fernerkundungsdaten extrahieren. Das IMF betreibt Kalibrieranlagen für optische Instrumente und Spektrometrielabore, welche die Basis für den bestmöglichen Einsatz von Fernerkundungsdaten ermöglichen.²¹³

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Institut für Optische Sensorsysteme

Das Institut für Optische Sensorsysteme am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) mit Sitz in Berlin erforscht und entwickelt aktive und passive optische Sensorsysteme für die Raumfahrt, fliegende Plattformen und robotische Systeme. Zu den aktiven laserbasierten Sensoren gehören u.a. Spektrometer, Datenübertragungsinstrumente und Interferometer. Passive Sensoren sind spektral und räumlich hochauflösende Systeme, wie z. B. Spektrometer, Kameras und Mikroskope oder deren Kombination. Optische Sensorsysteme werden für die Erdbeobachtung, Robotik, Planetenforschung oder den Verkehr und die Sicherheit angewandt.²¹⁴

Hermann Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren e.V.

Die Hermann Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren e.V., welche zwei Geschäftsstellen in Berlin und Bonn sowie Büros in Brüssel, Moskau und Peking umfasst, ist mit über 39.000 Mitarbeitern in 18 Forschungszentren und einem Jahresbudget von 4,5 Milliarden Euro die größte Wissenschaftsorganisation Deutschlands. Sie unterhält die folgenden Forschungsabteilungen: Energie, Erde und Umwelt, Gesundheit, Schlüsseltechnologien, Information & Data Science, Materie sowie Luftfahrt, Raumfahrt und Verkehr. Im Bereich Information & Data Science werden unter anderem die Themen Informationsverarbeitung, Big Data, Data Analytics, Simulation, Modellierung, Bioinformatik, bildgebende Verfahren, Forschungsdaten-Management, High Performance Computing, Robotik, technische sowie biologische Informationssysteme behandelt. In diesem Rahmen wurden neue Institute zu

²¹² Vgl. DLR, Institut für Datenwissenschaften.

²¹³ Vgl. DLR, IMF.

²¹⁴ Vgl. DLR, Institut für Optische Sensorsysteme.

Simulations- und Datentechnologien sowie Cyber-Sicherheit errichtet, ein Zentrum für Informationssicherheit in Saarbrücken ist geplant. Der Forschungsbereich Luftfahrt, Raumfahrt und Verkehr arbeitet eng mit dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) zusammen.²¹⁵

Universitäre Einrichtungen

Bauhaus-Universität Weimar, Institut für konstruktiven Ingenieurbau

Das Institut für konstruktiven Ingenieurbau (IKI) der Fakultät Bauingenieurwesen an der Bauhaus-Universität Weimar setzt sich aus vier Professuren, der versuchstechnischen Einrichtung und dem Erdbebenzentrum zusammen. Unter der Professur Modellierung und Simulation – Konstruktion, an der neben dem Sekretariat, ca. 20 wissenschaftliche Mitarbeiter und studentische Hilfskräfte tätig sind, laufen Forschungsprojekte zu den Themen Massiv- und Verbundbau, Brückenbau und Brückendynamik, Windingenieurwesen und Aerodynamik, Inspektion und Monitoring sowie Extreme Structural Engineering. Hierfür werden moderne Methoden der numerischen Simulation, die Versuchstechnische Einrichtung des Instituts sowie der professureigene Windkanal, unbemannte Fluggeräte zur Bauwerksaufnahme sowie Building Information Modelling (BIM) zur ganzheitlichen Tragwerksüberwachung und Datenspeicherung angewandt.²¹⁶

Hasso-Plattner-Institut Potsdam

Das Hasso-Plattner-Institut (HPI) in Potsdam ist die einzige Fakultät für Digital Engineering in Deutschland und wird als gGmbH von dem Stifter Prof. Hasso Plattner, Mitbegründer und Aufsichtsratsvorsitzender des Software-Konzerns SAP, finanziert. Das Institut besitzt zwölf Fachgebiete, an denen dreizehn Professoren sowie 120 Lehrbeauftragte und wissenschaftliche Mitarbeiter tätig sind: Enterprise Platform und Integration Concepts, Internet Technologien und Systeme, Human Computer Interaction, Digital Health, Computergrafische Systeme, Algorithm Engineering, Systemanalyse und Modellierung, Software-Architekturen, Knowledge Discovery and Data Mining, Informationssysteme, Betriebssysteme und Middleware sowie Business Process Technology. Das Fachgebiet Business Process Technology analysiert und entwickelt neuartige Modelle, Methoden und Werkzeuge zur Unterstützung von wissensintensiven und flexiblen Prozessen, insbesondere unter der Verwendung von Techniken der komplexen Ereignisverarbeitung.²¹⁷

Northern Business School, Institut für unbemannte Systeme

Am Institut für unbemannte Systeme (IuS) an der Northern Business School (NBS) in Hamburg, an dem vier Professoren für die Fachbereiche, Wirtschaft, Recht und Sozialwissenschaften sowie weitere Mitarbeiter tätig sind, werden im Gegensatz zu anderen universitären

²¹⁵ Vgl. Helmholtz-Gemeinschaft e.V.; Helmholtz-Gemeinschaft (2017) S. 3.

²¹⁶ Vgl. Bauhaus-Universität Weimar, IKI.

²¹⁷ Vgl. HPI.

Einrichtungen, wo der Fokus der Erforschung von UAS vor allem auf technische Eigenschaften liegt, wirtschaftliche Aspekte bzw. die Frage nach der Wirtschaftlichkeit ihres Einsatzes, rechtliche und sicherheitstechnische Rahmenbedingungen sowie sozialwissenschaftliche Anliegen, also die Frage nach der Akzeptanz der stetig wachsenden Präsenz von UAS in der Gesellschaft, analysiert.²¹⁸

Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Institut für Flugsystemdynamik

Am Institut für Flugsystemdynamik der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH) Aachen, an welchem ca. 20 Mitarbeiter tätig sind, werden insbesondere die flugsystemdynamische Auslegung und Bewertung automatisierter, unbemannter Flugsysteme sowie deren Steuerung und Regelung erforscht. Hierzu gehören die Modellierung der dynamischen Eigenschaften, speziell von unbemannten Fluggeräten, die Identifikation flugmechanischer Kenngrößen, die Automatisierung für Flugsteuerung, Stabilisierung, Bahnführung, Missionssteuerung und Autonomie, die Optimierung der Flugeigenschaften (Stabilität, Steuerbarkeit, Störverhalten) und -leistungen sowie die Simulation von Flugverhalten (Offline, Real-time, Softwareentwicklung).²¹⁹

Technische Universität Berlin, Institut für Luft- und Raumfahrt

Das Institut für Luft- und Raumfahrt der Technischen Universität Berlin, welches von zwei Professoren geleitet wird, umfasst die folgenden sechs Fachgebiete: Aerodynamik, Flugführung und Luftverkehr, Flugmechanik, Flugregelung und Aeroelastizität, Luftfahrzeugbau und Leichtbau, Luftfahrtantriebe sowie Raumfahrttechnik. Die Forschungsthemen des Fachgebietes Flugmechanik, Flugregelung und Aeroelastizität setzen sich mit der Interaktion Pilot-Flugzeug sowie Simulationsmodellen, den Flugregelgesetzen für unbemannte und bemannte Flugzeuge sowie Flugregelsystemen, der Aeroservoelastik und der Flugsimulation auseinander. Am Institut sind sechs Professoren, zahlreiche wissenschaftliche Mitarbeiter und Lehrbeauftragte beschäftigt. Zudem wird es durch zwei Sektoral-Professuren des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) wissenschaftlich unterstützt.²²⁰

Technische Universität Braunschweig, Institut für Flugführung

Am Institut für Flugführung (IFF) der Technischen Universität Braunschweig, welches von einem Professor geleitet wird, arbeiten ca. 50 Mitarbeiter, wovon 45 wissenschaftlich tätig sind. Zu den Forschungsschwerpunkten gehören Air Traffic Management (ATM), Navigation, Flugführungssysteme und Flugmechanik sowie Fluggestützte Meteorologie und Messtechnik.²²¹ Das Institut entwickelt zurzeit in einem Forschungsprojekt ein steuerbares unbemanntes Flugsystem (UAV), das wie ein Wetterballon eingesetzt werden kann und damit gezielt an einem bestimmten Ort, auch bei schwierigen Wetterbedingungen, Messungen durchgeführt

²¹⁸ Vgl. NBS, IuS.

²¹⁹ Vgl. RWTH Aachen, FSD.

²²⁰ Vgl. Technische Universität Berlin, ILR.

²²¹ Vgl. Technische Universität Braunschweig, IFF.

und Veränderungen in gleicher Höhe untersucht werden können. Das Forschungsprojekt wird vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) im Rahmen von mFUND gefördert.²²²

Technische Universität Darmstadt, Institut für Flugsysteme und Regelungstechnik

Das Institut für Flugsysteme und Regelungstechnik (FSR) der technischen Universität Darmstadt im Fachbereich Maschinenbau, welches derzeit 27 Fachgebiete und Forschergruppen umfasst, hat vier Forschungsfelder: Future Cockpit Concepts, Predictive Maintenance, Sustainable and Efficient Flight Operations und Unmanned Aircraft Systems. In den Forschungsprojekten des Forschungsfeldes „Unbemannte Flugsysteme“ wird derzeit im Rahmen von Forschungsprojekten an technischen Systemen und Verfahren zur Erhöhung der betrieblichen Sicherheit unbemannter Luftfahrzeuge gearbeitet, wozu die Entwicklung innovativer hybrider UAV-Konfigurationen zählt. Darüber hinaus wird an der Integration der UAV in den Luftraum geforscht. Das Institut wird von einem Professor geleitet und beschäftigt ca. 30 Mitarbeiter.²²³

Universität Heidelberg, Institut für Technische Informatik

Das Institut für Technische Informatik (ZITI) der Universität Heidelberg, an dem ca. 60 Mitarbeiter tätig sind, widmet sich dem Verständnis und der Implementierung komplexer informationstechnischer Systeme, wobei es die sechs folgenden Arbeitsgruppen unter der Leitung von sechs Professoren umfasst: Automation, Rechnerarchitektur, Schaltungstechnik und Simulation, Technische Informatik, Optimierung, Robotik & Biomechanik sowie Anwendungsspezifisches Rechnen. Darüber hinaus wurden sechs Arbeitsgruppen eingerichtet: Advanced Computer Architecture, Next Generation Network Interfaces, Rekonfigurierbare und Eingebettete Systeme, Unbemannte Luftfahrzeuge und verlässliche Robotik (Dependable Robotics). Die Forschungsgruppe „Unbemannte Luftfahrzeuge“ entwickelt und testet im Rahmen einer interdisziplinären Kooperation neuartige Steuerungssysteme und Regelungsmethoden, z. B. hinsichtlich Kollisionsvermeidung und Reglerentwurf (Windstabilität), welche die Einsatzrobustheit bzw. -sicherheit von autonomen UAV in verschiedenen Bereichen gewährleisten sollen. Ein weiterer Forschungsschwerpunkt ist der Einsatz von abbildenden Sensoren (Videokameras und Lasersensoren) zur Umweltwahrnehmung.²²⁴

Universität Kassel, Fachgebiet Anlagen und Hochspannungstechnik

An der Universität Kassel wird im Fachgebiet Anlagen und Hochspannungstechnik des Fachbereichs Elektrotechnik/Informatik (FB16) im Rahmen des interdisziplinären Studentenprojektes „UNIKopter“ die Entwicklung, der Bau und Betrieb von Schwebepattformen erforscht,

²²² Aufwertung und Erweiterung meteorologischer Datenerfassung durch Meteorologisches UAV – AEROMET_UAV (Laufzeit: 08/2018–07/2021), vgl. BMVI (o.J.).

²²³ Vgl. Technische Universität Darmstadt, FSR

²²⁴ Vgl. Universität Heidelberg, ZITI.

die als Versuchsträger für unterschiedliche Sensoren und Videoübertragungssysteme dienen.²²⁵ Grundlage hierfür bilden die Module der Mikrokooper.de des Unternehmens HiSystems GmbH.²²⁶ Ein Schwerpunkt der Forschung ist das Monitoring von Hochspannungsleitungen, welche mithilfe von Multicoptern, die mit Kameras ausgerüstet sind, effektiver und kostengünstiger als mit herkömmlichen Methoden überprüft werden können. In dem Projekt werden hierfür die erforderlichen Bedingungen untersucht, wozu die Auflösung und Art von Bildern, die Flugstabilität und Navigation sowie die elektromagnetischen Einflüsse in der Nähe der Freileitungen, welche den Betrieb der Flugplattform beeinträchtigen, gehören. Neben dem leitenden Professor des Fachgebiets und dem Sekretariat sind vier Lehrbeauftragte und fünf wissenschaftliche sowie zwei administrative-technische Mitarbeiter im Fachgebiet Anlagen und Hochspannungstechnik tätig.²²⁷

Universität Kassel, Fachgebiet Wirtschaftsinformatik

Das Fachgebiet Wirtschaftsinformatik im Fachbereich Wirtschaftswissenschaften (FB07) an der Universität Kassel beschäftigt sich insbesondere mit Forschungsthemen des Collaboration Engineering, Digital Business, Digital Transformation, Digitale Arbeit, IT-Innovation & -Management, Service Engineering, Crowdsourcing, Strategisches IT-Management sowie Ubiquitous Computing. Das Themenfeld Digitale Arbeit gilt als eine der führenden Lehrstühle Deutschlands. Neben einem Professor, der zugleich Leiter des Fachgebiets ist, und dem Sekretariat, sind zurzeit 22 wissenschaftliche Mitarbeiter und vier externe Lehrbeauftragte im Fachgebiet Wirtschaftsinformatik beschäftigt.²²⁸

Universität Kassel, Institut Wirtschaftsrecht

Das Institut Wirtschaftsrecht im Fachbereich Wirtschaftswissenschaften (FB07) der Universität Kassel umfasst derzeit neun rechtswissenschaftliche Fachgebiete, darunter öffentliches Recht mit den Schwerpunkten Informations- und Kommunikationsrecht sowie Umwelt- und Energierecht, an denen achtzehn Professoren und Lehrkräfte sowie 71 wissenschaftliche Mitarbeiter und Lehrbeauftragte tätig sind. Im Rahmen des Umwelt- und Energierechts geht es u.a. um die Risikobewertung umweltrelevanter technischer Betriebe, wie z. B. Atom- oder Industrieanlagen. Die Forschungsthemen des Informations- und Kommunikationsrechts beschäftigen sich u.a. mit dem elektronischen Rechtsverkehr und dem Datenschutz.²²⁹

²²⁵ Vgl. Universität Kassel, AHT.

²²⁶ Vgl. HiSystems GmbH.

²²⁷ Vgl. Universität Kassel, AHT.

²²⁸ Vgl. Universität Kassel, Wirtschaftsinformatik.

²²⁹ Vgl. Universität Kassel, Wirtschaftsrecht.

Unternehmen

DB Energie GmbH

Die DB Energie GmbH gehört zu einem der vier Infrastrukturunternehmen (DB Netze) der Deutschen Bahn AG mit 1.700 Mitarbeitern. Als Netzbetreiber verantwortet sie das 7.912 km lange 16,7-Hz-Bahnstromnetz, 177 50-Hz-Verteilernetze im Bahnumfeld sowie die Gleichstromversorgungsanlagen der S-Bahnen Berlin und Hamburg. Damit gewährleistet die DB Energie GmbH eine Energieversorgung der 20.000 Züge, 5.400 Bahnhöfe und Bahnanlagen. Darüber hinaus beliefert die DB Energie GmbH an 190 Tankstellen 7.500 Dieselloks mit Antriebs- und Betriebsstoffen.²³⁰

DB Netz AG

Die DB Netz AG gehört zu einem der vier Infrastrukturunternehmen (DB Netze) der Deutschen Bahn AG und verantwortet ein ca. 33.440 km langes Streckennetz. Damit ist die DB Netz AG mit ca. 41.000 Mitarbeitern der größte Schieneninfrastrukturanbieter in Europa. Neben der Zentrale in Frankfurt am Main ist das Unternehmen in sieben Regionalbereichen in den Städten Berlin, Duisburg, Frankfurt am Main, Hannover, Karlsruhe, Leipzig und München vertreten. Zu ihren Aufgaben gehören neben der Erstellung von Fahrplänen die Betriebsführung, das Baumanagement und die Instandhaltung des Schienennetzes sowie die Weiterentwicklung der bestehenden Schieneninfrastruktur.²³¹ Die DB Netz AG unterhält somit auch die über 25.000 Eisenbahnbrücken, wovon zwischen 2019 und 2023 956 Brücken im Rahmen eines Modernisierungsprogramms teil- oder vollerneuert werden.²³²

Deutsche Flugsicherung GmbH

Die deutsche Flugsicherung GmbH (DFS) mit Sitz in Langen gehört als privatrechtlich organisiertes Unternehmen 100 % dem Bund und ist für die Flugverkehrskontrolle in Deutschland zuständig. Im Auftrag des Bundes nimmt die DFS die Flugsicherungsaufgaben nach dem Luftverkehrsgesetz § 27c (2) wahr. Mit ca. 5.400 Mitarbeitern ist sie insgesamt an 16 internationalen Flughäfen und über die Tochterfirma DFS Aviation Services GmbH an neun Regionalflughäfen vertreten.²³³

Esri Deutschland GmbH

ESRI Inc. (Environmental Systems Research Institute) ist ein US-amerikanischer Softwarehersteller von verschiedenen Geoinformationssystemen, welche unter dem Produktnamen ArcGIS zusammengefasst werden. Distributor für die Produkte von Esri Inc. in Deutschland ist die Esri Deutschland GmbH mit Sitz in Kranzberg sowie Standorten in Berlin, Bonn, Hamburg, Hannover, Köln, Leipzig und Münster, für die Schweiz Esri Schweiz AG in Zürich und Nyon. Die ArcGIS Plattform verwaltet Daten verschiedener Quellen, wie z. B.

²³⁰ Vgl. DB Energie GmbH; DB Netze Infrastruktur (o.J.) S. 7, S. 19.

²³¹ Vgl. DB Netz (2019).

²³² Vgl. Deutsche Bahn (2019b) S. 56.

²³³ Vgl. DFS GmbH.

Bilddaten und Fernerkundung, welche mithilfe von Data Science analysiert und in Form von interaktiven und intuitiven Karten visualisiert werden.²³⁴

Hersteller und Produkte

Dà-Jiāng Innovations Science and Technology Co., Ltd

Dà-Jiāng Innovations Science and Technology Co., Ltd (DJI) ist ein chinesisches Technologieunternehmen mit Hauptsitz in Shenzhen, dem Silicon Valley Chinas, welches sich auf die Entwicklung und Herstellung von UAS, insbesondere Quadrocopter, zur Luftbildfotografie und -videografie spezialisiert hat. Das globale Unternehmen mit mehr als 6.000 Mitarbeitern hat Niederlassungen in den USA, Deutschland (Niederlauer), den Niederlanden, Japan, Beijing und Hong Kong. Die Systeme werden im Bereich der Infrastruktur, der Landwirtschaft, des Naturschutzes, der Such- und Rettungsdienste sowie der Filmindustrie eingesetzt. Kerngeschäft der Produktion bilden Quadrocopter, Hexacopter und Octocopter. Die Serie Matrice 200 ermöglicht mit dem nach oben gerichteten Gimbal (kardanische Aufhängung) u.a. vertikale Inspektionen von Brücken.²³⁵

Intel Corporation

Intel Corporation ist mit ca. 108.000 Mitarbeitern ein US-amerikanischer Halbleiterhersteller mit Hauptsitz in Santa Clara (Silicon Valley), Kalifornien und der Europazentrale in München (Intel Deutschland GmbH). Das Unternehmen ist vor allem aufgrund der Herstellung von PC-Prozessoren bekannt.²³⁶ Im Jahre 2016 hat Intel den deutschen Drohnen-Hersteller Ascending Technologies gekauft.²³⁷ Ascending Technologies gilt als führender Hersteller von Drohnen-Technologie und Entwickler von UAV-Lösungen. Der Oktokopter Intel® Falcon™ 8+ Drohne (AscTec Falcon 8) dient insbesondere dem Einsatz von Luftaufnahmen in der Industrieinspektion.²³⁸

2.2 Datenbestände des Bundes

Im Folgenden werden zunächst einige Begrifflichkeiten im Umfeld von Daten definiert, um anschließend den Aufbau und Inhalt der Datenbestände des Bundes sowie weiterer Datenbanken zu thematisieren und hieraus abzuleiten, inwieweit diese für die vorliegende Studie von Relevanz sind.

²³⁴ Vgl. Esri Deutschland GmbH.

²³⁵ Vgl. SZ DJI Technology Co., Ltd.

²³⁶ Vgl. Intel Corporation.

²³⁷ Vgl. Ascending Technologies (2016).

²³⁸ Vgl. Intel Deutschland GmbH.

2.2.1 Terminologische Grundlagen

Daten und Informationen

Daten sind Angaben über Sachverhalte und Vorgänge in Form einer Folge von Zeichen, wie Zahlen, Buchstaben und Symbole, die auf der Basis von Regeln in einen Zusammenhang gebracht werden. Erst wenn Daten mit zusätzlichem Kontext angereichert und interpretiert werden, erhalten sie eine Bedeutung, woraus Informationen entstehen.²³⁹ Bei der Datenanalyse werden die Daten in ihre Bestandteile zerlegt, sodass Strukturen, Auffälligkeiten, Regelmäßigkeiten oder Zusammenhänge aufgedeckt werden können, wonach die Analyse ein Prozess ist, bei dem aus Daten Informationen respektive Erkenntnisse erzeugt werden.²⁴⁰ Daten stellen damit die Grundlage und Quelle von Informationen dar. Werden diese entstandenen Informationen wiederum mit anderen Informationen vernetzt, entsteht Wissen.²⁴¹ Wissen wird demnach mithilfe von Daten generiert.

Aufgrund der kontinuierlichen Weiterentwicklung der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) sowie der zunehmenden Digitalisierung hat das Volumen der jährlich generierten (Massen-)Daten (Big Data) zwischen 2005 und 2012 weltweit von 130 auf 2.837 Exabyte zugenommen und wird bis zum Jahr 2020 schätzungsweise auf 40.026 Exabyte ansteigen.²⁴² Unter Big Data Processing wird der Einsatz großer Datenmengen aus vielfältigen Quellen mit einer enormen Verarbeitungsgeschwindigkeit verstanden, um damit wirtschaftlichen Nutzen zu erzeugen.²⁴³ In der Literatur werden Big Data respektive Massendaten mit dem sogenannten 3-V-Modell in Zusammenhang gebracht, wonach Big Data die drei Eigenschaften Volume (Volumen), Velocity (Geschwindigkeit) und Variety (Heterogenität) zugeschrieben werden. Neben dem oben bereits erwähnten Datenvolumen (Volume), wobei immer mehr Daten zur Analyse zur Verfügung stehen, geht es um die Geschwindigkeit von Datenströmen (Velocity), welche mit dem Volumen in unmittelbarer Wechselwirkung steht, sowie um die Verarbeitung von strukturierten, semi- und unstrukturierten Daten mit verschiedenen Formaten und Strukturen aus einer Vielzahl unterschiedlicher Quellen, welche im Gegensatz zu Daten in Datenbanken kein einheitliches Schema aufweisen (Variety).²⁴⁴ Mit unstrukturierten Daten werden jene Daten bezeichnet, welche keinerlei oder nur rudimentäre Ordnungskriterien, wie z. B. eine Feldbezeichnung in einem Dokument oder eine Beschreibung über Form und Inhalt einer Datei, aufweisen.²⁴⁵ Unstrukturierte Daten stammen z. B. aus sozialen Medien, Blogbeiträgen oder Bild- und Videodateien.²⁴⁶ Strukturierte Daten sind dagegen aufgrund ihres Formats und Inhalts eindeutig bestimmbar, wie z. B. Sensordaten.²⁴⁷ Die meisten

²³⁹ Vgl. Krcmar (2015) S. 11 f., S.178; Hansen/Mendling/Neumann (2015) S. 5, S. 425; BVDW (2018) S. 9; Huber (2018) S. 18.

²⁴⁰ Vgl. Dorschel (2015) S. 55; BVDW (2018) S. 9.

²⁴¹ Vgl. Krcmar (2015) S. 12, S.178; BVDW (2018) S. 9.

²⁴² Vgl. Aichele/Schönberger (2017) S. 506 f.; BVDW (2018) S. 7; Huber (2018) S. 18 f.

²⁴³ Vgl. Bitkom (2015) S. 14.

²⁴⁴ Vgl. Dorschel (2015) S. 6 ff., S. 307, S. 308 ff. Aichele/Schönberger (2017) S. 508 f.; Desoi (2018) S. 13 ff.; Huber (2018) S.

22.

²⁴⁵ Vgl. Dorschel (2015) S. 309 f.

²⁴⁶ Vgl. Oettinger (2017) S. 18.

²⁴⁷ Vgl. Oettinger (2017) S. 18, S. 89.

Daten sind semistrukturiert, wobei es sich z. B. um Daten aus Textverarbeitungsprogrammen, pdf-Dateien, Internetseiten (HTML-Daten) oder E-Mails handelt, welche wenige beschreibende Elemente enthalten. In der Regel werden auch diese zu den unstrukturierten Daten gezählt, weil im Rahmen der Analyse von Massendaten der Fokus vor allem auf die inhaltlichen Daten gesetzt wird und diese unstrukturiert sind. Zu den eigentlichen semistrukturierten Daten gehören z. B. XML-Dateien und Daten aus Tabellenverarbeitungsprogrammen.²⁴⁸

Als weiteres Merkmal wird in diesem Rahmen auch die Eigenschaft Veracity (Aufrichtigkeit) aufgeführt, welches sich auf die Richtigkeit, Vollständigkeit und Verlässlichkeit der Dateninhalte bezieht.²⁴⁹ Ziel ist dabei, immer größere Datenmengen verschiedenster Formate zu integrieren und diese in Echtzeit zu verarbeiten, um die richtigen Informationen in der erforderlichen Qualität zur richtigen Zeit zur Verfügung stellen zu können.²⁵⁰ Durch den Mangel eines Schemas, einer einheitlichen Beschreibung oder Datenformats muss bei Massendaten der Informationsinhalt zunächst erkannt und verstanden werden, um hieraus sinnvoll Informationen ableiten zu können.²⁵¹ Hierfür bedarf es geeigneter Analysemethoden (Big Data Analytics).²⁵² Obwohl fast jedes Unternehmen Daten analysiert, nutzen bislang lediglich 13 % innovative Analysen von Daten mit diverser Herkunft und Struktur.²⁵³ Der Umsatz von Big Data ist von 2011 bis 2016 weltweit von 3,4 Milliarden Euro auf 15,7 Milliarden Euro gestiegen.²⁵⁴

Datenwertschöpfung

Informationen zählen zu den immateriellen Wirtschaftsgütern, die trotz mehrfacher Nutzung nicht verbraucht werden, was sie in zunehmendem Maße zu einer wichtigen betrieblichen Ressource macht. Der Wert und die (Daten-)Qualität (Value und Validity) der Informationen sind von der kontextspezifischen und zeitlichen Verwendung abhängig und können durch Hinzufügen, Selektieren, Konkretisieren und Weglassen verändert werden.²⁵⁵ Da Informationen leicht kopierbar sind und sich damit die Durchsetzung von Eigentumsrechten als schwierig erweist, entstehen Risiken für den Datenschutz und für die Datensicherheit.²⁵⁶ Durch die Interpretation und durch die monetäre Verwertung der Daten mithilfe von Informations- und Wissensträgern, welche Informationen in Entscheidungen und Handlungen umsetzen, entsteht eine Wertschöpfung.²⁵⁷

Die Wertschöpfungskette der Datenwirtschaft (Data Economy), welche sich mit der Wandlung von Daten zu Informationen bzw. mit Daten als Wirtschaftsgut beschäftigt, besteht aus

²⁴⁸ Vgl. Dorschel (2015) S. 310.

²⁴⁹ Vgl. Dorschel (2015) S. 8.

²⁵⁰ Vgl. Aichele/Schönberger (2017) S. 507.

²⁵¹ Vgl. Dorschel (2015) S. 307, S. 309.

²⁵² Vgl. Dorschel (2015) S. 55 ff.; Desoi (2018) S. 15, S. 20 ff.

²⁵³ Vgl. BVDW (2018) S. 7.

²⁵⁴ Vgl. BVDW (2018) S. 6.

²⁵⁵ Vgl. Krcmar (2015) S. 15 ff., S. 178.

²⁵⁶ Vgl. Krcmar (2015) S. 16 f.

²⁵⁷ Vgl. Krcmar (2015) S. 16, S. 178.

den folgenden fünf Stufen: Datengewinnung, Datenaufbereitung, Informationsgewinnung, Informationsbereitstellung und Informationsnutzung.²⁵⁸ Die Data Economy thematisiert die „Monetarisierung von Informationen auf Basis gewonnener Daten, welche mit einem Algorithmus zu werthaltigen Informationen transformiert und anschließend auf Basis der betriebswirtschaftlichen Funktionen zugänglich gemacht werden.“²⁵⁹ Auf der Stufe der Informationsgewinnung werden die Daten des eigenen Geschäftsmodells in jene Informationen transferiert, welche für die individuelle Wertschöpfung und damit für die Monetarisierung der Informationen erforderlich sind. Hierbei wird ein mathematisches Modell oder ein logischer Ablaufprozess gebildet, um anschließend das Modell in einen Algorithmus zu modellieren oder einen logischen Prozessablauf zu erstellen und damit die gewünschten Informationen dauerhaft zu erhalten.²⁶⁰ Der Wert einer Information kann sowohl unternehmensspezifisch, also im Kontext des Geschäftsmodells betrachtet, als auch als Marktwert verstanden werden.²⁶¹

Die Wertbemessung von Daten wird in erster Linie durch die Datenstrategie eines Unternehmens und den Grad der Nutzidentifikation bestimmt. Die Datenstrategie eines Unternehmens ist als ein Reifemodell zu sehen und wird nach den folgenden vier Entwicklungsstufen unterschieden: Monitoring sowie Optimierung und Marktdifferenzierung hinsichtlich des unternehmens-spezifischen Wertes sowie Wachstum und Disruption durch neue Erlösquellen sowie Monetarisierung bezüglich des Marktwertes.²⁶² Der Grad der Nutzeridentifikation ist maßgeblich für die Bestimmung des Wertes, wonach registrierungsbasierten Daten ein höherer Wert zugesprochen wird als pseudonymen oder anonymen Daten, allerdings steigen mit der Verwendung von registrierungsbasierten Daten auch die gesetzlichen Bestimmungen und gleichzeitig wird der Handlungsspielraum dieser Daten eingeschränkt.²⁶³ Mithilfe des Informationsqualitätsmanagements lassen sich die Qualität und Aktualität der Daten sowie die Nutzeridentifikation bestimmen, um den Wert der generierten Daten definieren zu können.²⁶⁴

Datenanalyse (Data Science)

Im Rahmen von Data Science geht es um die Anwendung eines Prozesses, welcher darauf abzielt, aus großen Datenmengen Informationen respektive Wissen zu generieren, um damit Maßnahmen für eine mögliche Effizienzsteigerung von Unternehmen ableiten zu können. Hierfür werden sowohl technische Hilfsmittel, wie Datenbanken oder Analysesoftware, als auch theoretische Verfahren, wie Maschinelles Lernen (Machine Learning), Data Mining und statistische Verfahren eingesetzt.²⁶⁵ Maschinelles Lernen ist ein Teilgebiet der künstlichen Intelligenz (KI)²⁶⁶ und Oberbegriff statistischer und mathematischer Verfahren, mit denen IT-

²⁵⁸ Vgl. BVDW (2018) S. 5, S. 10 ff.; Huber (2018) S. 20.

²⁵⁹ BVDW (2018) S. 6.

²⁶⁰ Vgl. BVDW (2018) S. 11.

²⁶¹ Vgl. BVDW (2018) S. 12.

²⁶² Vgl. BVDW (2018) S. 13 ff.

²⁶³ Vgl. BVDW (2018) S. 15 f.

²⁶⁴ Vgl. BVDW (2018) S. 17 f.

²⁶⁵ Vgl. Oettinger (2017) S. 8, S. 85.

²⁶⁶ Als Teilgebiet der Informatik befasst sich die KI mit der Automatisierung künstlichen Verhaltens, wobei der Computer so programmiert wird, dass er eigenständig Probleme lösen kann, vgl. Oettinger (2017) S. 88.

Systeme so programmiert werden, dass sie anhand von Datenbeständen Wissen generieren können, um somit eigenständig Lösungen für Probleme zu entwickeln.²⁶⁷ Data Mining ist der analytische Prozess statistischer Verfahren zur Gewinnung von zusätzlichem Wissen aus vorhandenen Daten, welcher die Auswahl des Datenbestandes und konkreter Daten innerhalb des Bestandes, deren Bereinigung und Aufbereitung sowie die Festsetzung der Zielsetzung und Analysemethoden beinhaltet.²⁶⁸

Als Quellen (Speicherorte) der zu analysierenden Daten können beispielsweise folgende Datenbanken aufgeführt werden: Flatfiles, relationale Datenbanken, Data Warehouses, NoSQL-Datenbanken, Hadoop sowie Cloud-Datenbanken. Flatfiles sind Tabellen oder strukturierte Textdateien, welche aus operativen Systemen, wie z. B. aus ERP-Systemen exportiert oder über Befragungen generiert wurden, wobei es sich zwar nicht um die Verarbeitung von Masendaten handelt, welche aber dennoch für Data Science wichtig sind.²⁶⁹ Relationale Datenbanken (siehe weiter unten) bilden zum Zeitpunkt der Verfassung der vorliegenden Studie die große Mehrzahl in Unternehmen, wozu u.a. ERP- oder CRM-Systeme²⁷⁰ gehören.²⁷¹ SQL²⁷²-Datenbanken dienen der strukturierten Speicherung großer Datenmengen.²⁷³ Data Warehouses sind zentrale Sammlungen von Daten aus verschiedenen Quellen, welche zu Analyse Zwecken angelegt wurden.²⁷⁴ Hadoop ist schließlich eine Komposition verschiedener Softwareprodukte (Softwareframework), mit denen sich rechenintensive Prozesse großer Datenmengen bearbeiten lassen.²⁷⁵ Die genannten Datenquellen können auf Cloud-Datenbanken, welche über das Internet bereitgestellt werden, betrieben werden.²⁷⁶

Zu den Softwarelösungen respektive Analysewerkzeugen, mit denen die Daten untersucht werden können, gehören Programmiersprachen, wie SQL, R, Python und Scala, Data Science Plattformen,²⁷⁷ Machine-Learning-Bibliotheken²⁷⁸ sowie Machine-Learning-Angebote der Cloud-Anbieter,²⁷⁹ von denen es sowohl kommerzielle als auch lizenzkostenfreie (Open-Source) Produkte gibt.²⁸⁰

Im Rahmen der Datenanalyse zur Gewinnung von Erkenntnissen lassen sich verschiedene Verfahren aus den Bereichen der künstlichen Intelligenz (KI), des maschinellen Lernens, des Data-Mining, der Statistik und der Mathematik differenzieren, welche wiederum nach ihren

²⁶⁷ Vgl. Oettinger (2017) S. 88.

²⁶⁸ Vgl. Oettinger (2017) S. 87; Desoi (2018) S. 13.

²⁶⁹ Vgl. Oettinger (2017) S. 13 f.

²⁷⁰ Enterprise Resource Planning (vgl. Kap. 2.3.1) und Customer Relationship Management.

²⁷¹ Vgl. Oettinger (2017) S. 14 f.; zu den führenden Anbietern gehören Oracle, Microsoft, IBM und SAP, vgl. Oettinger (2017) S. 15.

²⁷² Structured Query Language.

²⁷³ Vgl. Oettinger (2017) S. 18 ff., S. 32 ff.

²⁷⁴ Vgl. Oettinger (2017) S. 15 ff.; zu den führenden Anbietern gehören Oracle, Teradata, Microsoft, IBM und SAP, vgl. Oettinger (2017) S. 17.

²⁷⁵ Vgl. Oettinger (2017) S. 20 ff.

²⁷⁶ Vgl. Oettinger (2017) S. 25 ff.

²⁷⁷ Anbieter: Angoss, Dataiku, Domino Data Lab, IBM SPSS Statistics und Modeler, IBM Data Science Experience (DSX), IBM Watson; Softwareprodukte: KNIME, MathWorks – Matlab, Microsoft R, Quest Statista, RapidMiner, BOPA von SAP, SAS Institute, Weka, vgl. Oettinger (2017) S. 42 ff.

²⁷⁸ Sammlungen von Algorithmen, welche Machine-Learning-Funktionalitäten bereitstellen, wie Apache Mahout, Spark MLlib, SparkR (R on Spark), H₂O.ai, Fuzzy Logix, MXNet, Tensorflow u.a., vgl. Oettinger (2017) S. 64 ff.

²⁷⁹ Anbieter: Amazon Web Services (AWS), Microsoft – Azure, IBM Watson, vgl. Oettinger (2017) S. 75 ff.

²⁸⁰ Vgl. Oettinger (2017) S. 31 ff.

Aufgaben und ihrer Absicht unterschieden werden können: Klassifikation, Vorhersage/Prognose, Segmentierung sowie Abhängigkeits- und Abweichungsanalyse.²⁸¹ Darüber hinaus lässt sich im Bereich des maschinellen Lernens zwischen überwachtem Lernen (supervised Learning), bei dem die vorliegenden Daten bereits ein Ergebnis enthalten, und unüberwachtem Lernen (unsupervised Learning), wobei es um das Verstehen der vorliegenden Daten geht, unterscheiden. Zu ersterem können Klassifikation und Prognose, zu letzterem Segmentierung, Abhängigkeits- und Abweichungsanalyse zugeordnet werden. Die genannten Verfahren eignen sich grundsätzlich für die Analyse strukturierter Daten.²⁸² Die Untergliederung der verschiedenen Absichten dient dazu, die zu analysierenden Daten vorzubereiten, um ein geeignetes statistisches Verfahren zur Datenanalyse auszuwählen.²⁸³ So kann z. B. für die Festlegung der Daten nach Klassen oder Kategorien anschließend die Diskriminanzanalyse angewandt werden, wonach Gruppen unterschieden werden können.²⁸⁴

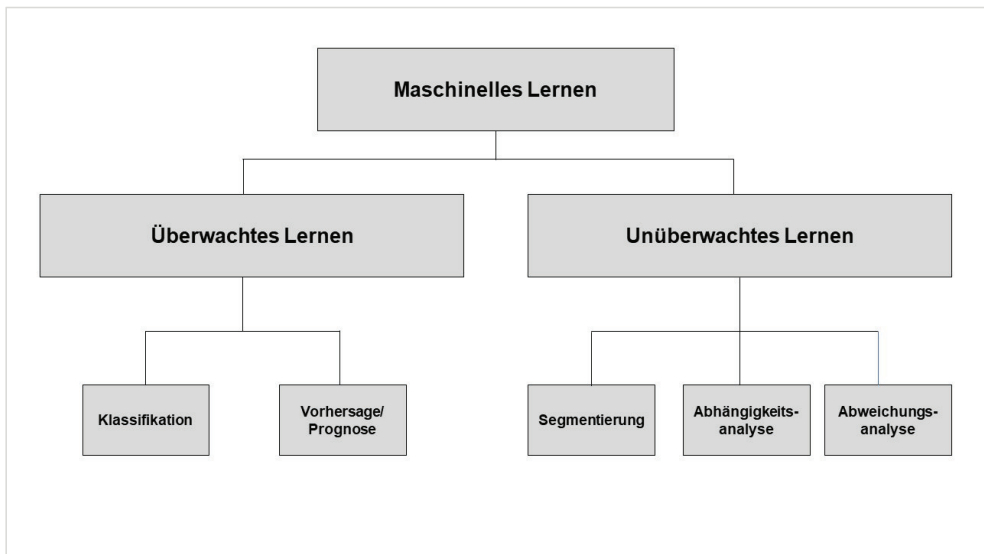


Abbildung 15: Maschinelles Lernen

Quelle: Eigene Darstellung nach Angaben von Oettinger (2017) S. 93 f.

Darüber hinaus gibt es verschiedene Verfahren der künstlichen Intelligenz (KI), welche sich auf die Analyse unstrukturierter Daten beziehen. Hierzu gehören u.a. Text Mining, also die Entdeckung der Bedeutung von Strukturen und Texten, die Sprachverarbeitung, das Erkennen der gesprochenen Sprache und der semantischen Bedeutung der Worte, die Bildererkennung, das Erfassen von Objekten in einem Bild und seine Zuordnung zu einer Bedeutung,

²⁸¹ Vgl. Oettinger (2017) S. 90 ff.

²⁸² Vgl. Oettinger (2017) S. 93 f.

²⁸³ Klassifikation: Diskriminanzanalyse, Support Vector Machines, Nächste-Nachbar-Klassifikation (k-nearest-neighbours), Bayes-Klassifikation, Entscheidungsbäume, Künstliche neuronale Netze; Prognose/Vorhersage: Entscheidungsbäume, Künstliche neuronale Netze, Regression, Zeitreihenanalyse, Kollaboratives Filtern; Segmentierung: Künstliche neuronale Netze, Clusteranalyse; Abhängigkeitsanalyse: Assoziationsanalyse, Faktorenanalyse, Hauptkomponentenanalyse; Abweichungsanalyse: Local Outlier Factor, vgl. Oettinger (2017) 97ff.

²⁸⁴ Vgl. Oettinger (2017) S. 99 ff., S. 158.

sowie Expertensysteme und selbstlernende Systeme. Bei Expertensystemen werden das Fachwissen und die Schlussfolgerungsfähigkeit qualifizierter Spezialisten auf einem begrenzten Anwendungsgebiet im Computer reproduziert, wobei die Systeme den Anwender bei der Entscheidungsfindung unterstützen sollen. Selbstlernende Systeme sind Computerprogramme, welche die Fähigkeit besitzen, ohne den programmierenden Eingriff von Menschen durch die Verarbeitung von Informationen neues Wissen zu generieren respektive vorhandenes Wissen zu optimieren.²⁸⁵

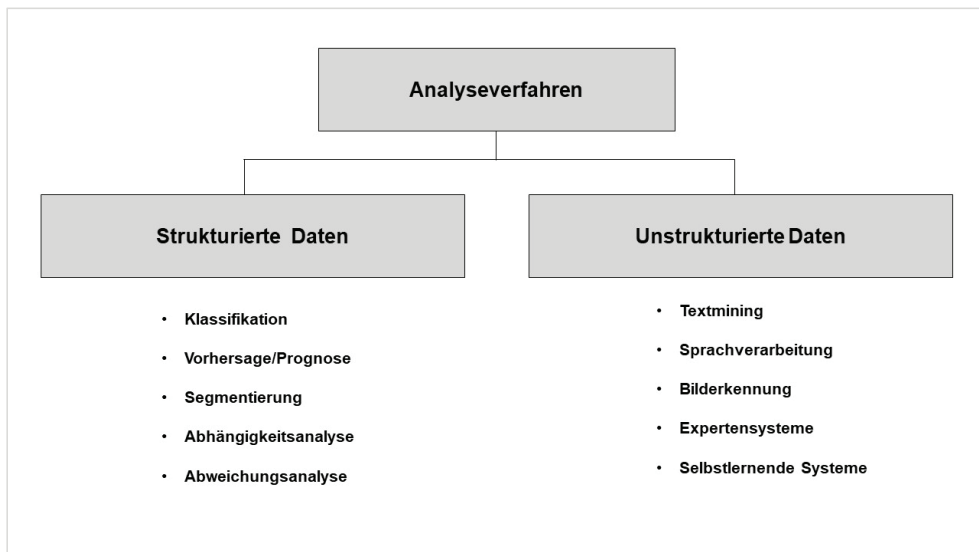


Abbildung 16: Analyseverfahren strukturierte und unstrukturierter Daten

Quelle: Eigene Darstellung nach Angaben von Oettinger (2017) S. 93 ff.

Ein Standard-Modell zur erfolgreichen Durchführung eines Datenanalyse-Projektes (Data Mining) ist Cross-Industry Standard Process for Data Mining (CRISP-DM), wobei sechs Phasen unterschieden werden, die einen Kreislauf darstellen, sodass auch Rückkoppelungen möglich sind: Business Understanding (Geschäftsverständnis sowie Verständnis der Fragestellung), Data Understanding (Datenverständnis), Data Preparation (Datenvor- und -aufbereitung), Modeling (Modellierung mithilfe der unterschiedlichen Verfahren), Evaluation (Evaluierung: Bewertung und Überprüfung der Ergebnisse) und schließlich Deployment (Bereitstellung und Anwendung der Ergebnisse).²⁸⁶

Im Zentrum der digitalen Transformation, welche sowohl eine entscheidende Herausforderung für alle wissenschaftlichen Disziplinen, als auch für die Wirtschaft und Gesellschaft darstellt, steht die Wertschöpfungskette „von Daten zu Wissen zu Innovation“.²⁸⁷ Um die Chancen, welche sich im Rahmen der Digitalisierung ergeben, zu nutzen, indem sie vielfältige Möglichkeiten von Innovationen und Forschungen in nahezu allen Bereichen des Lebens

²⁸⁵ Vgl. Oettinger (2017) S. 94 ff.

²⁸⁶ Vgl. Oettinger (2017) S. 154 ff.

²⁸⁷ Vgl. Helmholtz-Gemeinschaft (2017) S. 3.

bietet, bedarf es einer interdisziplinären Ausrichtung/Zusammenarbeit von Informatik, Mathematik, Statistik, Sensortechnologie, Simulation und „datenintensivem Rechnen“ in Verbindung mit den Fachbereichen der Natur- und Ingenieurwissenschaften, der Medizin sowie der Geistes- und Sozialwissenschaften, um hieraus innovative wissenschaftliche Erkenntnisse mit einem Mehrwert für die Wirtschaft und Gesellschaft hervorbringen zu können.²⁸⁸ Darüber hinaus sind als weiteres Gebiet die Rechtswissenschaften, insbesondere die Rechtsinformatik, einzubeziehen. Neben dem möglichen Nutzen, anhand von Daten Erkenntnisse und Wissen zu generieren, sind auch die Möglichkeiten und Grenzen der Datenanalyse mithilfe des Data Mining ebenfalls im Hinblick auf die neue Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) respektive des Datenschutzes eingehend zu betrachten.²⁸⁹ Aufgrund der zukünftig zu erwartenden weiteren Entwicklung der Analysemethoden und der zunehmenden Digitalisierung werden Daten immer häufiger personenbeziehbar werden respektive Personenbezug aufweisen und unterliegen somit dem Datenschutz.²⁹⁰

Die Forschungsorganisation Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren e.V. hat unter ihren diversen Forschungsbereichen ein immenses Fachwissen auf dem hochaktuellen Themengebiet „Information & Data Science“ aufgebaut, wozu insbesondere die Informationsverarbeitung, Big Data, Data Analytics, Simulation, Modellierung, Bioinformatik, bildgebende Verfahren, Forschungsdaten-Management, High Performance Computing, Robotik, technische sowie biologische Informationssysteme gehören, zumal sie über einen „exponentiell wachsenden Schatz von Big Data“ verfügt.²⁹¹ Unter dem Ansatz des Data-Lifecycle-Management (Daten-Lebenszyklus), ausgehend von der Forschungsplanung, über die Erhebung, die Handhabung und Pflege, die Analyse, Auswertung bis schließlich zur Nutzbarmachung immenser komplexer Datenmengen (Big Data) ist das Ziel, die Kompetenz „Information & Data Science“ zu stärken und disziplinübergreifend unter der Berücksichtigung nationaler, europäischer und internationaler Entwicklungen auf diesem Gebiet voranzutreiben.²⁹² Im Rahmen von aktuellen Forschungsprojekten werden folgende Konzepte entwickelt: Analysetechniken, Methoden von Modellierungen spärlicher, teilweise fehlerhafter großer Datensätze oder enormer Datenmengen aus komplexen Computermodellen sowie Techniken des Maschinellen Lernens (Machine Learning) respektive der Künstlichen Intelligenz (KI) zur Erforschung von Beziehungen großer wissenschaftlicher Datenmengen sowie Bilderkennung und bildgebende Verfahren, welche eine immense Bedeutung erfahren, da ein wachsender Anteil der Informationen in Bildform erhoben und verarbeitet wird und schließlich die Analyse und das Management von Metadaten, zumal Forscher immer vielfältigere und höchst komplexe Datensätze erheben, um hieraus Wissen (Mehrwert) zu generieren.²⁹³ Auch und insbesondere unter diesem Aspekt wird die Einbeziehung und Betrachtung des Datenschutzes zunehmend an Bedeutung gewinnen.

²⁸⁸ Vgl. Helmholtz-Gemeinschaft (2017) S. 3.

²⁸⁹ Vgl. Desoi (2018) S. 2, S. 4.

²⁹⁰ Vgl. Desoi (2018) S. 245.

²⁹¹ Vgl. Helmholtz-Gemeinschaft (2017) S. 3.

²⁹² Vgl. Helmholtz-Gemeinschaft (2017) S. 4.

²⁹³ Vgl. Helmholtz-Gemeinschaft (2017) S. 6 ff.

Datenmanagement

Um Daten respektive Informationen bereitstellen und nutzen zu können, bedarf es eines Datenmanagements, welches sämtliche betrieblichen und technischen Aspekte der Datenmodellierung, -administration, -technik, -sicherheit, -konsistenz sowie -sicherung beinhaltet.²⁹⁴ Darüber hinaus ist sowohl eine stetige Verbesserung der Qualität der Informationen als auch der Einsatz von Datenbanken und Modellierungstechniken erforderlich. Im Rahmen des Datenmanagements wird festgelegt, welche Daten für welche Systeme und Aufgaben wie zur Verfügung zu stellen sind und wer die organisatorische Verantwortung für die Datenpflege und -erfassung übernimmt. Außerdem hat die Bereitstellung der Daten in einer exakt definierten und untereinander abgestimmten Form zu erfolgen.²⁹⁵ Aufgrund der zunehmenden Digitalisierung von Geschäftsprozessen in Unternehmen und Organisationen wird die Datenbeschaffung und -verarbeitung zunehmend einen hohen Stellenwert einnehmen. Neben dem Management von Daten respektive Massendaten besteht die Herausforderung in deren jeweiligen Aufbereitung, zumal diese, wie oben erwähnt, ebenfalls in unstrukturierter oder semistrukturierter Form vorliegen und weiter ansteigen werden. Um eine einheitliche und strukturierte Datenbasis zu generieren, sind diese Daten mittels Big Data-Technologien in eine entsprechende Struktur zu überführen.²⁹⁶

Im Rahmen der Sicherheit öffentlicher IT-Infrastrukturen werden die generierten und mit Big-Data-Ansätzen ausgewerteten Maschinendaten überwacht. Hierzu gehören das Sammeln, die zentrale Aggregation, die Langzeitspeicherung sowie die Analyse der Logdaten (Protokolldaten), in denen automatisch Aktionen und Ereignisse protokolliert und auf einem System abgelegt werden.²⁹⁷ Durch die Zentralisierung von Daten werden diese verfügbar und im Zusammenhang auswertbar, sodass mithilfe von Big-Data-Technologien Cyber-Angriffe oder die missbräuchliche Verwendung von Zugangsdaten aufgespürt werden können.²⁹⁸ Hierbei sind allerdings datenschutzrechtliche Vorschriften sowohl im Sinne der Wahrung persönlicher Grundrechte als auch im Hinblick auf die technische Gestaltung der Analysesysteme zu beachten.²⁹⁹ Da aus der Aggregation und Rekombination der vielfältigen Massendaten und ihrer Verknüpfung mit anderen Daten die Möglichkeit besteht, auch andere als geplante Erkenntnisse dieser Auswertungen zu gewinnen, gilt es, zu erkennen, welche dieser Daten vermeintlich oder tatsächlich öffentliche, allgemein zugängliche Daten sind und wem diese Daten rechtlich gehören.³⁰⁰

Datenmodell und Datenbanksystem

Grundlage für die Strukturierung und Verwaltung von Daten mithilfe eines Datenbanksystems bildet die Erstellung eines Datenmodells, welches eine ganzheitliche Darstellung der Datenobjekte aller festgelegten Bereiche abbildet.³⁰¹ Bei der Datenmodellierung werden demnach

²⁹⁴ Vgl. Krcmar (2015) S. 178 f.

²⁹⁵ Vgl. Krcmar (2015) S. 179.

²⁹⁶ Vgl. Bitkom (2015) S. 22; Dorschel (2015) S. 55 ff.; Aichele/Schönberger (2017) S. 523.

²⁹⁷ Vgl. Hansen/Mendling/Neumann (2015) S. 90.

²⁹⁸ Vgl. Bitkom (2015) S. 32.

²⁹⁹ Vgl. Desoi (2018) S. 31 ff., S. 245 ff.

³⁰⁰ Vgl. Spiecker genannt Döhmann (2017) S. 288 f.

³⁰¹ Vgl. Krcmar (2015) S. 70, S. 182.

alle vorhandenen Daten vollständig und systematisch modelliert. Ein Datenbankmodell definiert, wie die vorhandenen Daten in einem Datenbanksystem gespeichert und modifiziert werden können. In diesem Rahmen legt die Datenstruktur fest, wie die Daten gespeichert und miteinander verknüpft werden und die Menge an Operationen bestimmt, in welcher Weise auf die Daten zugegriffen werden kann. Zudem können anhand der Integritätsbedingungen zulässige Datenbankinhalte spezifiziert werden.³⁰² Nach Erstellung eines Datenmodells folgt die Implementierung des Modells sowie die oben genannten Strategie des Datenmanagements unter der Verwendung eines geeigneten Datenbanksystems.

Das Datenbanksystem besteht aus der Datenbank oder Datenbasis (welche die Daten enthält) sowie aus Programmen (Datenmanagementsystem), welche den Zugriff und die Modifikation der Daten unter kontrollierten Bedingungen ermöglichen sowie die Datenbank (data base) verwalten.³⁰³ Die Datenbank ist als ein zentral verwalteter Datenbestand anzusehen, welcher über anwendungsunabhängige Zugriffsverfahren nutzbar gemacht wird. Das Datenbankverwaltungssystem, welches diesen Bestand verwaltet, ermöglicht gleichzeitige Zugriffe von mehreren Anwendungsprogrammen und Nutzern.³⁰⁴ Nach dem Urhebergesetz ist eine Datenbank „eine Sammlung von Werken, Daten oder anderen unabhängigen Elementen, die systematisch oder methodisch angeordnet und einzeln mit Hilfe elektronischer Mittel oder auf andere Weise zugänglich sind und deren Beschaffung, Überprüfung oder Darstellung eine nach Art oder Umfang wesentliche Investition erfordert hat“.³⁰⁵

Das heute am weitesten verbreiteten Datenbanksystem ist die relationale Datenbank (SQL-Datenbank),³⁰⁶ welche sich zur Speicherung von strukturierten Daten mit einem begrenzten Umfang eignet. Der Datenbestand wird als Verknüpfung mehrerer Tabellen wiedergegeben.³⁰⁷ Grundelement der relationalen Datenbank ist das Schema der Relation, welche einen Namen besitzt und Attribute enthält. Die Werte werden in Tabellen gespeichert, um somit eine redundante Speicherung gleicher Daten zu vermeiden, wobei die Spalten die Werte für ein bestimmtes Attribut und die Zeilen zusammengehörige Werte für eine Ausprägung wiedergeben. Die Tabellenstruktur ist bei relationalen Datenbanken nicht verschachtelt, sondern enthält genau einen Wert, wonach die Attribute atomar, also nicht in weitere Unterattribute zerlegbar sind.³⁰⁸ Schätzungen zufolge sind allerdings 80 bis 85 % der verfügbaren Daten unstrukturiert oder semistrukturiert, welche gar nicht oder nur durch aufwendige Transformationen gespeichert werden können.³⁰⁹ Hierfür sind die traditionellen relationalen Datenbanksysteme aufgrund der Menge und Schnelligkeit dieser Daten nicht konzipiert, stattdessen eignen sich für die Verarbeitung großer Datenmengen aufgrund ihrer Einfachheit sogenannte

³⁰² Vgl. Krcmar (2015) S. 70.

³⁰³ Vgl. Krcmar (2015) S. 182.

³⁰⁴ Vgl. Hansen/Mendling/Neumann (2015) S. 449.

³⁰⁵ § 87a (1) S. 1 UrhG (2018); vgl. Dorschel (2015) S. 218.

³⁰⁶ Structured Query Language (SQL) „ist eine Definitions- und Abfragesprache für relationale Datenbanksysteme“ und gilt als Standard für Datenbanksprachen, vgl. Hansen/Mendling/Neumann (2015) S. 462.

³⁰⁷ Vgl. Dorschel (2015) S. 288; Oettinger (2017) S. 14, S. 32.

³⁰⁸ Vgl. Hansen/Mendling/Neumann (2015) S. 454 f.; Oettinger (2017) S. 14, S. 32.

³⁰⁹ Vgl. Dorschel (2015) S. 262.

NoSQL³¹⁰-Datenbanken. Da die NoSQL-Datenbanken keinem festen Tabellenschema unterliegen, sind sie im Gegensatz zu relationalen Datenbanken in der Lage, beliebige neue Datensätze aufzunehmen, die flexibler gespeichert werden können. Sie eignen sich für hochskalierbare Anwendungen mit größtenteils schwacher Konsistenz.³¹¹ Es lassen sich dabei vier Hauptkategorien von NoSQL-Datenbanken differenzieren: Key-Value-Datenbanken (Key-Value-Stores), Dokumentenorientierte Datenbanken (Document Stores), Spaltenorientierte Datenbanken (Columnar Stores) und Graphendatenbanken (Graph Databases).³¹²

2.2.2 Offene Verwaltungsdaten

Offene Verwaltungsdaten (Open Data Government) sind „Datenbestände des öffentlichen Sektors, die von Staat und Verwaltung im Interesse der Allgemeinheit ohne jedwede Einschränkung zur freien Nutzung, zur Weiterverbreitung und zur freien Weiterverwendung frei zugänglich gemacht werden.“³¹³ Diese Definition schließt demnach jene Datenbestände aus, deren Veröffentlichung nicht im Interesse der Öffentlichkeit liegt oder welche nicht veröffentlicht werden dürfen, da sie entweder der Geheimhaltung unterliegen oder personenbezogene Daten beinhalten und damit nicht freigegeben werden können.³¹⁴ Zu den personenbezogenen Daten gehören jene „Informationen, die sich auf eine identifizierte oder identifizierbare natürliche Person ... beziehen“.³¹⁵ Durch die Bereitstellung frei verfügbarer Verwaltungsdaten können folgende Mehrwerte für die Verwaltung, Wirtschaft und Gesellschaft entstehen: Öffnung von Staat und Verwaltung und damit zugleich Stärkung der Transparenz, Wiederverwendung und Weiterverwertung bestehender Datenbestände, z. B. zur Etablierung neuer Geschäftsmodelle, Förderung von Partizipation und Zusammenarbeit der Gesellschaft sowie Entstehung von Potenzial für Innovationen.³¹⁶ Mit der Änderung des E-Government-Gesetzes (EGovG) im Juli 2017 werden Behörden der unmittelbaren Bundesverwaltung zur Veröffentlichung ihrer Daten verpflichtet.³¹⁷ Zu den bereits bestehenden Initiativen der Förderung von Open Data im Rahmen des Verkehrswesens gehören die „mCLOUD“ des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), der „MobilitätsDatenMarktplatz MDM“ der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), das Datenportal für Deutschland „GovData“ des IT-Planungsrates in Hamburg sowie das Open-Data-Portal der Deutschen Bahn AG.³¹⁸

Vor Sichtung der Datenbestände, gilt es zunächst zu klären, welche Daten im Rahmen der vorliegenden Studie relevant sein können respektive nach welchen offenen Daten recherchiert werden soll. Hierzu gehören konkrete Informationen zur Lage der Ingenieurbauwerke, um die Flugroute und Flugzeit für den Einsatz der unbemannten Luffahrzeugsysteme exakt

³¹⁰ Not only Structured Query Language (NoSQL), vgl. Oettinger (2017) S. 18 ff.

³¹¹ Vgl. Dorschel (2015) S. 278 ff., S. 288 ff.; Hansen/Mendling/Neumann (2015) S. 481 f.; Oettinger (2017) S. 18 f.

³¹² Vgl. Dorschel (2015) S. 290 ff.

³¹³ Lucke/Geiger (2010) S. 6; vgl. Klessmann/Staab (2018) S. 7.

³¹⁴ Vgl. Lucke/Geiger (2010) S. 6.

³¹⁵ Art. 4 Nr. 1 DSGVO (2016); Klein (2017) S. 6 ff.

³¹⁶ Vgl. Lucke/Geiger (2010) S. II, S. 10 ff.

³¹⁷ Vgl. § 12a EGovG (2017).

³¹⁸ Vgl. BMVI (2017b) S. 4.

berechnen zu können. Darüber hinaus sind präzise Angaben und Aufnahmen der vorliegenden Inspektionsdaten sowie Daten zur genauen Lokalisierung der Schadensstellen der Bauwerke von Relevanz. Mit der Geodatenbank „OpenStreetMap“, welche das gesamte Straßen- und Brückennetz Deutschlands und Europas abbildet, werden Straßendaten sowie Gebäudestrukturen von Gemeinden und Ortschaften zur freien Verfügung gestellt. Der Nachteil der Datenbank liegt darin begründet, dass die Kartierung auf freiwilliger Basis erfolgt, die Daten also durch jeden Nutzer formatiert und entsprechend verändert werden können.³¹⁹

Datenportal „mCLOUD“ des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur

Die mCLOUD ist eine Rechercheplattform des BMVI zu offenen Daten aus dem Bereich Mobilität und verwandter Themen, welche seit 2016 online zur Verfügung steht und stetig erweitert wird. Zum Themenbereich gehören Straßen, Bahn, Infrastruktur, Luft- und Raumfahrt, Klima und Wetter sowie Wasserstraßen und Gewässer, wofür das BMVI und sein Geschäftsbereich zuständig sind. Bei den Daten handelt es sich um Geo-, Mobilitäts- und Verkehrsdaten sowie um Wetter-, Hydrographie- und Klimadaten vor allem von den folgenden Behörden aus dem Geschäftsbereich des BMVI: Bundesamt für Güterverkehr (BAG), Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH), Deutscher Wetterdienst (DWD), Eisenbahn-Bundesamt (EBA), Generaldirektion der Wasserstraßen und Schifffahrt (GDWS) sowie Kraffahrt-Bundesamt (KBA).³²⁰ Das Bundesaufsichtsamt für Flugsicherung (BAF), die Bundesanstalt für Verwaltungsdienstleistungen (BAV), das Bundeseseisenbahnvermögen (BEV), die Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung (BFU), die Bundesstelle für Seeunfalluntersuchung (BSU) sowie das Luftfahrt-Bundesamt (LBA) haben zum Zeitpunkt der Erstellung der Studie noch keine Daten im Portal hinterlegt. Darüber hinaus kann auf Daten von Behörden aus Ländern und Kommunen, von Forschungsinstituten, Stadtverwaltungen, Unternehmen und Vereinen Zugriff genommen werden.³²¹ Für die Inspektion von Ingenieurbauwerken sind insbesondere Daten von Bauwerksprüfungen der Straßenbauverwaltungen der Länder relevant, die derzeit noch nicht veröffentlicht sind und damit keine Angaben zu konkreten Instandhaltungsdaten vorliegen. Bislang sind in der mCLOUD nur wenige Datensätze von Straßenbauverwaltungen hinterlegt, so vom Landesbetrieb Straßenbau NRW (5), vom Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer in Hamburg (3) sowie von der Bayerischen Straßenbauverwaltung (1).

Derzeit sind 1.323 Datensätze in der Rechercheplattform vorhanden, wobei aus den Themenbereichen Straßen (449), Klima und Wetter (290), Wasserstraßen und Gewässer (253) sowie Bahn (116) die meisten Datensätze vorliegen, gefolgt von den Kategorien Data-Run (97), In-frastruktur (87) sowie Luft- und Raumfahrt (31).³²² Die Datensätze können über Schlagworte/Suchbegriffe oder in den oben genannten Kategorien recherchiert werden und

³¹⁹ Vgl. Arndt/Beckmann u.a. (2013) S. 23 ff.

³²⁰ Vgl. mCLOUD; BMVI (2016d).

³²¹ Vgl. mCLOUD.

³²² Vgl. mCLOUD; Stand: 15.05.2019.

verweisen direkt zum Download-Link der bereitstellenden Unternehmen und Behörden. Das Datenportal soll insbesondere für Entwickler in Unternehmen, Forschung und Verwaltung zugänglich sein, um die Entwicklung innovativer Ideen im Bereich der Mobilität zu fördern. Darüber hinaus können auf dieser Plattform private Anbieter aus dem Mobilitätsbereich ihre Daten dort anbieten sowie Förderprojektteilnehmer ihre Forschungsdaten aus dem Forschungsprogramm mFUND des BMVI veröffentlichen (vgl. Kap. 2.1.1), um diese langfristig zugänglich zu machen. Voraussetzungen hierfür sind Geldleistungsfreiheit, ein leichter Zugang sowie Maschinenlesbarkeit, was bedeutet, dass keine Dokumente im pdf-Format, sondern in der Regel durch Messungen oder Beobachtung generierte Zahlenwerte vorliegen. Auch sind derzeit noch keine Karten, Grafiken oder Bilder gespeichert, was allerdings in weiteren Aufbaustufen des Portals geplant ist.³²³

Die Sichtung der derzeit vorliegenden Datenbestände in der mCLOUD führte zu folgenden Ergebnissen: Zum Thema Brücken gibt es in den Kategorien Straßen (13) und Bahn (2) derzeit lediglich fünfzehn Datensätze, die damit innerhalb der 565 vorhandenen Datensätze in diesen beiden Kategorien einen sehr geringen Anteil ausmachen. Unter der Kategorie Infrastruktur (1) befindet sich ein Datensatz zu den Düsseldorfer Rheinbrücken, welcher auch unter der Kategorie Straßen abrufbar ist. Zu weiteren Kritischen Infrastrukturen sind bislang keine Daten hinterlegt, welche sich für die vorliegende Studie als brauchbar erweisen. Darüber hinaus sind grundsätzlich viele Datensätze mit Dateiformaten gespeichert, welche sich ohne ein zusätzliches Programm nicht öffnen lassen. Zudem sind Informationen gespeichert, die auch direkt über die Homepage der Behörden abgerufen werden können. Schließlich sind auch Daten-sätze abrufbar, welche ohne konkrete Erläuterungen nicht informativ sind. Von den oben genannten fünfzehn Datensätzen in den Kategorien Straßen (13) und Bahn (2) sind folgende in der mCLOUD veröffentlichte Datensätze für die Inspektion von Brücken von Relevanz und werden daher im Folgenden kurz erläutert.

Die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) hat in der mCLOUD statistische Auswertungen hinsichtlich der Anzahl der Brücken an Bundesfernstraßen, der Brückenflächen nach Bauarten und Bauweisen, der Anzahl der Brücken nach Bundesländern, der Anzahl der Teilbauwerke nach Längenklassen sowie der Zustandsnoten, Altersstruktur und Brückenklassen nach Brückenflächen als pdf-Datei grafisch hinterlegt. Darüber hinaus sind in der mCLOUD die Zustandsnoten der Brücken in der Baulast des Bundes, welche in der Bauwerksdatenbank enthalten sind, als Exceltabelle veröffentlicht. Informationen zu den Bauwerken anderer Baulastträger, z. B. Bundesfernstraßenbrücken in Städten mit mehr als 80.000 Einwohnern, liegen nicht vor, da diese nicht in der Bauwerksdatenbank enthalten sind. Die insgesamt 51.591 Datensätze geben neben den Bauwerks- und Teilbauwerksnummern, die Bauwerksnamen, die Lage und Orte mithilfe von Koordinaten sowie die Zustandsnoten der Bauwerke wieder (vgl. Kap. 1.1).³²⁴ Die im Rahmen der Bauwerksprüfung für die einzelnen Teilbau-

³²³ Vgl. mCLOUD.

³²⁴ Vgl. BASt (2018b).

werke festgestellten einzelnen Schäden hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Standsicherheit, Verkehrssicherheit und Dauerhaftigkeit der Brücke werden mithilfe von IT-Systemen automatisch ausgewertet und somit die Zustandsnoten von 1,0 bis 4,0 zusammengefasst.³²⁵ Die Angaben der Koordinaten ermöglichen eine präzise Lokalisierung der Bauwerke, welche im Rahmen der Inspektion zur Bestimmung der Flugrouten der unbemannten Luftfahrzeugsysteme genutzt werden können. Es fehlen allerdings konkrete Angaben zur Art und Lokalisierung der Schäden an den Brücken sowie deren Visualisierung in Form von Baumodellen.

Der Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer (LSBG) in Hamburg hat Informationen zu Brücken und Ingenieurbauwerken im Zuständigkeitsbereich, wie Standort, ASB-Nummer, interne Bauwerksnummer, Bauwerksname und Baujahr, bereitgestellt.³²⁶

Die Landeshauptstadt Düsseldorf hat Daten (u.a. Excelformat) zu den Düsseldorfer Rheinbrücken zur Verfügung gestellt, welche neben der Namen, Art und Bauweise der Brücken deren Lage (Stromkilometer), Baujahr, Maße (Gesamtbreite und größte Stützweite über den Strom) sowie das Stahlgewicht der Stromüberbauten angeben. Auch ist die Lage der Brücken kartografisch verzeichnet. Die hinterlegten Daten sind allerdings zur Programmierung von Flugrouten für die Inspektion mithilfe von UAS nicht ausreichend.³²⁷

Die Berliner Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt stellt über das Portal FIS Broker ein detailliertes Straßennetz von Berlin bereit, in dem u.a. Brücken dargestellt sind. Zu den Bauwerken werden Sachdaten, wie ID-Nummer, Bauwerksart, Bauwerksname, OKSTRA-ID, Bauwerksnummer und ASB-Nummer angegeben.³²⁸

Die DB Netz AG hat in der mCLOUD Informationen zu den Brücken des Schienenverkehrsnetzes bereitgestellt. Die 34.661 Datensätze geben neben der Streckennummer und Richtung, die Lage (Streckenkilometer), die geografischen Koordinaten (Länge und Breite) und die Gauß-Krüger-Koordinaten der Brücken wieder.³²⁹ Diese Koordinaten können im Rahmen der Inspektion von Bauwerken unter dem Einsatz von unbemannten Luftfahrzeugsystemen zur Bestimmung und Speicherung der Flugrouten im System genutzt werden. Darüber hinaus hat die DB Netz AG Informationen zum Streckennetz zur Verfügung gestellt, wobei auch die wesentlichen Bauwerksarten, darunter Brücken, referenziert wurden.³³⁰ Weitere Angaben zu Eisenbahnbrücken, welche im Rahmen der Inspektion mithilfe von unbemannten Luftfahrzeugsystemen relevant wären, sind bislang nicht veröffentlicht.

Datenportal „MobilitätsDatenMarktplatz“ der Bundesanstalt für Straßenwesen

Der „MDM“ ist ein Rechercheportal der BAST zu Verkehrsdaten, welches nach einer Registrierung im vollen Umfang online für Nutzer und Anbieter zur Verfügung steht. Ohne eine Registrierung ist lediglich die Recherche nach Publikationen, über welche die Verkehrsdaten hinterlegt sind, möglich. Bei Interesse einer recherchierten Publikation können registrierte

³²⁵ Dabei werden folgende sechs Zustandsnotenbereiche unterschieden: 1,0–1,4 (sehr gut), 1,5–1,9 (gut), 2,0–2,4 (befriedigend), 2,5–2,9 (ausreichend), 3,0–3,4 (nicht ausreichend) und 3,5–4,0 (ungenügend), vgl. BMVBS (2013) S. 31.

³²⁶ Vgl. mCLOUD.

³²⁷ Vgl. mCLOUD.

³²⁸ Vgl. mCLOUD.

³²⁹ Vgl. Deutsche Bahn (2018).

³³⁰ Vgl. mCLOUD.

Nutzer den jeweiligen Datengeber für weitere Informationen kontaktieren oder Suchanfragen nach konkreten Datenwünschen erstellen. Das Portal bietet die bundesweit meisten Informationen u.a. über Verkehrsströme, Staus, Baustellen und Kraftstoffpreise. Es ist Teil des Innovationsprogramms der Bundesregierung und wird vom BMVI gefördert, wobei die Projektsteuerung bei der BAST liegt. Die Daten stammen sowohl aus dem öffentlichen Sektor als auch aus der Privatwirtschaft. Neben dem Suchen sind auch das Anbieten und Abonnieren von verkehrsrelevanten Daten möglich. Unter dem Link „Service“ gelangt man sowohl zur MDM-Plattform als auch zum Benutzerhandbuch, welche die diversen Nutzungsmöglichkeiten des Portals erklärt.³³¹

Unter den abrufbaren Datensätzen sind keine für die vorliegende Studie relevanten Informationen vorhanden. Mittels einer Registrierung lässt sich eine Suchanfrage nach konkret benötigten Informationen stellen.

Datenportal für Deutschland GovData des IT-Planungsrates in Hamburg

Das Datenportal für Deutschland „GovData“ des IT-Planungsrates in Hamburg ist eine Rechercheplattform zu offenen Verwaltungsdaten der öffentlichen Stellen aus Bund, Ländern und Kommunen. Neben offenen Daten sind auch eingeschränkt nutzbare Daten gespeichert, welche kontinuierlich erweitert werden. In der Regel ist die Nutzung kostenfrei, Daten mit eingeschränkter Lizenz sind nur in Ausnahmefällen vorhanden. Zu den Datensätzen gehören z. B. Statistiken, Jahresberichte, Karten, Wahlergebnisse oder Datenbanken.³³²

Die Datensätze können über Suchbegriffe unter einfache Suche, erweiterte Suche mithilfe verschiedener Suchfelder und Kartensuche recherchiert werden. Darüber hinaus können Datensätze über die folgenden 13 Kategorien gesucht werden: Bevölkerung und Gesellschaft (5.848), Bildung, Kultur und Sport (2.081), Energie (361), Gesundheit (1.098), Internationale Themen (98), Justiz, Rechtssystem und öffentliche Sicherheit (3.200), Landwirtschaft, Fischerei, Forstwirtschaft und Nahrungsmittel (1.896), Regierung und öffentlicher Sektor (5.929), Regionen und Städte (238), Umwelt (6.813), Verkehr (2.585), Wirtschaft und Finanzen (5.034) sowie Wissenschaft und Technologie (797).³³³ Durch die Nutzung und Weiterverwendung dieser Daten sollen neue Ideen und Erkenntnisse generiert sowie neue Anwendungsfelder erschlossen werden.³³⁴

Die Sichtung der Bestände unter der Kategorie Verkehr hat gezeigt, dass unter den derzeit 2.585 Datensätzen lediglich zwölf Datensätze hinterlegt sind, welche sich auf Daten von Brücken beziehen und damit wie in der mCLOUD nur einen sehr geringen Anteil ausmachen. Von diesen zwölf Datensätzen sind wiederum vier Datensätze relevant. Es handelt sich um die Daten der Düsseldorfer Rheinbrücken, der Brücken in Hamburg, zum Straßennetz Berlin sowie zum Streckennetz der DB Netz AG, welche auch in der mCLOUD abrufbar sind.³³⁵

³³¹ Vgl. MDM-Portal.

³³² Vgl. Govdata.

³³³ Vgl. Govdata ; Stand: 15.05.2019.

³³⁴ Vgl. Govdata.

³³⁵ Vgl. Govdata; mCLOUD.

Open-Data-Portal der Deutschen Bahn AG

Auf dem Datenportal der Deutschen Bahn AG sind ausgewählte Daten der Themenbereiche Infrastruktur und Mobilität des DB Konzerns veröffentlicht, welche online zur Verfügung stehen und deren Bestand stetig wachsen soll. Die Daten stehen zur freien Verwendung und freien Verwertung kostenlos zur Verfügung. Sie sind in maschinenlesbarer und offen lizenzierter Form sowie in unterschiedlichen Datenformaten gespeichert, wie z. B. pdf, xlsx, welche sich herunterladen lassen. Es handelt sich dabei weder um betriebsinterne noch um personenbezogene Daten.³³⁶

Die Datensätze können über Suchbegriffe oder unter den vorgegebenen Tags (Schlagwörtern), wie z. B. Bahnhof oder Station, recherchiert werden. Die Datenbank befindet sich noch im Aufbau, weshalb nur wenige Datensätze (derzeit 33) vorhanden sind.³³⁷ Das Portal beinhaltet zudem Datensätze der Deutschen Bahn, welche auch über die mCLOUD des BMVI abgerufen werden können.³³⁸ Darüber hinaus werden auf der Homepage des Portals ausgewählte Projekte (derzeit 10) vorgestellt, welche mit den Daten von data.deutschebahn.com umgesetzt wurden.³³⁹

Die Sichtung der derzeit vorliegenden Datenbestände im Open-Data-Portal führte zu folgenden Ergebnissen: Zum Thema Brücken gibt es neben der bereits bekannten Datei zu den Brücken des Schienenverkehrsnetzes in der mCLOUD keine weiteren Informationen, welche für die vorliegende Studie von Relevanz sind. Wie in der mCLOUD liegen auch hier Datensätze vor, die ohne ein zusätzliches Programm nicht geöffnet werden können.

2.2.3 Luftbild- und Satellitenbilddaten

Fernerkundungsdaten sind geophysikalische Daten, welche unter dem Einsatz von Satelliten (Satellitenbilder) oder Luftfahrzeugen (Luftbilder) über Objekte, Gebiete und Phänomene erhoben werden, ohne einen direkten Kontakt mit den Messobjekten. Die erhobenen Daten werden mit digitaler Bildverarbeitung in Bilder und Landkarten umgewandelt und sind für die Analyse in Geographischen Informationssystemen (GIS) und Klimamodellen verwendbar.³⁴⁰ Satellitendaten geben mittels Fernerkundung Aufnahmen möglichst detailgetreuer Bilder der Erdoberfläche wieder, wodurch raumbezogene Informationen, sog. Geoinformationen, für konkrete Anwendungen erzeugt werden³⁴¹ und diese als digitale Ergebnisse von Prozessen der Erfassung, Verwaltung und Verarbeitung von Geodaten präsentiert werden.³⁴² Geodaten

³³⁶ Vgl. Open-Data-Portal.

³³⁷ Vgl. Open-Data-Portal; Stand: 15.05.2019.

³³⁸ Hierzu gehören Datensätze der DB Netz AG, der DB Station&Service AG, der DB Cargo AG, der DB Fernverkehr AG, der DB Vertrieb GmbH, der Deutsche Bahn Connect GmbH, der DB BahnPark GmbH, der DB RegioNetz Infrastruktur GmbH, der DB Umwelt, der DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH, der DB Schenker AG, der DB Systel GmbH, der S-Bahn Hamburg GmbH, der S-Bahn Stuttgart GmbH und der Deutschen Bahn AG, vgl. mCLOUD.

³³⁹ Vgl. Open-Data-Portal.

³⁴⁰ Vgl. Baldenhofer (2019) Stichwort: Fernerkundungsdaten.

³⁴¹ Vgl. Mikusch (o.J.a).

³⁴² Vgl. RatSWD (2012) S. 17.

werden nach dem Geodatenzugangsgesetz (GeoZG) als „Daten mit direktem oder indirektem Bezug zu einem bestimmten Standort oder geografischen Gebiet“ definiert.³⁴³

Gemäß dem Satellitendatensicherheitsgesetz (SatDSiG) handelt es sich bei Satellitendaten (Fernerkundungsdaten) um „Signale eines Sensors oder mehrerer Sensoren eines Orbital- oder Transportsystems und alle daraus abgeleiteten Produkte, unabhängig vom Grad ihrer Verarbeitung und der Art ihrer Speicherung oder Darstellung.“³⁴⁴ Ein Sensor ist hiernach „ein Teil eines raumgestützten Erdfernerkundungssystems, das elektromagnetische Wellen aller Spektralbereiche oder gravimetrische Felder aufzeichnet.“³⁴⁵ Die meisten Systeme der Satelliten empfangen elektromagnetische Strahlungen, wie Licht oder Radiowellen, wobei zwischen passiven und aktiven Systemen unterschieden wird. Passive Systeme empfangen elektromagnetische Strahlungen, die von der Sonne oder der Erdoberfläche, von Atmosphärenbestandteilen und Wolken stammen (Farbanalyse). Bei aktiven Systemen wird mit Radar- oder Laserlichtstrahlen die Atmosphäre abgetastet und aus den zurückgestreuten Echos die Informationen generiert.³⁴⁶

Satellitenbildarten werden bezüglich ihrer technischen Bildeigenschaften nach der Bodenauflösung (hoch oder gering auflösende Bilder), nach der spektralen Auflösung (z. B. Thermalbilder, Infrarotbilder, Radarbilder), nach dem Aufnahmezeitpunkt (mono- und multitemporal), nach der Größe des erfassten Erdausschnitts (z. B. kleine Ausschnitte, Bildszenen, Erddarstellungen), nach der Farbwahl (echt- und Falschfarbender Bilder) und nach dem Angebot der Bildinformation (analoge und digitale Bilder) unterschieden.³⁴⁷

Bilddaten von Erdbeobachtungssatelliten besitzen Eigenschaften, die keine andere Datenquelle liefern kann: Die erhobenen Daten liefern eine hohe Aktualität und können innerhalb von Stunden zur Verfügung stehen. Sie dokumentieren und überwachen den Ist-Zustand. Die Fernerkundung bietet die Möglichkeit einer flächendeckenden Erfassung großer Gebiete bzw. der gesamten Erde. Die Aufzeichnungen der Erde kann in vielen Spektralbereichen (sichtbares Licht, Infrarot, Mikrowellen) erfolgen, welche für das menschliche Auge nicht sichtbar sind. Es werden Daten mit hohen Wiederholraten (zeitliche Auflösung) erfasst, womit vergleichbare Daten in konstanter Qualität über einen längeren Zeitraum verfügbar sind und das Erkennen von Veränderungen und ihrer Dynamik ermöglichen. Die Qualität der Daten ist in vielen Anwendungen mit den in situ erfassten Daten vergleichbar und teilweise sogar überlegen. Schließlich ermöglicht die digitale Übertragung eine direkte Bearbeitung und Integration in ein Geoinformationssystem (GIS).³⁴⁸

Die Vorteile der Luftbilder liegen in der hohen räumlichen Auflösung, in der Flexibilität des Flugzeitpunktes, in der hohen Messgenauigkeit, welche Details erzeugen, die mit dem

³⁴³ § 3 (1) GeoZG (2012).

³⁴⁴ § 2 (1) Nr. 2 SatDSiG (2017).

³⁴⁵ § 2 (1) Nr. 5 SatDSiG (2017).

³⁴⁶ Vgl. DLR (2013) S. 61.

³⁴⁷ Vgl. Baldenhofer (2019) Stichwort: Satellitenbild.

³⁴⁸ Vgl. Baldenhofer (2019) Stichwort: Satellitenbild.

menschlichen Auge nicht erkennbar sind und in Verbindung mit Bodendaten genaue Messungen von Positionen, Entfernungen, Richtungen und Flächen ermöglichen, sowie in der Erzeugung von Stereobildpaaren, wobei aus zwei sich teilweise überlappenden zweidimensionalen Bildern ein dreidimensionales Modell erstellt werden kann. Im Gegensatz zu Satellitenbildern ist eine direkte Verknüpfung von Luftbildern mit digitalen Daten nicht möglich.³⁴⁹

Die Satelliten wurden anfangs von den Raumfahrtorganisationen betrieben, um Daten für die Wetter- und Klimaforschung sowie die Landnutzungskartierung zu gewinnen. Die Entwicklung hochauflösender Systeme und Radarsensorik führte daraufhin zur Gründung von Firmen, welche Satelliten betreiben und deren Daten vermarkten.³⁵⁰ Zu den bedeutenden kommerziellen Anbietern von Satellitenbildern und Betreibern von Erdbeobachtungssatelliten (u.a. QuickBird2, WorldView-1, -2, -3, -4) gehört das amerikanische Unternehmen DigitalGlobe mit Sitz in Westminster, Colorado. Neben Stadtplanern gehören zu deren Kunden amerikanische Bundesbehörden, wie die National Aeronautics and Space Administration (NASA) und der National Geospatial-Intelligence Agency (NGA). So stammen u.a. Daten von Google Earth und Google Maps von DigitalGlobe, ebenso wie Bilddaten des Bildarchivs TerraServer.³⁵¹

Die GeoContent Deutschland GmbH ist eines der führenden deutschen Unternehmen für Luftbilddaten und Geoinformationen, welche einen Vertrag mit dem Unternehmen DigitalGlobe über den Vertrieb von Luftbilddaten für West- und Südeuropa und die USA geschlossen hat. GeoContent bietet damit neben der digitalen Luftbildkarte Deutschlands einen aktuellen und flächendeckenden grenzüberschreitenden Datenbestand.³⁵²

Hauptkonkurrent von DigitalGlobe ist Airbus Defence and Space, welches das größte europäische Unternehmen in der militärischen Luftfahrt sowie in der militärischen und zivilen Raumfahrt und das zweitgrößte Raumfahrtunternehmen weltweit ist. Das Unternehmen speichert die riesigen Datenmengen der Sentinel-Satelliten der European Space Agency (ESA).³⁵³ Zu den frei verfügbaren Satellitenbildern gehören die Datenportale und Dienste des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), der European Space Agency (ESA), der National Aeronautics and Space Administration (NASA), der United States Geological Survey (USGS), des Committee on Earth Observation Satellites (CEOS) der Global Land Cover Facility (GLCF), der National Geospatial-Intelligence Agency (NGA) und des Portals GISGeography.³⁵⁴

Im Satellitendatenarchiv (D-SDA) des Deutschen Fernerkundungsdatenzentrum (DFD) im DLR werden Erdfernerkundungsdaten und -produkte archiviert, welche über das zentrale Portal EOWEB® (Earth Observation on the WEB) für alle registrierten Nutzer frei zugänglich sind, sowie über weitere Datenportale für gruppenspezifische Nutzer bereitgestellt werden.

³⁴⁹ Vgl. Baldenhofer (2019) Stichwort: Luftbild.

³⁵⁰ Vgl. Mikusch (o.J.a); RatSWD (2012) S. 26, S. 27; DLR (2013); Baldenhofer (2019) Stichwort: Satellitenbild mit umfangreicher Liste zu Bezugsquellen, Stichwort: Satellitenfernerkundung (SFE).

³⁵¹ Vgl. Baldenhofer (2019) Stichwort: DigitalGlobe.

³⁵² Vgl. GeoContent Deutschland GmbH.

³⁵³ Vgl. Airbus Defence and Space; Storage Consortium (2017); Baldenhofer (2019) Stichwort: Airbus Defence and Space.

³⁵⁴ Vgl. Mikusch (o.J.a); Baldenhofer (2019) Stichwort: Satellitenbild mit umfangreicher Liste zu Bezugsquellen.

Die Portale beinhalten Radardaten, optische Satellitenbilddaten, Atmosphärendaten und Geodaten. Darüber hinaus werden digitale Höhenmodelle der SRTM- und TanDEM-X-Missionen³⁵⁵ sowie RadARBilddaten der TerraSAR-X-Mission,³⁵⁶ Ionosphärendaten, Flächennutzungskarten und Ozonkarten angeboten. Das Zentrum für Satellitengestützte Kriseninformation (ZKI) bietet zudem einen Service zur Detektion von Brandherden in Europa sowie einen Notfallkartierungsservice zur Unterstützung bei humanitären Hilfeinsätzen und der zivilen Sicherheit.³⁵⁷

Das Erdbeobachtungsprogramm Copernicus mit einer eigenständigen Satellitenflotte (sechs Sentinel-Satelliten) wurde von der Europäischen Union (EU) und der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) gegründet. Es verknüpft satellitengestützte Erdbeobachtung u.a. mit terrestrischen, flugzeuggestützten und maritimen Datenquellen und stellt Informationsdienste in sechs Bereichen bereit: Landüberwachung, Überwachung der Meeresumwelt, Katastrophen- und Krisenmanagement, Sicherheit, Überwachung der Atmosphäre und des Klimawandels.³⁵⁸ Die Plattform Copernicus Data and Exploitation Platform – Deutschland (CODE-DE) ermöglicht einen kostenfreien Zugang auf diese Daten.³⁵⁹

Das BMVI verfügt in seinem Geschäftsbereich neben vielfältigen verkehrs- und infrastrukturbezogenen Geoinformationen für Mobilitätsanwendungen über Wetter-, Klima- und Gewässerinformationen auch Fernerkundungsdaten aus dem Satelliten-Programm Copernicus, welche zu einer Geodateninfrastruktur nach einheitlichen technischen und organisatorischen Standards ausgebaut und sukzessive in der Rechercheplattform mCLOUD veröffentlicht werden.³⁶⁰

2.3 Aufnahme der betroffenen IT-Systeme

Die Informationstechnologie (IT) übt einen großen Einfluss auf das Geschäftsprozessmanagement aus, da sie nicht nur die operativen Abläufe der Geschäftsprozesse durch betriebswirtschaftliche Softwaresysteme unterstützt, sondern auch Tools u.a. zur Analyse, Dokumentation, Automatisierung und Optimierung von Geschäftsprozessen in Abhängigkeit des jeweiligen Bedarfs des Unternehmens bereitstellt. Die Systeme lassen sich zwischen Individual- und Standardsoftware oder eine Kombination aus beiden unterscheiden.³⁶¹ Auf der Grundlage der Geschäftsarchitektur eines Unternehmens, welche aus der Geschäftsstrategie, der sie unterstützenden Geschäftsprozesse und den IT-Anwendungen besteht, ist eine Informationssystem-Architektur (IT-Anwendungslandschaft) zu entwickeln. Diese definiert das Zusammenspiel aller benötigten IT-Anwendungen in einem Unternehmen und legt fest,

³⁵⁵ SRTM: Shuttle Radar Topography Mission; TanDEM-X: TerraSAR-X add-on for Digital Elevation Measurement.

³⁵⁶ SAR: Synthetic Aperture Radar.

³⁵⁷ Vgl. Mikusch (o.J.a); Mikusch (o.J.c); Zwenzner (o.J.); RatSWD (2012) S. 27.

³⁵⁸ Vgl. Copernicus (2015); Baldenhofer (2019) Stichwort: Copernicus.

³⁵⁹ Vgl. CODE-DE; Baldenhofer (2019) Stichwort: CODE-DE.

³⁶⁰ Vgl. BMVI (2015b) S. 13 ff.; mCloud.

³⁶¹ Vgl. Schmelzer/Sesselmann (2013) S. 465.

in welchem Anwendungssystem Daten generiert respektive gelöscht werden, welche Geschäftsprozesse durch die Anwendungssysteme unterstützt werden und welche Daten zu transferieren sind.³⁶² Darüber hinaus sind auch extern betriebene Systeme Teil der Informationssystem-Architektur eines Unternehmens, sofern sie unternehmensinterne Prozesse unterstützen.³⁶³ Im Folgenden werden IT-Systeme vorgestellt, welche im Rahmen der Geschäftsprozesse unterstützend eingesetzt werden können sowie zur Bereitstellung bzw. Verwaltung von Informationen (Datenbanken) im Bereich der Instandhaltung dienen.

2.3.1 Systeme zur Unterstützung von Geschäftsprozessen

Zu den Standardsoftwaresystemen, welche betriebswirtschaftliche Aufgaben ausführen, die Unternehmenssteuerung unterstützen, eine gemeinsame Datenbasis nutzen und sich in verschiedenen Organisationen und Branchen anwenden bzw. unternehmensspezifisch anpassen lassen, gehören die Systeme des Enterprise Resource Planning (ERP).³⁶⁴ Bei der Unternehmensressourcenplanung geht es neben der Planung auch um die Umsetzung der zu betrachtenden Geschäftsprozesse sowie um die Verwaltung (Management) und Steuerung von materiellen und immateriellen Ressourcen, wie z. B. Material, Kapital oder Personal, in Unternehmen respektive Organisationen. Enterprise Resource Planning ist zunächst ein organisatorisches Konzept, auf dem Geschäftsprozesse aufgebaut sind, welche durch gleichnamige IT-Systeme unterstützt werden können.³⁶⁵ Neben der Unterstützung und Optimierung von Geschäftsprozessen werden beispielsweise die Verfügbarkeit von Ressourcen, die Liefertreue zum Kunden, die Flexibilität bei der Bedienung des Marktes sowie die Verringerung der Durchlaufzeiten und Senkung der Kosten als Aufgaben berücksichtigt.³⁶⁶

Die Software besteht aus mehreren Komponenten, wobei zu den klassischen Anwendungsbereichen, mit denen die operativen Geschäftsprozesse optimiert werden können, die Materialwirtschaft, die Produktion, das Finanz- und Rechnungswesen, das Controlling, die Personalwirtschaft, die Entwicklung sowie der Vertrieb und das Marketing gehören. Die Integration der Software erfolgt über eine zentrale Datenbank, sodass Datenredundanzen vermieden und integrierte Geschäftsprozesse ermöglicht werden können.³⁶⁷ Zu den Kernbereichen können zusätzliche Funktionalitäten, wie z. B. Projektmanagement-Systeme (PM), Qualitätsmanagement-Systeme (QM), Customer Relationship Management-Systeme (CRM), Computer Aided Design (CAD) oder Instandhaltungsmanagement-Systeme, wie SAP Enterprise Asset Management (EAM) integriert sein.³⁶⁸ Aufgrund der großen Zahl an Unternehmen, die spezielle Programme im Bereich Enterprise Resource Planning nutzen, gibt es entsprechend zahlreiche Hersteller, welche die Software anbieten.³⁶⁹

³⁶² Vgl. Gadatsch (2012) S. 301 f.

³⁶³ Vgl. Dern (2011) S. 31.

³⁶⁴ Vgl. Schmelzer/Sesselmann (2013) S. 465.

³⁶⁵ Vgl. Osterhage (2014) S. 3.

³⁶⁶ Vgl. Osterhage (2014) S. 5 ff.

³⁶⁷ Vgl. Schmelzer/Sesselmann (2013) S. 466; Hansen/Mendling/Neumann (2015) S. 138 f.

³⁶⁸ Vgl. Schmelzer/Sesselmann (2013) S. 466; Osterhage (2014) S. 9 ff., S. 13 f.; Hansen/Mendling/Neumann (2015) S. 139 f.

³⁶⁹ Vgl. Osterhage (2014) S. 99 ff.

2.3.2 Systeme zur Unterstützung der Instandhaltung

Unter dem Oberbegriff Instandhaltung werden gemäß DIN 31501 die folgenden vier Grundmaßnahmen Wartung, Inspektion, Instandsetzung und Verbesserung subsumiert (vgl. Kap. 1.1). Die sich stets weiter entwickelnde Technik sowie zunehmende Automatisierung (z. B. Maschine-Maschine-Kommunikation) und Digitalisierung in Produktionsprozessen bedingt, dass die Verfügbarkeit und Qualität von Anlagen in einem Unternehmen einen wachsenden Einfluss auf den Erfolg und damit die Wettbewerbssituation eines Unternehmens haben.³⁷⁰ Ziele der Instandhaltung sind u.a. eine Erhöhung und optimale Nutzung der Lebensdauer von Anlagen und Geräten, eine Optimierung der Betriebssicherheit und Betriebsabläufe, Einhaltung von Gesetzesauflagen sowie eine vorausschauende Planung von Kosten.³⁷¹ Im Folgenden wird beispielhaft die Software für den Anwendungsbereich der Instandhaltung von SAP aufgeführt.

Instandhaltung mit SAP

Die Software Enterprise Asset Management (EAM) in Release SAP ERP 6.0, welche zur Unterstützung der Instandhaltung in Unternehmen dient, kann in die heterogene Landschaft der Unternehmensprozesse eingebettet werden und unterstützt zudem alle instandhaltungsspezifischen Geschäftsprozesse. Darüber hinaus kann sie moderne Technologien, wie Cloud Computing, Internet und mobile Systeme, integrieren.³⁷² So ermöglicht der Einsatz neuer Technologien eine bessere Einsicht in das Verhalten der technischen Anlagen und Maschinen eines Unternehmens. Darüber hinaus können die Anlagen kosteneffizient mit Sensoren ausgestattet werden, woraus Massendaten entstehen, die wiederum in verwertbare Informationen umgewandelt werden und somit in neue Instandhaltungsstrategien münden können.³⁷³

Grundlage für die Abbildung von Stammdaten und Geschäftsprozessen bilden bei dem genannten System allgemeine Organisationseinheiten, wozu das Werk, der Buchungskreis und der Kostenrechnungsbereich gehören, instandhaltungsspezifische Organisationseinheiten, welche standort- oder planungswerkbezogen sein können, sowie Instandhaltungsarbeitsplätze.³⁷⁴ Um Geschäftsprozesse in der Instandhaltung abbilden und entwickeln zu können, bedarf es darüber hinaus einer anforderungsgerechten Anlagenstrukturierung, wobei das System verschiedene Hilfsmittel (Objekte) zur Verfügung stellt. Hierzu gehören technische Plätze, wie Infrastruktur (Straßen, Tunnel, Brücken, Gleise) oder Rechnernetzwerke, Referenzplätze, Equipments, wie Maschinen, Flurförderzeuge oder IT-Inventare, Objektverbindungen, lineare Anlagen, wie Straßen oder Schienennetze, Materialien, Instandhaltungsbaugruppen, Serialnummern sowie diverse Arten von Stücklisten.³⁷⁵ Die Ob-

³⁷⁰ Vgl. Westhues in Liebstückel (2017) S. 15; Liebstückel (2017) S. 22.

³⁷¹ Vgl. Liebstückel (2017) S. 33 f.

³⁷² Vgl. Liebstückel (2017) S. 22.

³⁷³ Vgl. Krüger in Liebstückel (2017) S. 13.

³⁷⁴ Vgl. Liebstückel (2017) S. 55 ff.

³⁷⁵ Vgl. Liebstückel (2017) S. 69 ff.

jekte lassen sich klassifizieren, strukturieren sowie mit weiteren Zusatzinformationen anlegen, wie z. B. Arbeits- oder Wartungspläne, und mit Dokumenten, wie Prüfanweisungen oder Checklisten, verknüpfen.³⁷⁶ Darüber hinaus können neben einer Adressverwaltung u.a. Garantien und Genehmigungen hinterlegt werden.³⁷⁷

Mit dem System lassen sich u.a. folgende typische Geschäftsprozesse im Rahmen der Instandhaltung abbilden: geplante Instandsetzung (Meldung, Planung, Steuerung, Durchführung, Abschluss), Sofortinstandsetzung wie z. B. bei Störungsbehebungen (Auftragseröffnung, Abwicklung, Abschluss), präventive Instandhaltung, zustandsorientierte Instandhaltung (Condition-based Maintenance) sowie zuverlässigkeitsorientierte Instandhaltung (Reliability-based Maintenance).³⁷⁸ Die Software ermöglicht zudem die Integration verschiedener anderer Module, sowohl SAP-Systeme als auch Nicht-SAP-Systeme, wie Materialwirtschaft, Produktion, Qualitätsmanagement, Finanz- und Rechnungswesen, Controlling oder Personalwirtschaft, welche die Geschäftsprozesse unterstützen (vgl. Kap. 2.3.1),³⁷⁹ Systeme zur Budgetierung sowie zur Informationsgewinnung,³⁸⁰ aber auch geografische Informationssysteme (GIS), Computer-Aided Design (CAD) sowie Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) Systeme, welche zur Überwachungssteuerung technischer Systeme und zur Datenerfassung dienen.³⁸¹

2.3.3 Datenbanksysteme zur Unterstützung der Instandhaltung von Bauwerken

Software respektive datenbankgestützte Systeme im Rahmen der Instandhaltung von Brücken dienen zum einen der Verwaltung und Dokumentation aller Daten von Ingenieurbauwerken, welche im Rahmen der Überwachung, Prüfung und Instandsetzung von Brücken anfallen, zum anderen unterstützen sie die Planung und das Management der Instandhaltung von Bauwerken. Neben der Erfassung der Brückenbauwerke, wozu u.a. auch Zeichnungen, Fotos oder Skizzen gehören, werden zudem die im Rahmen von Bauwerksprüfungen erforderlichen Dokumente, wie digitale Bauwerksbücher und Prüfberichte, verwaltet.³⁸²

Programmsystem Straßeninformationsbank

Die Bauwerksprüfung nach DIN 1076 mit dem Programmsystem Straßeninformationsbank (SIB-Bauwerke), welches von den Straßenbauverwaltungen von Bund und Ländern entwickelt wurde und die zudem Eigentümer der Software sind, ist zum bundesweit verbreiteten Standard geworden.³⁸³ Fachtechnisch wird das Programm durch den Bund und die Länder, im Besonderen durch die „Arbeitsgruppe der Bund/Länder-Dienstbesprechung IT-

³⁷⁶ Vgl. Liebstückel (2017) S. 126 ff.

³⁷⁷ Vgl. Liebstückel (2017) S. 149 ff.

³⁷⁸ Vgl. Liebstückel (2017) S. 161 ff.

³⁷⁹ Vgl. Liebstückel (2017) S. 393 ff.

³⁸⁰ Vgl. Liebstückel (2017) S. 468 ff.

³⁸¹ Vgl. Liebstückel (2017) S. 453 ff.

³⁸² Vgl. Mehlhorn/Curbach (2014) S. 1215 ff.

³⁸³ Vgl. WPM-Ingenieure (o.J.); Mertens (2015) S. 285.

Koordinierung“ sowie die Projektgruppe „Bauwerke“ betreut, und mithilfe der „Anweisung Straßeninformationsbank Segment Bauwerksdaten (ASB-ING)“³⁸⁴ unterstützt. Die Programmherstellung, den Vertrieb für Drittnutzer sowie den Support übernimmt die WPM-Ingenieure GmbH im Auftrag von Bund und Ländern durch die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt). Aufgrund der umfangreichen Änderungen und Ergänzungen in der Anweisung Straßeninformationsbank Segment Bauwerksdaten (ASB-ING) im Jahre 2013, welche durch das damalige Verkehrsministerium (BMVBS, heute BMVI) erfolgt sind, wurde die Version 1.9 (Stand 2017: 1.9.2) der Software SIB-Bauwerke konzipiert, welche unter dem Betriebssystem Windows läuft.³⁸⁵ Aktuell wird in der „Arbeitsgruppe der Bund/Länder-Dienstbesprechung IT-Koordinierung“ die ASB-ING wiederum erneuert. Auf deren neuer Grundlage wird in der Arbeitsgruppe „Neugestaltung SIB-Bauwerke“ die neue Version des Programmsystems SIB-Bauwerke 2.0 entwickelt, mit dem Ziel im Jahr 2019 die Testphase in den Ländern anlaufen zu lassen.³⁸⁶ Neben den Straßenbauverwaltungen des Bundes und der Länder wird die Software zudem in der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) sowie in Gemeinden und Landkreisen verwendet. Mit ca. 1.780 Lizenzen ist sie auch bei Drittnutzern weit verbreitet.³⁸⁷ Das neue Programmsystem soll den Kommunen kostenfrei zur Verfügung stehen, während Ingenieurbüros und andere Dritte es gegen Entgelt erwerben können.³⁸⁸

Das Programmsystem SIB-Bauwerke dient zur Verwaltung von Konstruktions- und Zustandsdaten (Schäden) und unterstützt neben den Empfehlungen für Maßnahmen u.a. auch die Durchführung von Prüfungen und die Datenbereitstellung für das Bauwerk-Management-System (vgl. Kap. 2.10).³⁸⁹ Grundlagen des Systems respektive seines Datenmodells bilden die „Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076 (RI-EBW-PRÜF)“, welche ein umfangreiches Bewertungs- und Benotungssystem und eine Liste von Schadensbeispielen im Anhang beinhaltet,³⁹⁰ sowie die „Anweisung Straßeninformationsbank Segment Bauwerksdaten (ASB-ING)“,³⁹¹ welche eine Systematik von Bauwerksdaten sowie Netz- und Bestandsdaten definiert.³⁹²

Die Erfassung und Speicherung der Zustands- und Prüfungsdaten kann sowohl über eine lokale Datenbank auf dem eigenen Rechner als auch über eine zentrale SQL-Datenbank für mehrere Nutzer, z. B. in einer Straßenbauverwaltung, erfolgen, wobei zusätzlich ein dezentrales, externes datentechnisches Zuarbeiten von beauftragten Ingenieurbüros oder Baufirmen möglich ist. Damit kann bundesweit ein einheitlicher Datenbestand aller Ingenieurbauwerke in der Baulast von Bund und Ländern erfasst und gepflegt werden.³⁹³

³⁸⁴ Vgl. ASB-ING (2013).

³⁸⁵ Vgl. WPM-Ingenieure (o.J.); FIS (o.J.).

³⁸⁶ Vgl. Friebe (2018) S. 12.

³⁸⁷ Vgl. WPM-Ingenieure (o.J.); FIS (o.J.).

³⁸⁸ Vgl. Friebe (2018) S. 12.

³⁸⁹ Vgl. FIS (o.J.).

³⁹⁰ Vgl. RI-EBW-PRÜF (2017) S. 41 ff. (Anlage 9).

³⁹¹ Vgl. ASB-ING (2013).

³⁹² Vgl. Mertens (2015) S. 285.

³⁹³ Vgl. Mertens (2015) S. 285.

Das System SIB-Bauwerke unterscheidet dabei zwei Programmeinstellungen: das Verwaltungsprogramm für die Straßenbauverwaltung, welches zudem die Durchführung von Auswertungen ermöglicht, und das externe Erfassungsprogramm für die Bauwerksprüfer (Prüfungs- und Zustandsdaten) zur Eingabe und Aktualisierung der Bauwerksdaten sowie zur Ausgabe von Prüfberichten und Bauwerksbüchern, wobei der Datenaustausch zwischen den beiden Programmen entsprechend dem sog. Datentransferkreislauf mit temporär exklusivem Bearbeitungsrecht erfolgt.³⁹⁴

Das System verknüpft die Informationen der Konstruktionsdetails der Bauwerke mit den Angaben des Bauwerkszustands und den Ergebnissen der Prüfung, was eine konstruktionsbezogene Erfassung der Schadensdaten ermöglicht. Auf dem Datenmodell des Systems SIB-Bauwerke sind die Informationen auf mehreren Tabellen verteilt, welche miteinander verknüpft sind und somit eine nahezu unbegrenzte Erfassung an Informationen erlauben. Das Datenmodell der Prüfungs- und Zustandsdaten verknüpft Informationen zum Ist-Zustand mit jenen der Bauwerksprüfungen und gliedert sich in die folgenden drei Datenbereiche: abgeschlossene Prüfungen (Archiv), welche nicht mehr veränderbar sind, Bauwerkszustand (Ist-Zustand) und laufende Prüfung. Mit den Ergebnissen der Bauwerksprüfung werden die Informationen des Bauwerkszustands aktualisiert, wobei der Bauwerkszustand im System auch unabhängig von den Prüfungen, z. B. im Rahmen von Besichtigungen, verändert werden kann.³⁹⁵

Die bauteilbezogenen Schäden werden im System SIB-Bauwerke auf Basis der RI-EBW-PRÜF und der ASB-ING mithilfe von vordefinierten Pflicht- und optionalen Attributen erfasst, wobei für jeden Schaden und für jedes Teilbauwerk eine eindeutige Schadens-ID-Nummer vergeben wird. Darüber hinaus kann ein digitales Schadensbild eingefügt werden.³⁹⁶ Die Schadensbewertung erfolgt mithilfe der festgelegten Schadensbeispiele, die zum einen eine vergleichbare Bewertung und Benotung der Ingenieurbauwerke in Deutschland gewährleisten, zum anderen als Datengrundlage für die Algorithmen des Bauwerksmanagementsystems (BMS) dienen. Darüber hinaus wird der Schaden nach RI-EBW-PRÜF durch die Vergabe von drei Teilnoten für die Standsicherheit, Verkehrssicherheit und Dauerhaftigkeit für jedes geschädigte Bauteil bzw. das gesamte Bauwerk zwischen den Noten 0 und 4 bewertet, welche die Grundlage für die Berechnung der Zustandsnoten von Bauteilgruppen und dem Teilbauwerk bilden.³⁹⁷ Die Zustandsnoten zwischen 1,0 und 4,0 geben Aufschluss über die Dringlichkeit der erforderlichen Maßnahmen am geprüften Ingenieurbauwerk. Als zusätzliche Bewertung dienen Substanzkennzahlen, welche mit denselben Algorithmen bewertet werden und zur Einschätzung der Bauwerkssubstanz dienen.³⁹⁸ Die Schadensveränderungen im Bauwerkszustand (Ist-Zustand) werden nur zwischen den Hauptprüfungen dokumentiert und anschließend im System zurückgesetzt. Als Werkzeug im Rahmen einer Bauwerksprüfung kann die im System abgespeicherte Schadenarbeitsliste in Form einer

³⁹⁴ Vgl. Schnellenbach-Held/Karczewski/Kühn (2014) S. 86; Mertens (2015) S. 294 f.

³⁹⁵ Vgl. Mertens (2015) S. 286.

³⁹⁶ Vgl. Mertens (2015) S. 287 f.

³⁹⁷ Vgl. Mertens (2015) S. 288.

³⁹⁸ Vgl. Mertens (2015) S. 24 ff., S. 288 f.

Checkliste dienen, welche alle wesentlichen Informationen zum Schaden und zur Schadensbewertung inkl. Schadensbild enthält.³⁹⁹ Darüber hinaus wird für die genaue Lokalisierung von Schäden gemäß RI-EBW-PRÜF die Anwendung einer Schadensskizze empfohlen.⁴⁰⁰

Das System enthält zudem Maßnahmenempfehlungen, welche datentechnisch mit den Schäden des Bauwerks verknüpft werden, um so die Art und Dringlichkeit der Maßnahmen zu erfassen, sowie einen Kostenkatalog, mit dem auf der Basis von Art und Menge der Schäden eine automatische Berechnung der Kosten der Instandsetzung erfolgen kann.⁴⁰¹ Der Bauwerkszustand setzt sich aus den Prüfungsdaten, den Schadensdaten und den Maßnahmenempfehlungen zusammen.⁴⁰²

Die Informationen des Ingenieurbauwerks sind in der Form im System gespeichert, dass zu jeder Zeit das Bauwerksbuch, die Prüfberichte und der aktuelle Zustandsbericht eines Bauingenieurbauwerks ausgedruckt werden können und für jeden Nutzer der Datenbank zur Ansicht und Bearbeitung zur Verfügung stehen. Darüber hinaus können auch Informationen aus dem Gesamtdatenbestand aller Ingenieurbauwerke abgerufen werden. Weiterhin sind verschiedene Komplexauswertungen im System integriert, welche es ermöglichen, konkrete Informationen aus der Datenbank abzurufen, diese zu analysieren und aufzubereiten, um so z. B. Maßnahmenempfehlungen mithilfe der Zustands- und Prüfungsdaten zu generieren.⁴⁰³

System zur Instandhaltung der Brücken der Deutschen Bahn

Um die Instandhaltung zu optimieren, wurden die Brücken der Deutschen Bahn bis 2018 komplett standardisiert und digitalisiert. So können u.a. per App vor Ort von den Experten alle zur Zustandsbewertung der Brücken benötigten Daten zur Verfügung gestellt werden.⁴⁰⁴ Für die Dokumentation der Inspektion von Brückenbauwerken nutzt die Deutsche Bahn (DB) ein Programmsystem zur Instandhaltung von SAP.⁴⁰⁵ Im Unterschied zur objektiven Schadenseinstufung mit vorbewerteten Vergleichsschäden im Programmsystem SIB-Bauwerke können gemäß der Ril 804.8001 die Schäden nur subjektiv benotet werden, wofür Schadensstufen von 0 bis 4 im Prüfbericht vergeben werden können. Der Bauzustand der Brücke wird nicht mit einer Note versehen, sondern die einzelnen Hauptbauteile werden den Schadenskategorien von 1 (punktuelle Schäden) bis 4 (gravierende Schäden) zugeordnet.⁴⁰⁶ Ende 2016 wurde ein neues Zustandsbewertungsverfahren für Brückenbauwerke eingeführt, mit dem ein Schadenskatalog im Vergleich zum Programmsystem SIB-Bauwerke mit Schadensbildern und -beschreibungen für die einzelnen Schadensstufen generiert wurde. Dadurch kann jetzt eine objektive, brückenübergreifende und algorithmusbasierte Beurteilung erfolgen, um die Transparenz und Vergleichbarkeit über einzelne Regionen zu optimieren.⁴⁰⁷

³⁹⁹ Vgl. Mertens (2015) S. 290 ff.

⁴⁰⁰ Vgl. Mertens (2015) S. 92 ff.; RI-EBW-PRÜF (2017) S. 9, S. 35 f. (Anlage 7).

⁴⁰¹ Vgl. Mertens (2015) S. 295 f.

⁴⁰² Vgl. Mertens (2015) S. 297.

⁴⁰³ Vgl. Mertens (2015) S. 296 ff.

⁴⁰⁴ Vgl. DB Netz (o.J.a.).

⁴⁰⁵ Vgl. Muncke (2006); zur Instandhaltung mit SAP vgl. Liebstückel (2017).

⁴⁰⁶ Vgl. RH RLP (2013) S. 20; DB Netz (2015) Modul 804.8001; Deutsche Bahn (2019b) S. 111.

⁴⁰⁷ Vgl. Deutsche Bahn (2019b) S. 81 f.

Kunstbauten Management System

Ein aus Sicht der Nutzung vergleichbares Programmsystem zu SIB-Bauwerke bietet das Kunstbauten Management System (KUBA), welches im Auftrag des schweizerischen Bundesamtes für Strassen (ASTRA) von der Infrastructure Management Consultants Ltd. konzipiert und von der Unit Solutions AG entwickelt wurde.⁴⁰⁸ Unter „Kunstbauten“ werden dabei u.a. Brücken, Galerien, Stützmauern und Tunnel verstanden. Neben Behörden auf kommunaler und kantonaler Ebene wird es von Brückeningenieurern und „Inspektoren“ von Ingenieurbüros sowie Betreibern von Infrastrukturanlagen, wie z. B. Schienennetzbetreibern, verwendet. Das modular aufgebaute System unterstützt die Verwaltung und Dokumentation der Bausubstanz von Kunstbauten, deren Inspektion, Erhaltungsmaßnahmen (Modul Datenverwaltung KUBA-DB), Zustandsentwicklung und Finanzbedarf (Modul Erhaltungsplanung KUBA-MS). Zu den weiteren Modulen gehören die Beurteilung der Befahrbarkeit von Bauwerken durch Schwertransporte (Modul Sondertransporte KUBA-ST), die Auswertung aller erfassten Daten (Modul Auswertung KUBA-RP), die Administration der Anwendung (Modul Administration KUBA-ADM) sowie die Darstellung der Inhalte über einen Web-Browser (KUBA-Web). Dabei kann der Zugriff auf das System (KUBA-DB) über eine Web-Applikation (nur lesend) oder mittels eines „Smart-Client“ (lesend und schreibend) erfolgen und erfordert keine Installation einer Software. Darüber hinaus ermöglichen mobile Lösungen (KUBA-Mobile) auf Windows-Tablet-PC und iPad mini eine Inspektion von Kunstbauten vor Ort im Offline-Modus. Das System wird vom schweizerischen Bundesamt für Informatik und Telekommunikation (BIT) betrieben und erfüllt somit höchste Sicherheitsstandards. Neben Deutsch ist das System auch in Französisch, Italienisch, Englisch, Spanisch und Serbisch erhältlich.⁴⁰⁹

Bauwerk-Management-System

Das Bauwerk-Management-System (BMS), das von der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) zusammen mit dem damaligen Verkehrsministerium (BMVBS, heute BMVI) und den Straßenbauverwaltungen der Länder konzipiert wurde,⁴¹⁰ dient zur Unterstützung der bundesweiten systematischen Erhaltungsplanung von Brücken und Ingenieurbauwerken. Ziel ist dabei eine systematische Erhaltungsstrategie, welche die Strategie der präventiven Erhaltung von Ingenieurbauwerken mit der Strategie der Möglichkeit des gezielten Alterns, indem nur kleine Instandsetzungsmaßnahmen innerhalb der Nutzungszeit erfolgen, kombiniert.⁴¹¹ Darüber hinaus werden mit diesem System eine bundesweite Vereinheitlichung von Planungsverfahren und Optimierung der Wirtschaftlichkeit bei der Erhaltung des Straßennetzes angestrebt.⁴¹²

Das BMS besteht aus einer zentralen Datenbank, welche Verwaltungsdaten, Katalogdaten, Bestandsdaten (Bauwerke und Strecken) sowie Ergebnisse von Berechnungen bereitstellt,

⁴⁰⁸ Vgl. IMC (o.J.); Mehlhorn/Curbach (2014) S. 1216; Mertens (2015) S. 315.

⁴⁰⁹ Vgl. IMC (o.J.).

⁴¹⁰ Vgl. BASt (o.J.).

⁴¹¹ Vgl. Mertens (2015) S. 17 ff.

⁴¹² Vgl. FIS (o.J.).

sowie aus vier weiteren Programmmodulen. Während die Module BMS-MV und BMS-MB der Erzeugung und Bewertung von Erhaltungsstrategien auf Bauwerksebene (Objektebene) dienen, ermöglichen die Module BMS-EP und BMS-SB die Optimierung der Erhaltungsplanung und Simulation von Erhaltungsszenarien unter der gesamtheitlichen Betrachtung aller Bauwerke (Netzebene).⁴¹³ Mithilfe dieser Programmmodule werden Empfehlungen für die Instandsetzungs- bzw. Erneuerungsmaßnahmen erzeugt, wobei sowohl Finanzmittel (Budget) und Zustand, als auch volkswirtschaftliche Kosten berücksichtigt werden.⁴¹⁴ Hierbei ist es erforderlich, die Folgemaßnahmen ebenfalls mit zu berücksichtigen, sodass für die Planung der Erhaltungsmaßnahmen zudem ein Zeitraum darüber hinaus zu betrachten ist. Das BMS beobachtet daher einen Zeitraum von sechs Jahren (Planungszeitraum) sowie von 20 Jahren (Betrachtungszeitraum).⁴¹⁵ Die Module sind in der Form eingebunden, dass Daten in bzw. aus der Datenbank des BMS importiert oder exportiert werden können.⁴¹⁶ Die Daten über den Bestand und Zustand der Bauwerke, welche im Rahmen der Bauwerksprüfungen im Programmsystem Straßeninformationsbank (SIB-Bauwerke) erfasst werden, können für das Bauwerk-Management-System (BMS) aufbereitet und genutzt werden.⁴¹⁷

2.3.4 Systeme zur Nutzung digitaler Bauwerksmodelle

Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) hat 2015 einen Stufenplan respektive ein Modell zur schrittweisen Einführung von Building Information Modeling (BIM) in Deutschland bekannt gegeben, mit dem Ziel, ab 2020 alle öffentlichen Bauvorhaben im Zuständigkeitsbereich des BMVI auf der Grundlage von BIM abzuwickeln.⁴¹⁸ Der Stufenplan wurde im Auftrag des BMVI von der „planen-bauen 4.0 Gesellschaft zur Digitalisierung des Planens, Bauens und Betreibens mbH“⁴¹⁹ entwickelt, welche von den großen Verbänden der Planungs- und Bauwirtschaft zur Beschleunigung der Digitalisierung des Planens und Bauens in Deutschland gegründet wurde.⁴²⁰ International ist die Einführung von BIM teilweise bereits sehr weit vorangeschritten, wie in Singapur, Finnland, den USA, Australien und insbesondere Großbritannien, wobei der Staat jeweils als größter Auftraggeber fungiert.⁴²¹

Mit der Methode des Building Information Modeling (BIM) werden im Rahmen der Planung, des Baus und Betriebs eines Bauwerks die Informationen nicht wie bisher in Zeichnungen abgelegt, sondern in ein umfassendes digitales Bauwerksmodell übertragen.⁴²² Building Information Modeling basiert auf der Annahme, das digitale Modell eines Gebäudes durchgängig über den gesamten Lebenszyklus eines realen Bauwerks – Konzept, Planung, Erstellung, Nutzung – zu verwenden. Damit sollen sowohl der Datenaustausch optimiert als auch die

⁴¹³ Vgl. FIS (o.J.); Schnellenbach-Held/Karczewski/Kühn (2014) S. 86; Mertens (2015) S. 315 f., S. 319 f.

⁴¹⁴ Vgl. BMVBS (2013) S. 18.

⁴¹⁵ Vgl. Mertens (2015) S. 319.

⁴¹⁶ Vgl. FIS (o.J.).

⁴¹⁷ Vgl. BASt (o.J.); BMVBS (2013) S. 12, S. 18; Mertens (2015) S. 318.

⁴¹⁸ Vgl. ARGE INFRABIM; BMVI (2015a) S. 5; Singer/Borrmann (2016) S. 6 f.; Liebich/Borrmann u.a. (2018) S. 3.

⁴¹⁹ Vgl. planen-bauen 4.0 – Gesellschaft zur Digitalisierung des Planens, Bauens und Betreibens mbH.

⁴²⁰ Vgl. BMVI (2015c) S. 3; Borrmann/König/Koch/Beetz (2015) S. 16 f.

⁴²¹ Vgl. Borrmann/König/Koch/Beetz (2015) S. 13 ff., S. 17 f.; Hausknecht/Liebich (2016) S. 30 f.

⁴²² Vgl. Borrmann/König/Koch/Beetz (2015) S. 3.

Planungseffizienz gesteigert werden.⁴²³ Als Building Information Model wird ein komplettes digitales Abbild eines Bauwerks verstanden, welches eine dreidimensionale Geometrie aller Bauteile wiedergibt und darüber hinaus die geometrischen, topologischen und funktionellen Eigenschaften des Gebäudes beschreibt (Bauwerksmodell).⁴²⁴ Diese Zusatzinformationen ermöglichen sowohl einen hochwertigen Datenaustausch als auch die Weiterverwendung erfasster digitaler Daten.⁴²⁵ Der Begriff Building Information Modeling bezeichnet dagegen den Ablauf der Erzeugung, stetigen Veränderung und Verwaltung eines digitalen Bauwerksmodells (Methode der Bauinformationsmodellierung).⁴²⁶ Das BMVI fasst BIM mit folgender Definition zusammen: „Building Information Modeling bezeichnet eine kooperative Arbeitsmethodik, mit der auf der Grundlage digitaler Modelle eines Bauwerks die für seinen Lebenszyklus relevanten Informationen und Daten konsistent erfasst, verwaltet und in einer transparenten Kommunikation zwischen den Beteiligten ausgetauscht oder für die weitere Bearbeitung übergeben werden.“⁴²⁷

BIM ermöglicht eine prozessorientierte Planung im Bauwesen mit durchgängiger digitaler Informationsverarbeitung,⁴²⁸ wobei zum einen eine neue Art der Zusammenarbeit und Koordination aller Teammitglieder am Bau über die gesamte Bauphase erreicht werden kann, zum anderen effizientere Wege der Informationsbereitstellung auf der Grundlage digitaler Technologien erzielt werden können.⁴²⁹ Hierfür stehen eine Vielfalt an Softwareprodukten zur Verfügung, welche in den Prozessen des BIM⁴³⁰ genutzt werden können, wie u.a. die 3D-Modellierungssoftware für die Formfindung und konzeptionelle Planung, Auswertungs- und Prüfungstools, Programme der Kostenplanung und Kalkulation, der Energie- und Nachhaltigkeitsberechnungen sowie der Definition und Kontrolle der Raumprogramme.⁴³¹ Für die Nutzung von BIM müssen die ausgetauschten Daten miteinander kompatibel sein. Um die umfassende Verwendbarkeit eines herstellerneutralen, offenen internationalen Austauschstandards, wie er in Form der sog. „Industry Foundation Classes“ (IFC)⁴³² vorliegt, in der Infrastruktur zu garantieren, wird zurzeit der nationale „Objektkatalog für das Straßen- und Verkehrswesen“ (OKSTRA),⁴³³ welcher im Bundesfernstraßenbau zum Datenaustausch genutzt wird, für den Bereich der Infrastruktur erweitert.⁴³⁴ Der Standard IFC ermöglicht einen herstellerneutralen Austausch geometrisch-semantischer Bauwerksmodelle zwischen Softwaresystemen unterschiedlicher Hersteller, sodass geometrische und alphanumerische Bauwerksdaten bereitgestellt und über lange Zeiträume gespeichert werden können.⁴³⁵ Die Entwicklung des ISO-normierten (ISO 16739) Datenformats IFC wird für den Bereich Straßen

⁴²³ Vgl. Borrmann/König/Koch/Beetz (2015) S. 1; Singer/Borrmann (2016) S. 17.

⁴²⁴ Vgl. Borrmann/König/Koch/Beetz (2015) S. 4, S. 17; Singer/Borrmann (2016) S. 6, S. 17; Hausknecht/Liebich (2016) S. 115 ff.

⁴²⁵ Vgl. Borrmann/König/Koch/Beetz (2015) S. 17.

⁴²⁶ Vgl. Borrmann/König/Koch/Beetz (2015) S. 4; Singer/Borrmann (2016) S. 6, S. 17; Hausknecht/Liebich (2016) S. 62 ff.

⁴²⁷ BMVI (2015a) S. 4.

⁴²⁸ Vgl. Hausknecht/Liebich (2016) S. 33.

⁴²⁹ Vgl. Hausknecht/Liebich (2016) S. 210.

⁴³⁰ Vgl. Hausknecht/Liebich (2016) S. 147 ff.

⁴³¹ Vgl. Hausknecht/Liebich (2016) 67 ff.

⁴³² Vgl. Borrmann/König/Koch/Beetz (2015) S. 83 ff., S. 129 ff., S. 193 ff.; Hausknecht/Liebich (2016) S. 62 ff., S. 98 ff.

⁴³³ Vgl. Schnellenbach-Held/Karczewski/Kühn (2014) S. 77; Amann/Borrmann (2015) S. 6 ff.; BAST (2019).

⁴³⁴ Vgl. BMVI (2015a) S. 4; Amann/Borrmann (2015) S. 3; Singer/Borrmann (2016) S. 25.

⁴³⁵ Vgl. Singer/Borrmann (2016) S. 65.

und Schienen auf internationaler Ebene durch die buildingSMART e.V.⁴³⁶ weiter vorangetrieben,⁴³⁷ da das IFC-Format bislang nur die Beschreibung von Gebäuden unterstützt.⁴³⁸

Das Bauwerksmodell entspricht einer Datenbank und zeichnet sich bezüglich der Kriterien eines digitalen Wirtschaftszweigs anhand folgender vier Aspekte aus: Die enthaltenen Informationen können elektronisch ausgewertet und überprüft werden. Die Ergebnisse der überprüfbar und ausgewerteten Informationen können im Anschluss für andere Prozesse genutzt werden. Darüber hinaus lassen sich die Daten mit Informationen externer Datenbanken verknüpfen und sind somit vielseitig auswertbar.⁴³⁹ Die Vorteile von BIM werden in der Erhöhung von Planungsgenauigkeit, Termin- und Kostensicherheit, der Steuerung des Bauablaufs sowie in der Optimierung der Kosten im Lebenszyklus gesehen.⁴⁴⁰ Zudem werden aufgrund der konsequenten Weiternutzung digitaler Informationen Aufwand und Fehler reduziert sowie Produktivität und Qualität gesteigert.⁴⁴¹

Die Anwendung von Prinzipien des Building Information Modeling (BIM) für das Erhaltungsmanagement von Brücken respektive anderer Teile der Infrastruktur, wie Straßen oder Tunnel, ist im Rahmen der Machbarkeitsstudie „BIM für Bestandsbrücken“ aus Beton im Auftrag der BASt als eine sehr gute Grundlage verifiziert worden.⁴⁴² Eisenbahnbrücken respektive die angewandten IT-Systeme der Instandhaltung der Deutschen Bahn wurden in dieser Studie noch nicht berücksichtigt. Im Rahmen einer vom BMVI geförderten Projektstudie „Digitale Instandhaltung von Eisenbahninfrastruktur (DiMaRB)“ werden aktuell in einem Konzept die Inspektions- und Monitoringdaten mit digitalen Bauwerksmodellen verknüpft und ihre Machbarkeit geprüft.⁴⁴³

Die im BIM zugrundeliegenden digitalen Bauwerksmodelle unterstützen sowohl die Datenerfassung der Inspektion, als auch der Zustandsbewertung und Instandsetzung. Das digitale Bauwerksmodell stellt eine 3D-Geometrie aller Bauteile zur Verfügung, was die Lokalisierung von Schädigungen sowie die Visualisierung und Fotografien des ermittelten Bauzustands ermöglicht.⁴⁴⁴ Darüber hinaus kann das 3D-Modell mit zeitlichen Informationen verknüpft werden, sodass ein 4D-Modell entsteht, womit die Schadens- und Zustandsentwicklung des Bauwerks über gewählte Zeiträume wiedergegeben werden kann. Weiterhin ermöglicht BIM eine semantische Klassifizierung der Bauteile, die Beschreibbarkeit von Aggregationshierarchien und die Möglichkeit der Verknüpfung mit weiteren beschreibenden Attributen gemäß ASB-ING. Auch können Dokumente, wie Bauwerkspläne oder Prüfberichte, mit dem Bauwerksmodell verknüpft werden.⁴⁴⁵

⁴³⁶ Vgl. buildingSMART e.V.

⁴³⁷ Vgl. BMVI (2015a) S. 13; Amann/Borrmann (2015) S. 2.

⁴³⁸ Vgl. Amann/Borrmann (2015) S. 2, S. 3 ff.; Singer/Borrmann (2016) S. 23 ff., S. 65; Hausknecht/Liebich (2016) S. 62 ff.

⁴³⁹ Vgl. Hausknecht/Liebich (2016) S. 33 f., S. 142 ff.

⁴⁴⁰ Vgl. BMVI (2015a) S. 7 f.; Singer/Borrmann (2016) S. 6; Hausknecht/Liebich (2016) S. 52 f.; Liebich/Borrmann u.a. (2018) S. 3.

⁴⁴¹ Vgl. Borrmann/König/Koch/Beetz (2015) S. 3.

⁴⁴² Vgl. Singer/Borrmann (2016) S. 65, S. 67.

⁴⁴³ Digitale Instandhaltung von Eisenbahnbrücken – DiMaRB (Laufzeit: 09/2018–08/2021), vgl. BMVI (o.J.).

⁴⁴⁴ Vgl. Singer/Borrmann (2016) S. 19, S. 65.

⁴⁴⁵ Vgl. Singer/Borrmann (2016) S. 65.

Da häufig Daten von Bestandsbrücken, insbesondere Informationen zur 3D-Geometrie und alphanumerische (nicht-geometrische) Informationen, nur begrenzt digital vorliegen, müssen diese entsprechend aufbereitet werden. Für die Erfassung der 3D-Geometrie eignen sich Verfahren der Fotogrammetrie bzw. des Laserscannings oder die Nutzung parametrisierter 3D-Brückenmodelle, mit denen ohne großen Aufwand geometrisch-semantische BIM-Modelle erzeugt werden können.⁴⁴⁶ Bauwerke, die bereits mit dem Programmsystem SIB-Bauwerke verwaltet werden, können mit wenig Aufwand in ein BIM-Modell übernommen werden, womit nicht-geometrische Informationen bereitgestellt werden. Für Bauwerke, die noch nicht digital erfasst wurden, sind zwar umfangreichere manuelle Aufbereitungen notwendig, welche aber vergleichbar mit der Datenverarbeitung im System SIB-Bauwerke sind.⁴⁴⁷ Die Nutzung einer Bestandsverwaltung von Brücken mit BIM wird als mögliche Erweiterung zu den existierenden Programmsystemen, wie SIB-Bauwerke, gesehen, da die Daten damit modellbasiert aufbereitet und entsprechend strukturiert werden können.⁴⁴⁸

Die dreidimensionale Modellierung des Bauwerks ermöglicht das Ableiten von 2D-Plänen für Grundrisse und Schnitte; zudem wird ein Katalog mit bauspezifischen Objekten angeboten, welcher vordefinierte Bauteile enthält. Diese Objekte kombinieren das 3D-Modell mit weiteren beschreibenden Merkmalen und stellen Beziehungen zu anderen Bauteilen her. Die bauteilorientierte Modellierung ermöglicht die Ableitung von Plänen aus dem BIM, welchen den geltenden Vorschriften und Normen entsprechen, sowie eine unmittelbare Anwendung von Analyse- und Simulationswerkzeugen.⁴⁴⁹ Die Anwendung der verschiedenen digitalen Analyse- und Prüfwerkzeuge verhindern Planungsfehler und erzeugen damit eine höhere Effizienz in Planung, Ausführung und Betrieb.⁴⁵⁰

Im Rahmen der geometrischen Modellierung wird zwischen dem expliziten und dem impliziten Verfahren unterschieden: Bei dem expliziten Verfahren wird der Körper über seine Oberfläche beschrieben, was daher auch als Randdarstellungsverfahren (Boundary Representation) bezeichnet wird. Hierbei bildet das Beziehungsgeflecht zwischen Körper, Fläche, Kanten und Knoten die Topologie des modellierten Körpers ab. Eine vereinfachte Variante des Randdarstellungsverfahrens stellt die dreiecksbasierte Oberflächenbeschreibung dar.⁴⁵¹ Bei dem impliziten Verfahren, auch prozedurales Verfahren genannt, wird dagegen eine Folge von Konstruktionsschritten zur Beschreibung des Körpers festgehalten. Hierzu gehören das Verfahren der Constructive Solid Geometry sowie Extrusions- und Rotationsverfahren.⁴⁵² Da jeder dieser Verfahren spezielle Vor- und Nachteile aufweist, werden von BIM-Systemen in der Regel beide Ansätze verfolgt.⁴⁵³ Dies gilt auch bei BIM-Datenaustauschformaten, wozu die parametrische Modellierung sowie Freiformkurven und -flächen gehören. Bei der parametrischen Modellierung können geometrische Modelle mit

⁴⁴⁶ Vgl. Singer/Borrmann (2016) S. 16, S. 55 ff., S. 66.

⁴⁴⁷ Vgl. Singer/Borrmann (2016) S. 60 ff., S. 66.

⁴⁴⁸ Vgl. Singer/Borrmann (2016) S. 22.

⁴⁴⁹ Vgl. Borrmann/König/Koch/Beetz (2015) S. 5.

⁴⁵⁰ Vgl. Borrmann/König/Koch/Beetz (2015) S. 17.

⁴⁵¹ Vgl. Borrmann/König/Koch/Beetz (2015) S. 27 ff., S. 40.

⁴⁵² Vgl. Borrmann/König/Koch/Beetz (2015) S. 27, S. 30 ff., S. 40.

⁴⁵³ Vgl. Borrmann/König/Koch/Beetz (2015) S. 33, S. 40 f.

Parametern (Abmessungen geometrischer Objekte), Abhängigkeiten und Zwangsbedingungen versehen werden, wodurch ein flexibles Modell entsteht, welches sich ohne großen Aufwand an veränderte Randbedingungen anpassen lässt. Dieser Ansatz basiert auf einer impliziten Geometriebeschreibung.⁴⁵⁴ Die Modellierung von gekrümmten Kurven und Flächen wird mithilfe einer parametrischen Formulierung (Entwurf) beschrieben, welche diese sehr genau abbilden. Hierbei wird zwischen Bézier-, BSpline- und NURBS-Kurven bzw. -flächen unterschieden, welche durch eine Reihe von Kontrollpunkten definiert werden.⁴⁵⁵

Die semantischen Informationen eines Bauwerks, wie Angaben zum Herstellungsverfahren, zu Baustoffen und Materialien sowie zu Nutzungseigenschaften von Räumen, werden mithilfe der objektorientierten Modellierung beschrieben und strukturiert. Zu den wesentlichen objektorientierten Modellierungskonzepten gehören Objekte und Klassen, Attribute und Methoden, Vererbung, Assoziationen sowie Aggregationen und Kompositionen.⁴⁵⁶

Neben der geometrischen und objektorientierten Modellierung ist ein weiterer Bestandteil der BIM-Methode die Betrachtung der Prozesse, bei denen digitale Informationen des Bauwerks erstellt, verändert, verwendet und weitergeleitet werden.⁴⁵⁷ Bei der Prozessmodellierung werden alle Bestandteile, welche zur Ausführung einzelner Aufgaben erforderlich sind, formal beschrieben und übersichtlich wiedergegeben. Zu den Modellierungsansätzen von Prozessen unter Verwendung der BIM-Methode gehören Integration Definition for Function Modeling (IDEF), Ereignisgesteuerte Prozessketten (EPK) und Business Process Modeling Notation (BPMN),⁴⁵⁸ welche am häufigsten angewandt werden.⁴⁵⁹

2.4 Aufnahme der relevanten Geschäftsprozesse

Geschäftsprozesse gibt es in jedem Unternehmen, in jeder Behörde oder Organisation, indem Produkte erstellt oder Dienstleistungen erbracht werden.⁴⁶⁰ Die Geschäftsprozesse bestehen aus komplexen und mehreren Funktionen bestehenden Arbeitsabläufen, mit denen eine betriebliche Aufgabe erledigt wird. Die Funktionen respektive Aktivitäten, welche durch verschiedene Teilnehmer arbeitsteilig durchgeführt werden, indem die Aufgaben in Teilaufgaben zerlegt werden, stehen in einem zeitlich-sachlogischen Zusammenhang und tragen zur Erreichung des Geschäftsziels bei. Die Teilnehmer verwenden bereitgestellte Informationen und Vorleistungen, um Produkte zu erstellen respektive Dienstleistungen zu erbringen.⁴⁶¹ Im Rahmen der Gestaltung von Geschäftsprozessen spielen IT-Systeme insofern eine entscheidende Rolle, als sie die Abläufe effizienter und effektiver gestalten.⁴⁶² Die Ge-

⁴⁵⁴ Vgl. Borrmann/König/Koch/Beetz (2015) S. 34 ff., S. 41.

⁴⁵⁵ Vgl. Borrmann/König/Koch/Beetz (2015) S. 37 ff., S. 41.

⁴⁵⁶ Vgl. Borrmann/König/Koch/Beetz (2015) S. 45 ff.

⁴⁵⁷ Vgl. Borrmann/König/Koch/Beetz (2015) S. 57; Hausknecht/Liebich (2016) S. 147 ff.

⁴⁵⁸ Vgl. Kap. 2.4; Hausknecht/Liebich (2016) S. 148.

⁴⁵⁹ Vgl. Borrmann/König/Koch/Beetz (2015) S. 61.

⁴⁶⁰ Vgl. Hansen/Mendling/Neumann (2015) S. 58 f.

⁴⁶¹ Vgl. Hansen/Mendling/Neumann (2015) S. 60, S. 62.

⁴⁶² Vgl. Hansen/Mendling/Neumann (2015) S. 60.

schäftsprozesse eines Unternehmens lassen sich in Abhängigkeit von der Nähe zu den Kernkompetenzen eines Unternehmens in Haupt- oder Kernprozesse, Unterstützungs- oder Supportprozesse sowie in Management- oder Führungsprozesse unterscheiden.⁴⁶³

Haupt- oder Kernprozesse

Die Kernkompetenzen eines Unternehmens setzen sich aus seinen technologischen, fertigungstechnischen und prozessualen Fähigkeiten zusammen und entstehen durch eine Kombination aus Wissen, Erfahrung, Lösungskompetenz, Routinen sowie aus materiellen Ressourcen, wie Technologien, Materialien, Equipment, IT, Methoden, Tools und Finanzmittel. Kernkompetenzen stiften einen hohen Kundennutzen, beruhen auf unternehmensspezifischen Kenntnissen, Fähigkeiten und Erfahrungen und sind, da nicht auf dem Markt verfügbar, nur schwer zu imitieren respektive zu substituieren. Darüber hinaus generieren sie neue Produkte und Leistungen und erschließen dadurch neue Märkte. Der Ausbau und die Weiterentwicklung dieser Kernkompetenzen gehört zu den wichtigsten strategischen Aufgaben eines Unternehmens.⁴⁶⁴ Die Interaktionen zwischen den Fähigkeiten und Ressourcen eines Unternehmens, woraus die Kernkompetenzen entstehen, finden in Geschäftsprozessen statt.⁴⁶⁵ Wenn diese maßgeblich zum Auf- oder Ausbau der Kernkompetenzen beitragen, werden sie Kern- oder Hauptprozesse genannt. Kern- oder Hauptprozesse haben sowohl einen direkten Bezug zu den Kernkompetenzen eines Unternehmens als auch eine hohe strategische Bedeutung für die Kundenzufriedenheit sowie für das Erreichen oder Halten eines Wettbewerbsvorteils, welche einen nachhaltigen Schutz vor Wettbewerbern bieten.⁴⁶⁶ Aufgrund ihres direkten Bezugs zu den Produkten eines Unternehmens leisten sie einen Beitrag zur Wertschöpfung.⁴⁶⁷ Sie lassen sich in absatz- und beschaffungsbezogene Prozesse unterteilen, wie z. B. Forschung, Produktentwicklung oder Materialbeschaffung.⁴⁶⁸

Unterstützungs- oder Supportprozesse

Unterstützungsprozesse sind Geschäftsprozesse, welche die Kernprozesse unterstützen, also nicht im engen Sinne wertschöpfend, aber notwendig sind, um Kernprozesse auszuführen.⁴⁶⁹ Im Gegensatz zu den Kernprozessen habe diese keinen direkten Bezug zu den Produkten oder Dienstleistungen eines Unternehmens. Hierzu gehören u.a. Personalwirtschaft, Rechnungswesen, Recht und Informationsverarbeitung. Eine Trennung zwischen Kern- und Unterstützungsprozessen ist fließend, da, je nach Kontext und Unternehmen, derselbe Prozess Kern- oder Unterstützungsprozess sein kann. Darüber hinaus können Unterstützungsprozesse in Kernprozesse übergehen.⁴⁷⁰

⁴⁶³ Vgl. Gadatsch (2012) S. 38.

⁴⁶⁴ Vgl. Becker/Kugeler/Rosemann (2012) S. 136 f.; Schmelzer/Sesselmann (2013) S. 103.

⁴⁶⁵ Vgl. Schmelzer/Sesselmann (2013) S. 103.

⁴⁶⁶ Vgl. Schmelzer/Sesselmann (2013) S. 103, S. 104 f.

⁴⁶⁷ Vgl. Becker/Kugeler/Rosemann (2012) S. 7.

⁴⁶⁸ Vgl. Hansen/Mendling/Neumann (2015) S. 72.

⁴⁶⁹ Vgl. Becker/Kugeler/Rosemann (2012) S. 7.

⁴⁷⁰ Vgl. Becker/Kugeler/Rosemann (2012) S. 7, S. 136 f.

Management- oder Führungsprozesse

Managementprozesse verantworten das Zusammenwirken aller Geschäftsprozesse in einem Unternehmen, wozu u.a. die Geschäftsstrategie, die Unternehmensplanung und die operative Führung gehören, und bilden die Klammer sowohl über die Kern- als auch über die Unterstützungsprozesse. Die Abbildung und das Zusammenwirken der unterschiedlichen Prozesse in einem Unternehmen kann in Form einer Prozesslandkarte grafisch veranschaulicht werden.⁴⁷¹

Geschäftsprozessmanagement

Die Aufgaben und Maßnahmen des Geschäftsprozessmanagements lassen sich mithilfe des Lebenszyklusmodells als einen sich wiederholenden Ablauf bildlich veranschaulichen, wozu die Identifikation, die Erhebung, die Analyse, die Verbesserung, die Einführung und die Überwachung von Geschäftsprozessen gehören.⁴⁷²

Im Rahmen der Prozessidentifikation werden die für ein Unternehmen/Organisation wichtigsten Prozesse in ihrer Gesamtheit benannt, bewertet und strukturiert. Die Beziehungen der Prozesse untereinander lassen sich mit einer Prozessarchitektur veranschaulichen.⁴⁷³ Die Benennung der Prozesse sollte die wesentlichen Verrichtungen eines Betriebs respektive die Leistungserstellung eines Betriebs umfassen, welche sich auf den verschiedenen Ebenen der Organisationsstruktur befinden.⁴⁷⁴ Die Prozesslandkarte als grafisches Hilfsmittel stellt die Beziehungen zwischen Strategie und Prozessorganisation her und veranschaulicht das Geschäftsmodell respektive die Prozesse eines Betriebs.⁴⁷⁵ Dabei befinden sich gegliedert von oben nach unten im oberen Teil die Managementprozesse, wie Strategische Planung und Controlling, im mittleren Teil die Haupt- oder Kernprozesse, wozu die mit der Beschaffung verbundenen Prozesse und die absatzbezogenen Prozesse gehören, wie Einkauf, Rechnungsprüfung, Marketing und Verkauf, und schließlich im unteren Teil die Unterstützungsprozesse, wie Buchhaltung, Kostenrechnung und Personal.⁴⁷⁶ Nach Benennung der Prozesse können diese bewertet werden. Hierbei gilt es, die strategisch wichtigen Prozesse zu verbessern. Um einzelne Prozesse hinsichtlich ihrer Optimierung zu analysieren, sind diese zunächst innerhalb einer Prozessarchitektur zu betrachten, welche die Organisation und Beschreibung von Prozessen eines Betriebs beinhaltet und wodurch die Abstraktionsebenen sowie Beziehungen zwischen den Prozessen definiert werden.⁴⁷⁷ In der Regel werden dabei drei Abstraktionsebenen verwendet: die Prozesslandkarte, welche die Gesamtheit der Prozesse abbildet, die Darstellung der Prozesse in Form von Wertschöpfungsketten sowie Prozessmodelle, welche den genauen Ablauf eines Prozesses darstellen.⁴⁷⁸

⁴⁷¹ Vgl. Gadatsch (2012) S. 38 ff.

⁴⁷² Vgl. Hansen/Mendling/Neumann (2015) S. 66 ff.

⁴⁷³ Vgl. Hansen/Mendling/Neumann (2015) S. 70.

⁴⁷⁴ Vgl. Hansen/Mendling/Neumann (2015) S. 70.

⁴⁷⁵ Vgl. Hansen/Mendling/Neumann (2015) S. 71.

⁴⁷⁶ Vgl. Hansen/Mendling/Neumann (2015) S. 72.

⁴⁷⁷ Vgl. Hansen/Mendling/Neumann (2015) S. 74.

⁴⁷⁸ Vgl. Hansen/Mendling/Neumann (2015) S. 74 ff.

Im Rahmen der Gestaltung von Geschäftsprozessen geht es um deren Erhebung, Analyse und Verbesserung, wobei der Fokus nicht auf die Gesamtheit der Prozesse eines Unternehmens gesetzt, sondern der einzelne Geschäftsprozess betrachtet wird. Bei der Prozesserrhebung erfolgt die Ist-Analyse, bei der sämtliche Informationen, z. B. durch vorhandene Dokumentationen, Beobachtungen, Interviews und Workshops, eines Geschäftsprozesses gesammelt und aufbereitet werden, um somit die aktuelle Situation des Prozessmodells erstellen zu können.⁴⁷⁹ Auf der Grundlage des Ist-Modells können die Prozessanalyse oder Schwachstellenanalyse erfolgen sowie die Ursachen der Schwachstellen ermittelt werden. Zu den Analysemethoden gehören die Wertbeitragsanalyse, bei der die Funktionen eines Prozesses in die Funktionen wertschöpfend, geschäftsdienlich und nicht wertschöpfend kategorisiert werden, sowie das Ursache-Wirkungs-Diagramm, mit dem die Ursachen für ein Problem analysiert werden. Die Ursachen werden dabei in die Kategorien Mensch, Maschine, Milieu, Material, Methode und Messung unterschieden.⁴⁸⁰ Bei der Umsetzung der Prozessverbesserung wird sich des sog. Teufelsviereck bedient, welches die Verknüpfung der Dimensionen Qualität, Zeit, Flexibilität und Kosten veranschaulicht, indem Verbesserungen in der einen Dimension zu Verschlechterungen in einer anderen führen können. Somit kann es keine allgemeingültigen Regeln, sondern lediglich Optionen hinsichtlich einer Prozessverbesserung geben, welche die Maßnahme Redesign-Heuristiken formulieren, die sich in die Bereiche Kunde, Prozessdurchführung, Prozesslogik, Organisationsstruktur, Prozessteilnehmer, IT-Systeme und Prozessumfeld gliedern und hieraus ein Sollprozessmodell als Vorlage für die Umsetzung von Prozessverbesserungen resultiert.⁴⁸¹

Geschäftsprozessmanagementsysteme

Die Einführung von Geschäftsprozessen kann mithilfe verschiedener Softwaresysteme, sog. Geschäftsprozessmanagementsysteme, unterstützt werden, wobei die abgebildeten Geschäftsprozesse innerhalb solcher Systeme als Workflow (Arbeitsablauf) bezeichnet werden. Zu diesen Systemen gehören insbesondere Groupware-Systeme, Ad-hoc-Workflowsysteme und strukturierte Workflowsysteme, welche sich durch ihre Strukturiertheit unterscheiden. Bei Groupware-Systemen, die sich für unstrukturierte Prozesse eignen, erfolgt die Zusammenarbeit der Anwender auf einer gemeinsamen Plattform, unabhängig von deren räumlichen oder zeitlichen Distanz. Bei Ad-hoc-Workflow-Systemen haben Benutzer jederzeit die Möglichkeit, Prozessabläufe abzuändern, während bei strukturierten Workflowsystemen ein Abweichen der Prozessabläufe nicht möglich ist.⁴⁸² Darüber hinaus lassen sich mit dem Einsatz von Geschäftsprozessmanagementsystemen die Prozesse hinsichtlich der Zeit, Kosten, Qualität und Flexibilität überwachen.⁴⁸³ Mithilfe der Analysetechnik Process-Mining können die bei der Ausführung der Geschäftsprozesse erfassten digitalen Daten analysiert werden und somit z. B. erkennen lassen, inwieweit der erwünschte Geschäftsprozess tatsächlich

⁴⁷⁹ Vgl. Hansen/Mending/Neumann (2015) S. 76, S. 78 f.

⁴⁸⁰ Vgl. Hansen/Mending/Neumann (2015) S. 79 ff.

⁴⁸¹ Vgl. Hansen/Mending/Neumann (2015) S. 82 ff.

⁴⁸² Vgl. Hansen/Mending/Neumann (2015) S. 86 f.

⁴⁸³ Vgl. Hansen/Mending/Neumann (2015) S. 89 f.

erfolgt ist.⁴⁸⁴ Die auf den Datenbanken abgelegten prozessbezogenen Ereignisdaten, auch Logdaten genannt, können für verschiedene Analysen verwendet werden. Bei deren Erkennung wird ein Prozessmodell generiert, welches die Abläufe veranschaulicht und mit dem vorgegebenen Prozessmodell verglichen und dieses beim Erkennen von Problemen verbessert werden kann.⁴⁸⁵

Modellierung von Geschäftsprozessen

Für die Modellierung von Geschäftsprozessen, welche im Rahmen der Gestaltung von Betrieben und deren IT-Systeme eine relevante Rolle spielen, eignen sich verschiedene Konzepte,⁴⁸⁶ wozu Wertschöpfungskettendiagramme, Ereignisgesteuerte Prozessketten (EPK) sowie die Business Process Model and Notation (BPMN) gehören.⁴⁸⁷ Wertschöpfungskettendiagramme veranschaulichen betriebliche Prozesse auf einem abstrakten Niveau, indem sie die Beziehungen der dargestellten Prozesse untereinander aufzeigen. Sie werden vor allem für die Modellierung von Prozesslandkarten angewandt, in welcher die Prozesse nach Management-, Haupt- und Unterstützungsprozesse unterschieden werden.⁴⁸⁸ Die Ereignisgesteuerte Prozesskette (EPK) ist eine Modellierungssprache, um einen (Geschäfts-)Prozess als logische Abfolge hinsichtlich zeitlich-sachlogischer Abhängigkeiten zwischen den Elementen Funktionen (Aktivitäten) und Ereignissen zu beschreiben.⁴⁸⁹ Sie besteht aus den Elementen Funktionen, Ereignisse und (Verknüpfungs-)Operatoren (Regeln), welche durch Linien (Kanten) verbunden sind und als Kontrollfluss bezeichnet werden. Die Funktionen (z. B. Auftrag anlegen) erzeugen dabei Ereignisse (z. B. Auftrag ist angelegt), welche wiederum Funktionen auslösen.⁴⁹⁰ Die EPK kann zu einer erweiterten EPK (eEPK) ergänzt werden, indem zusätzlich Elemente aus anderen ARIS-Sichten dargestellt werden.⁴⁹¹ Mithilfe des Softwareprodukts Architektur für integrierte Anwendungssysteme (ARIS) kann beispielsweise ein Modell für die Prozesse eines Unternehmens entwickelt werden, welches aufgrund der ganzheitlichen Betrachtung von Geschäftsprozessen alle Merkmale zur Beschreibung der Kern-, Geschäfts-, Unterstützungs- und Führungsprozessen beinhaltet. Bei dieser Betrachtung werden die Prozesse in die folgenden fünf Sichten auf ein IT-System zerlegt: Organisation, Funktion, Daten, Steuerung, und Leistung, welche wiederum in drei Beschreibungsebenen unterschieden werden: Fachkonzept, DV- (Datenverarbeitung)Konzept und Implementierung.⁴⁹² Die Business Process Model and Notation (BPMN) stellt schließlich Prozesse als Abfolge von Aktivitäten dar, welche den Funktionen der EPK entsprechen. Die Ereignisse wechseln bei diesem Modell allerdings nicht mit den Funktionen ab, sondern diese beschreiben Zustände.⁴⁹³

⁴⁸⁴ Vgl. Hansen/Mendling/Neumann (2015) S. 90 f.

⁴⁸⁵ Vgl. Hansen/Mendling/Neumann (2015) S. 90 f.

⁴⁸⁶ Vgl. Hansen/Mendling/Neumann (2015) S. 117.

⁴⁸⁷ Vgl. Hansen/Mendling/Neumann (2015) S. 117 ff.

⁴⁸⁸ Vgl. Hansen/Mendling/Neumann (2015) S. 118 f.

⁴⁸⁹ Vgl. Seidlmeier (2015) S. 26; Hansen/Mendling/Neumann (2015) S. 60 f., S. 119 ff.

⁴⁹⁰ Vgl. Seidlmeier (2015) S. 26.

⁴⁹¹ Vgl. Hansen/Mendling/Neumann (2015) S. 122.

⁴⁹² Vgl. Seidlmeier (2015) S. 18 ff.; Hansen/Mendling/Neumann (2015) S. 110 ff.

⁴⁹³ Vgl. Hansen/Mendling/Neumann (2015) S. 122 f.

Geschäftsprozesse der handnahen Bauwerksprüfung am Beispiel der Straßenbauverwaltung

Der Ablauf der handnahen Bauwerksprüfung erfolgt unter der Verwendung des Programmsystems Straßeninformationsbank (SIB-Bauwerke). Vor der Inspektion einer Brücke übermittelt zunächst die zuständige Straßenbauverwaltung dem Bauwerksprüfer die Bauwerksdaten des zu untersuchenden Ingenieurbauwerks aus dem Programmsystem Straßeninformationsbank (SIB-Bauwerke).⁴⁹⁴ Nachdem der Bauwerksprüfer die Bauwerksdaten gesichtet hat, kann er sowohl den erforderlichen Personal- und Zeitbedarf ermitteln, als auch die erforderlichen Besichtigungsgeräte und Verkehrssicherungen einplanen.⁴⁹⁵ Alle in der Bauwerksprüfung ermittelten bisher unbekannt, nicht registrierten Schäden werden anschließend in dem Programmsystem SIB-Bauwerke erfasst und gemäß der Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076 (RI-EBW-PRÜF) hinsichtlich der Standsicherheit, Verkehrssicherheit und Dauerhaftigkeit des Ingenieurbauwerks bewertet. Das Programmsystem SIB-Bauwerke ermittelt nach der Aufnahme und Bewertung sämtlicher Einzelschäden des Ingenieurbauwerks die Zustandsnote. Mit den Ergebnissen der Bauwerksprüfung werden die Bauwerksdaten aktualisiert und abschließend an die jeweilige Straßenbauverwaltung übermittelt.⁴⁹⁶ Auf dieser Basis können notwendige Instandhaltungsmaßnahmen eingeleitet werden.

Geschäftsprozesse der Inspektion unter dem Einsatz von unbemannten Luftfahrzeugsystemen

Bei der Inspektion von Ingenieurbauwerken mit unbemannten Luftfahrzeugsystemen kann die Ablage von Geschäftsprozessen (Flight Management) in digitalisierter Form erfolgen und somit die Möglichkeit einer automatisierten Befliegung „Beyond Visual Line Of Sight (BVLOS)“, ohne direkten Sichtkontakt zum Fluggerät, bieten. In diesem Fall muss das Luftfahrzeugsystem automatisch funktionierende Module besitzen, welche Kollisionen am Boden und in der Luft verhindern können, und damit über Sensoren verfügen, deren Daten in Echtzeit an Bord ausgewertet und an die Bodenstation gesendet werden, um daraus Steuerkommandos für den Autopiloten zu generieren.⁴⁹⁷ Am Markt werden mittlerweile modulare cloudbasierte Softwarelösungen für die Planung, Befliegung und Analyse angeboten, mit welchen Unternehmen unbemannte Luftfahrzeugsysteme automatisiert für industrielle Datenanwendungen einsetzen und in bestehende Geschäftsprozesse integrieren können.⁴⁹⁸ Das UAS Kompetenzzentrum der TÜV Rheinland GmbH bietet IT-gestützte und automatisierte Inspektionsdienstleistungen an, wie z. B. Befliegungen von Industrieanlagen, Fotovoltaikanlagen und Kraftwerken oder Vermessungen, basierend auf einer intelligenten Datenerfassung, einem cloudbasierten Datenmanagement sowie Analyse-Tools.⁴⁹⁹

⁴⁹⁴ Vgl. Schnellenbach-Held/Karczewski/Kühn (2014) S. 86; Mertens (2015) S. 31.

⁴⁹⁵ Vgl. Mertens (2015) S. 31.

⁴⁹⁶ Vgl. Schnellenbach-Held/Karczewski/Kühn (2014) S. 86.

⁴⁹⁷ Vgl. Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhardt/Moll (2018) S. 63.

⁴⁹⁸ Vgl. FlyNex GmbH.

⁴⁹⁹ Vgl. FlyNex GmbH.

Planung

Mit einem Online-Luftraumkartendienst können die Einsätze der Befliegung mit unbemannten Luftfahrzeugsystemen auf der Basis von validen Geodaten geplant werden. Mittels 3D-Visualisierung lassen sich individuelle Wegpunkte und Flugrouten organisieren, wobei die rechtlichen Rahmenbedingungen, wie Flughöhe und Lufträume, sowie diverse Infrastrukturen, wie Luftverkehr, Straßen-, Bahn- und Schiffsverkehr, Siedlungen und Sicherheitszonen, Energieanlagen sowie Umweltbereiche berücksichtigt werden. Darüber hinaus können die Projekte mit allen Stakeholdern vernetzt werden.⁵⁰⁰

Befliegung

Mit der Implementierung digitaler und automatisierter Workflows („Beyond Visual Line Of Sight – BVLOS“) können Checklisten ausgeführt, Aufstiege und Projekte gesteuert, die generierten Daten gespeichert und geteilt, Unternehmensprozesse dokumentiert und Projekte mit anderen Unternehmen vernetzt werden.⁵⁰¹

Analyse

Auf der Basis eines cloudbasierten Datenmanagements werden die Daten gespeichert, verarbeitet, analysiert sowie mit Geodaten verknüpft. Anschließend werden die Daten den Kunden zur Verfügung gestellt.⁵⁰²

2.5 Organisation Kritischer Infrastrukturen

„Kritische Infrastrukturen sind Organisationen und Einrichtungen mit wichtiger Bedeutung für das staatliche Gemeinwesen, bei deren Ausfall oder Beeinträchtigung nachhaltig wirkende Versorgungsengpässe, erhebliche Störungen der öffentlichen Sicherheit oder andere dramatische Folgen eintreten würden.“⁵⁰³ Diese Infrastrukturen werden in die folgenden neun Sektoren eingeteilt und lassen sich nach Branchen gruppieren: Energie, Informationstechnik und Telekommunikation, Transport und Verkehr, Gesundheit, Wasser, Ernährung, Finanz- und Versicherungswesen, Staat und Verwaltung sowie Medien und Kultur. Der Sektor Transport und Verkehr wird in die Branchen Luftfahrt, Seeschifffahrt, Binnenschifffahrt, Schienenverkehr, Straßenverkehr und Logistik untergliedert.⁵⁰⁴ Für die vorliegende Studie stehen die Branchen Straßenverkehr, Schienenverkehr und Binnenschifffahrt aufgrund ihrer zugehörigen Infrastruktur „Ingenieurbauwerke respektive Brücken“ im Fokus der Betrachtung. Innerhalb der Sektoren werden verschiedene essentielle „kritische Dienstleistungen“ erbracht, wie z. B. im Sektor Transport und Verkehr Leistungen zum Transport von Personen und Gütern.⁵⁰⁵ Ihre weitere Unterteilung sind zum einen die „kritischen Prozesse“ (z. B. Instandhaltung), zum anderen die „kritischen Anlagen“, also die physischen Bestandteile der

⁵⁰⁰ Vgl. FlyNex GmbH.

⁵⁰¹ Vgl. FlyNex GmbH.

⁵⁰² Vgl. FlyNex GmbH.

⁵⁰³ BMI (2009) S. 3; vgl. BBK (2017) S. 11, S. 16; Brauner/Friedrich (2018) S. 208.

⁵⁰⁴ Vgl. BMI (2011) S. 8; BBK (2017) S. 16 f. S. 38 Tab. 2; Brauner/Friedrich (2018) S. 209; Schläger/Thode (2018) S. 494 f.

⁵⁰⁵ Vgl. BBK (2017) S. 17, S. 38 Tab. 2.

Infrastrukturen (z. B. Straßen oder Brücken), welche beide für die zu erbringende Dienstleistung erforderlich sind.⁵⁰⁶

2.5.1 Branche Straßenverkehr

Das öffentliche überörtliche Straßennetz in Deutschland hat im Jahre 2016 eine Länge von ca. 230.000 km, wobei zwischen Bundesfernstraßen, Landesstraßen und Kreisstraßen unterschieden wird.⁵⁰⁷ Bundesfernstraßen, zu denen u.a. Brücken gehören, werden wiederum in Bundesstraßen (38.100 km) und Bundesautobahnen (12.996 km) untergliedert.⁵⁰⁸ Laut Angaben der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) befinden sich im Jahre 2018 39.619 Brücken bzw. 51.608 Brücken-Teilbauwerke⁵⁰⁹ im Netz der Bundesfernstraßen.⁵¹⁰ Trotz der wesentlich geringeren Länge der Bundesfernstraßen als die der Landes- (87.000 km) und Kreisstraßen (91.900 km), kommt ihnen dennoch eine verkehrstechnisch höhere Bedeutung zu, da ca. 50 % der Fahrleistungen (bzw. über 30 % auf Bundesautobahnen) auf Fernstraßen abgewickelt werden. Die Länge des innerstädtischen und innerkommunalen Straßennetzes beträgt im Jahre 2012 600.000 km.⁵¹¹

Neben dem Straßennetz zählen zur erweiterten Straßeninfrastruktur Ingenieurbauwerke, wozu Brücken, Verkehrszeichenbrücken, Tunnel, Trogbauwerke, Stützbau-, Lärmschutzbauwerke, sonstige Ingenieurbauwerke (vgl. Kap. 1.1) sowie Notrufsäulen⁵¹² und Komponenten zum Verkehrsmanagement zählen. Die Straßeninfrastruktur einschließlich der Verkehrsmanagementsysteme wird in der Regel durch den öffentlichen Sektor (Bund, Länder, Kommunen) bereitgestellt und unterhalten.⁵¹³ Für das Verkehrsmanagement, wozu u.a. Maßnahmen hinsichtlich der Verkehrsverlagerung oder Verkehrslenkung mithilfe von Informations- und Kommunikationstechnologien gehören, ist in der Regel die Betriebsabteilung des jeweiligen Verkehrsträgers verantwortlich.⁵¹⁴

Planung, Bau, Betrieb und Unterhaltung einer Straße sowie ihrer zugehörigen Infrastruktur verantwortet der jeweilige Baulastträger des Bundes, der Länder, Kreise oder Gemeinden.⁵¹⁵ Für die operative Durchführung können die Baulastträger andere Unternehmen beauftragen, z. B. Autobahn- und Straßenmeistereien, welche den Straßenbetriebsdienst durchführen.⁵¹⁶ Rechtsgrundlage bilden das Bundesfernstraßengesetz (FStrG)⁵¹⁷ und das Grundgesetz

⁵⁰⁶ Vgl. IT-SiG (2015); BBK (2017) S. 17; BSI (2017a) S. 16.

⁵⁰⁷ Vgl. BSI (2015) S. 54; BMVI (2017c) S. 101 (Stand: 2016).

⁵⁰⁸ Vgl. § 1 (2, 4) 5 FStrG (2018); BMVI (2017c) S. 101 (Stand: 2016).

⁵⁰⁹ „Jedes Bauwerk besteht aus mindestens einem Teilbauwerk. Bei Brücken mit mehreren Überbauten ist jeder Überbau als Teilbauwerk zu betrachten.“, Schnellenbach-Held/Fakhouri/Karczewski (2013) S. 75.

⁵¹⁰ Vgl. BASt (2018a).

⁵¹¹ Vgl. BSI (2015) S. 54; BMVI (2017c) S. 101 (Stand: 2016).

⁵¹² Die Notrufsäulen werden von dem Gesamtverband der Deutschen Versicherer betrieben, vgl. BSI (2015) S. 55, S. 63.

⁵¹³ Vgl. BSI (2015) S. 55.

⁵¹⁴ Vgl. BSI (2015) S. 57 f.

⁵¹⁵ Vgl. § 3 FStrG (2018); BSI (2015) S. 59.

⁵¹⁶ Vgl. BSI (2015) S. 62.

⁵¹⁷ Vgl. § 5 FStrG (2018).

(GG).⁵¹⁸ Die Bundesautobahnen und sonstigen Bundesfernstraßen sind Eigentum des Bundes und werden in dessen Auftrag von den Bundesländern verwaltet (Bundesverwaltung).⁵¹⁹ Der Bund wiederum stellt den Ländern hierfür die Finanzmittel zur Verfügung, welche die Verwaltungskosten für ihre Behörden tragen.⁵²⁰ Träger der Straßenbaulast der Landesstraßen respektive Kreisstraßen sind die Länder bzw. Landkreise, welche durch die Landesstraßengesetze geregelt sind. Für alle übrigen öffentlichen Straßen ist die Straßenbaulast bei den Kommunen ansässig.⁵²¹ Zudem gibt es eine geringe Anzahl an Privatstraßen und teilprivatisierten Straßen. Die Bundesländer, welche die Baumaßnahmen planen und umsetzen, unterhalten die Verwaltungsapparate für die Straßenbauverwaltungen, wobei diese lediglich in Bayern und Baden-Württemberg in die Regierung eingegliedert sind, während sie in den anderen Ländern durch Landesbetriebe in die Landesverwaltungsämter integriert wurden.⁵²²

Die Abteilung Bundesfernstraßen des BMVI ist für den Erhalt des Straßennetzes verantwortlich. Ein Schwerpunkt in diesem Verantwortungsbereich stellt aktuell die systematische Brückenertüchtigung dar. Darüber hinaus ist sie für die Verbesserung des Netzes durch Ausbau und Neubau sowie für den Betrieb zuständig.⁵²³ Die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) als nachgeordnetes technisch-wissenschaftliches Forschungsinstitut des BMVI wirkt an der Ausarbeitung von Vorschriften und Normen auf allen Gebieten des Straßenwesens mit und berät die Straßenbauverwaltungen der Länder, welche neben den Landesministerien und Behörden der Länder den Straßenbau und Straßenverkehr verantworten. Die Forschungsergebnisse der BASt dienen dem BMVI als Entscheidungshilfe in technischen und verkehrspolitischen Fragen.⁵²⁴

Die Straßenbauverwaltungen der Länder sind für die Sicherheit und Ordnung der Ingenieurbauwerke nach DIN 1076 sowie für die Durchführung der Bauwerksprüfungen verantwortlich. Wie bei den Straßen liegt die Baulast von Ingenieurbauwerken im Zuge von Landesstraßen bei den Ländern, im Zuge von Bundesstraßen beim Bund. Neben der Verwaltung der Ingenieurbauwerke des Bundes verwalten die Länder zudem auch Bauwerke anderer Verwaltungen, indem Verwaltungsvereinbarungen zwischen Straßenbauverwaltung und einigen Kreisen bestehen. Die Straßenbauverwaltungen sind in den einzelnen Ländern unterschiedlich organisiert, wobei die oberste Behörde stets das jeweilige Landesministerium ist. Die Organisation der Bauwerksprüfung der Ingenieurbauwerke wird von den jeweiligen Straßenbauverwaltungen eigenständig und von den einzelnen Ländern unabhängig unter dem Einsatz von Prüfteams, bestehend aus Ingenieuren, Technikern und Meistereien, festgelegt.⁵²⁵ Die Aufgaben werden je nach Bundesland zentral oder dezentral organisiert.⁵²⁶

⁵¹⁸ Vgl. GG (2019).

⁵¹⁹ Vgl. § 5 FStrG (2018); Art. 90 (1–2) GG (2019).

⁵²⁰ Vgl. Art. 104a GG (2019).

⁵²¹ Vgl. § 5 FStrG (2018); Arndt/Beckmann u.a. (2013) S. 25; Mertens (2015) S. 15.

⁵²² Vgl. BSI (2015) S. 59 f. Tab. 17.

⁵²³ Vgl. BMVI.

⁵²⁴ Vgl. BSI (2015) S. 63.

⁵²⁵ Vgl. Mertens (2015) S. 15, S. 30 f.

⁵²⁶ Vgl. BMVBS (2013) S. 21 ff. Tab. 1.

2.5.2 Branche Schienenverkehr

Das öffentliche Schienennetz der Deutschen Bahn (DB) in Deutschland hat im Jahre 2018 eine Streckenlänge von 33.440 km, 2.641 Stellwerke (davon 375 elektronische Stellwerke) sowie 66.280 Weichen und Kreuzungen im Schienenverkehr.⁵²⁷ Zur erweiterten Infrastruktur zählen Energieanlagen, – wie Bahnstromfernleitungen, Informations- und Kommunikationssysteme, Signal- und Sicherungsanlagen und Stellwerke – sowie verschiedene Bauwerke, darunter Eisenbahnbrücken oder Umschlaghallen.⁵²⁸

Eisenbahnen sind öffentlich oder privatrechtlich organisierte Unternehmen (Eisenbahnunternehmen), welche Eisenbahninfrastrukturen betreiben (Eisenbahninfrastrukturunternehmen) und/oder Eisenbahnverkehrsdienste erbringen (Eisenbahnverkehrsunternehmen).⁵²⁹ Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU) sind die Betreiber der Schienenwege, welche für den Bau, den Betrieb und die Unterhaltung der Schienenwege verantwortlich sind.⁵³⁰ Die DB Netz AG betreibt als größten Netzbetreiber die Eisenbahninfrastruktur der bundeseigenen Deutschen Bahn (DB) mit der oberhalb genannten Streckenlänge von 33.440 km und gilt damit als größtes Schienennetz Europas.⁵³¹ Weiterhin gehören zu dem Infrastrukturunternehmen DB Netze der Deutschen Bahn die DB Station&Service AG, welche mit ca. 5.400 Bahnhöfen Europas führender Bahnhöfbetreiber ist und den Betrieb der Bahnhöfe und deren Dienstleistungen verantwortet, die DB Energie GmbH, welche den Betrieb des Bahnstromnetzes verantwortet, und die Deutsche Umschlaggesellschaft Schiene – Straße (DUSS) GmbH als Terminalbetreiber des kombinierten Verkehrs im Güterverkehr.⁵³² Darüber hinaus gibt es verschiedene nicht-bundeseigene Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU), welche in öffentlichem (Kommunen, Gebietskörperschaften) oder privatem Eigentum sind und deren Netze aufgrund ihrer Länge von geringer Bedeutung sind.⁵³³

Die DB Netz AG ist neben dem Streckennetz für alle betriebsnotwendigen Anlagen verantwortlich. Auf der Infrastruktur der DB Netz AG fahren am Tag ca. 40.000 Züge. Hauptaufgabe ist es, den mehr als 420 Eisenbahnverkehrsunternehmen eine Infrastruktur diskriminierungsfrei zur Verfügung zu stellen⁵³⁴ und die Infrastruktur zu managen, wozu die Erstellung von Fahrplänen, die Betriebsführung, das Baumanagement und die Instandhaltung gehören. Darüber hinaus ist sie für die Weiterentwicklung der Schieneninfrastruktur zuständig, wobei sowohl Investitionen in das bestehende Netz, wie u.a. Eisenbahnbrücken, als auch in moderne Leit- und Sicherungstechnik sowie in Neu- und Ausbaustrecken getätigt werden.⁵³⁵ Als Teil der DB Netz AG koordiniert die Netzleitzentrale mit Sitz in Frankfurt am Main den Zugverkehr aller Fern- und Güterverbindungen auf dem Schienennetz der Deutschen Bahn sowie den

⁵²⁷ Vgl. BSI (2015) S. 40; DB Netz (2019).

⁵²⁸ Vgl. BSI (2015) S. 40.

⁵²⁹ Vgl. § 2 (1) AEG (2019); BSI (2015) S. 40.

⁵³⁰ Vgl. BSI (2015) S. 40.

⁵³¹ Vgl. DB Netz (2019).

⁵³² Vgl. DB Netze Infrastruktur (o.J.).

⁵³³ Vgl. BSI (2015) S. 40 f.

⁵³⁴ Vgl. BNetzA (2019).

⁵³⁵ Vgl. DB Netz (2019).

grenzüberschreitenden Verkehr der benachbarten Infrastrukturbetreiber. Hierfür werden sämtliche Betriebsabläufe und Prozesse, wie z. B. Zugbewegungen und Gleisbelegungen, Weichen- und Signalstellung, erfasst, zugeordnet und gesteuert.⁵³⁶

Die DB Energie GmbH bewirtschaftet als Stromnetzbetreiber den Betrieb des 7.912 km langen 16,7-Hz-Bahnstromnetzes, die 177 50-Hz-Verteilernetze im Bahnumfeld sowie die Gleichstromversorgungsanlagen der S-Bahnen Berlin und Hamburg, wobei die Oberleitungen Eigentum der DB Netz AG sind und die elektronische Betriebsführung in deren Auftrag durch die DB Energie GmbH erfolgt. Neben der Versorgung von Bahn- und Haushaltsstrom unterhält sie ein flächendeckendes Netz aus Schienentankstellen zur Versorgung der Dieselschienenfahrzeuge.⁵³⁷

Rechtsgrundlage bilden das Allgemeine Eisenbahngesetz (AEG), das Eisenbahnregulierungsgesetz (ERegG) und das Grundgesetz (GG).⁵³⁸ Bund und Länder sind für die Planung und Finanzierung der Infrastruktur für den Verkehrsträger Schiene verantwortlich. Die Eisenbahninfrastrukturunternehmen der DB Netz AG sind Eigentümer der Eisenbahninfrastruktur und damit für deren ordnungsgemäßen Zustand und Sicherheit verantwortlich.⁵³⁹ Die Abteilung Eisenbahnen des BMVI ist für den Schienenverkehr in Deutschland zuständig. Neben politischen, rechtlichen und technischen Aspekten werden die Rahmenbedingungen für den Schienenpersonennahverkehr sowie für die Investitionen in das Schienennetz entworfen.⁵⁴⁰ Oberste Aufsichts-, Genehmigungs- und Sicherheitsbehörde für Eisenbahnen und Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) ist das Eisenbahnbundesamt (EBA), wobei mehr als zwei Drittel aller EVU in Deutschland ihrer Aufsicht unterliegen.⁵⁴¹ Das EBA unterliegt der Fach- und Rechtsaufsicht des BMVI. Nicht bundeseigene öffentliche Eisenbahnen und nicht öffentlich betriebene Bahnen (Regionalbahnen) werden von den jeweiligen Bundesländern beaufsichtigt, wobei diese die Aufsicht an das EBA übertragen können.⁵⁴² Darüber hinaus sorgt die Bundesnetzagentur (BNetzA) für einen fairen Wettbewerb auf der Schiene, indem sie kontrolliert, unter welchen Bedingungen die Eisenbahnverkehrsunternehmen das Schienennetz nutzen können, damit ein diskriminierungsfreier Zugang zur Eisenbahninfrastruktur gewährleistet werden kann. Darüber hinaus prüft sie die Grundsätze zur Erhebung von Entgelt für die Benutzung der Eisenbahninfrastruktur.⁵⁴³

⁵³⁶ Vgl. DB Netz (2017o.J.b); BSI (2015) S. 43.

⁵³⁷ Vgl. BSI (2015) S. 43; DB Netze Infrastruktur (o.J.) S. 7, S. 19.

⁵³⁸ Vgl. ERegG (2016); AEG (2019); GG (2019).

⁵³⁹ Vgl. § 4 (1) AEG (2019); Art. 87e GG (2019); BSI (2015) S. 49; DB Netz (2017) S. 14 f.

⁵⁴⁰ Vgl. BMVI.

⁵⁴¹ Vgl. BSI (2015) S. 48 f.; EBA.

⁵⁴² Vgl. § 5 (2) AEG (2019); BSI (2015) S. 49; EBA.

⁵⁴³ Vgl. ERegG (2016); BSI (2015) S. 48; BNetzA (2019).

2.5.3 Branche Binnenschifffahrt

Das Netz der deutschen Bundeswasserstraßen erstreckt sich nach Angaben der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) auf 7.300 km Binnenwasserstraßen und 23.000 km² Seewasserstraßen. Davon sind 6.550 km Binnenschifffahrtsstraßen und ca. 690 Schifffahrtsstraßen ohne Außenbereiche der seewärtigen Zufahrten. 4.500 km der Wasserstraßen haben für den Schiffsverkehr eine große Bedeutung.⁵⁴⁴ Neben den Wasserstraßen besteht die Infrastruktur in der Schifffahrt aus den Häfen (19 Seehäfen und 250 Binnenhäfen) und den maritimen Ingenieurbauwerken.⁵⁴⁵ Das Wasserstraßennetz besteht aus 34 % frei fließenden oder geregelten Flusstrecken, 42 % staugeregelten Flusstrecken und 24 % künstlichen Wasserstraßen (Kanäle). 70 % der deutschen Wasserstraßen sind für die internationale Schifffahrt von Bedeutung.⁵⁴⁶

Rechtsgrundlage für die Bundeswasserstraßen bildet das Bundeswasserstraßengesetz (WaStrG), wonach der Bund Eigentümer ist, allerdings sich die Nutzung lediglich auf verkehrsbezogene Aspekte bezieht, und die Bundesländer wesentliche Nutzungsbefugnisse an Seewasserstraßen und Wasserstraßenmündungen haben.⁵⁴⁷ Der Seeverkehr in Deutschland unterliegt dem Geschäftsbereich des BMVI und wird in der Abteilung Wasserstraßen, Schifffahrt geregelt. Die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) gehört in den Geschäftsbereich des BMVI, welche die Bundeswasserstraßen und die dazugehörigen Anlagen (Ingenieurbauwerke), wie u.a. 1.300 Straßen- und Bahnbrücken über Bundeswasserstraßen, 315 Schleusen, über 300 Wehre, zwei Schiffshebewerke und zwei Talsperren, unterhalten, Instand halten und sie bedarfsgerecht ausbauen sowie den Schiffsverkehr regeln.⁵⁴⁸

2.5.4 Organisation zum Schutz Kritischer Infrastrukturen

Der Schutz Kritischer Infrastrukturen wird aufgrund der Komplexität und Vernetzung mit anderen Infrastrukturen durch unterschiedliche Stellen auf verschiedenen Ebenen wahrgenommen. Das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) verantwortet als Bundesoberbehörde im Geschäftsbereich des Bundesministeriums des Innern (BMI) den Ressort des Bevölkerungsschutzes und der Katastrophenhilfe. Hierfür werden Vorsorgemaßnahmen und Konzepte zum Schutz der Bevölkerung im Katastrophenfall entwickelt. Darüber hinaus ist das BBK für Projekte zuständig, welche sich mit dem Schutz Kritischer Infrastrukturen befassen. Das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI), ebenfalls obere Bundesbehörde im Geschäftsbereich des BMI, ist als zentraler IT-Sicherheitsdienstleister des Bundes zusätzlich für den Schutz Kritischer Informationsinfrastrukturen verantwortlich.⁵⁴⁹

⁵⁴⁴ Vgl. BSI (2015) S. 31; WSV.

⁵⁴⁵ Vgl. BSI (2015) S. 31 f.

⁵⁴⁶ Vgl. BSI (2015) S. 31; WSV.

⁵⁴⁷ Vgl. § 1 WaStrG (2018); BSI (2015) S. 37.

⁵⁴⁸ Vgl. BSI (2015) S. 33, S. 37; BMVI (2016d); WSV.

⁵⁴⁹ Vgl. BBK/BSI (o.J.).

Während innerhalb Deutschlands die einzelnen Bundesländer für den Katastrophenschutz zuständig sind, wobei vielfältige Verbindungen zu den jeweiligen lokalen Kritischen Infrastrukturen entstehen, entwickeln auf kommunaler Ebene Städte und Gemeinden Planfeststellungen und Notfallpläne, wohingegen öffentliche Einheiten und Einrichtungen, wie z. B. Feuerwehr, Rettungsdienste oder das Technische Hilfswerk (THW), vielfältige Aufgaben im Katastrophenschutz übernehmen.⁵⁵⁰ Gemäß § 18 des Zivilschutz- und Katastrophenhilfegesetz (ZSKG) übernimmt der Bund gemeinsam mit den Ländern eine bundesweite Risikoanalyse für den Zivilschutz und entwickelt zudem Standards und Rahmenkonzepte, welche gleichzeitig als Empfehlungen für die Aufgaben der Länder im Katastrophenschutz dienen.⁵⁵¹

Im Rahmen von Beeinträchtigungen Kritischer Infrastrukturen konnten in der jüngeren Vergangenheit zwei wiederkehrende Schadensbilder festgestellt werden: Zum einen können weiträumige Auswirkungen auf Kritische Infrastrukturen, wie z. B. Hochwasser oder Orkanshäden, mit regionalen, überregionalen, landes- oder europaweiten Beeinträchtigungen verbunden sein, zum anderen können lokale Schäden zu Beeinträchtigungen führen, welche aufgrund von Vernetzungen über das eigentliche Schadensgebiet hinausgehen, wie z. B. bei einem Stromausfall.⁵⁵² Somit werden auch weitere Zuständigkeiten im Rahmen von kritischen Situationen involviert.

Die Betreiber Kritischer Infrastrukturen, wozu auch Brücken gehören können, sind die Unternehmen und Organisationen, welche Eigentümer von Infrastrukturen sind und damit primär deren sicheren Betrieb zu gewährleisten haben.⁵⁵³ So verantwortet Planung, Bau, Betrieb und Unterhaltung von Ingenieurbauwerken der Straßen der jeweilige Baulastträger des Bundes, der Länder, Kreise oder Gemeinden respektive Kommunen.⁵⁵⁴ Die Straßenbauverwaltungen der Länder sowie die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) sind für die Sicherheit und Ordnung der Ingenieurbauwerke der Straßen respektive der Wasserstraßen nach der DIN 1076 verantwortlich.⁵⁵⁵ Da Brücken im kommunalen Bereich nicht konsequent nach der DIN 1076 geprüft werden, setzt sich der Verein zur Förderung der Qualitätssicherung und Zertifizierung der Aus- und Fortbildung von Ingenieurinnen/Ingenieuren der Bauwerksprüfung e.V. (VFIB) für eine bundesweit angewandte Bauwerksprüfung aller Brücken nach der DIN 1076 ein.⁵⁵⁶ Gemäß der DIN 1076 werden neben der Hauptprüfung und den einfachen Prüfungen auch Sonderprüfungen aus besonderem Anlass respektive im Falle kritischer Situationen, wie z. B. Hochwasser oder Unfall, unterschieden. Im Rahmen von Sonderprüfungen sollte der Einsatz von unbemannten Luftfahrzeugsystemen als ergänzende Standardprüfmethode einbezogen werden, um zeitnah ein umfassendes Lagebild der

⁵⁵⁰ Vgl. BBK/BSI (o.J.).

⁵⁵¹ Vgl. § 18 ZSKG (2009).

⁵⁵² Vgl. BMI (2011) S. 8.

⁵⁵³ Vgl. BBK/BSI (o.J.).

⁵⁵⁴ Vgl. § 3 FStrG (2018); BSI (2015) S. 59.

⁵⁵⁵ Vgl. Mertens (2015) S. 30; Holst (2018) S. 27.

⁵⁵⁶ Vgl. Pinnel (2018) S. 16.

kritischen Situation des Ingenieurbauwerks erhalten und hieraus ableitend konkrete Maßnahmen einleiten zu können.⁵⁵⁷ Hierdurch werden Bauwerksprüfer nicht unnötig in Gefahr gebracht, z. B. bei einsturzgefährdeten Bauwerken, zudem können Abläufe vereinfacht und beschleunigt werden.⁵⁵⁸ Ein routinierter Ablauf des Einsatzes mit UAS ist in einem noch zu entwickelten Standard festzulegen.

Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU) sind als Betreiber der Schienenwege, welche überwiegend im Zuständigkeitsbereich der DB Netz AG liegen, für den Bau, den Betrieb und die Unterhaltung der Schienenwege gemäß der Richtlinie 804 (Ril 804), welche ebenfalls eine handnahe Bauwerksprüfung vorschreibt, verantwortlich.⁵⁵⁹ Auch diese beinhaltet vorgegebene Prüfintervalle, eine Begutachtung alle sechs Jahre, eine Hauptprüfung (Inspektion) alle drei Jahre sowie jährliche Begehungen. Darüber hinaus werden wie in der DIN 1076 Sonderinspektionen aufgeführt, welche bei allen drei genannten Prüfmethoden erfolgen können. Das Eisenbahn-Bundesamt (EBA) fungiert dabei als zuständige Aufsichtsbehörde.⁵⁶⁰ Wie bei Sonderprüfungen von Ingenieurbauwerken der Straßen respektive der Wasserstraßen ist auch bei Sonderinspektionen von Eisenbahnbrücken der Einsatz von UAS einzubeziehen und entsprechend in einem noch zu entwickelnden Standard festzulegen.

2.6 Selektion der Inspektionsgeräte und Verfahren

Während die handnahe Bauwerksprüfung von Ingenieurbauwerken auf dem Standard der DIN 1076 respektive der Ril 804 beruht, liegt für die Inspektion von Brücken und Ingenieurbauwerken unter dem Einsatz von unbemannten Luftfahrzeugsystemen (UAS) zum Zeitpunkt der Verfassung der vorliegenden Studie noch kein spezifischer Qualitätsstandard vor. Im Folgenden werden zunächst die Methoden, Verfahren und Einsatzgeräte respektive Einrichtungen für die Inspektion von Ingenieurbauwerken insbesondere aus Beton und Stahl beschrieben. Anschließend werden unbemannte Luftfahrzeugsysteme (UAS) im Rahmen des Einsatzes für Inspektionen thematisiert, indem die derzeitigen Dienstleistungsangebote, eine Auswahl verschiedener Typen der Fluggeräte sowie die Steuerung, Flugvorbereitung und Flugdurchführung erörtert werden.

2.6.1 Handnahe Bauwerksprüfung

Im Rahmen einer Inspektion wird zum einen der Ist-Zustand, also die Summe aller vorhandenen Eigenschaften und Beanspruchungen, eines Ingenieurbauwerks ermittelt und beurteilt,⁵⁶¹ zum anderen werden die Ursachen für Schäden und Mängeln erforscht, um Konsequenzen für eine zukünftige Nutzung des Brückenbauwerks ziehen zu können.⁵⁶² Die

⁵⁵⁷ Vgl. Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 57.

⁵⁵⁸ Vgl. Fisch (2017) S. 33 f.

⁵⁵⁹ Vgl. BSI (2015) S. 40; Holst (2018) S. 26.

⁵⁶⁰ Vgl. DB Netz (o.J.a); Muncke (2006); RH RLP (2013) S. 19; DB Netz (2015) Module 804.8001–804.8004; Mölter/Fiedler (2019) S. 377.

⁵⁶¹ Vgl. Weber (2013) S. 6 f., S. 8.

⁵⁶² Vgl. DIN 31501 (2012); Liebstückel (2017) S. 35.

Beurteilung des Ist-Zustandes der Brücke setzt sowohl Erhebungen zur Herstellung und Nutzung als auch zu den Beanspruchungsgrößen voraus.⁵⁶³ Für die Zustandserfassung und -bewertung der Ingenieurbauwerke der Straßen sowie der Wasserstraßen dient als Grundlage die DIN 1076.⁵⁶⁴ Bei den kommunalen Brücken werden die Brückenprüfungen und hierbei insbesondere die Hauptprüfungen nicht immer zeitgerecht und in kleineren Gemeinden auch nicht immer nach der DIN 1076 geprüft.⁵⁶⁵ Die Prüfung und Inspektionspflicht von Ingenieurbauwerken in der Baulast der DB Netz AG erfolgt dagegen gemäß der Richtlinie 804 (Ril 804), wobei die Module 804.8001–804.8004 für die Inspektion entscheidend sind.⁵⁶⁶

Die auszuführenden Leistungen nach DIN 1076 lauten dabei wie folgt: Einrichten der Arbeitsstelle, wozu Maßnahmen hinsichtlich der Verkehrssicherung, der Zugangstechnik und Beleuchtung sowie des Arbeitsschutzes gehören, Koordinierung aller Teilnehmer der Bauwerksprüfung, Durchführung der Bauwerksprüfung sowie Dokumentation der festgestellten Schäden inklusive der Anfertigung von Skizzen und Bildaufnahmen.⁵⁶⁷ Gemäß DIN 1076 wird zwischen Bauwerksüberwachungen und Bauwerksprüfungen unterschieden. Zur laufenden Überwachung gehören die zweimalige Dokumentationspflicht pro Jahr und die jährliche Besichtigung auf erhebliche Mängel und Schäden des Ingenieurbauwerks. Bei den Bauwerksprüfungen ist zwischen der einfachen Prüfung, welche alle drei Jahre nach der Hauptprüfung als vergleichende Prüfung erfolgt, der Hauptprüfung, welche vor der Abnahme des Bauwerks, vor dem Ablauf der Verjährungsfrist der Gewährleistung sowie alle sechs Jahre zu erfolgen hat, der Prüfung aus besonderem Anlass (Sonderprüfung) und der Prüfung nach besonderen Vorschriften maschineller und elektrischer Anlagen zu unterscheiden.⁵⁶⁸

Bei der einfachen Prüfung wird eine Sichtprüfung aller zugänglichen Teile des Ingenieurbauwerks ohne besondere Besichtigungsgeräte vorgenommen, welche in eine Hauptprüfung münden kann, sofern erhebliche Mängel am Ingenieurbauwerk festgestellt werden.⁵⁶⁹ Bei den kommunalen Brücken werden des Öfteren fast ausschließlich Sichtprüfungen durchgeführt. Messtechnische Prüfungen, mit denen sichtbare Schäden analysiert werden können, werden aus Kostengründen oft gar nicht vorgenommen.⁵⁷⁰ In der Hauptprüfung ist die sog. handnahe Prüfung aller Bauwerksteile, wie Sichtprüfung und Abklopfen vorzunehmen, um Rückschlüsse auf die Standsicherheit, Verkehrssicherheit und Dauerhaftigkeit des Ingenieurbauwerks ziehen zu können und diese zu garantieren. Für die Durchführung der Bauwerksprüfung gehören neben der Auswahl eines geeigneten Prüfverfahrens die Vorhaltung und der Einsatz der erforderlichen Zusatzgeräte, wie z. B. Rückprallhammer oder Schichtdickenmessgerät. Eine weitere Untersuchung des Ingenieurbauwerks ist nach dem Leitfaden „Objektbezogene Schadensanalyse (OSA)“ dann erforderlich, wenn das Ausmaß oder die

⁵⁶³ Vgl. Mölter/Pfeifer/Fiedler (2017) S. 687.

⁵⁶⁴ Vgl. DIN 1076 (1999); BMVBS (2013) S. 10, S. 11 ff.; Schnellenbach-Held/Fakhouri/Karczewski (2013) S. 24, 70, S. 81; Geißler (2014) S. 1159 ff.; Mertens (2015) S. 16, S. 21; Holst (2018) S. 27.

⁵⁶⁵ Vgl. Arndt/Beckmann u.a. (2013) S. 21.

⁵⁶⁶ Vgl. DB Netz (2015) Module 804.8001-84.8004, welche lediglich im Logistikcenter Karlsruhe erhältlich sind, sodass in erster Linie auf die Studie des BMVBS (2013) zurückgegriffen wurde; RH RLP (2013) S. 19; Holst (2018) S. 26.

⁵⁶⁷ Vgl. BMVBS (2013) S. 28.

⁵⁶⁸ Vgl. BMVBS (2013) S. 25 ff.; Geißler (2014) S. 1159; Mertens (2015) S. 21 f., S. 120 ff.

⁵⁶⁹ Vgl. BMVBS (2013) S. 26; Mertens (2015) S. 21.

⁵⁷⁰ Vgl. Arndt/Beckmann u.a. (2013) S. 21.

Ursache des Schadens im Rahmen der handnahen Bauwerksprüfung nicht ausreichend ermittelt werden kann.⁵⁷¹

Die Prüfung von Ingenieurbauwerken der Bahn erfolgt gemäß der Ril 804 ebenfalls mit ausgebildetem Prüfpersonal handnah. Zudem liegen Standardisierungen vor, welche die Bauwerksprüfungen vereinfachen können.⁵⁷² In den Modulen 804.8001–804.8004 sind die vorgegebenen Prüfindervalle und der Umfang der Inspektionen, welche weitgehend den Vorgaben der DIN 1076 entsprechen, sowie die Anforderungen an die Kompetenz des Prüfpersonals und der Dokumentation geregelt.⁵⁷³ Die Eisenbahnbrücken werden neben der im Turnus von sechs Jahren durch spezielle Ingenieure (Fachbeauftragte) vorzunehmenden Begutachtung alle drei Jahre vom jeweiligen regionalen Bezirksleiter einer Inspektion (Untersuchung) unterzogen, zusätzlich erfolgen jährliche Begehungen (Überwachung) zur visuellen Kontrolle, um die Betriebssicherheit, Verkehrssicherheit, Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit zu gewährleisten.⁵⁷⁴ Darüber hinaus gibt es die Sonderinspektion, welche bei allen drei genannten Prüfmethoden aus besonderem Anlass erfolgen kann. Bei der Untersuchung wird der Zustand hinsichtlich Veränderungen seit der Begutachtung geprüft, gegebenenfalls Maßnahmen ergriffen respektive eine zusätzliche Sonderinspektion mit Spezialisten einberaumt. Als Basis dienen hierfür die Dokumentation der letzten Begutachtung sowie eigene Unterlagen. Im Rahmen der Begutachtung werden zur Beschreibung des Gesamtzustands alle Details des Bauwerks, welche Auswirkungen auf die oben genannten Sicherheitskriterien haben könnten, überprüft, um ableitende Maßnahmen für die mittel- und langfristige Planung zu erarbeiten. Die Dokumentation erfolgt auf elektronischer Basis sowie durch Bildaufnahmen.⁵⁷⁵

Während der Prüfung der Straßenbrücken können Verkehrsteilnehmer oder Dritte aufgrund von Sperrungen einer Fahrspur beeinträchtigt werden. Bei den Prüfungen der Bahnbrücken ist im Gegensatz zu den Prüfungen der Straßenbrücken eine umfassendere Planung notwendig, da die Prüfungen in engen, vorher festgelegten Sperrpausen erfolgen müssen und keine kurzzeitigen Sperrungen einzelner Gleise wie vergleichsweise bei den Straßen möglich sind. Auch bei den Prüfungen der Brücken der Wasserstraßen können je nach Bauwerk diese nicht oder nur sehr kurz gesperrt werden.⁵⁷⁶

Um sich Zugang zu einer Brücke verschaffen zu können, werden zusätzlich zu den ortsfesten Einrichtungen an den Ingenieurbauwerken, z. B. Laufstege, Treppen, Steigleitern, Rampen, Beleuchtungseinrichtungen, Haltevorrichtungen für Hängegerüste und Lastbeförderungen,⁵⁷⁷ mobile Besichtigungsgeräte eingesetzt, was zunächst organisatorische Maßnahmen

⁵⁷¹ Vgl. DIN 1076 (1999); BMVBS (2013) S. 25, S. 28; Geißler (2014) S. 1159; Mertens (2015) S. 20, S. 136 ff.

⁵⁷² Vgl. Holst (2018) S. 26.

⁵⁷³ Vgl. DB Netz (o.J.a.); RH RLP (2013) S. 19; DB Netz (2015) Module 804.8001-84.8004.

⁵⁷⁴ Vgl. DB Netz (o.J.a.); Muncke (2006); Mölter/Pfeifer/Fiedler (2017) S. 643.

⁵⁷⁵ Vgl. Muncke (2006).

⁵⁷⁶ Vgl. Holst (2018) S. 25 ff.

⁵⁷⁷ Vgl. BMVBS (2013) S. 39 ff.; Mertens (2015) S. 31; BDA-BRÜ (2017); Saager (2018) S. 32 ff.

mit sich bringt.⁵⁷⁸ Hierbei wird zwischen stationären und ortsveränderlichen Einrichtungen bzw. Geräten unterschieden.⁵⁷⁹

Maßgeblich für den Einsatz der Geräte zur Inspektion und Instandhaltung der Eisenbahnbrücken ist primär die Höhenlage über dem Gelände. So ist die Zugänglichkeit zu allen Bauteilen der Eisenbahnbrücke für die Wirtschaftlichkeit der Inspektion entscheidend, sodass bereits beim Entwurf des Brückenbauwerks der Einsatz von speziellen Fahrzeugen und Geräten sowie die Zugänglichkeit zu allen relevanten Bauteilen der Brücke gewährleistet ist. Neben einer Erreichbarkeit sollten die Geh- und Arbeitsflächen auf den Randkappen Zugang zur Streckenausüstung auf dem Brückendeck ermöglichen. Bei Talbrücken sollten zum einen die Widerlagerkammern und Hohlkästen des Überbaus mit Kleingeräten befahrbar und die Pfeiler vom Überbau aus zugänglich sein.⁵⁸⁰

Stationäre Besichtigungseinrichtungen

Die stationären Besichtigungseinrichtungen (-wagen) müssen für jede zu prüfende Brücke individuell konzipiert werden.⁵⁸¹ Insbesondere für hohe Talbrücken der Eisenbahn kommen speziell konzipierte Brückenbesichtigungsfahrzeuge zum Einsatz, z. B. der Unternehmen Palfinger oder Moog, welche von der Straße über die Zufahrt zu einem Widerlager der Brücke transportiert und mithilfe von Hebezeugen vor dem Widerlager auf dem Überbau der Brücke aufgebaut werden müssen.⁵⁸² Heutzutage werden stationäre Besichtigungseinrichtungen nur noch selten eingesetzt, da aufgrund der weiterentwickelten Technik der ortsveränderlichen Besichtigungsgeräte die Unterseiten von Brücken vollständig analysiert werden können, es sei denn, der Einsatz mobiler Unterflurgeräte ermöglicht aufgrund der Größe oder Konstruktion des Ingenieurbauwerks keine vollständige handnahe Prüfung oder würde zu unvermeidbaren Verkehrseinschränkungen führen.⁵⁸³

Ortsveränderliche Besichtigungsgeräte

Ortsveränderliche sowie straßen- und schienengängige Besichtigungsgeräte für den Über- und Unterflurbetrieb werden von Herstellern und Verleihfirmen angeboten.⁵⁸⁴ So stehen für den Überflurbetrieb zahlreiche Hubarbeitsbühnen zur Verfügung, die Arbeitshöhen von mehr als 100 m ermöglichen.⁵⁸⁵ Für den Unterflurbetrieb werden straßengängige Unterflurarbeitsbühnen zur Prüfung von Platten und Stegen eines Querschnittes eingesetzt, welche zusätzlich mit Besichtigungstürmen oder Hydroliften ausgestattet werden können, um eine gleichzeitige Prüfung durch mehrere Mitarbeiter zu ermöglichen und damit eine hohe Prüfleistung zu erreichen.⁵⁸⁶ Weitere Einsatzmittel bei den Unterflurbesichtigungen sind

⁵⁷⁸ Vgl. Weber (2013) S. 56.

⁵⁷⁹ Vgl. BMVBS (2013) S. 47 ff.; Mertens (2015) S. 31 ff.

⁵⁸⁰ Vgl. Mölter/Pfeifer/Fiedler (2017) S. 55, S. 62 ff.; Mölter/Fiedler (2019) S. 379.

⁵⁸¹ Vgl. BMVBS (2013) S. 47.

⁵⁸² Vgl. Mölter/Pfeifer/Fiedler (2017) S. 62 ff. Abb. 3.2, 3.3, 3.4; Mölter/Fiedler (2019) S. 379 Abb. 7.2.5.

⁵⁸³ Vgl. BMVBS (2013) S. 47.

⁵⁸⁴ Vgl. BMVBS (2013) S. 48; Mertens (2015) S. 32; Cramer (2016) S. 26 ff.

⁵⁸⁵ Vgl. BMVBS (2013) S. 48; Mertens (2015) S. 32.

⁵⁸⁶ Vgl. BMVBS (2013) S. 49; Mertens (2015) S. 32.

Pfeilerbefahrergeräte für die Pfeilerflächen sowie Unterflurbesichtigungsgeräte mit einem steuerbaren Korb, welcher vertikal an die Unterseite einer Fahrbahnplatte gefahren werden kann.⁵⁸⁷ Auch Büro- oder Gerätewagen sind in Abhängigkeit von der Durchfahrthöhe der Brücke zur Untersuchung von Brücken einsetzbar, wobei diese mit einem begehbaren Dach und einer Absturzsicherung ausgerüstet sind.⁵⁸⁸ Darüber hinaus werden Zweiwegefahrzeuge, Hubmontagewagen oder Fahrwerke für die Randwege bei der Prüfung von Brücken über Gleisen sowie speziell ausgerüstete Motorschiffe bei der Prüfung von Brücken über Wasserstraßen eingesetzt, welche mit einer Arbeitsbühne ausgerüstet sind.⁵⁸⁹

Werkzeuge

Für die handnahe Bauwerksprüfung sind neben dem Einsatz der Besichtigungsgeräte der erforderlichen Schutzausrüstung der Ingenieure und Prüftechniker sowie der Verkehrseinrichtungen zur Kennzeichnung der Bauwerksprüfung verschiedene Werkzeuge und Hilfsmittel notwendig. Hierzu gehören folgende einfache Werkzeuge: Hammer, Schlüssel, Schraubendreher, Zange, Meißel, Spaten, Säge, Akkuschauber, Bohrer, Zollstock, Bandmaß, Schiebelehre, Lot, Rissbreitenschablone, Messlupe, Kreide und Markierungsmaterial, Spiegel, Fühlerlehren, Wasserwaage, Digitalkamera, Infrarotthermometer und Feldbuchrahmen. Zu den weiteren Hilfsgeräten werden Leitern, Brechstangen, Lampen, Stromerzeuger, Bohrmaschinen, Winkelschleifer, Rückprallhammer, Betonüberdeckungsmessgeräte, Ultraschallgeräte, Endoskope sowie Materialien für einfache chemische und physikalische Untersuchungen eingesetzt. Darüber hinaus steht für die Datenerfassung und Auswertung im Prüfwagen ein Notebook zur Verfügung.⁵⁹⁰ Die handnahe Bauwerksprüfung lässt sich in die folgenden drei Verfahren einteilen: Klassisches Prüfverfahren, Automatisiertes Visuelles Prüfverfahren und Bauwerksmonitoring.⁵⁹¹

Klassisches Prüfverfahren

Die Ermittlung und Bewertung des Zustandes von Ingenieurbauwerken, wie u.a. Brücken, erfolgt auf Basis visuell erfasster Daten von erkennbaren Schäden.⁵⁹² Bei einer Besichtigung des Ingenieurbauwerks wird zunächst mit einfachen Werkzeugen, wie Hammer, Fernglas, Lupe, Maßstab und Rissbreitenmesser, nach Schmutzfahnen, biologischen Bewuchsen, Durchfeuchtungen, Ausblühungen, Absonderungen, Aussinterungen, Abwitterungen und Abplatzungen, Rostflecken- und -fahnen sowie nach Rissen, Hohlstellen und Fehlstellen Ausschau gehalten und diese entsprechend dokumentiert.⁵⁹³

Im Rahmen des klassischen Prüfverfahrens kann zwischen einer zerstörenden Werkstoffprüfung und einer zerstörungsfreien Werkstoffprüfung (ZfP) unterschieden werden, wobei bei

⁵⁸⁷ Vgl. BMVBS (2013) S. 50; Mertens (2015) S. 32.

⁵⁸⁸ Vgl. BMVBS (2013) S. 53.

⁵⁸⁹ Vgl. Muncke (2006); BMVBS (2013) S. 51 ff.; Mölter/Pfeifer/Fiedler (2017) S. 63 f. Abb. 3.4.

⁵⁹⁰ Vgl. BMVBS (2013) S. 54 ff., S. 59 ff.; Mölter/Pfeifer/Fiedler (2017) S. 688 Tab. 15.1.

⁵⁹¹ Vgl. BMVBS (2013) S. 32 ff.; Mertens (2015) S. 28 ff.

⁵⁹² Vgl. Morgenthal/Hallermann/Achtelik (2015) S. 54.

⁵⁹³ Vgl. BMVBS (2013) S. 26; Weber (2013) S. 56 ff.; Schnellenbach-Held/Fakhouri/Karczewski (2013) S. 19; Mertens (2015) S. 21.

letzterem Verfahren der Werkstoff in keiner Weise beeinträchtigt werden darf.⁵⁹⁴ Das zu untersuchende Bauwerk wird unter statischen, konstruktiven, werkstoff-, brandschutztechnischen und bauphysikalischen Aspekten geprüft.⁵⁹⁵ Die Untersuchungen haben dabei so zerstörungsarm wie möglich abzulaufen.⁵⁹⁶

Zu den klassischen handnahen Methoden der Prüfung des Bauwerks gehören das Abklopfen von Oberflächen, die Analyse der Betonfestigkeit mit einem Rückprallhammer oder durch Bohrkernentnahme, die Sichtung der Verbindungsmittel (Schrauben und Bolzen) sowie das Messen von Rissen, Verformungen, Verschiebungen und Spaltöffnungen.⁵⁹⁷ Diese Verfahren der Prüfung und Bewertung des Ist-Zustandes gehören zu den einfachsten Formen der zerstörungsfreien Untersuchungen am Bauwerk, welche im Folgenden näher vorgestellt werden.⁵⁹⁸

Beim Abklopfen der Oberflächen des Bauwerks mit einem Hammer wird visuell in Verbindung mit einer Klangprobe (sog. Prüfung durch „Auge und Ohr“) nach Fehlstellen, losem Material (Abplatzungen) oder Hohlräumen gesucht, was sowohl umfangreiche Praxis als auch statisch konstruktives Wissen voraussetzt. Hohlstellen sind vor allem dort präzise zu prüfen, wo die Bewehrung, welche zur Verstärkung von Betonteilen dient, sehr dicht liegt und in mehreren Lagen verlegt wurde, wie z. B. Bauteilanschlüsse oder Verankerungsbereiche.⁵⁹⁹ Je nach Material der Brücke werden unterschiedliche Typen von Hämmern eingesetzt, wie der Geologenhammer (Stahl- und Spannbeton), der Schlosserhammer (Stahl) oder der Latthammer (Holz).⁶⁰⁰ Das Öffnen von kleinen Hohlstellen erfolgt nur, wenn der Zustand der Bewehrung geprüft werden soll, z. B. zur Beseitigung von Wasseransammlungen, oder Materialproben entnommen werden sollen. Die Öffnungen müssen anschließend wieder fachgerecht verschlossen werden.⁶⁰¹ Des Weiteren wird das Bauwerk nach Rissen mithilfe von einer Rissbreitenkarte, eines Risslineals, einer Rissbreitenlupe und Fühlerlehren untersucht und die Risse hinsichtlich ihrer Verläufe, Tiefe, Breite und Entwicklung analysiert.⁶⁰² Auch hier sind insbesondere die Risse entlang der Bewehrung zu prüfen, welche infolge der Sprengwirkung durch Korrosion entstanden sind.⁶⁰³

Ein weiterer Untersuchungsaspekt ist das Messen von Verformungen, wie z. B. Durchbiegungen, hinsichtlich der Tragfähigkeit des Bauwerks, sowie Verschiebungen und Spaltöffnungen an Lagern, welche mit Vorläufermessungen und zu erwartenden Werten verglichen werden. Die Messungen erfolgen mithilfe von Laser-Entfernungsmessgeräten in Verbindung mit einem Stativ.⁶⁰⁴ Die Prüfung der Verbindungsmittel hinsichtlich ihres festen Sitzes erfolgt

⁵⁹⁴ Vgl. Schnellenbach-Held/Fakhouri/Karczewski (2013) S. 85; Geißler (2014) S. 1159; Mehlhorn/Curbach (2014) S. 1198; Mertens (2015) S. 255; Mölter/Pfeifer/Fiedler (2017) S. 689 ff.

⁵⁹⁵ Vgl. Weber (2013) S. 54.

⁵⁹⁶ Vgl. Weber (2013) S. 59.

⁵⁹⁷ Vgl. BMVBS (2013) S. 32; Weber (2013) S. 82 f.; Mehlhorn/Curbach (2014) S. 1195; Mertens (2015) S. 253 ff.; Mölter/Pfeifer/Fiedler (2017) S. 689 ff.

⁵⁹⁸ Vgl. Mertens (2015) S. 253.

⁵⁹⁹ Vgl. Mehlhorn/Curbach (2014) S. 1197.

⁶⁰⁰ Vgl. Mehlhorn/Curbach (2014) S. 1196 f.; Mertens (2015) S. 253.

⁶⁰¹ Vgl. Mehlhorn/Curbach (2014) S. 1197.

⁶⁰² Vgl. Mertens (2015) S. 253.

⁶⁰³ Vgl. Mehlhorn/Curbach (2014) S. 1197.

⁶⁰⁴ Vgl. Mertens (2015) S. 253 f.

durch Anschlagen von Schrauben, Bolzen und Nieten mit dem Hammer, wobei ein Finger neben das Verbindungsmittel gelegt wird, um so mit bloßem Auge nicht wahrnehmbare Verbindungsspiele erkennen zu können. Schweißnähte werden ebenfalls auf Risse hin überprüft und mittels Farbeindringverfahren sichtbar gemacht.⁶⁰⁵ Darüber hinaus können erste chemische Untersuchungen am Bauwerk hinsichtlich der Karbonatisierungstiefe zur Bewertung der Dauerfestigkeit von Betonteilen und der Chloridionenkonzentration erfolgen, um zusätzlich das Korrosionsrisiko für die Bewehrung einschätzen zu können.⁶⁰⁶ Die Analyse der Betonfestigkeit erfolgt zunächst mit einem Rückprallhammer oder durch vorsichtige Bohrkernentnahme, ohne die Bewehrung zu beschädigen, welcher sich eine labortechnische Untersuchung anschließt.⁶⁰⁷

Im zerstörungsfreien Prüfverfahren werden zudem physikalische Messtechniken verwendet, wobei die eingebrachte Energie im Rahmen der Messungen den Werkstoff nicht verändern darf. Hierzu gehören elektrochemische Potenzialmessungen, um aktive chloridinduzierte Bewehrungskorrosion in Stahlbetonbauwerken zu ermitteln, Ultraschall-Echo- und Impact-Echo-Verfahren, um Hohlräume im Beton und Ablösezone der Bewehrung zu identifizieren sowie unverpresste Bereiche in Hüllrohren von Spanngliedern zu lokalisieren, Infrarot-Thermographie hinsichtlich der Lokalisierung von Feuchtigkeitsschäden sowie Radar- und Lasermessungen im Rahmen großflächiger Voruntersuchungen von Bauwerksflächen und Baukörpern.⁶⁰⁸ Diese Prüfmethode werden in der Regel bei einer OSA eingesetzt.⁶⁰⁹ Auch bei der Prüfung von Ingenieurbauwerken der Deutschen Bahn werden einfache Geräte der zerstörungsfreien Prüfung, wie z. B. zur Bewehrungsortung oder Messung der Betonüberdeckung, sowie die Schweißnahtprüfung (Ultraschall-Verfahren) eingesetzt.⁶¹⁰

Untersuchungen am Bauwerk aus Beton

Die Untersuchungen am Bauwerk aus Beton bestehen aus den Prüfungen an der Betonoberfläche, am oberflächennahen Beton, an Fehlstellen und Hohlräumen, an Rissen, an der Bewehrung, an der Gesamtkonstruktion sowie aus Analysen im Labor, welche in einem Bericht zu dokumentieren sind.⁶¹¹

Prüfung an der Betonoberfläche

Die Prüfung an der Betonoberfläche erfolgt zunächst nach Augenschein (visuell), welche erste Hinweise auf Schadensursachen, wie z. B. Abblätterungen, die Lösung von Gesteinskörpern sowie Abplatzungen, geben können und die identifizierten Schäden dabei in die Schadensstufen 0–4 klassifiziert werden. Darüber hinaus werden der Abrieb und die Abriebfestigkeit sowie die Oberflächenhärte und Oberflächenrauigkeit des Betons analysiert.⁶¹²

⁶⁰⁵ Vgl. Mertens (2015) S. 254.

⁶⁰⁶ Vgl. Mertens (2015) S. 254 f.

⁶⁰⁷ Vgl. Mehlhorn/Curbach (2014) S. 1200; Mertens (2015) S. 256 f.

⁶⁰⁸ Vgl. BMVBS (2013) S. 32; Mehlhorn/Curbach (2014) S. 1198; Mertens (2015) S. 255 ff.; Mölter/Pfeifer/Fiedler (2017) S. 90 ff.

⁶⁰⁹ Vgl. BMVBS (2013) S. 32; Mertens (2015) S. 254.

⁶¹⁰ Vgl. Holst (2018) S. 26.

⁶¹¹ Vgl. Weber (2013) S. 60, S. 70 ff.; Mehlhorn/Curbach (2014) S. 1192 ff.; Mölter/Pfeifer/Fiedler (2017) S. 693 ff.

⁶¹² Vgl. Weber (2013) S. 60 ff.

Prüfungen am oberflächennahen Beton

Bei der Prüfung am oberflächennahen Beton werden die Dichtigkeit, der Feuchtegehalt (trocken, feucht, nass), die Oberflächenfestigkeit (Druckfestigkeit, Oberflächenzugfestigkeit und Haftzugfestigkeit), die Karbonatisierungstiefe, die Lage der Bewehrung und Betondeckung sowie der Chloridgehalt (insbesondere bei den Brückenplatten, Brückenkappen) analysiert.⁶¹³

Untersuchung von Fehlstellen und Hohlräumen

Im oberflächennahen und bei unbewehrtem Beton können Fehlstellen und Hohlräume durch Abklopfen mit dem Hammer, der sog. Raschelmethode, identifiziert werden. Für die Untersuchung von Hohlräumen und Fehlstellen stehen insbesondere für tiefergelegene Fehlstellen folgende Verfahren zur Auswahl: Kernbohrungen, Endoskopie, Hohlraumbestimmung, Ultraschall-Echo-Verfahren, Impact-Echo-Verfahren, Impuls-Radar-Verfahren, Durchstrahlverfahren, Infrarot-Thermografie, Impuls-Thermografie sowie Puls-Phasen-Thermografie.⁶¹⁴

Untersuchung von Rissen

Im Rahmen der visuellen Untersuchung von Rissen bzw. Rissbildern wird deren Länge, Tiefe, Breite, die Änderung der Rissbreiten sowie deren Verlauf beschrieben und das entstandene Rissbild dokumentiert.⁶¹⁵

Prüfungen an der Bewehrung

Prüfungen an der Bewehrung am Betonstahl hinsichtlich korrodierter Stellen erfolgen visuell sowie durch Potenzialdifferenzmessungen und Potenzialfeldmessungen. Am Spannstahl können folgende Verfahren zur Prüfung des Durchmessers und von Brüchen angewandt werden: Durchstrahlungsmethode mit Gammastrahlen, Impuls-Echo-Verfahren, Ultraschall-Echo-Verfahren und Remanenz-Magnetismus-Verfahren.⁶¹⁶

Prüfung der Gesamtkonstruktion

Neben der Untersuchung am Baustoff können weitere Versuche am Gesamtbauwerk unternommen werden. Hierzu gehören Belastungsversuche, Messungen der Bauwerksbewegungen und Temperaturen sowie Schwingungsuntersuchungen.⁶¹⁷

Untersuchungen im Labor

Nach den qualitativen Überprüfungen am Bauwerk erfolgen Laboruntersuchungen, welche quantitative Messergebnisse liefern. Auch bei diesen Untersuchungen soll der Umfang des

⁶¹³ Vgl. Weber (2013) S. 63 ff.

⁶¹⁴ Vgl. Weber (2013) S. 63, S. 72 ff.; Mölter/Pfeifer/Fiedler (2017) S. 695 f.

⁶¹⁵ Vgl. Weber (2013) S. 76 ff.; Mölter/Pfeifer/Fiedler (2017) S. 694.

⁶¹⁶ Vgl. Weber (2013) S. 79 ff.

⁶¹⁷ Vgl. Weber (2013) S. 81 f.

Eingriffs am Bauwerk so gering wie möglich erfolgen. Hierfür werden in der Regel Proben von Betonbruchstücken oder Bohrkerne entnommen.⁶¹⁸

Untersuchungen am Bauwerk aus Stahl und Stahlverbund

Die Untersuchungen am Bauwerk aus Stahl und Stahlverbund bestehen aus den Prüfungen am Tragwerk und dessen Bauteilen, an den Fahrbahnbelägen, hinsichtlich des Korrosionsschutzes, an den Schweißnähten, an den Nieten und Schrauben sowie an den Seilen und Zugelementen, welche zu dokumentieren sind.⁶¹⁹

Tragwerk und dessen Bauteile

Das Tragwerk und dessen Bauteile sind visuell auf Einhaltung der Form in Ansicht, Draufsicht und Querschnitt geodätisch auf Basis der Messdaten zu untersuchen, was kurz nach Sonnenaufgang erfolgen sollte, da die Brücke zu diesem Zeitpunkt eine nahezu konstante Temperatur aufweist. Die stählernen Bauteile sind auf Geradheit und Ebenheit der Bleche (Ausbeulungen) visuell mithilfe einer Schnur und Richtlatte zu prüfen. Bei Verbundbrücken ist zu prüfen, ob ein Schlupf zwischen Betonplatte und Stahlträger eingetreten ist, welcher auf ein Versagen der Dübel schließen lässt, und auch durch Risse im Korrosionsschutz oder in der Betonplatte erkennbar sein kann.⁶²⁰

Die Messung der Kabelkraft kann über deren erste Eigenfrequenz erfolgen, wobei das Kabel durch „Anzupfen“ mit einem darüber geschlagenen Hanfseil, anschließend per Hand zu Schwingungen angeregt wird, um eine harmonische Schwingung über das gesamte Kabel zu erzeugen. Die Errechnung der Eigenfrequenz erfolgt mithilfe einer Uhr und sollte ebenfalls kurz nach Sonnenaufgang erfolgen.⁶²¹

Fahrbahnbeläge

Fahrbahnbeläge werden visuell hinsichtlich der Ablösung von Belagsteilen, Belagsverformungen, Rissen, Blasen, Spurrinnen und Undichtigkeiten überprüft, wobei Anzahl, Lage und Maß (Zollstock, Wasserwaage) zu berücksichtigen sind. Zudem sind die Ablaufroste bezüglich Verstopfungen zu untersuchen.⁶²²

Korrosionsschutz

Ein besonderes Augenmerk ist auf den Korrosionsschutz zu legen, wobei die Deckbeschichtung des Tragwerks an ausgewählten Stellen hinsichtlich Verwitterung, Abplatzungen, Korrosionsbefall, Materialschädigungen und Spaltenrosterscheinungen an Nieten und Schrauben zu überprüfen ist. Dabei wird die Dicke der Beschichtung gemessen und mit der

⁶¹⁸ Vgl. Weber (2013) S. 84 ff.; Mölter/Pfeifer/Fiedler (2017) S. 697.

⁶¹⁹ Vgl. Weber (2013) S. 60, S. 70 ff.; Mehlhorn/Curbach (2014) S. 1201 ff.; Mölter/Pfeifer/Fiedler (2017) S. 689 ff.

⁶²⁰ Vgl. Mehlhorn/Curbach (2014) S. 1201 f.; Mölter/Pfeifer/Fiedler (2017) S. 692 f.

⁶²¹ Vgl. Mehlhorn/Curbach (2014) S. 1202.

⁶²² Vgl. Mehlhorn/Curbach (2014) S. 1202; Mertens (2015) S. 37 ff., S. 100 ff.

Solldicke verglichen. Rostfahnen weisen auf Risse hin, welche wie Blasen oder Punktrrostbildungen eine baldige Erneuerung der Beschichtung erfordern.⁶²³

Schweißnähte

Da Schweißnähte und durch sie verursachte strukturelle und konstruktive Kerben Ausgangspunkt von Rissen sein können, sind festgelegte Anteile von durchgeschweißten und nicht durchgeschweißten Nähten des Bauwerks zu überprüfen. Insbesondere Farbabplatzungen oder Rostfahnen können auf Risse hinweisen. Folgende Verfahren können zur Überprüfung von Rissen dienen: Farbeindringverfahren, Magnetpulverprüfung sowie Durchstrahlungs- oder Ultraschallprüfung.⁶²⁴

Nieten und Schrauben

Nieten und Schrauben sind hinsichtlich ihres lockeren Sitzes zu untersuchen, was sich oft an Beschädigungen des Anstrichs und an Rostfahnen im Bereich der Nietköpfe und Schraubenköpfe sowie -muttern ablesen lässt. Durch das Abklopfen der Nieten, Schrauben und Schraubmuttern mit dem Hammer lassen sich Lockerungen feststellen.⁶²⁵

Seile und Zugelemente

Seile und Zugelemente zeichnen sich im Gegensatz zur übrigen Stahlkonstruktion durch ihre hohe Festigkeit, geringe Bruchdehnung und eine große innere Oberfläche aus, wodurch sie für Spannungsrisskorrosionen anfällig sind. Im Rahmen der visuellen Prüfung werden die Zugelemente auf ihrer ganzen Länge hin besichtigt, was durch einen Steiger mit einer kompletten Ausrüstung, eine Besichtigungseinrichtung auf einem gesonderten Tragseil oder ein Kabelfahrgerät erfolgt. Neben dem Zustand des äußeren Korrosionsschutzes werden bei Seilen auch Brüche von Drähten der äußersten Lage, der Zustand von Verkittungen und das sog. Bluten der Seile, also das Austreten von Verfüllmittel an die Oberfläche, überprüft. Die meisten Schäden treten an den Verankerungspunkten auf, welche in vielen Fällen mit einem Endoskop besichtigt werden können. Drahtbrüche im Inneren von Seilen und Bündeln werden dagegen mit einem Seilprüfgerät festgestellt, das auf Basis eines magnetinduktiven Verfahrens funktioniert.⁶²⁶

Automatisiertes Visuelles Prüfverfahren

Das automatisierte visuelle Prüfverfahren dient zur Unterstützung der Analyse von Oberflächen besonderer Bauwerksarten oder Bauteilen. In der Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076 (RI-EBW-PRÜF) werden hierfür zwei Untersuchungsmethoden beschrieben: das Laser-Scanner-Verfahren (im Tunnelbau) und die visuelle Prüfung von Brückenseilen.⁶²⁷ Die

⁶²³ Vgl. Mehlhorn/Curbach (2014) S. 1202 ff.; Mertens (2015) S. 95 ff.

⁶²⁴ Vgl. Mehlhorn/Curbach (2014) S. 1205 f.; Mertens (2015) S. 95 ff.

⁶²⁵ Vgl. Mehlhorn/Curbach (2014) S. 1206; Mertens (2015) S. 95 ff., S. 254.

⁶²⁶ Vgl. Mehlhorn/Curbach (2014) S. 1206 ff.; Mertens (2015) S. 46 f.

⁶²⁷ Vgl. BMVBS (2013) S. 33; Mertens (2015) S. 46 f.; RI-EBW-PRÜF (2017) S. 15 f.

in diesem Verfahren identifizierten Schäden mit einer Bewertung von > 1 hinsichtlich Stand-sicherheit, Verkehrssicherheit und Dauerhaftigkeit sind anschließend durch die oben be-schriebene handnahe Prüfung eingehender zu untersuchen.⁶²⁸

Das Laser-Scanner-Verfahren wird eingesetzt, um im Rahmen von Tunnelprüfungen Sperr-zeiten zu verkürzen, Verkehrseinschränkungen zu minimieren, die Unfallverhütung von Per-sonal zu verbessern und schließlich den Aufwand der handnahen Prüfung zu reduzieren. Dabei wird die Oberfläche der Tunnelleibung mithilfe eines Hochleistungsscanners foto- und thermografisch aufgenommen. Das Verfahren ist insbesondere für unverkleidete Straßen-tunnel, die über 500 m lang sind und/oder in einer Tunnelkette liegen, geeignet.⁶²⁹

Die visuelle Prüfung von Brückenseilen bis zu Höhen von 100 m bei Hänge- und Schrägseil-brücken kann handnah unter Einsatz von Korbgeräten/Hubarbeitsbühnen oder mit Seilbe-fahrgeräten erfolgen.⁶³⁰ Seilbefahrergeräte, welche mit einsatzspezifischen Bauelementen ausgestattet sein können, wie z. B. zur Schichtdickenmessung oder Durchführung einer mag-netinduktiven Prüfung hinsichtlich Drahtbrüchen, Schwächungen oder inneren Korrosionen, können unterstützend die Oberfläche der Seile hochauflösend optisch aufnehmen.⁶³¹ Auch bei diesem Verfahren ist bei einem festgestellten Schaden in der Regel anschließend eine handnahe Prüfung erforderlich.⁶³²

Bauwerksmonitoring

Im Rahmen des Bauwerksmonitoring, einer rechnergestützten Dauerüberwachung, können für bestimmte Aspekte Messgrößen, wie z. B. Durchbiegungen, Verdrehungen, Temperatur, Feuchtigkeit oder Druck, über einen längeren Zeitraum kontinuierlich oder zu festgelegten Zeitpunkten erfasst werden.⁶³³ Diese zerstörungsfreie Prüfmethode erfolgt mittels elektroni-scher Sensoren oder Lasersensoren, welche an der zu überwachenden Struktur installiert sind und bestimmte Eigenschaften der Struktur erfassen, wobei sowohl der unbelastete als auch der belastete Zustand aufgenommen und analysiert werden, sodass sich Schäden de-ktieren, lokalisieren und voraussagen respektive frühzeitig erkennen lassen. Dies ist ins-besondere in visuell nicht oder nur mit großem Aufwand prüfbar Bereichen einer Brücke, wie z. B. Pfeilerfundierungen, oder kritischen Bereichen der Konstruktion eine zusätzliche Maßnahme, den Erhaltungszustand der Brücken überprüfen zu können. So kommt dem Mo-nitoring auch aufgrund der fortschreitenden Entwicklung im Bereich der Messtechnik, Daten-erfassung und Datenübertragung eine immer größere Bedeutung zu.⁶³⁴ Das Monitoring dient allerdings nicht als Ersatz der handnahen Bauwerksprüfung, sondern es lässt sich damit ab-klären, welche möglichen Verfahren bei der Bauwerksprüfung eingesetzt werden sollen.⁶³⁵

⁶²⁸ Vgl. BMVBS (2013) S. 33; RI-EBW-PRÜF (2017) S. 15 f.

⁶²⁹ Vgl. BMVBS (2013) S. 33; RI-EBW-PRÜF (2017) S. 15.

⁶³⁰ Vgl. BMVBS (2013) S. 33; RI-EBW-PRÜF (2017) S. 16.

⁶³¹ Vgl. BMVBS (2013) S. 34.

⁶³² Vgl. BMVBS (2013) S. 34.

⁶³³ Vgl. BMVBS (2013) S. 34; Mehlhorn/Curbach (2015) S. 1217 f.

⁶³⁴ Vgl. Mehlhorn/Curbach (2015) S. 1217 ff.

⁶³⁵ Vgl. BMVBS (2013) S. 34; Mehlhorn/Curbach (2015) S. 1218.

2.6.2 Inspektion unter dem Einsatz von UAS

Nach Schätzungen der Deutschen Flugsicherung waren 2016 über 400.000 UAS im Einsatz mit steigender Tendenz. Bis 2020 soll sich die Zahl der UAS verdreifachen.⁶³⁶ Auf dem Markt gibt es eine Vielzahl von UAS verschiedener Hersteller im Angebot, wobei zwischen Flugsystemen für professionelle (kommerzielle) und für private Anwendungen (Hobby) zu unterscheiden ist. Letztere sind als Komplettsysteme oder als Selbstbausätze zu einem Preis zwischen 500 € und 2.500 € zu erwerben.⁶³⁷ Zu den marktführenden Unternehmen, welche UAS für den professionellen zivilen Einsatz herstellen und entwickeln, u.a. zur Inspektion von Infrastruktur, gehören auszugsweise die Hersteller Ascending Technologies GmbH, Intel Deutschland GmbH und SZ DJI Technology Co., Ltd. in China.⁶³⁸ Die Preisspanne dieser UAS liegt allein für das unbemannte Fluggerät zwischen 20.000 € und 50.000 €, wobei weitere Kosten für die einsatzspezifischen Aufnahmegeräte, Sensorik und Software hinzukommen.⁶³⁹ Die kontinuierliche technische Weiterentwicklung der UAS hat zu einer steigenden Erweiterung ihres Leistungsspektrums geführt, wie z. B. Inspektionen von Industrieanlagen, Windparks und Brücken,⁶⁴⁰ bei denen sie, ausgestattet mit verschiedenen Sensoren, wertvolle Informationen erfassen können.

Dienstleister zur Inspektion mit UAS

Neben den marktführenden Unternehmen, welche UAS, vor allem Multicopter, für den professionellen zivilen Einsatz für Inspektions- und Vermessungsflüge (u.a. Brücken) herstellen und entwickeln,⁶⁴¹ gibt es mittlerweile auch zahlreiche Unternehmen auf dem deutschsprachigen Markt, welche eine Inspektion mithilfe von UAS als Dienstleistung anbieten.⁶⁴² Die angebotenen Einsatzgebiete umfassen verschiedene Bereiche der Vermessung oder Inspektion von Bauwerken, wie z. B. Brücken, Gebäude, Denkmäler, Hochbauten, Hochspannungsleitungen und Energieanlagen, also überall dort, wo der Zugang schwer erreichbarer Stellen auf herkömmliche Weise überdurchschnittlich kosten- und zeitaufwändig sowie im Rahmen einer gefahrgeneigten Arbeit risikobehaftet wäre. Dabei wird u.a. damit geworben, dass Inspektionen mit „Drohnen“ aufgrund der hochauflösenden Wärmebildkameras die zerstörungsfreie Prüfung nach DIN 1076 nicht nur sinnvoll ergänzen, sondern auch größtenteils ersetzen können, was bislang in der Forschung allerdings noch nicht verifiziert wurde.⁶⁴³ Zu den weiteren Leistungen gehören die Planung von Inspektions- und Instandhaltungsprojekten, die Überprüfung der Flugbedingungen sowie das Einholen notwendiger Genehmigungen

⁶³⁶ Vgl. DFS (2017) S. 24; Gjemulla/van Schyndel/Friedl (2018) S. 3.

⁶³⁷ Vgl. Morgenthal/Hallermann/Achtelik (2015) S. 12.

⁶³⁸ Vgl. Intel Deutschland GmbH; SZ DJI Technology Co., Ltd.; Landrock/Baumgärtel (2018) S. 64 f.

⁶³⁹ Vgl. Morgenthal/Hallermann/Achtelik (2015) S. 12; Landrock/Baumgärtel (2018) S. 75.

⁶⁴⁰ Vgl. Morgenthal/Hallermann/Achtelik (2015) S. 10.

⁶⁴¹ Vgl. Intel Deutschland GmbH; Microdrones GmbH; droneparts e.K.; HEIGHT TECH GmbH & Co. KG.

⁶⁴² Vgl. Westphal (2017b); air-view[®]; ARCEXPERT GMBH; Baudrone; BLADESCAPE Airborne Services GmbH; CopterCloud[®] GmbH; droneproject.at; Eight Wings; GEARS GmbH; HELJO Industries; Ingenieurbüro Tuma; LINDSCHULTE Ingenieurgesellschaft mbH; LOGXON GmbH & Co. KG; mirko baum Airborne Images; SPECTAIR GmbH & Co. KG; TÜV Rheinland Industrie Service GmbH; ViewCopter e.U.; viZaar industrial imaging AG.

⁶⁴³ Vgl. SPECTAIR GmbH & Co. KG.

bei den Luftfahrtbehörden. Darüber hinaus werden die erhobenen Geodaten mit Fotogrammetrie oder LiDAR⁶⁴⁴ ausgewertet sowie zwei- und dreidimensionale Gelände- und Höhenmodelle generiert und zur Weiterverarbeitung in Geoinformationssysteme (GIS) genutzt⁶⁴⁵ oder mit den digital erfassten Daten werden mittels Fotogrammetrie 3D-Gebäudemodelle als Basis für die externe Verarbeitungssoftware Building Information Modeling (BIM) erstellt.⁶⁴⁶

Das österreichische Unternehmen BLADESCAPE, welches auf die autonome Zustandserfassung und Digitalisierung von Industrieobjekten mittels unbemannter Luftfahrzeugsysteme spezialisiert ist, zieht für die Auswertung und Interpretation der generierten Daten (Big Data) verschiedene Experten von Universitäten hinzu.⁶⁴⁷ Zusammen mit der österreichischen Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft (ASFINAG), welche die Autobahnen und Straßen in Österreich im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) plant, finanziert, baut, erhält, betreibt und bemannt, haben sie in einem Pilotversuch im Jahr 2017 sechs Brücken mit dem Einsatz von unbemannten Luftfahrzeugsystemen (Multicoptern) unterstützend überprüft.⁶⁴⁸

Richtlinie zur Inspektion mit UAS

Bislang fehlt vergleichbar zur DIN 1076 für die handnahe Bauwerksprüfung ein Qualitätsstandard zur Inspektion mit UAS. Mit der aktuellen Veröffentlichung einer Richtlinie zur „Inspektion von Anlagen und Gebäuden mit UAV“ (Flugdrohnen) durch den Verband Deutscher Ingenieure (VDI) ist zunächst eine Grundlage für die Brückeninspektion mit unbemannten Luftfahrzeugsystemen geschaffen worden.⁶⁴⁹ Die VDI-Richtlinie beschreibt Standards zur Inspektion von Anlagen und Gebäuden mit unmanned aerial vehicles (UAV).⁶⁵⁰ Irritierend ist hier zunächst der Begriff UAV, beinhaltet dieser lediglich das Fluggerät selbst, wie in der Richtlinie auch beschrieben, und nicht die zugehörige Sensorik für die Datenübertragung sowie die Bodenkontrollstation für die Steuerung des Fluggeräts.⁶⁵¹ Die Richtlinie dient als Leitfaden für Betreiber von unbemannten Luftfahrzeugsystemen, welche am Markt eine Inspektion mit diesen als Dienstleistung anbieten, um die Ergebnisse der Fernerkundung auf einem qualitativ hohen Standard offerieren zu können. Sie ergänzt die Instandhaltungsrichtlinien DIN 31051 und VDI 2890, wendet sich also nicht konkret an die Inspektion von Brücken und Ingenieurbauwerken.⁶⁵² Die Beschreibung der Inspektion beinhaltet daher lediglich die Hinweise auf die regelmäßigen Sichtkontrollen und deren Funktion sowie die Empfehlung

⁶⁴⁴ Light Detection and Ranging.

⁶⁴⁵ Vgl. SPECTAIR GmbH & Co. KG; LINDSCHULTE Ingenieurgesellschaft mbH.

⁶⁴⁶ Vgl. TÜV Rheinland Industrie Service GmbH; CopterCloud® GmbH.

⁶⁴⁷ Vgl. BLADESCAPE Airborne Services GmbH.

⁶⁴⁸ Vgl. BMVIT (2018).

⁶⁴⁹ Vgl. VDI (2018); Landrock/Baumgärtel (2018) S. 43.

⁶⁵⁰ Vgl. VDI (2018).

⁶⁵¹ Vgl. VDI (2018) S. 4, S. 5 f.

⁶⁵² Vgl. VDI (2018) S. 3.

der Dokumentation der Ergebnisse.⁶⁵³ Die Anforderungen an die Piloten zur Steuerung von UAS wurden aktuell in der neuen DIN 5452-2 publiziert.⁶⁵⁴

Neben der Definition von Begrifflichkeiten, Grundlagen der UAV, wie Maße, Gewicht und Ausstattung, werden vorrangig in der VDI-Richtlinie die Vorschriften des Luftrechts anhand der bestehenden Gesetze, wie LuftVG, LuftVO, LuftVZO, die Sicherheitsmaßnahmen des Flugbetriebs sowie die Anforderungen des Piloten und die Wartung des Fluggeräts beschrieben.⁶⁵⁵

Hinsichtlich der Erhebung und Nutzung von Bilddaten wird lediglich auf den Datenschutz (BDSG, DSGVO) sowie auf die Regelungen des Anlagenbetreibers verwiesen.⁶⁵⁶ Darüber hinaus wird als Bestandteil der Nachbereitung des Flugs die „Übergabe des vertraglich vereinbarten Liefergegenstandes,“ also die durch die Befliegung generierten Daten, die Datenanalyse und die Erstellung eines Berichts, zwischen Dienstleister (Betreiber des UAS) und Auftraggeber genannt, ohne konkreter darauf einzugehen, obwohl dies Teil der Inspektion ist.⁶⁵⁷ Abschließend werden Anwendungsmöglichkeiten der UAV insbesondere in der Industrie aufgeführt. Die Anhänge enthalten Maßnahmen zur Risikoanalyse sowie eine Checkliste zur Flugvorbereitung.⁶⁵⁸

Auch bei der American Society for Testing and Materials (ASTM), einer Organisation für Standardisierung in Pennsylvania (USA), befinden sich zurzeit einige Standards für den Einsatz von unmanned aircraft systems in Arbeit. So ist z. B. ein Standard (ASTM-Standard E 3036) erschienen, in dem die Grundlage zur Bestimmung des Zustands von Gebäudefassaden mithilfe des Einsatzes von UAS gelegt wird.⁶⁵⁹

DIN-Norm für unbemannte Luftfahrzeuge

Mit der fortschreitenden technologischen Entwicklung der UAS ist eine neue DIN 5452 für unbemannte Luftfahrzeuge entstanden. Der Normenausschuss besteht aus verschiedenen Experten der jeweiligen Branche, zudem bringen Interessengruppen, wie Verbraucher, Hersteller, Dienstleister, Forschung, Prüfinstitute und Verbände, darunter der UAV Dach e.V., ihr Wissen mit ein. Die DIN 5452 besteht aus insgesamt acht aufbauenden Teilen: Teil 1: Begriffe, Teil 2: Anforderungen an den Piloten, Teil 3: Identifizierung und Kennzeichnung, Teil 4: Anforderungen an das Luftfahrtsystem, Teil 5: Datenlink, Teil 6: Flugbetriebsorganisationen, Teil 7: Managementverfahren und Teil 8: Unfallanalyse. Die im Rahmen der vorliegenden Studie erwähnten Dokumente Teil 1 Begriffe (DIN 5452-1) und Teil 2 Anforderungen an den Piloten (DIN 5452-2) sind bereits publiziert worden und können über den Beuth Verlag bezogen werden.⁶⁶⁰

⁶⁵³ Vgl. VDI (2018) S. 8.

⁶⁵⁴ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 484; DIN 5452-2 (2019).

⁶⁵⁵ Vgl. VDI (2018) S. 8 ff.

⁶⁵⁶ Vgl. VDI (2018) S. 10.

⁶⁵⁷ Vgl. VDI (2018) S. 12 f.

⁶⁵⁸ Vgl. VDI (2018); zu Checklisten vgl. Fisch (2017) S. 40 f.; Dieckert/Eich (2018) S. 243 ff., S. 255 ff.

⁶⁵⁹ Vgl. Austrian Standards (2016).

⁶⁶⁰ Vgl. UAV Dach (2018).

Typen unbemannter Luftfahrzeuge und Luftfahrzeugsysteme

Neben der Antriebsart mit einem Elektromotor oder Verbrennungsmotor⁶⁶¹ kann im Rahmen der Luftfahrzeuge (UAV) respektive Luftfahrzeugsysteme (UAS) zwischen Drehflüglern, Flächen- bzw. Starrflüglern und Schwenkflüglern unterschieden werden, deren diverse Eigenschaften sich für verschiedene Einsatzmöglichkeiten eignen.⁶⁶²

Flächen- bzw. Starrflügler (Flugzeuge), welche den Auftrieb der Tragflächen bei der Vorwärtsbewegung nutzen, um in der Luft zu bleiben,⁶⁶³ sind in der Lage, mit einer sehr hohen Flug-/Aufnahmegeschwindigkeit zu operieren, sodass sie daher für luftbildgestützte Aufnahmen großer Flächen, z. B. in der Landwirtschaft oder Archäologie, im Rahmen von Vermessungen eingesetzt werden. Für detaillierte Aufnahmen von Bauwerken, wie Inspektionen an Brücken, sind sie ungeeignet.⁶⁶⁴ Zu den Flächenflüglern gehören Paragliders, bei denen die Motorgondel unter einem Gleitsegel an Trägerseilen aufgehängt ist, und die sich in der Auslegung der Motorart und der Größe unterscheiden,⁶⁶⁵ sowie Luftfahrzeuge mit Tragflächen (Tragflügel),⁶⁶⁶ welche aufgrund des Antriebs, der Leitwerksform am Rumpf und der Tragflächenanordnung unterschiedliche Bezeichnungen tragen.⁶⁶⁷ Im Gegensatz zu Drehflüglern werden sie immer in Flugrichtung gesteuert, können weite Strecken zurücklegen und schwere Lasten tragen, wobei sie immer mit einer gewissen minimalen Geschwindigkeit in Vorwärtsbewegung bleiben müssen, um gleiten zu können.⁶⁶⁸

Drehflügler (Multirotoren), wozu (Multi)Copter⁶⁶⁹ und Helikopter⁶⁷⁰ gehören, können auf kleinstem Raum senkrecht starten und landen, wofür es einer turbulenzfreien Zone bedarf,⁶⁷¹ und benötigen daher keine Start- und Landebahn.⁶⁷² Aufgrund ihrer Fähigkeit zu schweben besitzen die Multicopter eine sehr hohe Variabilität für gezielte und stabile Aufnahmen von Daten, wie Foto- und Videoaufnahmen von Bauwerken, und sind daher für Inspektionen, Messungen und Probeentnahmen optimal geeignet. Allerdings benötigen diese Copter dann eine sehr hohe Windstabilität, eine hochwertige Kameraausrüstung sowie sichere Steuerungsfunktionen.⁶⁷³ Die Genauigkeit der Positionsfixierung hängt von der Anzahl der Satelliten und der Empfindlichkeit der Sensoren ab. Wenn keine ausreichenden Satellitendaten, z. B. aufgrund von Hindernissen, empfangen werden können, erfolgt die genaue Positionsbestimmung über optische Sensoren, Radar oder Ultraschall.⁶⁷⁴ Nachteilig ist ihre relativ geringe Reichweite, da das Schweben aufgrund der sich ständig bewegenden Rotoren sehr

⁶⁶¹ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 106 f., S. 116, S. 137, S. 148, S. 156 f., S. 163, S. 189 f., S. 236.

⁶⁶² Vgl. Morgenthal/Hallermann/Achtelik (2015) S. 12; Fisch (2017) S. 13 f.; VDI (2018) S. 7.

⁶⁶³ Vgl. Orter (2018b).

⁶⁶⁴ Vgl. Morgenthal/Hallermann/Achtelik (2015) S. 12 f.; Dieckert/Eich (2018) S. 120, S. 144.

⁶⁶⁵ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 115 ff.

⁶⁶⁶ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 121 ff.

⁶⁶⁷ Leitwerksform: V-Leitwerk, Kreuzleitwerk, T-Leitwerk, Ente-Vorflügel; Antrieb: Pylon/Klapptriebwerk, Nasenantrieb, zwei- und mehrmotorig, Push-Pull; Tragflächenform: Nurfüglern, Delta, Schwenkflügel; Tragflächenanordnung: Schulterdecker, Mitteldecker, Tiefdecker, vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 123 ff.

⁶⁶⁸ Vgl. Orter (2018b); Dieckert/Eich (2018) S. 113, S. 144 f.

⁶⁶⁹ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 102 ff.

⁶⁷⁰ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 155 ff.

⁶⁷¹ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 111, S. 289.

⁶⁷² Vgl. Morgenthal/Hallermann/Achtelik (2015) S. 13; Orter (2018b).

⁶⁷³ Vgl. Morgenthal/Hallermann/Achtelik (2015) S. 13; Dieckert/Eich (2018) S. 112.

⁶⁷⁴ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 111.

viel Energie benötigt und sie somit keine weiten Strecken mit großen Lasten zurücklegen können.⁶⁷⁵ Je nach Anzahl der Rotoren wird zwischen Tricoptern, Quadrocoptern, Hexacoptern und Octocoptern unterschieden, welche mit steigender Anzahl der Rotoren schwerere Lasten tragen können, zumal die stabile Fluglage ruhiger wird.⁶⁷⁶ Copter mit einem oder zwei Hauptrotoren gehören in die Kategorie der Helikopter.⁶⁷⁷ Die meisten auf dem Markt erhältlichen Multicopter sind bereits mit allen Komponenten für die gewünschte Mission ausgestattet. Für spezielle Nutzlasten lassen sich zudem Sonderformen bzw. individuelle Konstruktionen von Multicoptern herstellen.⁶⁷⁸ Multicopter können sowohl über die Fernsteuerung am Boden als auch über den in der Flugsteuerung aktivierten Autopiloten mittels Software gesteuert werden, wobei durch die Verwendung des Autopiloten der Multicopter zu einem UAS wird.⁶⁷⁹

Das Prinzip von Vertical Take-Off and Landing (VTOL)⁶⁸⁰ verbindet das vertikale Starten und Landen der Drehflügler (Copter) mit dem horizontalen Fliegen der Flächenflügler. Hierzu gehören der Tiltrotor und der Tiltwing (Schwenkflügler). Bei Start und Landung kommen die meist vier Rotoren (Quadrocopter) beim Tiltrotor sowie die in der Regel drei Rotoren beim Tiltwing (Tricopter) wie bei einem Drehflügler zum Einsatz, was entsprechend auf kleinstem Raum möglich ist, jedoch relativ viel Energie benötigt.⁶⁸¹ Die senkrechten Starts und Landungen sind durch das Drehen der Tragflächen um die horizontale Achse möglich.⁶⁸² Anschließend drehen die Motoren für den Flugmodus in Flugrichtung, wobei der Auftrieb in den Vortrieb umwandelt. Optional kann ein Teil der Motoren abgeschaltet werden, um zusätzliche Energie einzusparen. Wie Flächenflügler können sie die Nutzlast über weite Strecken tragen und zugleich nahezu überall starten und landen. Zudem sind sie im Gegensatz zu den klassischen Multicoptern leiser und dadurch weniger störend.⁶⁸³ Tiltrotor und Tiltwing können für jede Art der Datengewinnung, wie Foto- und Videoaufnahmen, für Messungen und Erkundungen eingesetzt werden.⁶⁸⁴

Neben Flächen-, Dreh- und Schwenkflügler gibt es zudem Prallluftschiffe, welche reine Luft-hüllen sind, die mit Traggas gefüllt werden. Als UAS bieten sich die halbstarren Konstruktionen sowie die nichtstarren Blimps an. Sie starten und landen ähnlich wie Copter vertikal und sind in fast jedem Gelände einsetzbar. Für Einsätze mit Kameras und Sensoren eignen sie sich zur Datenerfassung und können, unter der Voraussetzung einer gemäßigten Witterung, weite Strecken abfliegen.⁶⁸⁵

⁶⁷⁵ Vgl. Orter (2018b); Dieckert/Eich (2018) S. 111 f.

⁶⁷⁶ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 102 ff.

⁶⁷⁷ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 103, S. 155 ff.

⁶⁷⁸ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 103 ff.

⁶⁷⁹ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 108 ff., S. 111.

⁶⁸⁰ Vgl. Orter (2018b); mittlerweile werden von verschiedenen Unternehmen VTOL konzipiert, wie Swiss Robotics AG, Airbus Cargo Drone Challenge u.a., vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 153 f.

⁶⁸¹ Vgl. Orter (2018b); Dieckert/Eich (2018) S. 145 ff., S. 149 ff.

⁶⁸² Vgl. Fisch (2017) S. 15.

⁶⁸³ Vgl. Orter (2018b); Dieckert/Eich (2018) S. 145 ff., S. 149 ff.

⁶⁸⁴ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 146, S. 151 f.

⁶⁸⁵ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 162 ff.

Fernsteuerung und Flugsteuerung

Die Fernsteuerung ist das Bindeglied zwischen dem steuernden Piloten und dem UAS, wobei der Pilot den Sender am Boden (Bodenstation) bedient und der Empfänger in der Trägerplattform die Steuerbefehle respektive die gesendeten Daten entschlüsselt und lesbar an die Aktuatoren und Servos (Rudermaschinen) weiterleitet.⁶⁸⁶ Mit der RC-Fernsteuerung (2,4 GHz) kann gezielt Einfluss auf die Steuerfunktionen der Trägerplattform, die Funktionen zur Datenerfassung und auf die Flugphasen der Flugsteuerung respektive des Autopiloten genommen werden.⁶⁸⁷ Während einer automatisierten Mission erhält die Flugsteuerung (Hardware) die Befehle vom Autopiloten (Software), wobei der Flugmodus jederzeit auf manuell eingeschaltet werden kann.⁶⁸⁸ Die Flugdaten (Telemetriedaten) werden am Bildschirm der Bodenstation oder auf dem Display des Tablets angezeigt.⁶⁸⁹ Für den automatisierten Flug eines UAS wird auf die Flugsteuerung (Hardware) zusätzlich die Autopilotsoftware gesetzt und erst mit der Verwendung der zusätzlichen Autopilotsoftware wird ein UAV im ersten Schritt zu einem UAS. Die Kombination aus Hardware (Flugsteuerung) und Autopilot-Software wird allgemein unter dem Gesamtbegriff Autopilot geführt.⁶⁹⁰ Das unbemannte Luftfahrzeugsystem kann damit Vorgänge, wie z. B. das Halten einer festgelegten Flughöhe oder automatisches Landen bzw. Starten, ohne Eingreifen des Piloten, durchführen. Mit einer Weiterentwicklung der Technik wird eine zunehmende Autonomie, welche von der Automatisierung zu differenzieren ist, der UAS möglich. Hierbei lassen sich drei mögliche Stufen unterscheiden: nicht autonome, teilweise autonome und vollständig autonome unbemannte Luftfahrzeugsysteme.⁶⁹¹ Während bei einem nicht oder teilweisen autonomen Luftfahrzeugsystem der Pilot jederzeit in die Steuerung eingreifen kann, und damit das Fluggerät ferngesteuert wird, ist dies bei einem vollständig autonomen Luftfahrzeugsystem nicht möglich, sondern die Vorgaben zum Einsatz, wie z. B. die Dauer der Route oder Ziele für Bildaufnahmen, werden vor dem Flug festgelegt. Der anschließende Flug erfolgt autonom, wobei das Luftfahrzeugsystem eigenständig ohne Unterstützung des Piloten die zuvor festgelegten Aufgaben ausführt.⁶⁹²

Flugvorbereitung und Flugdurchführung

Um eine Mission von UAS erfolgreich durchführen zu können, bedarf es einer sorgfältigen Flugvorbereitung. Hierzu muss in erster Linie geprüft werden, welche Genehmigungen erforderlich sind und welche Trägerplattform für den geplanten Einsatz die optimale Variante darstellt. Um die Sicherheit im manuellen Fliegen bzw. Steuern einer Trägerplattform zu erlangen, sind Flugsimulatoren empfehlenswert, womit virtuelle Flugmodelle und Multicopter durch Befehle von angeschlossenen Sendern gesteuert werden können. Darüber hinaus soll-

⁶⁸⁶ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 166 ff.

⁶⁸⁷ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 168 ff.

⁶⁸⁸ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 170.

⁶⁸⁹ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 172.

⁶⁹⁰ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 180 f.

⁶⁹¹ Vgl. Petermann/Grünwald (2011) S. 118 ff.; Plücken (2017) S. 20 ff.

⁶⁹² Vgl. Plücken (2017) S. 21 f.

ten alle notwendigen Systeme auf Funktionstüchtigkeit (Außen- und Innencheck) vergleichbar mit den Prozessen in der Luftfahrt überprüft und Sicherheitsvorkehrungen für den Fall eines Verlusts der Verbindung zwischen Bodenstation und UAS festgelegt werden.⁶⁹³ Hierfür bieten sich verschiedene Checklisten an, so für die technische Überprüfung, für den Start und die Landung, zur Planung für das Aufstiegsgebiet, wie u.a. Sicherheitsvorkehrungen, das Fluggebiet, z. B. hinsichtlich der Topografie, Flugverbotszonen oder Hindernisse, sowie den Tag der Mission, wobei u.a. alle Beteiligten zu informieren sind.⁶⁹⁴ Neben der Auswahl der Trägerplattform ist auch deren Schwerpunkt hinsichtlich des Flugverhaltens zu bestimmen sowie die Trimmeinstellungen des UAS präzise zu ermitteln.⁶⁹⁵ Darüber hinaus sind spezielle Ausrüstungsgegenstände, je nach Typus des UAS, erforderlich: EWD⁶⁹⁶-Waage, Pitchlehre für Helikopter, elektronische Waage für Gewichtsmessungen, Auswuchtwaage für Propeller, insbesondere für Multicopter, Rotorblattwaage für Helikopter sowie ein Werkzeugkasten.⁶⁹⁷ Zur Flugvorbereitung gehört auch die Abschätzung der meteorologischen Wetterlage und wie diese Einfluss auf die Trägerplattform während des Flugs ausüben kann.⁶⁹⁸

Die unterschiedlichen Flugeigenschaften der verschiedenen Typen der UAS bieten eine große Auswahl für den Einsatz diverser Aufstiegs- und Landegebeten sowie für Witterungsbedingungen. Vor dem eigentlichen Flug sollte, wie in der Luftfahrt üblich, ein Vorflugcheck erfolgen.⁶⁹⁹ Während der automatischen Mission sollte der Copter-Pilot sowohl das Luftfahrzeugsystem als auch den Luftraum beobachten, um Fluglage, Position und Flugrichtung visuell ohne Hilfsmittel erkennen und mit den Betriebsdaten vergleichen zu können.⁷⁰⁰ Ein Multicopter verfügt für die Steuerung über mehrere Flugmodi, wovon in der Regel insbesondere der GPS-Modus⁷⁰¹ und der Attitude-Modus verwendet werden. Beim GPS-Modus wird der Copter über GPS-Koordinaten gesteuert und exakt auf Position gehalten, indem er die Daten per Antenne von dem GPS-Satelliten empfängt. Dieser Flugmodus ist für Fotoaufnahmen geeignet. Beim Attitude-Modus hält das Fluggerät lediglich die Höhe automatisch, ohne exakte Positionierung, welche manuell über den Copter-Piloten erfolgt. Dieser Flugmodus eignet sich für Videoaufnahmen.⁷⁰²

Der Helikopter wird durch einen Piloten gesteuert, der während der Mission die Fluglage über Instrumente und im Sichtbereich kontrolliert.⁷⁰³ Der Flug mit dem Paraglider oder einem UAS mit Tragfläche kann nach einem manuellen Start automatisch in den UAS-Modus übergehen

⁶⁹³ Vgl. Fisch (2017) S. 40; Dieckert/Eich (2018) S. 243 ff.

⁶⁹⁴ Vgl. Fisch (2017) S. 40 f.; Dieckert/Eich (2018) S. 243 ff.

⁶⁹⁵ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 251 ff., S. 275 ff.

⁶⁹⁶ Einstellwinkeldifferenz.

⁶⁹⁷ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 255 ff.

⁶⁹⁸ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 258 ff.

⁶⁹⁹ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 289 f.

⁷⁰⁰ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 291.

⁷⁰¹ Global Positioning System.

⁷⁰² Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 111 f., S. 113 f.

⁷⁰³ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 301.

oder er wird durch einen Piloten gesteuert.⁷⁰⁴ Missionen mit dem Tiltrotor oder Tiltwing können entweder im Multicopter- oder Tragflächenmodus erfolgen.⁷⁰⁵ Auch bei den Prallluftschiffen (Blimp) können die Missionen automatisiert über einen Autopiloten erfolgen.⁷⁰⁶

2.7 Risikoanalyseansätze Kritischer Infrastrukturen

Die heutige Gesellschaft ist nicht nur von Kritischen Infrastrukturen, wie Stromversorgung, Telekommunikation oder Mobilität, in der Form abhängig, dass eine Störung oder ein Ausfall zu weitreichenden Konsequenzen führen kann, sondern die verschiedenen Infrastruktursysteme sind zudem mit anderen Infrastrukturen so verschaltet und verkettet, dass Kaskadenrisiken entstehen können.⁷⁰⁷ Als Beispiel sei die Nuklearkatastrophe im japanischen Kernkraftwerk Fukushima aufgeführt, wo aufgrund eines Erdbebens und darauffolgenden Tsunamis am 11.03.2011 eine Reihe katastrophaler Unfälle und Störfälle der Atomanlagen die höchste Stufe 7 erreichten. Die Stromversorgung und Kühlung aller sechs Reaktoren und mehrerer Abklingbecken fielen aus, sodass es zur Kernschmelze und Freisetzung von Radioaktivität kam. Die Folgen der Katastrophe sind bis heute nicht absehbar.⁷⁰⁸ Infrastrukturdienstleistungen werden darüber hinaus über physische, virtuelle oder logische Netze zur Verfügung gestellt, welche an Größe und Komplexität stetig zunehmen, sodass deren Beeinträchtigung zu regionalen, überregionalen, landes- oder weltweiten Ausfällen führen können. Diese Netze sind insbesondere in der Stromversorgung, der Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) sowie der Gasversorgung zu finden. Neben der Verwundbarkeit Kritischer Infrastrukturen sind diese auch durch Naturereignisse, technisches oder menschliches Versagen sowie durch kriminelle Handlungen, Terrorismus oder Kriege bedroht.⁷⁰⁹

2.7.1 Schutz Kritischer Infrastrukturen

Das Bundesministerium des Innern (BMI) hat einen Leitfaden herausgegeben, welcher Betreiber Kritischer Infrastrukturen dabei unterstützen soll, Risiken strukturiert zu ermitteln, darauf basierend vorbeugende Maßnahmen umzusetzen sowie effektiv und effizient mit Krisen umzugehen. Das vorgestellte Konzept eines prozessbezogenen Risiko- und Krisenmanagements besteht aus den folgenden fünf Phasen: Vorplanung zur Etablierung eines Risiko- und Krisenmanagements, Beschreibung grundsätzlicher Aspekte einer Risikoanalyse, vorbeugende Maßnahmen und Strategien, Aufbau eines Krisenmanagements sowie die regelmäßige Evaluierung des Risiko- und Krisenmanagements respektive der Phasen 1 bis 4.⁷¹⁰

⁷⁰⁴ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 117 f., S. 293.

⁷⁰⁵ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 298.

⁷⁰⁶ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 303.

⁷⁰⁷ Vgl. BMI (2011) S. 7, S. 10; Brauner/Friedrich (2018) S. 207 f.

⁷⁰⁸ Vgl. Krebs (2015) S. 3.

⁷⁰⁹ Vgl. BMI (2011) S. 7; Brauner/Friedrich (2018) S. 211 f.; Willisegger (2018) S. 65 ff.

⁷¹⁰ Vgl. BMI (2011) S. 5, S. 12.

Phase 1: Vorplanung

Die Leitung eines Unternehmens respektive Behörde, im Falle der Brücken der jeweilige Baulastträger, initiiert zunächst den Auf- oder Ausbau eines Risiko- und Krisenmanagements und ist auch für dessen Etablierung zuständig, wobei die Entstehung eines Risikobewusstseins im gesamten Unternehmen maßgeblich zur Qualität des Risikomanagements beiträgt. Weitere Zuständigkeiten sowie der Bedarf an Ressourcen werden erst im Verlauf der Umsetzung festgelegt. Darüber hinaus werden der Bedarf und die Klärung der rechtlichen Verpflichtungen zur Etablierung des Risiko- und Krisenmanagements abgeschätzt und die strategischen Schutzziele, wie z. B. Aufrechterhaltung und Funktionsfähigkeit der Einrichtung respektive Infrastruktur, formuliert. Schließlich werden die interne und externe Risikokommunikation, welche sich auf alle kommunikativen Prozesse zum Thema Risiko beziehen, etabliert.⁷¹¹

Phase 2: Risikoanalyse

Im Rahmen der Risikoanalyse werden die gesammelten Informationen für bestehende und potenzielle Risiken strukturiert und auf Prozesse respektive Teilprozesse und ihre Bestandteile (Risikoelemente) bezogen. Darüber hinaus werden die Gründe und Ursachen sowie die Konsequenzen von Risiken untersucht. Zu den Risikoelementen gehören Personen, Gelände, Gebäude, Anlagen und Geräte, z. B. Stromversorgung, Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT), Transport und Verkehr, einrichtungsspezifische Sonderanlagen und Sondergeräte, wie z. B. Software und Haustechnik, Daten und Unterlagen, Betriebsmittel sowie Umweltfaktoren.⁷¹² Die Risikoanalyse lässt sich in die Kritikalitätsanalyse und Risikoidentifikation untergliedern.

Mithilfe der Kritikalitätsanalyse werden zunächst jene kritischen Prozesse im Unternehmen identifiziert, deren Beeinträchtigung sowohl folgenschwere Auswirkungen haben können als auch entscheidend zur Gewährleistung der Funktionalität sind und damit durch entsprechende Maßnahmen geschützt werden müssen. Zu den Kriterien gehören u.a. Leben und Gesundheit von Menschen, Umfang der Dienstleistung, Auswirkungszeitpunkt, vertragliche, ordnungspolitische oder gesetzliche Relevanz, wirtschaftliche Relevanz sowie Konsequenzen für die Umwelt. Das Ergebnis der Analyse beinhaltet das Erkennen und Erfassen aller kritischen Prozesse sowie die Darstellung der vorhandenen Teilprozesse und Risikoelemente in einem Unternehmen respektive Behörde.⁷¹³

Im Rahmen der Risikoidentifikation erfolgen zunächst die Gefahrenanalyse und Szenario-Entwicklung, in der alle in Frage kommenden Gefahren standortspezifisch aufgelistet und hieraus Szenarien entwickelt respektive realistische Ereignisse abgebildet werden. Zur Entwicklung der Szenarien gehören folgende Informationen: Erwartete Exposition der Prozesse, Teilprozesse und Risikoelemente, erwartete Intensität des Störungspotenzials, erwartete

⁷¹¹ Vgl. BMI (2011) S. 5, S. 12 ff.

⁷¹² Vgl. BMI (2011) S. 14 ff.

⁷¹³ Vgl. BMI (2011) S. 16.

räumliche Ausdehnung, Vorwarnungszeit des Ereignisses, Entstehung von Sekundäreffekten, Referenzereignisse sowie Eintrittswahrscheinlichkeit des Ereignisses.⁷¹⁴

Zur weiteren Untersuchung der Risikoidentifikation werden mithilfe der Verwundbarkeitsanalyse die Verwundbarkeitsfaktoren Funktionsanfälligkeit und Ersetzbarkeit der Prozesse, Teilprozesse und Risikoelemente untersucht. Kriterien der Funktionsanfälligkeit lauten: Abhängigkeit von Risikoelementen, externen und internen Infrastrukturen, Robustheit und realisiertes Schutzniveau von Risikoelementen, Anpassungsfähigkeit und Pufferkapazität von Teilprozessen sowie Abhängigkeit von spezifischen Umweltbedingungen. Die Kriterien der Ersetzbarkeit beziehen sich auf die Gewährleistung von technischer und organisatorischer Redundanz, den Wiederherstellungsaufwand sowie die Transparenz von Risikoelementen.⁷¹⁵

Die Risikoermittlung, bei der die Ergebnisse der Szenario-Entwicklung und Verwundbarkeitsanalyse zu Risikowerten und Risikoaussagen verknüpft werden, kann mithilfe einer qualitativen, einer semiquantitativen sowie einer quantitativen Ermittlung von Risiken erfolgen. Nachdem die Risikowerte und -beschreibungen ermittelt wurden, werden diese miteinander verglichen, sodass jene Risikoelemente und Teilprozesse im Unternehmen identifiziert werden können, für welche die höchsten Risiken bestehen. Diese Ergebnisse werden mit den zuvor definierten strategischen Schutzziele abgeglichen und bewertet. Wenn diese nicht erreicht werden können, weil zu viele hohe Teilrisiken bestehen, werden operative Schutzziele formuliert, um vorbeugende Maßnahmen für die Teilprozesse mit den größten Risiken umzusetzen.⁷¹⁶

Phase 3: Vorbeugende Maßnahmen und Strategien

Vorbeugende Maßnahmen tragen dazu bei, Risiken für kritische Prozesse zu minimieren und operative Schutzziele zu erreichen. Zu den Maßnahmen gehören Risikominderung, Risikovermeidung, Risikoüberwälzung und Risikoakzeptanz. Risikomindernde Maßnahmen dienen dazu, die Funktionsanfälligkeit der Risikoelemente gegenüber einwirkenden Gefahren zu reduzieren oder die betriebliche Kontinuität der kritischen Prozesse durch die Herstellung von Redundanz respektive Ersatz zu gewährleisten. Bei der Risikovermeidung werden Risiken dadurch vermieden, indem entweder gefährdete Regionen oder Bereiche, soweit möglich, vermieden oder solche Maßnahmen umgesetzt werden, welche Gefährdungen nicht entstehen lassen. Die Risikoüberwälzung verlagert schließlich Risiken auf andere Unternehmen, wie z. B. Versicherungen, bzw. auf Vertragspartner, wie z. B. Lieferanten oder Kunden (Ingenieurbüros), um damit die finanziellen Folgen möglicher Schäden für das eigene Unternehmen zu reduzieren. Vorbeugende Maßnahmen und Strategien können das Sicherheitsniveau zwar erhöhen, aber Restrisiken nicht gänzlich ausschalten, sodass diese zu

⁷¹⁴ Vgl. BMI (2011) S. 17 f.

⁷¹⁵ Vgl. BMI (2011) S. 18 f.

⁷¹⁶ Vgl. BMI (2011) S. 20.

dokumentieren und deren Akzeptanz schriftlich festzuhalten ist. Für diese Restrisiken wird ein Krisenmanagement eingerichtet, um die Situation effektiv bewältigen zu können.⁷¹⁷

Phase 4: Krisenmanagement

Krisen in Einrichtungen Kritischer Infrastrukturen, welche z. B. durch Naturereignisse, technisches oder menschliches Versagen sowie Kriminalität, Terrorismus oder Kriege hervorgerufen werden, können zu folgenschweren Beeinträchtigungen der jeweiligen Funktionalitäten führen und damit schädliche Auswirkungen für die Gesellschaft und Wirtschaft haben. Mit Hilfe der Einrichtung eines Krisenmanagements sollen Krisen bewältigt werden, indem die Funktionalitäten der Einrichtung bestmöglich aufrechterhalten werden und die kritischen Prozesse so schnell wie möglich wieder anlaufen, um die Rückkehr zum Normalbetrieb sicherstellen zu können.⁷¹⁸ Das Krisenmanagement lässt sich in Organisation, Krisenbewältigung und Nachbereitung strukturieren.⁷¹⁹

Die Organisation umfasst folgende Aufgaben: Erstellung eines Krisenplans, welcher Ziel, rechtliche Grundlagen, Struktur einer in allen Krisenfällen agierenden Aufbau- und Ablauforganisation sowie die Entwicklung Szenario bezogener Planbestandteile beinhaltet, Einrichtung einer Aufbauorganisation in Form eines Arbeitsstabs für Krisensituationen, Erstellung eines Krisenstabs, bestehend aus Krisenstabsleiter, Krisenstabsteam sowie Fachberater, Einrichtung einer Ablauforganisation, welche die Aufgaben und Arbeitsweise des Krisenstabs regelt, Festlegung von Meldewegen, Einführung einer Krisenkommunikation sowie Einrichtung eines Krisenstabsraums.⁷²⁰

Die Aufbauorganisation befasst sich mit der Zergliederung des Unternehmens in Teilsysteme, wie z. B. Abteilungen oder Stellen, und die Zuordnung von Aufgaben zu diesen Teilsystemen.⁷²¹ Alle wesentlichen Entscheidungen, wie Art der Arbeitsorganisation, Leitungssystem, Verantwortung der Stellen, werden in dieser Phase festgelegt.⁷²² Bei der Ablauforganisation, welche im Zentrum der prozessorientierten Unternehmungsgestaltung steht, geht es um die Durchführung der Aufgaben in der Aufbauorganisation sowie um deren zeitliche und räumliche Koordinierung. Die Aufgaben sind wiederum Aktivitäten respektive Funktionen, welche Bestandteile eines Geschäftsprozesses bilden und zur Erbringung einer Leistung durchgeführt werden (vgl. Kap. 2.4).⁷²³ Somit geht es um die Gestaltung von Arbeitsprozessen, indem die zuvor festgelegten Teilaufgaben hinsichtlich der Reihenfolge, Dauer und räumlichen Gestaltung miteinander verkettet und ausgeführt werden.⁷²⁴ Das Krisenmanagement beinhaltet eine besondere Aufbau- und Ablauforganisation, welche sich von der Organisation im regulären Betrieb differenziert.⁷²⁵

⁷¹⁷ Vgl. BMI (2011) S. 20 f.

⁷¹⁸ Vgl. BMI (2011) S. 22 f.

⁷¹⁹ Vgl. BMI (2011) S. 23 ff.

⁷²⁰ Vgl. BMI (2011) S. 24 ff.

⁷²¹ Vgl. Becker/Kugeler/Rosemann (2012) S. 6, S. 229.

⁷²² Vgl. Becker/Kugeler/Rosemann (2012) S. 229 f.

⁷²³ Vgl. Becker/Kugeler/Rosemann (2012) S. 6.

⁷²⁴ Vgl. Becker/Kugeler/Rosemann (2012) S. 229.

⁷²⁵ Vgl. BMI (2011) S. 6.

Die Krisenbewältigung vollzieht sich in einem Kreislauf, bestehend aus den Elementen Lagefeststellung, Lagebeurteilung, Entscheidung und Maßnahmenumsetzung sowie Kontrolle, der solange durchlaufen wird, bis die Normalsituation zurückgekehrt ist. Bei der Lagefeststellung werden Informationen zum Ereignis gesammelt, um die Krise beurteilen und Entscheidungen zur Schadensminimierung treffen zu können. Grundlage hierfür bieten Meldungen der Mitarbeiter, Kunden, Bürger, öffentlichen Einrichtungen und aus den Medien. Die Darstellung des Lagebildes fasst alle Meldungen und Informationen zusammen, wozu Lagekarten, Gebäudepläne, Berichte über das Ereignis sowie Ton- und Bildaufzeichnungen gehören.⁷²⁶ So können z. B. im Rahmen des Bevölkerungs- und Katastrophenschutzes mithilfe von unbemannten Luftfahrzeugsystemen Lageerkundungen über Hochwasser, Brände oder Explosionen bildlich zeitnah erfasst werden, welche das Ausmaß kritischer Situationen besser erkennen lassen und den Ablauf der Krisenbewältigung beschleunigen.⁷²⁷

Die Lagebeurteilung, welche durch das Lagebild, gesetzliche Grundlagen, Richtlinien und Merkblätter erfolgt, dient der Umsetzung von Maßnahmen. Während der Kontrolle wird überprüft, inwieweit die Anweisungen erreicht, verstanden und umgesetzt wurden. Zudem werden die Auswirkungen der Maßnahmen beobachtet, um mögliche weitere Schritte zu planen, sowie Notmaßnahmen, redundante Systeme und Ersatzsysteme aktiviert, um die betriebliche und dienstliche Kontinuität sicherzustellen. Die Dokumentation während einer Krise dient nach der Rückkehr zum Normalbetrieb der abschließenden Evaluierung, der Klärung von Finanzierungs-, Versicherungs- und Rechtsangelegenheiten sowie der Nachbereitung der Krisenbewältigung in Form eines Berichtes. Außerdem werden in der Nachbereitung die Funktionsfähigkeit und Praktikabilität des Krisenplans geprüft, um Schwächen im Krisenmanagement aufzudecken und diese mithilfe ergänzender Maßnahmen zu stärken.⁷²⁸

Abschließend sollten Strukturen und Verfahren, wie Krisenkommunikation und krisenspezifische Abläufe, im Krisenmanagement geübt werden. Hierzu gehören u.a. Planbesprechungen, Stabsübungen, Stabsrahmenübungen, strategische Krisenmanagementübungen und Alarmierungsübungen.⁷²⁹

Phase 5: Evaluierung des Risiko- und Krisenmanagements

Die regelmäßige, vorzugsweise jährliche Evaluierung bezieht sich auf alle vier Phasen: auf die Prüfung der in der Vorplanung festgelegten Aspekte, der Aktualität bestehender Risiken, der umgesetzten vorbeugenden Maßnahmen und ihre Wirksamkeit sowie des Krisenmanagements. Darüber hinaus sind Evaluierungen nach der Umsetzung von Maßnahmen, nach einem Krisenereignis, nach einer Erweiterung oder Veränderung im Unternehmen sowie bei einer Änderung der Gefährdungslage erforderlich. Schließlich sollten alle Phasen regelmäßig durchlaufen und realistisch bewertet werden, um so eine stetige Optimierung des Sicherheitsniveaus in einem Unternehmen respektive Behörde zu gewährleisten.⁷³⁰

⁷²⁶ Vgl. BMI (2011) S. 30 f.

⁷²⁷ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 62 ff.; Giumulla/van Schyndel/Friedl (2018) S. 4.

⁷²⁸ Vgl. BMI (2011) S. 31 f.

⁷²⁹ Vgl. BMI (2011) S. 32 f.

⁷³⁰ Vgl. BMI (2011) S. 34.

2.7.2 Schutz Kritischer Brücken

In den Verbundprojekten „Schutz kritischer Brücken und Tunnel im Zuge von Straßen“ (SKRIBT und SKRIBT^{Plus}) wurde ein Verfahren zur Identifizierung kritischer Brücken entwickelt, um hieraus ableitend präventive Schutzmaßnahmen erarbeiten zu können.⁷³¹ Inwieweit diese auch für Eisenbahnbrücken angewandt werden können, war nicht Ziel der Untersuchung der Verbundprojekte.⁷³²

Um für Brücken mögliche Gefährdungen und Bedrohungen feststellen zu können, wurde zunächst eine Bedrohungsanalyse vorgenommen, indem Ereignisse, welche eine Beschädigung oder Zerstörung des Bauwerks, Gefährdung der Nutzer und/oder Beeinträchtigung des Verkehrs zur Folge haben, berücksichtigt wurden. Hierzu gehören Unfälle, Brände, Explosionen, Kontaminationen, Überflutungen oder Wind.⁷³³ Um die Schadensausmaße respektive kritischen Bauteile bezüglich Bauwerk, Nutzer und Verkehr im Rahmen der möglichen Extremereignisse bestimmen zu können, erfolgte anschließend eine detaillierte Objektanalyse, indem die Schwachstellen der Bauwerkstypen, die Bauteilschädigungen und das Gesamttragverhalten des Bauwerks analysiert wurden.⁷³⁴ Das nutzerbezogene Schadensausmaß wurde mithilfe von Flucht- und Evakuierungssimulation, Bewältigungsstrategien sowie Einsatzkonzepten, unter Berücksichtigung von Organisation, Zeit und Ressourcen, ermittelt. Die Aspekte des Verkehrs betrafen die Untersuchung des Teil- oder Komplettausfalls einer Brücke.⁷³⁵ Auf dieser Basis der Daten sowie mithilfe eines risikobasierten Ansatzes unter Berücksichtigung der Schadensausmaße und Wahrscheinlichkeiten wurde ein Verfahren zur Identifizierung kritischer Brücken entwickelt.⁷³⁶ Für die als kritisch erkannten Brückentypen konnten anschließend bautechnische, betriebstechnische und organisatorische Schutzmaßnahmen sowie Empfehlungen für Eigentümer, Betreiber und Einsatzdienste in Abhängigkeit der Gefahrenlage herausgearbeitet und im Rahmen eines Leitfadens zusammengefasst werden, wobei für jede konkrete Gefahr im Wesentlichen bauliche Maßnahmen bestimmt wurden, die zur Prävention geeignet sind.⁷³⁷

Auch im Rahmen des Forschungsprojekts SeCMan aus dem Jahre 2013 wurden Sicherheitsrisiken in der Straßeninfrastruktur bewertet, um hieraus mögliche Schutzmaßnahmen ableiten zu können. Mit einem vierstufigen Verfahren wurden dabei Brücken und Tunnel hinsichtlich ihrer Kritikalität als bedeutendes Bauwerk im Verkehrsnetz, sowie ihrer Attraktivität und Verwundbarkeit hinsichtlich Terroranschläge bewertet. Mit dieser Bewertung können Eigentümer und Betreiber die Schwachpunkte der Bauwerke hinsichtlich der Sicherheitsrisiken bestimmen und eine Priorisierung von Maßnahmen anhand strategischer Ziele ableiten.⁷³⁸ Das Forschungsprojekt Security of Road Transport Networks (SeRoN) hat

⁷³¹ Vgl. SKRIBT Schlussbericht (o.J.) S. 70 f.

⁷³² Gemäß Literatur- und Internetrecherche liegt diese auch noch nicht vor.

⁷³³ Vgl. SKRIBT Schlussbericht (o.J.) S. 8 Tab. 1, S. 13 ff., S. 70; SKRIBT Bauwerksbezogene Objektanalyse (o.J.) S. 7 ff.

⁷³⁴ Vgl. SKRIBT Schlussbericht (o.J.) S. 7, S. 70; SKRIBT Bauwerksbezogene Objektanalyse (o.J.) S. 9 ff.

⁷³⁵ Vgl. SKRIBT Schlussbericht (o.J.) S. 8 ff., S. 70.

⁷³⁶ Vgl. SKRIBT Schlussbericht (o.J.) S. 11 f., S. 13 ff., S. 70.

⁷³⁷ Vgl. SKRIBT Schlussbericht (o.J.) S. 22 ff., S. 70.

⁷³⁸ Vgl. Sicherheitshandbuch (2013) S. 9, S. 14 f., S. 19 ff., S. 23 ff.

ebenfalls in einem vierstufigen Verfahren Straßenelemente anhand ihrer Kritikalität für den Verkehr priorisiert und die relevanten Elemente einer Risikoanalyse unterzogen, aus denen sich Maßnahmen ableiten lassen können.⁷³⁹

2.8 Dokumentation bestehender Untersuchungen

Im Rahmen der Instandhaltung und Überwachung von Brücken sind in den letzten Jahren verschiedene Forschungsprojekte entstanden, welche der Optimierung und Erweiterung des Erhaltungsmanagements dienen.

Unter dem Leitgedanken, dass Brücken der Zukunft in der Lage sein sollten, von außen sichtbare Schäden respektive den Erhaltungszustand bereits zu einem früheren Zeitpunkt anzukündigen, als Ergänzung zu den Bauwerksprüfungen nach DIN 1076, entstand 2011 durch das damalige Bundesverkehrsministerium (BMVBS, heute BMVI) und die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) ein Projektcluster unter dem Titel „Intelligente Brücke“. Ziel ist dabei, die notwendigen Bausteine für ein solches ganzheitliches System zu konzipieren, welche bereits mit einer Vielzahl an Forschungsprojekten im Rahmen einer interdisziplinären Zusammenarbeit von Universitäten, Forschungseinrichtungen und Projektpartnern aus der Industrie erfolgt sind und weiter erarbeitet werden. Die wesentlichen Bausteine dieses Konzepts bestehen aus der „intelligenten Sensorik“, worunter sowohl kommunizierende Sensornetze und innovative auf den Brückenbau abgestimmte Sensoren als auch autarke Energieversorgungskonzepte verstanden werden, und der komplexen Modellierung, also digitale Modelle von Bauwerken sowie Bewertungsmethoden.⁷⁴⁰

Im Rahmen des Brückenmonitoring entwickelt zum Zeitpunkt der Verfassung der vorliegenden Studie ein Forscherteam der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) Computermodelle für den Alterungsprozess von Brücken, um einen möglichen Reparaturbedarf schneller ermitteln zu können. Hierfür werden an einem Referenzobjekt auf dem Testgelände Technische Sicherheit (TTS) Horstwalde, in Baruth/Mark, in der Nähe von Berlin, „moderne optische Verfahren, faseroptische Sensoren, Neigungssensoren und die Messung von akustischen Signalen oder Schwingungscharakteristiken“ eingesetzt, um zu erforschen, inwieweit diese bei der Bewertung der Sicherheit von Bauwerken zukünftig genutzt werden können, indem der Zustand der Brücke durch eingebaute Sensoren ständig überwacht wird. Darüber hinaus sollen Computermodelle entwickelt werden, mit denen frühzeitige Prognosen über Alterungsprozesse von Bauwerken erstellt werden können, um Schäden zu vermeiden und Reparaturkosten zu senken.⁷⁴¹

Neben den verschiedenen Forschungsansätzen, welche für die Überwachung von Brücken Messverfahren mithilfe der Sensorik im Fokus der Betrachtung haben, werden in jüngster

⁷³⁹ Vgl. Großmann/Rönnau (2012) S. 8 ff.

⁷⁴⁰ Vgl. Fischer/Straub u.a. (2014); Fischer/Straub u.a. (2015); Haardt (2018); BASt (2018c).

⁷⁴¹ Vgl. BAM (2017a) S. 52; BAM (2017b) S. 119 ff.

Zeit zudem Methoden unter dem Einsatz von unbemannten Luftfahrzeugsystemen untersucht, welche die Bauwerksprüfung unterstützen können.

Unbemannte Luftfahrzeuge und Luftfahrzeugsysteme gehören zu den bedeutenden technologischen Innovationen der vergangenen zehn Jahre.⁷⁴² Aufgrund der rasanten Entwicklung ihrer Technik und innovativer Forschungen auf mehreren Gebieten, wie z. B. Miniaturisierung und Autonomisierung der UAS, werden sich neue, bislang unbekannte Perspektiven in zahlreichen Anwendungsfeldern ergeben, mit großen Auswirkungen auf Wirtschaft und Gesellschaft.⁷⁴³ Die wirtschaftliche Bedeutung der unbemannten Luftfahrzeuge und Luftfahrzeugsysteme im zivilen respektive gewerblichen Einsatz spiegelt sich dabei nicht nur in der stetigen Erweiterung ihres Anwendungsspektrums wider,⁷⁴⁴ sondern auch in den zahlreich entstandenen Verbänden und (universitären) Forschungseinrichtungen, welche sich u.a. sowohl mit der Sicherheit als auch mit der technischen Weiterentwicklung und Optimierung unbemannter Luftfahrzeuge und Luftfahrzeugsysteme auseinandersetzen, sowie in den geförderten Forschungsprojekten.⁷⁴⁵

Im Folgenden werden die Ergebnisse von drei Forschungsprojekten zusammengefasst, welche innovative Ansätze im Rahmen von Inspektionen sowie Messungen von Ingenieurbauwerken respektive (Eisenbahn-)Brücken unter dem Einsatz der UAS thematisieren, und dargelegt, welcher Entwicklungsbedarf in diesem Bereich besteht.

Ein Forschungsteam des Instituts für Konstruktiven Ingenieurbau der Bauhaus-Universität Weimar unter der Leitung von Prof. Morgenthal (Professur Modellierung und Simulation – Konstruktion) sowie den beteiligten Projektpartnern Ascending Technologies GmbH (AscTec) und dem Institut für Diagnostik und Konservierung an Denkmalen in Sachsen und Sachsen-Anhalt e.V. hat im Rahmen eines Forschungsprojekts zum Thema „Unbemannte Fluggeräte zur Zustandsermittlung von Bauwerken“ von 2013 bis 2015 das Potenzial des Einsatzes von UAV/UAS zur Zustandsermittlung und Inspektion von Bauwerken, u.a. Ingenieurbauwerken, praxisorientiert analysiert.⁷⁴⁶ Die Studie wurde von dem damaligen Verkehrsministerium (BMVBS, heute BMVI) gefördert. Für die Inspektionen wurden zwei ferngesteuerte Flugsysteme (Oktokopter) vom Typ Falcon 8 (Baujahr 2011: 18.000 €) sowie eine Prototypen-Plattform des Unternehmens Ascending Technologies (AscTec) aufgrund ihrer Windstabilität (Windgeschwindigkeit von 15m/s (6 bft) möglich) und Systemgeometrie, welche ein uneingeschränktes 360° Sichtfeld der Kamera bieten, verwendet. Die Speicherung der Daten erfolgte über eine SD-Karte.⁷⁴⁷ Die Steuerung des unbemannten Fluggerätes sowie das Auslösen der Kamera kann ferngesteuert über die mobile Bodenstation, ein zwei-

⁷⁴² Vgl. Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhardt/Moll (2018) S. 29.

⁷⁴³ Vgl. Morgenthal/Hallermann/Achtelik (2015) S. 10; Plücken (2017) S. 2, S. 29; Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhardt/Moll (2018) S. 29.

⁷⁴⁴ Zu den Anwendungsmöglichkeiten vgl. Kap. 1.2, 1.3.

⁷⁴⁵ Zu den Verbänden und universitären Einrichtungen vgl. Kap. 2.1.2.

⁷⁴⁶ Vgl. Morgenthal/Hallermann/Achtelik (2015).

⁷⁴⁷ Vgl. Morgenthal/Hallermann/Achtelik (2015) S. 14.

tes Controlpad oder automatisch durch vorprogrammierte Flugrouten erfolgen. Die Standardtraglast von 800 g erlaubt die Verwendung von hochwertigen digitalen Foto- und Videokameras sowie leichten Wärmebildkameras.⁷⁴⁸

Zu den Referenzobjekten für die praxisorientierte Untersuchung gehörte die 235 m lange Wirrbachtalbrücke (Bogenbrücke) bei Geschwenda im Thüringer Wald der Bundesstraße B88.⁷⁴⁹ An der Wirrbachtalbrücke wurden vornehmlich Versuche zur manuellen Aufnahme von sehr schwer zugänglichen Stellen, wie z. B. Bogenuntersicht (genaue Kameraposition erforderlich), Pfeilerfüße und -köpfe, durchgeführt. Bei der automatischen Aufnahme von Bogenuntersicht, Bogenansicht und Überbauansicht erfolgte die Befliegung auf vorprogrammierten Aufnahmepositionen (genaue Routenplanung erforderlich), die sich an der Bauwerksgeometrie orientierten. Die manuellen Aufnahmen erfolgten im Teameinsatz mit dem Flugsystem Falcon 8 (AscTec). Für die automatischen Aufnahmen sind entsprechende Algorithmen zur automatischen Routenerzeugung zukünftig zu entwickeln.⁷⁵⁰ Die angeflogenen Stellen wurden vollständig aufgenommen, wobei die Aufnahmen der Schadstellen im Detail aus kurzer Entfernung (5–7,5 m) zum Bauwerk erfolgt sind.⁷⁵¹

Durch Feldversuche an verschiedenen Bauwerken konnte im Rahmen des Projekts festgestellt werden, dass sich professionelle UAS (VTOL), welche mit einer qualitativ hochwertigen Kamera ausgestattet und windstabil sind, grundsätzlich sowohl für die visuelle als auch die messtechnische Zustandsermittlung von Bauwerken, insbesondere bei solchen, die sehr hoch und schwer zugänglich sind, gut eignen und damit zwar zur Effizienzsteigerung und Kostenreduzierung beitragen, allerdings aufgrund der Technologie noch keinen Ersatz für die handnahe Prüfung leisten können.⁷⁵² Insgesamt wurde an acht Bauwerken (Bürogebäude, Turm, Kirchen, Talsperre, Windenergieanlage, Schornstein, Bogenbrücke) eine visuelle und an zwei Bauwerken (Turm, Stützwand eines Tunnels) zusätzlich eine messtechnische Auswertung (fotogrammetrische Auswertung und 3D-Rekonstruktion des Bauwerks) erprobt, wobei sowohl eine manuelle als auch eine automatische Datengenerierung erfolgt ist.⁷⁵³

Darüber hinaus wurde erforscht, dass aufgrund der extremen Positionsgenauigkeit und Windstabilität der angewandten Flugsysteme auch bei ungünstiger Witterung und sehr geringem Abstand zum Bauwerk, wie z. B. bei Brücken, sowie bei schwer zugänglichen Bauteilen sehr detaillierte Aufnahmen erzeugt werden können.⁷⁵⁴ Es wird jedoch eine entsprechende Abstandssensorik bzw. ein virtueller Schutzring zur Kollisionsvermeidung, welche auf den Systemen zu implementieren ist, empfohlen. Im Rahmen der Datenerfassung

⁷⁴⁸ Vgl. Morgenthal/Hallermann/Achtelik (2015) S. 15.

⁷⁴⁹ Vgl. *Structurae* (o.J.); Morgenthal/Hallermann/Achtelik (2015) S. 29.

⁷⁵⁰ Vgl. Morgenthal/Hallermann/Achtelik (2015) S. 86.

⁷⁵¹ Vgl. Morgenthal/Hallermann/Achtelik (2015) S. 87.

⁷⁵² Vgl. Morgenthal/Hallermann/Achtelik (2015) S. 127.

⁷⁵³ Vgl. Morgenthal/Hallermann/Achtelik (2015) S. 54 ff., S. 91 ff.

⁷⁵⁴ Vgl. Morgenthal/Hallermann/Achtelik (2015) S. 127 f.

ist vor allem durch die GPS-basierte⁷⁵⁵ automatische Aufnahme von Bauwerken auf vorprogrammierten Flugrouten eine präzise und reproduzierbare Datengenerierung möglich.⁷⁵⁶

Weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf wurde in der Studie sowohl in der unbemannten Fluggerätetechnik (sensorbasierte Kollisionsvermeidung und Abstandskontrolle, differentielle GPS, Beleuchtung, Stereoaufnahmen, Akkutechnik) und -navigation (abstandsorientierte/-gesteuerte Befliegung, vertikale und geneigte Einzelflugpfade, vertikale und geneigte Matrizen für Flächenaufnahmen, 3D-Flugplanung, automatisierte Erstellung von Flugrouten basierend auf BIM-Modellen) als auch in der Datenauswertung und -aufbereitung (automatische Markerverfolgung/-erkennung zur Georeferenzierung, Visualisierung sehr großer Punktwolken, bildbasierte automatische Erkennung sowie Messen in Bildern von Schäden, quantitative Qualitätsbewertung der Bilddaten) identifiziert. Darüber hinaus stehen Entwicklungen geeigneter Datenformate für die Weiterverarbeitung großer Punktwolken und 3D-Bauwerksmodellen sowie bei der Weiterverwendung der generierten Bauwerksdaten in BIM-Softwaretools an. Fazit der Studie ist, dass insbesondere die Automatisierung von Flug- und Auswerteprozessen, welche eine effiziente, konsistente und reproduzierbare Datenaufnahme ermöglichen würde, noch weiterer Forschungen bedarf.⁷⁵⁷

In einem aktuell laufenden Förderprojekt des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) zum Thema Bewertung alternder Infrastrukturbauwerke mit digitalen Technologien (AISTEC) unter der Leitung der Bauhaus-Universität Weimar sowie den Projektpartnern Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Deutsche Bahn Netz AG (DB Netz) sowie dem Ingenieurbüro Leonhardt, Andrä und Partner Beratende Ingenieure VBI AG werden Technologien entwickelt, welche Schäden an Brücken und anderen Bauwerken unter dem Einsatz von automatisierten UAS und zusätzlicher am Bau installierter Sensorik frühzeitig und automatisch erkennen sollen.⁷⁵⁸

Im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) wurde von der TÜV Rheinland GmbH im Jahre 2016 eine Pilotstudie zum Thema „Unterstützung der Bauwerksprüfung durch innovative digitale Bildauswertung“ vorgenommen.⁷⁵⁹ Ziel des Forschungsprojekts war, aufzuzeigen, inwieweit die handnahe Bauwerksprüfung nach DIN 1076 durch digitale Bildverfahren mithilfe von UAS ergänzt und optimiert werden kann. Hierfür wurden an drei Bauwerken, am Schildescher Viadukt in Bielefeld, an der Talbrücke Nuttlar sowie an der Europabrücke in Koblenz, mittels UAS Inspektionen vorgenommen. Die identifizierten Schäden, welche vorab von einem Brückenprüfer eingeschätzt wurden, wurden dabei bestätigt bzw. übertroffen. Grundsätzlich kann durch den Einsatz der UAS nicht nur Zeit eingespart werden, sondern diese Prüfungsmethode reduziert die Nutzungseinschränkung der zu untersuchenden Brücke und erzielt eine höhere Qualität der Ergebnisse. Darüber hinaus können schwer zugängliche Stellen befliegen werden.⁷⁶⁰

⁷⁵⁵ Global Positioning System.

⁷⁵⁶ Vgl. Morgenthal/Hallermann/Achtelik (2015) S. 128.

⁷⁵⁷ Vgl. Morgenthal/Hallermann/Achtelik (2015) S. 130.

⁷⁵⁸ Vgl. BMBF (2018b).

⁷⁵⁹ Vgl. Sperber/Gößmann u.a. (2017).

⁷⁶⁰ Vgl. Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 3.

Für die Befliegungen wurde der Oktocopter Spectair HT-8 C180 der Firma Height Tech ausgewählt, welcher durch sein agiles Flugverhalten schnell schwer zugängliche Punkte erreichen und in kurzer Zeit die Brücke abfliegen konnte. Darüber hinaus sind die unterschiedlichen Sensoren schnell und flexibel auswechselbar. Das Modell besitzt eine um 180° schwenkbare Kameraaufhängung, welche ein großes Sichtfenster für Aufnahmen ermöglicht, sowie einen Propellerschutz in Form eines Schutzrings, welches Copter und Prüfobjekt im Falle eines Zusammenstoßes schützen.⁷⁶¹ Der Schwerpunkt bei der Befliegung lag auf der Erkennbarkeit von Schäden und Auffälligkeiten durch UAS mit unterschiedlicher Sensorik.⁷⁶² Die auf dem Markt erhältlichen Systemkameras erreichen hohe Auflösungen, welche in Verbindung mit dem Einsatz lichtstarker und verzerrungsarmer Optiken sehr gute Voraussetzungen für fotogrammetrische Schadensauswertungen aufgenommener Bauwerke bieten.⁷⁶³

Fazit der Studie ist, dass grundsätzlich Schäden und Auffälligkeiten wie bei einer handnahen Prüfung durch UAS gut festgestellt werden. Grenzen treten bei der erforderlichen Entnahme von Materialproben auf, sodass der Einsatz von UAS die Bauwerksprüfung nicht ersetzen, sondern sinnvoll unterstützen kann. Insbesondere ist bei der Bauwerksprüfung die Feststellung von Rissbreiten bei Stahlbeton- und Spannbetonbauwerken ein wesentlicher Aspekt, die ab einer Weite von ≥ 2 mm bei visuellen Prüfungen sicher erkannt werden müssen.⁷⁶⁴ Zum Zeitpunkt der Studie können mit den bei den Befliegungen eingesetzten visuellen Prüfverfahren keine exakten Messungen der Rissbreiten vorgenommen werden, sondern lediglich von der Erkennbarkeit der Risse ausgegangen werden, insbesondere unter günstigen Randbedingungen, wie Licht und Feuchtigkeit.⁷⁶⁵

Forschungsbedarf besteht in der Erstellung eines Leitfadens für die Bauwerksprüfung durch UAS inklusive einer Leistungsbeschreibung, um die Qualität einer Befliegung gewährleisten zu können und somit das Angebot an Servicedienstleistern transparenter zu machen. Für die Bauwerksprüfung mithilfe von UAS sollten Prüfer eine qualifizierte Ausbildung nach einem festgelegten Qualitätsstandard erhalten.⁷⁶⁶ Die mithilfe von digitalen Bildaufnahmen und -auswertungen identifizierten Bauschäden konnten nur aufwendig durch Fotogrammetrie und Überführung in ein 3D-Modell ermittelt werden. Die in diesem Projekt verwendete fotogrammetrische Software Photoscan der Firma AgiSoft war für die Bedürfnisse der Bauwerksprüfung praxisuntauglich, sodass aktuell auf dem Markt vorhandene Programme hinsichtlich ihrer Einsatzfähigkeit zur digitalen Vermessung von Bauwerken mithilfe von UAS untersucht werden sollten. Auch für die digitale Fotografie soll ein Praxisleitfaden erstellt werden, welcher eine Verfahrensbeschreibung zur Aufnahme und Menge der 2D-Bilder, ein Einsatz von

⁷⁶¹ Vgl. Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 20.

⁷⁶² Vgl. Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 30.

⁷⁶³ Vgl. Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 21.

⁷⁶⁴ Vgl. Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 54.

⁷⁶⁵ Vgl. Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 55.

⁷⁶⁶ Vgl. Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 65.

stereometrischer Auswertesoftware sowie die Übergabe an das Programmsystem Straßeninformationsbank (SIB-Bauwerke) enthalten soll.⁷⁶⁷ Als sinnvoll erachtet wird auch eine Marktanalyse von UAS und deren Sensortechnik, welche sowohl den Bedürfnissen der Bauwerksprüfung als auch den rechtlichen Rahmenbedingungen gerecht werden.⁷⁶⁸

In einem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) aktuell geförderten Eurostars-Projekt haben Forschende des Fraunhofer Institut für Physikalische Messtechnik (IPM) und der AirRobot GmbH einen gewichtsoptimierten Laserscanner entwickelt, der unter dem Einsatz eines unbemannten Luftfahrzeugsystems (Copter) den Wartungsbedarf der Infrastruktur erfassen und digitalisieren kann (MulDiScan). Anhand hochauflösender 3D-Daten werden damit u.a. Risse mit einer Breite von wenigen Millimetern in Bauwerken, wie Brücken und Straßen, erkannt. Ein Bericht liegt zum Zeitpunkt der Verfassung der vorliegenden Studie noch nicht vor.⁷⁶⁹

Im Bereich der Eisenbahninfrastruktur testet die österreichische Bundesbahn zurzeit den Einsatz von „Drohnen“ zur Vermessung von Eisenbahnbrücken, um künftig Prüfungsvorgänge effizienter, leichter und weniger zeitintensiv gestalten zu können. Insgesamt beansprucht die Überprüfung der mehr als 9.000 Eisenbahnbrücken in Österreich jährlich ca. 135.000 Arbeitsstunden.⁷⁷⁰ Bei den beiden Befliegungen (2016 und 2018) an der Klammbrücke auf der Tauernstrecke bei Loifarn wurde jeweils ein exaktes, digitales 3D-Modell erstellt, durch das die Veränderungen an der Brücke im Millimeterbereich erkennbar sind. Um valide Daten über mögliche Veränderungen an Bauwerken zu gewinnen, muss das unbemannte Fluggerät bei allen Flügen exakt an derselben Stelle Bilder erzeugen. Die 8-motorigen Copter (doppelt redundant) der Pongauer Firma wiegen inklusive Sensorik, Sensoren für Wärmebild und einer hochauflösenden Spezialkamera, welche bis zu 100.000 Aufnahmen liefern kann, 5 kg. Die Kosten der Flugsysteme inklusive Sensorik und Kamera belaufen sich auf 30.000 €. Ziel des Forschungsprojekts ist es, neben laufenden Brückeninspektionen eine schnelle und einfache Methode zur Vorinspektion vornehmen zu können, bevor durch direkten Augenschein, Abklopfen und Begreifen der Zustand der Brücke beurteilt und notwendige Instandhaltungsmaßnahmen eingeleitet werden.⁷⁷¹

Um unbemannte Luftfahrzeugsysteme und deren Betrieb unter realen Einsatzbedingungen, wie unterschiedliche Wetterbedingungen, Funkverbindung über weite Strecken sowie anspruchsvolles Gelände, zu testen, bedarf es weiterhin ausgedehnter Versuchsgebiete.⁷⁷² Im Auftrag des österreichischen Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) wurden in einer aktuellen Studie „UAS-Testgebiet/e in Österreich“ der Bedarf an Tests von Entwicklungen der UAS bzw. deren Weiterentwicklung vonseiten der Forschung (Universitäten), der Industrie, kleinerer Unternehmen und der Entwickler sowie ausgewählter Anwender mithilfe von Interviews untersucht sowie nationale und internationale Testgebiete

⁷⁶⁷ Vgl. Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 65.

⁷⁶⁸ Vgl. Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 65.

⁷⁶⁹ Vgl. BMBF (2018a).

⁷⁷⁰ Vgl. ÖBB (2018).

⁷⁷¹ Vgl. ÖBB (2018).

⁷⁷² Vgl. Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhardt/Moll (2018) S. 212.

von UAS recherchiert und analysiert.⁷⁷³ Im Rahmen der Recherche wurden weltweit insgesamt 42 Testgebiete identifiziert, wobei davon auszugehen ist, dass an wesentlich mehr Orten Tests stattfinden, welche im inoffiziellen oder militärischen respektive geheimen Rahmen erfolgen. So liegen insbesondere aus Staaten, wie China und Russland, kaum öffentlich zugängliche Informationen vor. Die meisten der zivilen Testgebiete sind erst in den 2010er-Jahre entstanden, wovon 22 in Europa,⁷⁷⁴ elf in den USA, zwei in Kanada, zwei in Australien, zwei in Afrika sowie drei in Asien detektiert wurden.⁷⁷⁵ In Deutschland liegen die Testzentren in Oberpfaffenhofen (Bayern), wo auch das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) seinen Forschungsstandort hat, Wesendorf (Niedersachsen) und Wümmen (Bremen).⁷⁷⁶ Frankreich hat im Vergleich zu den anderen europäischen Ländern mit fünf Testgebieten die höchste Anzahl.⁷⁷⁷

Keines dieser eruierten Testgebiete basiert auf dem Geschäftsmodell einer alleinigen Vermietung der Gebiete zu zivilen Forschungszwecken. Vielmehr ist insbesondere in Europa die Option beliebt, aufgelassene Militär-Einrichtungen, wie Flugplätze, oder schlecht ausgelastete Regionalflyerplätze, mit neuen Perspektiven zu versehen, wie z. B. St. Truiden in Belgien, Odense in Dänemark oder DronesCenter in Bretigny, südlich von Paris. Die Kosten der Nutzung dieser Gebiete belaufen sich in Europa, abhängig von Gebiet, Lage, Größe, Infrastruktur und Services sowie Größe des UAS, auf ca. 500 €/Tag bis 1.500 €/Tag.⁷⁷⁸

Die aktuellen Forschungsthemen der oben genannten Interviewpartner decken mit 69 % die Bereiche Sense & Avoid, BVLOS sowie Autonomie ab, gefolgt von (Multi-)Sensorik (inkl. Datenauswertung) mit ca. 35 % sowie Sicherheit und „Drohnenabwehr“ mit 31 %.⁷⁷⁹

2.9 Management Kritischer Infrastrukturen

Um in einer Krise die Funktionsfähigkeit Kritischer Infrastrukturen zum Schutz der Bevölkerung aufrechterhalten zu können, sind zielgerichtete Maßnahmen zur Widerstandsfähigkeit eines Unternehmens zu ergreifen. Darüber hinaus sind mit dem 2015 in Kraft getretenen IT-Sicherheitsgesetz Betreiber Kritischer Infrastrukturen verpflichtet, ein Mindestniveau an IT-Sicherheit als präventive Maßnahme einzuhalten respektive nach dem Stand der Technik abzusichern und diese Sicherheit mindestens alle zwei Jahre überprüfen zu lassen (vgl. Kap. 1.3).⁷⁸⁰

⁷⁷³ Vgl. Fortner/Hrachowitz (2017) S. 3.

⁷⁷⁴ Belgien (1), Dänemark (1), Spanien (2), Finnland (2), Frankreich (5), Großbritannien (1), Deutschland (3), Italien (1), Niederlande (1), Norwegen (2), Schweiz (1), Schweden (2), vgl. Fortner/Hrachowitz (2017) S. 5, Anlage A.2.

⁷⁷⁵ Vgl. Fortner/Hrachowitz (2017) S. 4.

⁷⁷⁶ Vgl. Flugplatz Rotenburg Wümmen GmbH.

⁷⁷⁷ Vgl. Fortner/Hrachowitz (2017) S. 5, Anlage A.2.

⁷⁷⁸ Vgl. Fortner/Hrachowitz (2017) S. 6.

⁷⁷⁹ Vgl. Fortner/Hrachowitz (2017) S. 16.

⁷⁸⁰ Vgl. § 8a-b BSIG (2017); BSI (2016) S. 7; BSI (2017a) S. 11, S. 13 f., S. 25, S. 28 f.

2.9.1 Business Continuity Management System

Im Rahmen eines Ausfalls oder einer Beeinträchtigung Kritischer Infrastrukturen gilt es, im Notfall die Kontinuität des Unternehmens sicherzustellen. Um die Ausfallsicherheit und Regenerationsfähigkeit zu erhöhen, kann das „Managementsystem zur Aufrechterhaltung der Betriebsfähigkeit“ oder „Business Continuity Management System (BCMS)“ genannt, welches als Teil des Gesamt-Managementsystems anzusehen ist, als steuerndes Element sowohl zur Einführung und Implementierung für den Betrieb der Kritischen Infrastrukturen als auch zur Überwachung, Überprüfung, Verwaltung und Optimierung der Aufrechterhaltung der Betriebsfähigkeit eingesetzt werden (DIN EN ISO 22301).⁷⁸¹

Mit diesem ganzheitlichen System soll ein Unternehmen oder eine Behörde, unabhängig von der Größe, Komplexität oder den Zielen, strategisch in der Lage sein, sich zum einen auf Zwischenfälle und Betriebsstörungen vorzubereiten, zum anderen den Betrieb auf einem akzeptablen Niveau aufrechterhalten zu können. Hierfür müssen sowohl die Gefahren und deren Auswirkungen identifiziert als auch ein Rahmen bereitgestellt werden, um gegen diese Risiken und Bedrohungen Maßnahmen etablieren zu können. Somit überwacht, überprüft, erhält und optimiert das System alle Abläufe im Unternehmen zur Aufrechterhaltung respektive Weiterführung und Wiederherstellung kritischer Prozesse und der Betriebsfähigkeit des Unternehmens.⁷⁸²

Um ein solches System in der beschriebenen Ausprägung umsetzen zu können, sind Pläne erforderlich, die der Aufrechterhaltung der Betriebsfähigkeit dienen, indem sie Verfahren dokumentieren, wie ein Unternehmen auf eine Störung zu reagieren hat und anschließend den Betrieb fortsetzen kann. Des Weiteren beinhalten die genannten Pläne Zuständigkeiten sowie den organisierten Einsatz von Ressourcen, um die kritischen Geschäftsfunktionen sicherstellen zu können. Neben diesen Plänen sind zudem Programme notwendig, welche die Leitung bei den Management- und Steuerungsprozessen unterstützen.⁷⁸³ Hauptziel des Managementsystems ist eine möglichst lange Betriebsfähigkeit des Unternehmens. Sofern eine Verhinderung der Krise nicht möglich ist, dienen die Maßnahmen dazu, den Ausfall zu minimieren und weitere Schäden zu reduzieren.⁷⁸⁴ Im Gegensatz zum Risikomanagement geht es folglich nicht darum, Risiken zu identifizieren, zu bewerten und zu minimieren, sondern die Resilienz eines Unternehmens zu stärken und seine Kontinuität im Notfall zu gewährleisten.⁷⁸⁵

Als unterstützendes Element dient die „Business Impact Analyse“ mit der eruiert werden kann, welche Geschäftsprozesse im Unternehmen wichtig sind, den Geschäftsbetrieb und das Unternehmen aufrecht zu erhalten, welche Bedrohungen für diese Prozesse existieren,

⁷⁸¹ Vgl. Brauner/Friedrich (2018) S. 212; Willisegger (2018) S. 73 f.; Baumann/von Rössing (2018) S. 163 ff.

⁷⁸² Vgl. Brauner/Friedrich (2018) S. 212, S. 213.

⁷⁸³ Vgl. Brauner/Friedrich (2018) S. 213; Willisegger (2018) S. 74.

⁷⁸⁴ Vgl. Brauner/Friedrich (2018) S. 213.

⁷⁸⁵ Vgl. Willisegger (2018) S. 74.

welche Auswirkungen ein Ausfall für das Unternehmen haben kann und wie sich die kritischen Prozesse absichern lassen.⁷⁸⁶ Hierfür sind folgende Schritte zu beachten: Auswahl der Geschäftsprozesse, Schadensanalyse, Wiederanlaufparameter, Abhängigkeiten, Priorisierung Kritikalität, Ressourcen für Normal- und Notbetrieb sowie Kritikalität und Wiederanlaufzeiten der Ressourcen.⁷⁸⁷

Bei der Auswahl der Geschäftsprozesse in dem jeweiligen Unternehmen werden insbesondere die kritischen Prozesse betrachtet, da diese bei Ausfall einen besonders hohen Schaden für das Unternehmen verursachen. Die Schadensanalyse betrachtet direkte und indirekte Schäden, welche bei Ausfall für das Unternehmen entstehen können. Durch Hinzufügen der Wiederanlaufparameter soll geprüft werden, wieviel Zeit ein Prozess benötigt, um nach einem Ausfall wieder zu funktionieren. Anschließend werden die einzelnen Prozesse auf gegenseitige Abhängigkeiten betrachtet, um die Wiederanlaufzeiten anpassen zu können. Die Priorisierung der kritischen Geschäftsprozesse erfolgt in Abstimmung mit der Dokumentation der Wiederanlaufzeiten der Prozesse, welche nach Kriterien, wie z. B. Ausmaß des Schadens, sortiert werden können. Danach werden mithilfe von Kategorien Ressourcen für den Normal- und Notbetrieb ermittelt, welche für einen Geschäftsprozess benötigt werden. Abschließend wird der Einsatz der Ressourcen bezüglich der Kritikalität und der Anforderungen des Wiederanlaufs evaluiert.⁷⁸⁸

2.9.2 Managementsystem für Informationssicherheit

Ein „Managementsystem für Informationssicherheit“, oder Information Security Management System (ISMS) genannt, kann als Teil des gesamten Managementsystems auf der Basis eines risikobasierten Ansatzes die Entwicklung, Implementierung, Durchführung, Überwachung, Überprüfung, Instandhaltung und Optimierung der Informationssicherheit unterstützen (DIN EN ISO/IEC 27001).⁷⁸⁹ Da das System auf der Einschätzung von Risiken aufbaut, ist es ein Instrument, welches auf anerkannte Risiken in den Prozessen und Abläufen der kritischen Infrastruktur reagiert und zudem dort gezielt eingesetzt wird, wo ein Eingriff in die Informationssicherheit zu signifikanten folgenschweren Risiken für den Betreiber der Kritischen Infrastruktur führen kann.⁷⁹⁰

Das BSI hat einen „Leitfaden zur Basis-Absicherung nach IT-Grundschutz“ auf dem BSI-Standard 200-2 erstellt, um ein bedarfsgerechtes Sicherheitsniveau für alle Geschäftsprozesse, Informationen und IT-Systeme in Unternehmen respektive Kritische Infrastrukturen aufzubauen. Der Aufbau eines geplanten Informationssicherheitsmanagements soll die Vertraulichkeit, Integrität und Verfügbarkeit von Informationen, Geschäftsprozessen, Anwendungen und IT-Systemen gewährleisten,⁷⁹¹ wie dies im IT-Sicherheitsgesetz gefordert wird.⁷⁹²

⁷⁸⁶ Vgl. Brauner/Friedrich (2018) S. 217; Baumann/von Rössing (2018) S. 171 ff.

⁷⁸⁷ Vgl. Brauner/Friedrich (2018) S. 218; Willisegger (2018) S. 74.

⁷⁸⁸ Vgl. Brauner/Friedrich (2018) S. 218 ff.

⁷⁸⁹ Vgl. Schnieder (2018) S. 29.

⁷⁹⁰ Vgl. Schnieder (2018) S. 30.

⁷⁹¹ Vgl. BSI (2017c) S. 9 f.

⁷⁹² Vgl. § 8a BSIG (2017).

Bei diesem System kann zwischen Basis-, Standard- und Kern-Absicherung gewählt werden. Die Basis-Absicherung ist zunächst ein Einstieg in ein Sicherheitsmanagement, um zügig die größten Risiken zu senken, die Kernabsicherung dient hingegen dem Schutz elementarer (kritischer) Geschäftsprozesse und Ressourcen. Erst nach einer erfolgreichen Umsetzung der Basis-Absicherung sollte mit der Standard- oder Kern-Absicherung fortgefahren werden, um eine solide Informationssicherheit auf Basis des BSI-Standards 200-2 zu erhalten.⁷⁹³ Der Leitfadent dient auf der Basis eines ganzheitlichen Ansatzes dazu, das Niveau der Informationssicherheit in einem Unternehmen zu beleuchten, Schwachstellen zu identifizieren und mit entsprechenden Maßnahmen zu optimieren, wobei neben technischen auch infrastrukturelle, organisatorische und personelle Aspekte betrachtet werden.⁷⁹⁴

Die Basis-Absicherung kann in drei Schritten umgesetzt werden: Initiierung, Organisation und Durchführung des Sicherheitsprozesses. Die Initiierung sowie Steuerung und Kontrolle des Sicherheitsprozesses erfolgt durch die Leitung des Unternehmens, welche die Gesamtverantwortung für die Informationssicherheit trägt und ihr daher folgende sicherheitsrelevante Themen bekannt sein müssen: Sicherheitsrisiken für das Unternehmen, Auswirkungen und Kosten im Schadensfall, Auswirkungen von Sicherheitsvorfällen auf kritische Geschäftsprozesse, gesetzliche und vertragliche Sicherheitsanforderungen, Stand der Informationssicherheit im Unternehmen und geeignete Maßnahmen. Die Leitung benennt einen Informationssicherheitsbeauftragten, unterstützt diesen und stellt die notwendigen Ressourcen zur Erreichung der Ziele zur Verfügung.⁷⁹⁵ Der Informationssicherheitsbeauftragte koordiniert die Erstellung des Sicherheitskonzeptes, des Notfallvorsorgekonzeptes und die Sicherheitsrichtlinien respektive erlässt Richtlinien zur Informationssicherheit, informiert die Leitung über den Status Quo der Informationssicherheit, analysiert Sicherheitsvorfälle und initiiert Sensibilisierungs- und Schulungsmaßnahmen zur Informationssicherheit.⁷⁹⁶

Der Geltungsbereich für die Sicherheitskonzeption des Unternehmens wird Informationsverbund genannt, der alle infrastrukturellen, organisatorischen, personellen und technischen Komponenten umfasst, wobei festzulegen ist, welche kritischen Geschäftsprozesse, Fachaufgaben oder Teile des Unternehmens dieser Bereich beinhalten soll und daher eindeutig abzugrenzen ist. Zudem sind Schnittstellen zu externen Partnern, wie Outsourcing-Dienstleister, genau zu beschreiben, um diese in das Sicherheitskonzept einbinden zu können.⁷⁹⁷ Mithilfe einer Leitlinie zur Informationssicherheit, an deren Erstellung viele Organisationseinheiten des Unternehmens, wie z. B. IT-Betrieb, Sicherheit, Produktion, Personal, Recht etc., beteiligt sein sollten, werden sowohl die Informationssicherheitsziele als auch die grundlegende Sicherheitsstrategie dokumentiert. Die Sicherheitsleitlinie sollte allen Mitarbeitern zur Kenntnis gegeben werden und ist anlassbezogen zu prüfen sowie zu aktualisieren.⁷⁹⁸

Um das angestrebte Sicherheitsniveau zu erreichen, bedarf es einer Informationssicherheitsorganisation, wobei die Rollen und deren Aufgaben innerhalb der Institution festzulegen sind,

⁷⁹³ Vgl. BSI (2017c) S. 10 ff.

⁷⁹⁴ Vgl. BSI (2017c) S. 12.

⁷⁹⁵ Vgl. BSI (2017c) S. 19 ff.

⁷⁹⁶ Vgl. BSI (2017c) S. 22 ff.

⁷⁹⁷ Vgl. BSI (2017c) S. 26 ff.

⁷⁹⁸ Vgl. BSI (2017c) S. 29 ff.

welche den Umsetzungsprozess zur Informationssicherheit übernehmen und zentraler Ansprechpartner für die Koordination und Verwaltung der Informationssicherheitsbeauftragte ist. Die Gesamtverantwortung für den ordnungsgemäßen Ablauf des Prozesses obliegt der Leitung.⁷⁹⁹ Darauf aufbauend sind alle internen und externen Rahmenbedingungen zu identifizieren, welche Auswirkungen auf die Informationssicherheit haben. Hierzu gehören die Identifizierung und Analyse der Geschäftsprozesse hinsichtlich ihres Zusammenhangs mit den Geschäftszielen und ihrer Abhängigkeit von der Informationstechnik. Darüber hinaus ist zu klären, welche Informationen bei den Prozessen verarbeitet werden und in Bezug auf Vertraulichkeit, Integrität und Verfügbarkeit besonders schützenswert sind,⁸⁰⁰ was die nationalen und internationalen Rahmenbedingungen sind und wie die branchenspezifischen Sicherheitsstandards aussehen. Im Fokus der Betrachtung stehen die geschäftskritischen Informationen und Kernprozesse sowie deren zugehörigen Anwendungen, IT-Systeme, Netze und Serverräume. In diesem Rahmen empfiehlt sich bereits das Sicherheitsniveau der einzelnen Objekte abzuschätzen und eine Netzübersicht zu erstellen.⁸⁰¹

Anschließend beginnt die Erstellung der Sicherheitskonzeption, welche die folgenden Aufgaben umfasst: Auswahl und Priorisierung der Bausteine aus dem IT-Grundschutz, IT-Grundschutz-Check für die Basis-Absicherung sowie Realisierung/Umsetzung der Sicherheitskonzeption. Zunächst wird der Informationsverbund auf Basis der identifizierten Prozesse, Anwendungen, IT-Systeme, Kommunikationsverbindungen und Räume sowie der passenden Bausteine aus dem IT-Grundschutz modelliert. Das IT-Grundschutz-Kompendium enthält die IT-Grundschutz-Bausteine, welche in prozess- und systemorientierte Bausteine sowie in verschiedene Themen der Informationssicherheit hinsichtlich der jeweils spezifischen Gefährdungslage sowie der Sicherheitsanforderungen aufgeteilt sind. Das Kompendium ist der Nachfolger der bisherigen IT-Grundschutz-Kataloge, welches jährlich in Form einer aktualisierten Edition online vom BSI zur Verfügung gestellt wird.⁸⁰² Im Rahmen der Modellierung nach dem IT-Grundschutz werden passende Bausteine oder, falls diese nicht vorhanden sind, vergleichbare oder übergeordnete Bausteine zur Abbildung des Informationsverbundes ausgewählt, wobei es sich empfiehlt, eine bestimmte Reihenfolge bei der Umsetzung der Bausteine festzulegen. Die Bausteine sind danach auszuwählen, auf welche Zielobjekte sie angewandt werden sollen. Mit dem IT-Grundschutz-Modell eines bestehenden Informationsverbundes können auf Basis der Bausteine relevante Sicherheitsanforderungen identifiziert werden, sodass das Modell als Prüfplan für den Soll-Ist-Vergleich verwendet werden kann. Bei einem geplanten Informationsverbund stellt das Modell hingegen einen Entwicklungsplan dar und zeigt mit den ausgewählten Bausteinen auf, welche Sicherheitsanforderungen bei der Realisierung des Informationsverbundes erfüllt werden müssen. In der Regel enthält das IT-Grundschutz-Modell sowohl einen Prüfplan als auch

⁷⁹⁹ Vgl. BSI (2017c) S. 34 ff.

⁸⁰⁰ Vgl. Art. 32 (1) lit. (b) DSGVO (2016); § 8a BSIG (2017).

⁸⁰¹ Vgl. BSI (2017c) S. 38 ff.

⁸⁰² Vgl. BSI (2017c) S. 46 ff., S. 76.

Teile eines Entwicklungsplans. Die Zuordnung der gekennzeichneten Bausteine zu Zielobjekten, wie z. B. Organisationseinheiten oder IT-Systemen, sowie die entsprechenden Ansprechpartner sind zu dokumentieren.⁸⁰³

Die Ergebnisse des IT-Grundschutz-Checks für die Basis-Absicherung sollten in der Form aufbereitet werden, dass diese später direkt in die Standard- oder Kern-Absicherung integriert werden können, wobei diese Absicherungen einem separaten IT-Grundschutz-Check zu unterziehen sind. Der IT-Grundschutz-Check besteht aus den folgenden drei Schritten: Organisatorische Vorbereitungen, Durchführung des Soll-Ist-Vergleichs sowie Dokumentation der Ergebnisse. Bei den organisatorischen Vorbereitungen werden zunächst hausinterne Dokumente mit Verfügungen und Regelungen gesichtet und die Zuständigkeiten für diese Unterlagen geklärt. Zudem sollte festgestellt werden, ob und in welchem Umfang externe Stellen, wie Outsourcing-Dienstleister, einbezogen werden müssen. Darüber hinaus sind relevante Ansprechpartner für die einzelnen Bausteine zu ermitteln.⁸⁰⁴ Im zweiten Schritt wird der Soll-Ist-Vergleich mittels Interviews und Stichproben durchgeführt. Es empfiehlt sich, Checklisten zu erstellen und den Umsetzungsstatus der einzelnen Anforderungen mit den jeweiligen Ansprechpartnern zu erarbeiten.⁸⁰⁵ Im letzten Schritt werden die erzielten Ergebnisse des Soll-Ist-Vergleichs dokumentiert und Begründungen für oder gegen geplante Umsetzungen erfasst. Das BSI stellt für alle Bausteine des IT-Grundschutz-Kompendium Formulare zur Verfügung, welche für die Dokumentation verwendet werden können.⁸⁰⁶

Nach dem IT-Grundschutz-Check erfolgt die Umsetzung der Sicherheitskonzeption. In diesem Rahmen gilt es, Sicherheitsmaßnahmen zu formulieren, welche die Basisanforderungen erfüllen, sowie fehlende oder nur teilweise umgesetzte IT-Grundschutz-Anforderungen und ergänzende Sicherheitsmaßnahmen zusammenzufassen. Darüber hinaus sind die Maßnahmen an die Gegebenheiten anzupassen und hinsichtlich ihrer Eignung zu prüfen sowie überflüssige Maßnahmen zu eliminieren. Da das Budget zur Umsetzung von Sicherheitsmaßnahmen im Regelfall begrenzt ist, sollte eine Kosten- und Aufwandabschätzung erfolgen, um einmalige und wiederkehrende Kosten sowie der Aufwand für die umzusetzenden Maßnahmen zu ermitteln. Für Maßnahmen, die nicht finanzierbar sind, sollten geeignete Ersatzmaßnahmen eruiert werden. Anschließend kann entschieden werden, welche Ressourcen für die Umsetzung der Maßnahmen eingesetzt werden sollen. Andernfalls sollte das verbleibende Restrisiko aufgezeigt werden, wenn keine ausreichenden Mittel für die Realisierung der fehlenden Maßnahmen zur Verfügung stehen. Die Umsetzungsreihenfolge für die Maßnahmen erfolgt nach deren Priorisierung, welche zu begründen und zu dokumentieren ist. Außerdem sind die Termine für die Umsetzung und die Verantwortlichen für die Realisierung festzulegen sowie der Verlauf der Umsetzung und die Einhaltung der Termine zu überwachen. Abschließend sind die betroffenen Mitarbeiter des Unternehmens zu schulen und zu sensibilisieren.⁸⁰⁷

⁸⁰³ Vgl. BSI (2017c) S. 48 ff.

⁸⁰⁴ Vgl. BSI (2017c) S. 52 ff.

⁸⁰⁵ Vgl. BSI (2017c) S. 55 ff.

⁸⁰⁶ Vgl. BSI (2017c) S. 57 ff.

⁸⁰⁷ Vgl. BSI (2017c) S. 59 ff.

Da sich die Erfordernisse und Ziele des Betreibers der Kritischen Infrastruktur verändern können, gilt es, die Sicherheitsmaßnahmen ständig anzupassen und zu aktualisieren, sodass der Informationssicherheitsprozess aufrechterhalten und kontinuierlich verbessert werden kann. Nach der Umsetzung der Basis-Absicherung kann das Niveau der Informationssicherheit auf die Kern- oder Standard-Absicherung erweitert werden.⁸⁰⁸

2.9.3 Maßnahmen in kritischen Situationen von Brücken

Bei Eintritt einer kritischen Situation haben die zuständigen Behörden zu überprüfen, ob ein Krisenstab einzurichten ist (vgl. Kap. 2.7.1).⁸⁰⁹ In der Feuerwehr-Dienstvorschrift 100 „Führung und Leitung im Einsatz“ (FwDV 100) werden Führungsorganisation, Führungsvorgang und Führungsmittel erläutert, sodass je nach Gefahrenlage ein kontinuierlicher Aufbau der Führungsorganisation ermöglicht werden kann. Die Vorschrift gewährleistet eine Zusammenarbeit mit anderen Organisationen, Einrichtungen und Behörden. Darüber hinaus sind in der Vorschrift u.a. die Lagefeststellung und Dokumentation respektive Lagebeschreibung einer kritischen Situation aufgeführt.⁸¹⁰

Kritische Infrastrukturen, zu denen Brücken und Ingenieurbauwerke gehören können, werden in der DIN 1076⁸¹¹ respektive der Ril 804⁸¹² zwar nicht explizit aufgeführt, aber im Rahmen der Bauwerksprüfungen werden neben der einfachen Prüfung und Hauptprüfung zudem eine Prüfung aus besonderem Anlass (Sonderprüfung/Sonderinspektion), z. B. im Rahmen eines Hochwassers oder Brandfalls, unterschieden, welche die anderen Prüfungen nicht ersetzt.⁸¹³ Sie ist insbesondere dann erforderlich, wenn im Rahmen der anderen Prüfungen ein bedenklicher Befund oder ein Schadensbild des Ingenieurbauwerks festgestellt wurde, welcher ein Abwarten bis zur nächsten Hauptprüfung nicht erlaubt. Der Prüfumfang kann zunächst auf das Bauteil der Brücke beschränkt werden, welches den Anlass zur Sonderprüfung gegeben hat.⁸¹⁴ Im Rahmen eines Erdbebens sollten unterstützend vermessungstechnische Kontrollen durchgeführt werden, um geometrische Schäden erkennen zu können.⁸¹⁵ Als weitere Untersuchung dient bei der Prüfung von Straßenbrücken die „Objektbezogene Schadensanalyse (OSA)“, wenn das Ausmaß des Schadens nicht ausreichend ermittelt werden kann.⁸¹⁶ Die erfassten Schäden des Bauwerks werden mithilfe des Programmsystems Straßeninformationsbank (SIB-Bauwerke) respektive des Systems der Instandhaltung der Deutschen Bahn erfasst und bewertet.⁸¹⁷ Mit der Einbindung des Building

⁸⁰⁸ Vgl. BSI (2017c) S. 71 ff.; Schnieder (2018) S. 30 f.

⁸⁰⁹ Vgl. BMI (2011) S. 24 ff., S. 28 Abb.10.

⁸¹⁰ Vgl. FwDV 100 (2003) S. 26, S. 41.

⁸¹¹ Vgl. DIN 1076 (1999); BMVBS (2013) S. 10, S. 11 ff.; Schnellenbach-Held/Fakhouri/Karczewski (2013) S. 24, S. 70, S. 81; Geißler (2014) S. 1159 ff.; Mertens (2015) S. 16, S. 21; Holst (2018) S. 27.

⁸¹² Vgl. Muncke (2006); RH RLP (2013) S. 19 f.; DB Netz (2015) Module 804.8001–804.8004; Mölter/Fiedler (2019) S. 377.

⁸¹³ Vgl. Muncke (2006); BMVBS (2013) S. 25 ff.; Geißler (2014) S. 1159; Mertens (2015) S. 21 f., S. 123 f.

⁸¹⁴ Vgl. Mertens (2015) S. 123.

⁸¹⁵ Vgl. Mertens (2015) S. 123, S. 120 ff.

⁸¹⁶ Vgl. DIN 1076 (1999); BMVBS (2013) S. 25, S. 28; Geißler (2014) S. 1159; Mertens (2015) S. 20, S. 136 ff.

⁸¹⁷ Vgl. BMVBS (2013) S. 28.

Information Modeling (BIM) in das System könnten Schäden noch präziser ermittelt werden, da die Daten modellbasiert aufbereitet und strukturiert werden können.⁸¹⁸

Die Sonderprüfungen respektive Sonderinspektionen dienen dazu, zielgerichtete Maßnahmen in einer kritischen Situation des Bauwerks anzuwenden, um die Funktionsfähigkeit einer Brücke, welche zudem eine Kritische Infrastruktur sein kann, zum Schutz der Bevölkerung aufrechterhalten zu können. Als weitere unterstützende Maßnahme, insbesondere in kritischen Situationen, wie z. B. bei Einsturzgefahr eines Bauwerks, kann der Einsatz von unbemannten Luftfahrzeugsystemen dienen, um zeitnah ein umfassendes Lagebild der kritischen Situation einschätzen und damit gezielt und schneller Maßnahmen zur Wiederherstellung der Betriebsfähigkeit des Bauwerks erreichen zu können (vgl. Kap. 2.5.4).

2.10 Aufnahme der Dokumentation

Im Rahmen der Dokumentation einer Bauwerksprüfung werden alle Informationen des Ist-Zustandes eines Ingenieurbauwerks zusammengetragen. Zu den Dokumenten gehören neben den in der DIN 1076 genannten Bestandsunterlagen, wozu das Bauwerksverzeichnis, die Bauwerksakte und Bauwerksbuch zählen,⁸¹⁹ der Prüfbericht, der Zustandsbericht und schließlich das Prüfhandbuch.⁸²⁰ In der Ril 804 werden für die Inspektion von Eisenbahnbrücken die Bestandsunterlagen Bauwerksbuch und Bauwerksheft beschrieben.⁸²¹

Bestandsunterlagen

Im Bauwerksverzeichnis sollen „alle in einem Straßenzug liegenden und ihn kreuzenden Ingenieurbauwerke“ beschrieben sein, unabhängig davon, ob diese in fremder Baulast⁸²² stehen oder nicht, wobei insbesondere folgende Angaben enthalten sein sollen: die Bauwerksnummer, der Baulasträger, die Angabe der Station, der nächstgelegene Ort, die Lage sowie Hauptabmessungen, Unterhaltungspflicht und Tragfähigkeit des Ingenieurbauwerks.⁸²³

Die Bauwerksakte soll alle relevanten Angaben eines Ingenieurbauwerks enthalten, wobei der Inhalt im Anhang A der DIN 1076 festgelegt ist und dort auch die erforderlichen Unterlagen benannt werden. Bei Neubaumaßnahmen ist die Akte während der Baumaßnahme anzulegen.⁸²⁴

Das Bauwerksbuch, welches zur ersten Hauptprüfung, also vor Abnahme des Bauwerks, vorliegen soll, beinhaltet zum einen die wichtigsten Informationen des Ingenieurbauwerks, zum anderen dient es dazu, die Ergebnisse der vorgenommenen Prüfungen einzutragen und

⁸¹⁸ Vgl. Singer/Borrmann (2016) S. 65.

⁸¹⁹ Vgl. DIN 1076 (1999); BMVBS (2013) S. 11; Geißler (2014) S. 1159; Mertens (2015) S. 26.

⁸²⁰ Vgl. RI-EBW-PRÜF (2017) S. 7.

⁸²¹ Vgl. DB Netz (2015) Module 804.8001 Nr. V01, V02, welche lediglich im Logistikcenter Karlsruhe erhältlich sind und in der vorliegenden Studie daher nicht näher thematisiert werden können.

⁸²² „Öffentliche Verpflichtung, eine bauliche Anlage herzustellen oder zu unterhalten“, vgl. Schnellenbach-Held/Fakhour/Karczewski (2013) S. 12.

⁸²³ Vgl. Mertens (2015) S. 26.

⁸²⁴ Vgl. DIN 1076 (1999); Mertens (2015) S. 27.

die durchgeführten Instandsetzungsmaßnahmen zur Behebung von Schäden zu dokumentieren. In Anhang B der DIN 1076 befindet sich ein Inhaltsverzeichnis, welches den Umfang eines Bauwerksbuchs je nach Bauwerksart wiedergibt.⁸²⁵

Das Bauwerksheft beinhaltet die Befundblätter als Nachweis der diversen Regelprüfungen bei den Eisenbahnbrücken.⁸²⁶

Prüfungsunterlagen

Die Ergebnisse der handnahen Bauwerksprüfung der Straßenbrücken werden in einem Prüfbericht nach der „Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076“ (RI-EBW-PRÜF) dokumentiert, welcher den Bauwerkszustand, wie Prüfungsdaten- und Schadensdaten, zum Zeitpunkt des Abschlusses einer Prüfung sowie Empfehlungen des Prüfers und ein Beiblatt zur Prüfung beinhaltet. Das Beiblatt wiederum enthält Zustandsnoten und Substanzkennzahlen, welche der Zustandsnotenbewertung entsprechen, der einzelnen Bauteilgruppen sowie des Teilbauwerks.⁸²⁷ Im Prüfbericht werden die sichtbaren Schäden des Ingenieurbauwerks hinsichtlich der Standsicherheit, Verkehrssicherheit und Dauerhaftigkeit mithilfe des Programmsystems Straßeninformationsbank (SIB-Bauwerke)⁸²⁸ erfasst und bewertet (vgl. Kap. 2.3.2).⁸²⁹

Die RI-EBW-PRÜF⁸³⁰ enthält ca. 1.700 bewertete Beispiele von Schäden, welche bauteilbezogen im Programmsystem SIB-Bauwerke integriert sind. Diese sind mit den dokumentierten Schäden zu vergleichen und entsprechend auszuwählen, um zu gewährleisten, dass sie bei der Weiterbearbeitung der generierten Daten in der Datenbank Bauwerk-Management-System (BMS) eindeutig passenden Maßnahmen zugeordnet und ausgewählt werden können (vgl. Kap. 2.3.3).⁸³¹

Die erforderlichen Maßnahmen sind in der Anweisung Straßeninformationsbank Segment Bauwerksdaten (ASB-ING), welche eine Systematik zur Modellierung von Ingenieurbauwerken beschreibt, definiert.⁸³² In kritischen Schadensfällen werden umgehend die zuständige Dienststelle respektive Meisterei informiert oder sogar Verkehrseinschränkungen bis hin zur sofortigen Sperrung des Ingenieurbauwerks veranlasst.⁸³³ Neben der Dokumentation der Schäden können zusätzlich Schadensskizzen und digitale Fotos der Schäden in das Programm SIB-Bauwerke abgelegt werden. Das Programmsystem ermittelt automatisch die Zustandsnote des Ingenieurbauwerks sowie der einzelnen Bauteilgruppen nach Eingabe der dokumentierten Schäden. Alle Ergebnisse werden abschließend im Prüfbericht dokumentiert

⁸²⁵ Vgl. DIN 1076 (1999); Schnellenbach-Held/Fakhouri/Karczewski (2013) S. 14; Mertens (2015) S. 27.

⁸²⁶ Vgl. Muncke (2006).

⁸²⁷ Vgl. Mertens (2015) S. 24 ff.; RI-EBW-PRÜF (2017) S. 7, S. 25 ff. (Anlage 7).

⁸²⁸ Vgl. WPM-Ingenieure (o.J.); RI-EBW-PRÜF (2017) S. 19 (Anlage 1).

⁸²⁹ Vgl. BMVBS (2013) S. 28.

⁸³⁰ Vgl. RI-EBW-PRÜF (2017).

⁸³¹ Vgl. BMVBS (2013) S. 28; Schnellenbach-Held/Fakhouri/Karczewski (2013) S. 15.

⁸³² Vgl. BMVBS (2013) S. 28; ASB-ING (2013).

⁸³³ Vgl. BMVBS (2013) S. 32.

und die Daten im zentralen Rechnersystem abgelegt.⁸³⁴ Damit erhalten die Verantwortlichen die erforderlichen Grundlagen für die Planung und Ausführung von Erhaltungsmaßnahmen des Ingenieurbauwerks.⁸³⁵

Der Zustandsbericht nach RI-EBW-PRÜF dokumentiert den Ist-Zustand des Ingenieurbauwerks respektive den gegenwärtigen Bauwerkszustand. Mit der laufenden Prüfung werden alle festgestellten Schäden in den Bauwerkszustand übernommen und nach Beseitigung der Schäden wird dieser entsprechend aktualisiert.⁸³⁶ Der Zustandsbericht wird wie der Prüfbericht mit dem Programmsystem SIB-Bauwerke digital erstellt.⁸³⁷

Das Prüfhandbuch ist als Anlage zum Bauwerksbuch zu führen und dient zur Dokumentation für Bauwerke und Bauteile mit konstruktiven Besonderheiten, wie Holzbinder, Seile, Verankerungspunkte oder externe Spannglieder. Für neue Bauwerke ist es vor der ersten Hauptprüfung vorzulegen, bei vorhandenen kann es, je nach Bedarf, nachträglich erstellt werden. Die Prüfmatrix als Teil des Prüfhandbuchs beinhaltet als ergänzendes Hilfsmittel zur DIN 1076 detaillierte Angaben zu Art, Umfang und Häufigkeit der erforderlichen Prüfungen und Messungen des Ingenieurbauwerks, zu den Prüfgeräten und Prüfmitteln sowie verbindliche organisatorische und fachliche Anweisungen, wie Verkehrssicherungsmaßnahmen.⁸³⁸ Gegenstand des Prüfhandbuchs sind neben allgemeinen Hinweisen, Regelungen und Vorgaben für Bauwerke und Bauteile sowie deren erforderlichen Skizzen konkrete Vorgaben zu Prüfanweisungen, zur Dokumentation der Prüfungen sowie zur Auswertung/Bewertung der Ergebnisse.⁸³⁹

2.11 Aufnahme der Hard- und Software

Auf dem Markt werden bereits von verschiedenen Unternehmen modulare cloudbasierte Softwarelösungen für die Planung und Befliegung mittels UAS sowie cloudbasierte Plattformen für die Speicherung und Analyse der während der Befliegung generierten Daten angeboten, welche automatisierte Einsätze von UAS für industrielle Datenanwendungen ermöglichen und diese in bestehende Geschäftsprozesse der Unternehmen integrieren können.⁸⁴⁰

Die gewonnenen Daten können entweder auf einem fremden Server mittels einer Cloud-Software gespeichert, verarbeitet und bereitgestellt werden, wobei Kosten für die Verwendung der Cloud-Software, die Vorhaltung der Daten sowie die Generierung komplexer Datenmodelle anfallen, oder die Daten werden auf dem eigenen PC gespeichert, wo sie allerdings nicht aufbereitet werden und zudem hohe Rechnerkapazitäten benötigen sowie spezielle Software erfordern. Bei der Speicherung von Daten auf einem fremden Server ist

⁸³⁴ Vgl. BMVBS (2013) S. 29 ff.

⁸³⁵ Vgl. BMVBS (2013) S. 32.

⁸³⁶ Vgl. Mertens (2015) S. 27; RI-EBW-PRÜF (2017) S. 7.

⁸³⁷ Vgl. Mertens (2015) S. 27.

⁸³⁸ Vgl. BMVBS (2013) S. 27; Mertens (2015) S. 28; RI-EBW-PRÜF (2017) S. 7, S. 8 f., S. 37 ff. (Anlage 8).

⁸³⁹ Vgl. Mertens (2015) S. 28; RI-EBW-PRÜF (2017) S. 9.

⁸⁴⁰ Vgl. FlyNex GmbH; Intel Deutschland GmbH.

allerdings auf die unbefugte Verfügbarmachung der Daten für Dritte zu achten.⁸⁴¹ Zur Aufbereitung des Bild- und Videomaterials stehen diverse Softwareprogramme, wie Videoschnittsoftware (z. B. Final Cut Pro X), Bildbearbeitungsprogramme (z. B. Photoshop CC, Lightroom CC), Panorama-Stitchingprogramme oder Vermessungsprogramme, zur Verfügung.⁸⁴²

Im Folgenden werden einige Softwarelösungen, welche zum Zeitpunkt der Erstellung der vorliegenden Studie für den Einsatz von UAS angeboten werden, vorgestellt.

FLYNEX GmbH

Für die Befliegung mit unbemannten Luftfahrzeugsystemen stellt das Unternehmen FLYNEX ein Online-Luftraumkartendienst im Netz zur Verfügung. Mit der Software MAP2FLY PRO (UAS Flightplanning Software), welche als erste gebrauchsfertige Flugplanungssoftware für Copter gilt,⁸⁴³ können die Einsätze mit unbemannten Luftfahrzeugsystemen auf der Basis valider Geodaten organisiert werden. Durch 3D-Visualisierung lassen sich Lufträume und Flugrouten sowie Wegpunkte individuell planen. Zudem erfolgt eine automatisierte Validierung der erstellten Pläne anhand ausgewählter rechtlicher Rahmenbedingungen, wie Flughöhe und Lufträume, sowie eines Kartenlayers, welcher Verkehrszonen, Siedlungen, Umweltbereiche und Kritische Infrastrukturen, wie Energieanlagen und Sicherheitsbereiche, berücksichtigt.⁸⁴⁴ Online-Karten für Flugzonen sind darüber hinaus auf dem AIS-Portal der Deutschen Flugsicherung (DFS) nach Anmeldung erhältlich.⁸⁴⁵ Die Flugplanungssoftware (Online-Luftraumkartendienst) für unbemannte Luftfahrzeugsysteme ist für die Inspektion von Brücken bislang noch kein verwendetes Standardprogramm, zumal sie erst seit kurzem auf dem Markt ist.

Neben der digitalen Flugplanerstellung können mit der Software Horizon des Unternehmens FLYNEX digitale und automatisierte Workflows implementiert, Checklisten ausgeführt, Aufstiege gesteuert sowie die während der Befliegung generierten Daten gespeichert und die Unternehmensprozesse dokumentiert werden. Auf der Basis eines cloudbasierten Datenmanagements können die Daten gespeichert, verarbeitet, analysiert sowie mit Geodaten verknüpft werden.⁸⁴⁶

Intel Deutschland GmbH

Die Intel Deutschland GmbH hat die Flugplanungssoftware Intel® Mission Control Software sowie die Cloudbasierte Datenanalyseplattform Intel® Insight-Plattform entwickelt, mit der branchenunabhängig Daten sicher und präzise erfasst, gespeichert, organisiert und verarbeitet werden können. Die Flugplanungssoftware ermöglicht Flugmissionen mit großer Flächenabdeckung, wobei Wegpunkt-Missionen erstellt und Vermessungsflüge automatisiert

⁸⁴¹ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 328 f.

⁸⁴² Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 329 ff.

⁸⁴³ Seit Januar 2018 auf dem Markt verfügbar.

⁸⁴⁴ Vgl. FlyNex GmbH.

⁸⁴⁵ Vgl. AIS Portal.

⁸⁴⁶ Vgl. FlyNex GmbH.

werden können. Mithilfe der Wegpunkt/Pfadfunktion können die erstellten Flüge darüber hinaus automatisch wiederholt werden.⁸⁴⁷

CiS GmbH

Die CiS GmbH bietet mit der Software UAV mobil eine Desktop-Anwendung zur graphisch orientierten Flugplanung und -überwachung sowie zur mobilen Datenaufnahme und Flugsteuerung der von dem Unternehmen entwickelten UAS an, welche u.a. für Inspektionen an Gebäuden und Industrieanlagen geeignet sind. Darüber hinaus ermöglicht die Software eine Flugwiedergabe (Emulation) zu Kontrollzwecken. Mithilfe von Befliegungstemplates werden die Flugparameter bestimmt und die Flugrouten festgelegt, welche sich anschließend per Funkmodem an den Autopiloten des UAS exportieren lassen. Die Software unterstützt die Einbindung georeferenzierter Kartenmaterials. Folgende Flugplanungsvarianten sind möglich: Flächenbefliegung, Konturbefliegung, Fassadenbefliegung, flächendeckende Befliegung Wegpunktbefliegung sowie eine Befliegung mit konstanter Höhe über dem Grund, wobei die Planungsvarianten hintereinander in einer Planungsdatei angelegt werden können und somit die verschiedenen Varianten kombinierbar sind. Im Rahmen der Flugüberwachung und -sicherheit sind während der Befliegung eine aktuelle Positionsbestimmung des Flugsystems und ein Soll-Ist-Abgleich der geplanten Route jederzeit möglich, wobei die aktuellen Telemetriedaten permanent angezeigt werden. Die eingestellte Flugroute kann jederzeit unterbrochen und später wieder aufgenommen werden. Auch ist eine automatische Rückkehr des Flugsystems an den Startpunkt möglich.⁸⁴⁸ Das grafische Informationssystem UAV GIS, welches auf einer gemeinsamen Datenbasis mit UAV mobil beruht, dient zur digitalen Weiterverarbeitung der generierten Luftbilder und Befliegungsdaten, wobei das System mit einer georeferenzierten Hintergrundkarte an den Autopiloten des UAS mit seinem satellitengestützten Navigationssystem (GPS) gekoppelt ist. Damit kann die vorgegebene Flugroute automatisch umgesetzt und die genaue Position des Flugsystems über dem Boden visualisiert werden.⁸⁴⁹

Sharper Shape Inc.

Die Flugplanungssoftware Automatic Detailed Inspection (ADI) des finnisch-amerikanischen Unternehmens Sharper Shape wurde zunächst speziell für die vollautomatische Inspektion von Stromleitungen und Strommasten konzipiert. Die Software nutzt georeferenzierte Daten, um optimierte Strecken für die automatische Inspektion der Anlagen von Stromversorgern zu erstellen. Das Unternehmen plant, die Software auf andere Kritische Infrastrukturen anwenden zu können. Die generierten Daten werden anschließend in die cloudbasierte Sharper Inspector-Software-Plattform gespeichert und mithilfe von KI-gestützten Werkzeugen analysiert. In diesem Umfeld ist die Entwicklung einer Flugplanungssoftware speziell für die Inspektion von Brücken und Ingenieurbauwerken anzudenken.⁸⁵⁰

⁸⁴⁷ Vgl. Intel Deutschland GmbH.

⁸⁴⁸ Vgl. CiS GmbH.

⁸⁴⁹ Vgl. CiS GmbH.

⁸⁵⁰ Vgl. Gerstl (2017).

Siemens AG, Österreich

Das Unternehmen Siemens AG, Österreich, hat speziell für die Inspektion von Freileitungen mit UAS respektive Hubschraubern das SIEAERO-High-End-Multisensorsystem entwickelt, mit dem alle relevanten Inspektionsdaten in einem Arbeitsgang auf der Basis eines 3D-Modells erfasst werden können. Darüber hinaus können die gewonnenen Daten mit einer eigens entwickelten Smart-Data-Analysesoftware verarbeitet werden auf der Basis von künstlicher Intelligenz (KI) und Deep Learning zur automatischen Erkennung und Bewertung von fehlerhaften Befunden an den Freileitungen. Die Ergebnisse werden in Prüfberichten digital erfasst. Ziel ist eine vollständige Automatisierung der Inspektion unter dem Einsatz von UAS.⁸⁵¹

SZ DJI Technology Co., Ltd.

Das Unternehmen DJI bietet eine webbasierte „Drohnen-Verwaltungsplattform“, mit welcher bis zu vier Copter gleichzeitig in Echtzeit überwacht werden können. Auf einer Karte werden die Telemetrie-Daten von allen eingesetzten Coptern in Echtzeit angezeigt, womit Flüge mit mehreren „Drohnen-Teams“ einfacher koordiniert werden können. Das System ist an das Geofencing-System von DJI angebunden, mit dem Sicherheitshinweise und eingeschränkte Flugzonen angezeigt werden. Die generierten Daten werden auf der durchsuchbaren Datenbank gespeichert und synchronisiert. Damit können die Einhaltung von Regularien nachgewiesen, Zwischenfälle rekonstruiert und Einsätze mit detaillierten Flugprotokollen wiederholt werden. Darüber hinaus bietet die Software FlightHub ein detailliertes „Drohnen- und Pilotenmanagement“, indem die verwendete Ausrüstung überwacht sowie Teams nach Projekten, Regionen oder Kunden eingeordnet werden. Die Software ist kompatibel mit den Coptermodellen der Serien Matrice 200, Mavic Pro, Phantom 4 und Inspire 2 von DJI.⁸⁵²

2.12 Aufnahme der Sensorik

In automatisierten Prozessabläufen ist der Einsatz von Sensoren als Informationsgeber/-nehmer/-capturer Voraussetzung. Sie erfassen die Messgrößen ihrer Umwelt, z. B. im Rahmen der Aufnahme von Daten, und senden die notwendigen Signale oder dienen als Impulsgeber bei der Fernsteuerung.⁸⁵³

Sensoren (auch Detektoren genannt) sind technische Bauelemente, welche zur quantitativen und qualitativen Messung von physikalischen, chemischen, klimatischen, biologischen und medizinischen Größen, wie z. B. Temperatur, Helligkeit, Feuchtigkeit, Druck, dienen. Sie bestehen aus den (beiden) Teilen Sensor-Element und Auswerte-Elektronik. Dabei werden die zu erfassenden, nicht elektrischen Eingangsgrößen im Sensor-Element durch naturwissenschaftliche Gesetze respektive physikalische oder chemische Effekte in ein elektrisches Ausgangssignal umgewandelt, welches in der Auswerte-Elektronik mithilfe von Schaltungs-

⁸⁵¹ Vgl. hilffuture (2018).

⁸⁵² Vgl. Bergert (2017).

⁸⁵³ Vgl. Hering/Schönfelder (2012) S. 1.

elektronik oder Softwareprogrammen verarbeitet wird und als Ergebnis ein Sensor-Ausgangssignal entsteht, das zu Steuerungs- und Auswertezwecken zur Verfügung steht.⁸⁵⁴ Bei diesem Prinzip können äußere Störgrößen, welche ein Sensor-Element beeinflussen, wie z. B. Temperatur, rechnerisch berücksichtigt werden, was in der Regel von einem Mikroprozessor übernommen wird. Werden die Messwerte realer Sensoren mittels Software in die gewünschten Messwerte errechnet, handelt es sich um virtuelle Sensoren, welche dort eingesetzt werden, wo Kosten reduziert werden sollen, naturwissenschaftliche Zusammenhänge nur empirisch vorliegen oder in Fällen, bei denen reale Sensoren zerstört oder zu schnell verschleifen können.⁸⁵⁵ Durch die zunehmende Miniaturisierung können die beiden Teile Sensor-Element und Auswerte-Elektronik mittlerweile in einem einzigen Sensor untergebracht werden. Sensoren, die einen Mikroprozessor enthalten, werden auch als „intelligente Sensoren“ respektive „smart sensors“ bezeichnet.⁸⁵⁶ Die Miniaturisierung von Sensoren hat es ermöglicht, aus kleinen, ferngelenkten Luftfahrzeugen selbstständig fliegende UAS zu entwickeln.

Je nachdem, ob die Umwandlung der Messgröße in eine elektrische Größe ohne oder mit äußerer Hilfsspannung erfolgt, wird zwischen aktiven und passiven Sensoren unterschieden. Da mittlerweile analoge Systeme verstärkt durch digitale Systeme verdrängt werden, werden zunehmend digitale Sensor-Ausgangssignale erwartet. Dies lässt sich durch die Integration von Analog-Digital-Wandler (A/D-Wandler) in die Auswerte-Elektronik des Sensorsystems realisieren.⁸⁵⁷ Darüber hinaus ist zu erwarten, dass die Systeme zukünftig noch kleiner und leistungsfähiger werden.⁸⁵⁸

Neben intern verbauten Sensoren zur Flugsteuerung eines UAS, welche u.a. zur Erfassung der Beschleunigung und Trägheit (erforderliche Kraft zur Beschleunigung eines Körpers) dienen, sind folgende extern angeschlossene Sensoren der Flugsteuerung für die Überwachung und Anzeige folgender Flugdaten zuständig: Barometrischer Druck (Höhe und Variometer), Temperatur, Drehzahl, Durchflussmesser (Flüssigkeit und Kraftstoff), Füllstand, Kapazität, Spannung, Staudruck, Kompass, Ultraschall, Optical-Flow, Radar und weitere Flugdaten.⁸⁵⁹ Die Ausweitung der Einsatzfähigkeiten von UAS wird in Zukunft zu einer Hinzufügung weiterer Sensoriken führen, wozu neben Abstands- und Lagesensoriken für eine verbesserte Flugstabilität und -sicherheit insbesondere auch Datenerfassungs-Sensoriken gehören.⁸⁶⁰

Der Anwendungsbereich von UAS liegt vor allem in der Informationsbeschaffung bzw. Datenerfassung. Mittels UAS können Daten mit verschiedenen Kameratypen und Sensoren erhoben werden, welche dokumentiert und ausgewertet werden.⁸⁶¹ Hierzu gehören die

⁸⁵⁴ Vgl. Hering/Schönfelder (2012) S. 1.

⁸⁵⁵ Vgl. Hering/Schönfelder (2012) S. 2.

⁸⁵⁶ Vgl. Hering/Schönfelder (2012) S. 1.

⁸⁵⁷ Vgl. Hering/Schönfelder (2012) S. 2.

⁸⁵⁸ Vgl. Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 21.

⁸⁵⁹ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 192 ff.

⁸⁶⁰ Vgl. Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 21.

⁸⁶¹ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 59.

Aufzeichnung und Übertragung von Bild-, Video- und Tonaufnahmen⁸⁶² mittels Video-, Foto-, Spektral- und 360°-Kameras sowie Messungen mithilfe von Infrarot- und Wärmebildkameras (Fotogrammetrie) und speziellen Lasern (LiDAR490).⁸⁶³ Videoaufnahmen erfolgen weitgehend automatisiert, wobei die Live-Aufnahmen auf dem Monitor, dem angeschlossenen PC oder Tablet angezeigt werden, sodass die Einstellungen in Echtzeit überprüfbar sind und mithilfe von Blenden, Belichtungszeit, Farbtiefe etc. wunschgemäß verändert werden können. Videokameras, welche extern auf einem Gimbal (kardanische Aufhängung) befestigt werden, benötigen eine externe Videoübertragung und die Möglichkeit zur Ansteuerung der Optik und Einstellungen. Darüber hinaus gibt es die Möglichkeit, Videokameras am Boden und in der Luft gleichzeitig zu bedienen. Bei dem aufgenommenen Videoformat ist zu beachten, dass das Format bezüglich des Video-Codec importierbar sein muss.⁸⁶⁴ Fotos können sowohl als Einzelbilder als auch als Serien aufgenommen werden, wobei eine hohe Auflösung von über 30 Mio. Pixel erfolgen kann.⁸⁶⁵ Mit dem Laser können durchscheinende Objekte gemessen werden, sodass z. B. neben Bäumen auch der Waldboden oder Wasserstand und Flussbett gleichzeitig erfasst werden können.⁸⁶⁶ Darüber hinaus ist die Korona-Messung von Leiterseilen an Hochspannungstrassen ein Forschungsgebiet, was zukünftig im Rahmen der Überwachung mittels UAS angewandt werden kann.⁸⁶⁷

Für die Datenerfassung werden UAS zumeist mit einer einsatzspezifischen digitalen (festmontierten oder auswechselbaren) Systemkamera, z. B. Fotokamera, Thermalkamera (Wärmebildaufnahmen), Multispektralkamera, Tageslicht- oder Nachtsicht-Videokamera, ausgestattet, welche sich hinsichtlich der Auflösung, der Speichertechnik und der Übertragungstechnik unterscheiden können. Zudem stehen verschiedene Aufnahmetechniken zur Verfügung, wie Zoomfunktion, Pan-Funktion (Verschieben eines Bildausschnitts), Tilt-Funktion (horizontal oder vertikal geneigtes Bild), 360°-Schwenk- und „Über-Kopf“-Aufnahmen. Neben einer Kamera lassen sich auch mehrere unabhängige Geräte auf einem Gimbal montieren. Die Sensoren können aufgrund ihres geringen Gewichts von kleinen, mit Elektromotoren betriebenen UAS mit einer Nutzlast von weniger als 5 kg getragen werden.⁸⁶⁸ Aufgrund des Verzichts auf klappbare Spiegel und optische Sucher sparen die Systemkameras Volumen und Masse ein.⁸⁶⁹ UAS mit Verbrennungsmotoren mit einer Nutzlast von 20 kg können auch mit Laserscannern ausgestattet werden, die derzeit im Flugbetrieb für Bauwerksuntersuchungen allerdings ungeeignet sind.⁸⁷⁰ Diesbezüglich wurde aktuell im Rahmen eines Forschungsprojekts vom Fraunhofer Institut für Physikalische Messtechnik (IPM) und der

⁸⁶² Die Verarbeitung respektive das Erheben von Bilddaten unterliegt den Regeln der DSGVO, vgl. Art. 4 (1) DSGVO (2016); Dieckert/Eich (2018) S. 407 ff.

⁸⁶³ Vgl. Plücken (2017) S. 28; Dieckert/Eich (2018) S. 228 ff., S. 316 ff.

⁸⁶⁴ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 316 f.

⁸⁶⁵ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 317 f.

⁸⁶⁶ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 318 f.

⁸⁶⁷ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 233.

⁸⁶⁸ Vgl. Morgenthal/Hallermann/Achtelik (2015) S. 12; Landrock/Baumgärtel (2018) S. 16 f.

⁸⁶⁹ Vgl. Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 21.

⁸⁷⁰ Vgl. Morgenthal/Hallermann/Achtelik (2015) S. 12; Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 16.

AirRobot GmbH ein gewichtsoptimierter Laserscanner entwickelt, der unter dem Einsatz eines Copters den Wartungsbedarf der Infrastruktur erfassen und digitalisieren kann (MuDiScan).⁸⁷¹

Durch den Einsatz von UAS soll der Prozess der Datenerfassung vereinfacht, automatisiert und effizient gestaltet werden. So lassen sich zum Zeitpunkt der Erfassung der Studie drei mögliche Einsatzszenarien im Rahmen der Zustandsermittlung und Überwachung von Bauwerken identifizieren: Inspektionen auf Basis detaillierter Bild- und Videodaten, auf Basis fotogrammetrischer Daten sowie auf Basis von Infrarot-/Thermografiedaten.⁸⁷²

2.13 Gesetzliche Rahmenbedingungen

Im Folgenden werden gesetzliche Rahmenbedingungen thematisiert, welche für die Nutzung von UAS, insbesondere auch im Rahmen Kritischer Infrastrukturen, gelten und sich neben der öffentlichen Sicherheit und Ordnung auch auf den Datenschutz beziehen.

Verordnung zur Regelung des Betriebs von unbemannten Fluggeräten

Die neue Verordnung zur Regelung des Betriebs von unbemannten Fluggeräten, welche vom BMVI am 30.03.2017 herausgegeben wurde, um sowohl die Sicherheit im Luftraum zu erhöhen als auch den Schutz der Privatsphäre zu verbessern, sieht Änderungen der Luftverkehrs-Zulassungs-Ordnung⁸⁷³ und der Luftverkehrs-Ordnung⁸⁷⁴ speziell für unbemannte Luftfahrzeugsysteme vor. Diese kategorisiert UAS und Flugmodelle nach drei Gewichtsklassen: ab 0,25 kg, ab 2 kg und ab 5 kg.⁸⁷⁵

Luftverkehrs-Zulassungs-Ordnung

Gemäß der Luftverkehrs-Zulassungs-Ordnung (LuftVZO) sind Eigentümer eines UAS oder Flugmodells ab 0,25 kg vor dessen erstmaligem Betrieb verpflichtet, eine Plakette mit Namen und Anschrift des Eigentümers sichtbar am Fluggerät anzubringen (Kennzeichnungspflicht).⁸⁷⁶

Luftverkehrs-Ordnung

Neben der Kennzeichnungspflicht bedarf es gemäß der Luftverkehrs-Ordnung (LuftVO) für UAS und Flugmodelle ab 5 kg vor deren Inbetriebnahme der Erlaubnis der örtlich zuständigen Luftfahrtbehörde des Landes, welche erteilt wird, wenn Betrieb und Nutzung des Luftraums weder die Sicherheit des Luftverkehrs oder die öffentliche Sicherheit gefährden noch

⁸⁷¹ Vgl. BMBF (2018a).

⁸⁷² Vgl. Morgenthal/Hallermann/Achtelik (2015) S. 20; Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 16, S. 19 f.

⁸⁷³ Vgl. LuftVZO (2017).

⁸⁷⁴ Vgl. LuftVO (2017).

⁸⁷⁵ Vgl. BMVI (2016b); BMVI (2017a); Verordnung (2017); Dieckert/Eich (2018) S. 353 ff.; Giemulla/van Schyndel/Friedl (2018) S. 25 f.

⁸⁷⁶ Vgl. § 19 (3) LuftVZO (2017); Dieckert/Eich (2018) S. 356.

die Ordnung, wie Vorschriften über den Datenschutz, Naturschutz und Fluglärm, verletzen (Erlaubnispflicht).⁸⁷⁷

Darüber hinaus haben Steuerer von UAS ab 2 kg Kenntnisse hinsichtlich der Anwendung und Navigation der UAS, luftrechtlicher Grundlagen und der örtlichen Luftraumordnung nachzuweisen, indem sie eine gültige Erlaubnis als Luftfahrzeugführer oder eine Bescheinigung über eine bestandene Prüfung einer vom Luftfahrt-Bundesamt (LBA) anerkannten Stelle vorlegen können (Kenntnisnachweis).⁸⁷⁸

UAS dürfen nicht außerhalb der Sichtweite des Steuerers sowie über 100 m hoch und in einem seitlichen Abstand von 100 m u.a. von Menschenansammlungen, Einsatzorten von Polizei- und Rettungskräften, Industrieanlagen, militärischen Anlagen und Organisationen, Sicherheitsbehörden, Anlagen der Energieerzeugung und -verteilung, Bundesfernstraßen, Bundeswasserstraßen und Bahnanlagen sowie Flugplätzen fliegen, sofern keine behördliche Erlaubnis erteilt wurde. Das gleiche gilt für Wohngrundstücke, wenn das Gerät in der Lage ist, optische, akustische oder Funksignale zu empfangen, zu übertragen oder aufzuzeichnen.⁸⁷⁹ Zudem haben Steuerer dafür Sorge zu tragen, dass sie stets bemannten Luftfahrzeugen ausweichen.⁸⁸⁰

In der Luftverkehrsordnung (LuftVO) ist zudem ausdrücklich der Betrieb von Luftfahrzeugsystemen und Kritischen Infrastrukturen gesetzlich geregelt. Der Betrieb von UAS mit mehr als 5 kg bedarf gemäß der LuftVO keiner Erlaubnis, wenn er durch oder unter Aufsicht von Behörden zur Erfüllung ihrer Aufgaben dient oder unter Aufsicht von Organisationen mit Sicherheitsaufgaben im Zusammenhang mit Not- und Unglücksfällen sowie Katastrophen erfolgt. Auf Flugplätzen bedarf der Einsatz von UAS allerdings zusätzlich der Zustimmung der Luftaufsichtsstelle und der Flugleitung.⁸⁸¹

Wenn der Betrieb von UAS nicht durch oder unter Aufsicht der Behörden respektive Organisationen erfolgt, ist er gemäß LuftVO verboten, soweit nicht der Betreiber der Anlage dem Betrieb ausdrücklich zugestimmt hat, und zwar in einem seitlichen Abstand von 100 Metern u.a. von Einsatzorten von Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben, Industrieanlagen, Anlagen der Energieerzeugung und -verteilung, Grundstücken, auf denen sich Verfassungsorgane der Bundes- oder Landesbehörden befinden, Liegenschaften von Polizei und anderen Sicherheitsbehörden sowie Bundesfernstraßen, Bundeswasserstraßen und Bahnanlagen.⁸⁸²

⁸⁷⁷ Vgl. § 20 (2), § 21a (1, 3), § 21c LuftVO (2017); Dieckert/Eich (2018) S. 361 ff., S. 382 ff.; Giemulla/van Schyndel/Friedl (2018) S. 20 ff., S. 40.

⁸⁷⁸ Vgl. § 21a (4), § 21d LuftVO (2017); Dieckert/Eich (2018) S. 365 ff.; Giemulla/van Schyndel/Friedl (2018) S. 34 ff.

⁸⁷⁹ Vgl. § 21b LuftVO (2017); Dieckert/Eich (2018) S. 369 ff., S. 400 ff.; Giemulla/van Schyndel/Friedl (2018) S. 28 ff.

⁸⁸⁰ Vgl. § 21f LuftVO (2017); Dieckert/Eich (2018) S. 424 ff.; Giemulla/van Schyndel/Friedl (2018) S. 26 ff.

⁸⁸¹ Vgl. § 21 a (2) LuftVO (2017).

⁸⁸² Vgl. § 21 b (1) LuftVO (2017).

Verordnung zur Festlegung gemeinsamer Vorschriften für die Zivilluftfahrt und zur Errichtung einer Europäischen Agentur für Flugsicherheit

Neben der deutschen Verordnung zur Regelung des Betriebs von UAS ist auch auf europäischer Ebene im Rahmen der Vorschriften für die Zivilluftfahrt eine neue Regelung zum Betrieb von unbemannten Luftfahrzeugen (UA) am 04.07.2018 in Kraft getreten, welche die bisherigen Verordnungen ablöst, da diese lediglich für unbemannte Luftfahrzeuge ab 150 kg gegolten haben.⁸⁸³ Dies war insofern notwendig, als mit dem ständig erweiternden Einsatz der kleineren UAS auch Risiken für den Datenschutz und die zivile Luftfahrt europaweit ausgehen. Darüber hinaus findet die Verordnung Anwendung auf die Konstruktion, die technische Ausrüstung, die Herstellung, die Instandhaltung und den Betrieb von unbemannten Luftfahrzeugen.⁸⁸⁴

Rechtliche Rahmenbedingungen für unbemannte Luftfahrzeuge (UA) der Europäischen Agentur für Flugsicherheit (EASA)

Die Europäische Agentur für Flugsicherheit (EASA) hat in einer „Technical Opinion“ grundlegende Eckpunkte für eine EU-weite Regelung für unbemannte Luftfahrzeuge im Dezember 2015 vorgelegt, welche u.a. den Betrieb von UAS, Flugverbotszonen sowie Kenntnissnachweise für Piloten beinhaltet. Die vorgeschlagenen Grundregelungen, welche noch in Bearbeitung sind, differenzieren unbemannte Luftfahrzeuge nach drei Kategorien hinsichtlich deren Risikostufe: geringes, spezifisches und höheres Risiko („open category“, „specific category“, „certified category“).⁸⁸⁵ Die Vorschläge zu den europäischen Regulierungen hinsichtlich der Risikostufen gering und spezifisch wurden im Februar 2018 publiziert, die Entwicklung der rechtlichen Rahmenbedingungen für die Stufe „höheres Risiko“ sind in Planung.⁸⁸⁶

EU-Datenschutz-Grundverordnung

Da der Anwendungsbereich der unbemannten Luftfahrzeugsysteme (UAS) vor allem in der Informationsbeschaffung bzw. Datenerfassung liegt, sind diese mit entsprechender Foto- und Videotechnik ausgestattet, welche neben der Navigation des Geräts zur Beobachtung überflogener Gebiete und Aufzeichnung erhobener Bilddaten dienen.⁸⁸⁷ Die Verarbeitung respektive Erhebung von Bilddaten unterliegt dem Datenschutz, sofern es sich um personenbezogene Daten handelt.⁸⁸⁸ Zu den personenbezogenen Daten gehören „alle Informationen, die sich auf eine identifizierte oder identifizierbare natürliche Person ... beziehen“, ⁸⁸⁹ wozu auch Bilddaten zählen, wenn mit diesen ein Personenbezug hergestellt werden

⁸⁸³ Vgl. Verordnung EU (2018a); zu großen unbemannten Luftfahrzeugen ab 150 kg vgl. Plücken (2017) S. 12 f.

⁸⁸⁴ Vgl. Art. 2 (1) Verordnung EU (2018a); Dieckert/Eich (2018) S. 358 f.

⁸⁸⁵ Vgl. Bitkom (o.J.); EASA (2015); Plücken (2017) S. 10; Dieckert/Eich (2018) S. 360 f.

⁸⁸⁶ Vgl. EASA (o.J.).

⁸⁸⁷ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 404.

⁸⁸⁸ Vgl. Klein (2017) S. 5 ff.; Dieckert/Eich (2018) S. 407 ff.

⁸⁸⁹ Vgl. Art. 4 Nr. 1 DSGVO (2016); Klein (2017) S. 6 ff.

kann, was mit der Video- und Fototechnik der heutigen UAS möglich ist.⁸⁹⁰ So wird die Erlaubnis des Betriebs von UAS über 5 kg nach der LuftVO nur erteilt, wenn u.a. die Regeln des Datenschutzes nicht verletzt werden.⁸⁹¹

Die Verarbeitung personenbezogener Daten ist zulässig, sofern sie nach Art. 6 DSGVO rechtmäßig ist, wozu u.a. die Einwilligung der betroffenen Person, welche mit den erhobenen Bilddaten identifiziert werden kann, gehört.⁸⁹² Da die Einwilligung an den Zweck der Erhebung gebunden ist, ist dies im Rahmen von Flugeinsätzen kaum realisierbar, wenn im Voraus nicht absehbare Flächen überflogen werden, in denen sich Personen im Aufnahmebereich befinden können.⁸⁹³ Grundsätzlich gilt daher nach Art. 6 (1) lit. (f) DSGVO, dass eine Verarbeitung respektive Erhebung von Bilddaten zur Wahrung der berechtigten Interessen des Verantwortlichen erforderlich ist und damit zulässig bzw. rechtmäßig, sofern nicht die Interessen und Persönlichkeitsrechte betroffener Personen überwiegen.⁸⁹⁴ Dies ist z. B. dann der Fall, wenn es im Rahmen einer Inspektion von Brücken um die zielgerichtete bildliche Erfassung und Dokumentation des Ist-Zustandes eines Ingenieurbauwerks geht und die Aufnahme von Personen sich als zufälliges Nebenprodukt ergibt.⁸⁹⁵

Zusätzlich ist Art. 5 (1) lit. (c) der Datensparsamkeit zu bedenken, wonach der Zweck der Verarbeitung personenbezogener Daten auf das notwendige Maß zu beschränken ist.⁸⁹⁶ Diesbezüglich greift zudem Art. 25 DSGVO, indem der Verantwortliche geeignete technische und organisatorische Maßnahmen zu ergreifen hat, welche sowohl eine Datenminimierung umsetzen können als auch sicherstellen, dass nur personenbezogene Daten verarbeitet werden, welche für den Zweck erforderlich sind.⁸⁹⁷ Wesentlich ist hier, dass die Erhebung personenbezogener Daten, auch wenn diese zufällig und nicht beabsichtigt waren, keinem Dritten zugänglich gemacht werden.⁸⁹⁸ So sind nach Art. 32 DSGVO der Verantwortliche sowie Auftragsverarbeiter verpflichtet, zum Schutz der personenbezogenen Daten geeignete technische und organisatorische Maßnahmen zu treffen.⁸⁹⁹ Darüber hinaus sind die Daten nach deren Erhebung auf dem Datenspeicher des UAS zu löschen und auf einem sicheren Speichermedium zu übertragen, insbesondere jene Daten, welche einen Personenbezug haben und damit gemäß Art. 17 DSGVO das Recht auf Löschung zum Tragen kommt.⁹⁰⁰

Unbemannte Luftfahrzeugsysteme und Datenschutz

Im Frühjahr 2017 hat DJI, deren Geräte mit 70 % Marktanteil zu den weltweit meistverkauften gehören, die verpflichtende Aktivierung von Multicoptern eingeführt, was bedeutet, dass eine vollständige Nutzung der Copter nur dann erfolgen kann, wenn das Modell zunächst online

⁸⁹⁰ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 407 f.

⁸⁹¹ Vgl. § 21a (3) LuftVO (2017); Dieckert/Eich (2018) S. 407, S. 413.

⁸⁹² Vgl. Art. 6 DSGVO (2016).

⁸⁹³ Vgl. Art. 6 (1) lit. (a) DSGVO (2016); Dieckert/Eich (2018) S. 409 ff.

⁸⁹⁴ Vgl. Art. 6 (1) lit. (f) DSGVO (2016); Dieckert/Eich (2018) S. 411 ff.

⁸⁹⁵ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 412.

⁸⁹⁶ Vgl. Art. 5 (1) lit. (a, c) DSGVO (2016).

⁸⁹⁷ Vgl. Art. 25 DSGVO (2016); Dieckert/Eich (2018) S. 415 f.

⁸⁹⁸ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 413, S. 416.

⁸⁹⁹ Vgl. Art. 32 DSGVO (2016); Dieckert/Eich (2018) S. 416.

⁹⁰⁰ Vgl. Art. 7 DSGVO (2016); Dieckert/Eich (2018) S. 416.

registriert bzw. aktiviert wird. Zur Förderung der Sicherheit von Copter-Flügen werden dabei der Standort des Copters abgerufen und die sog. Geofencing-Daten aktualisiert, sodass der Copter „weiß“, wo er fliegen darf und in Verbotszonen⁹⁰¹ nicht mehr aufsteigt. Ohne die Aktivierung kann das unbemannte Fluggerät nur eingeschränkt genutzt werden. Zusätzlich wird DJI den Modus Local Data Mode einführen, der komplett ohne Internetverbindung und Flugeinschränkungen auskommt, um z. B. Luftaufnahmen Kritischer Infrastrukturen machen zu können.⁹⁰² Während des Flugs erzeugt der Multicopter eine Vielzahl an Daten, wie Flugdaten zu Telemetrie, Fotos und Videos, welche zunächst ausschließlich lokal auf dem Fluggerät selbst oder der SD-Karte gespeichert werden. Diese Daten werden anschließend nur dann übertragen, wenn Dienste wie die Plattform SkyPixel genutzt werden, was mit der DJI-App wahlweise aktiviert werden kann. Wie für die während des Flugs generierten Flugdaten wird auch für das Geofencing keine aktive Internetverbindung benötigt, da die Daten vorab synchronisiert werden. Erst bei Aktivierung der App wird das relevante Kartenmaterial übertragen. Bei Abhebung des unbemannten Fluggeräts wird über den eingebauten GPS-Sender die Position mit dem heruntergeladenen Kartenmaterial abgeglichen, im Flug werden dann keine Standortdaten an die DJI-Server übermittelt, nur während der Aktivierung oder des Updates des Kartenmaterials. Über den Local Data Mode wird diese Synchronisation ausgeschaltet, sodass sowohl Informationen über Geofencing als auch Software- oder Kartenupdates unterbunden werden. Somit übermitteln die Copter von DJI zwar nicht automatisch alle Fotos, Videos oder Flugdaten, allerdings können Rückschlüsse auf die Nutzung gezogen werden, indem Geolokalisierungsinformationen gespeichert werden, wenn ein unbemanntes Fluggerät in einen sicherheitsgefährdenden Bereich freigeschaltet wird. Daneben können standortbezogene Dienstleistungen darüber informieren, wo der Steuerer des Copters das Gerät fliegen lässt, da nicht nur das unbemannte Fluggerät, sondern auch das Smartphone über die installierte App Daten an den Server von DJI senden kann, welche aber nur unter bestimmten Voraussetzungen, wie z. B. bei einem vorliegenden Gerichtsurteil, herausgegeben werden.⁹⁰³

DJI hat darüber hinaus das Konzept eines elektronischen „Drohnen-Kennzeichens“ vorgestellt, womit die Privatsphäre von Copter-Piloten gewahrt werden soll. Denn die gemäß LuftVZO eingeführte Kennzeichnungspflicht für Eigentümer eines UAS ab 0,25 kg mithilfe einer Plakette am Fluggerät weist das Problem auf, dass bei einem Absturz oder Diebstahl des unbemannten Fluggeräts Unbefugte Zugriff auf personenbezogene Daten haben können. Allerdings ist auch das Konzept der elektronischen Kennzeichnung mittels Funkverbindung dann datenschutzrechtlich problematisch, wenn das unbemannte Fluggerät überall, also auch zu Hause, geortet werden kann.⁹⁰⁴

⁹⁰¹ Vgl. § 21b LuftVO (2017).

⁹⁰² Vgl. Kühl (2017).

⁹⁰³ Vgl. Kühl (2017).

⁹⁰⁴ Vgl. Westphal (2017a).

Verordnung über einen Rahmen für den freien Verkehr nicht-personenbezogener Daten in der Europäischen Union

Ein weiteres für das Datenschutzrecht relevantes Gesetzgebungsverfahren ist die seit dem 14. November 2018 geltende europäische Verordnung „über einen Rahmen für den freien Verkehr nicht-personenbezogener Daten in der Europäischen Union“, welche die neuen digitalen Technologien, wie Künstliche Intelligenz (KI), das Internet der Dinge (IoT) sowie autonome Systeme berücksichtigen soll.⁹⁰⁵ Mit der Verordnung sollte die grenzüberschreitende Mobilität nicht personenbezogener Daten im Binnenmarkt verbessert sowie der Anbieterwechsel und die Übertragung von Daten für die beruflichen Nutzer von Datenverarbeitungsdiensten erleichtert werden.⁹⁰⁶ Es sollte für die Datenverarbeitung in unterschiedlichen Intensitätsstufen gelten, so für die Datenspeicherung (Infrastructure-as-a-Service), die Verarbeitung von Daten auf Plattformen (Platform-as-a-Service) und in Anwendungen (Software-as-a-Service).⁹⁰⁷

Der Anwendungsbereich der Verordnung bezieht sich lediglich auf die Verarbeitung elektronischer Daten, die keine personenbezogenen Daten sind.⁹⁰⁸ Die gesetzlichen Regeln zum Schutz personenbezogener Daten sowohl nach der DSGVO als auch nach der Datenschutzrichtlinie für die elektronische Kommunikation (ePrivacy-Richtlinie) bleiben von dieser Verordnung unberührt.⁹⁰⁹ Die DSGVO und diese Verordnung gelten als gemeinsames Regelwerk zum freien Verkehr von personenbezogenen und nicht personenbezogenen Daten nebeneinander, was bedeutet, dass bei Datensätzen, welche beide Arten von Daten enthalten, für die personenbezogenen Daten die DSGVO und für die nicht personenbezogenen Daten die neue Verordnung gilt.⁹¹⁰ Wenn beide Arten von Daten untrennbar miteinander verbunden sind, wobei der Aspekt „untrennbar“ nicht näher definiert wird,⁹¹¹ gilt die neue Verordnung.⁹¹² Werden allerdings aus anonymisierten Daten durch Analyseverfahren („technologische Neuentwicklungen“), wie Künstliche Intelligenz (KI) oder Maschinelles Lernen, personenbezogene Daten generiert, gilt für diese Daten wiederum die DSGVO.⁹¹³ Eine Verpflichtung, die unterschiedlichen Datenarten separat zu speichern, besteht nicht.⁹¹⁴

Bis spätestens zum Jahre 2022 soll die Kommission dem Europäischen Parlament, dem Rat und dem Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss einen Bericht vorlegen, in dem u.a. der Aspekt der gemischten Datensätze bezüglich der Entwicklung der Technik und Märkte, welche zu einer erweiternden Deanonymisierung von Daten führen kann, geprüft wird.⁹¹⁵

⁹⁰⁵ Vgl. ErwG (1) Verordnung EU (2018b).

⁹⁰⁶ Vgl. Art. 6 (1) Verordnung EU (2018b); Piltz (2018).

⁹⁰⁷ Vgl. ErwG (17) Verordnung EU (2018b); Piltz (2018).

⁹⁰⁸ Vgl. Art. 2 (1) Verordnung EU (2018b); Piltz (2018).

⁹⁰⁹ Vgl. ErwG (8) Verordnung EU (2018b); Piltz (2018).

⁹¹⁰ Vgl. ErwG (10), Art. 2 (2) Verordnung EU (2018b); Piltz (2018).

⁹¹¹ Vgl. Piltz (2018).

⁹¹² Vgl. Art. 2 (2) Verordnung EU (2018b); Piltz (2018).

⁹¹³ Vgl. ErwG (9) Verordnung EU (2018b); Piltz (2018).

⁹¹⁴ Vgl. ErwG (10) (Verordnung 2018b); Piltz (2018).

⁹¹⁵ Vgl. Art. 8 (1a) Verordnung EU (2018b).

2.14 Zusammenfassung

Im Rahmen der Identifizierung der Stakeholder wurde deutlich, dass sich mittlerweile zahlreiche Verbände, Forschungseinrichtungen und Unternehmen mit der Themenstellung der unbemannten Luffahrzeugsysteme aus Sicht der Technologie, des Rechts und der Informatik auseinandersetzen und damit deren Bedeutung und Interesse für die Wirtschaft und Gesellschaft veranschaulicht wird.

Die Ermittlung und Bewertung des Zustandes von Ingenieurbauwerken erfolgt in der handnahen Bauwerksprüfung gemäß der DIN 1076 respektive der Ril 804 auf der Basis von Besichtigungen mit einfachen Werkzeugen (zerstörende Werkstoffprüfung).⁹¹⁶ Zudem werden physikalische, elektrochemische, Ultraschall- und Infrarot-Verfahren sowie Radar- und Lasermessungen eingesetzt.⁹¹⁷ Zur Verarbeitung der generierten Daten werden in den Straßenbauverwaltungen des Bundes und der Länder, in der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung sowie in Gemeinden und Landkreisen das Programmsystem Straßeninformationsbank (SIB-Bauwerke),⁹¹⁸ welches aus einem Verwaltungsprogramm für die Straßenbauverwaltung und einem externen Erfassungsprogramm für die Bauwerksprüfer besteht,⁹¹⁹ verwendet. Darüber hinaus dient das Bauwerk-Management-System (BMS) zur Unterstützung der bundesweiten systematischen Erhaltungsplanung von Brücken und Ingenieurbauwerken.⁹²⁰ Die Deutsche Bahn (DB) nutzt für die Dokumentation der Inspektion von Eisenbahnbrücken ein Programmsystem zur Instandhaltung von SAP.⁹²¹

Im Rahmen der Instandhaltung und Überwachung von Brücken sind in den letzten Jahren verschiedene Forschungsprojekte entstanden, welche der Optimierung und Erweiterung des Erhaltungsmanagements dienen. Dabei wurde festgestellt, dass der Einsatz von UAS zur Inspektion von Bauwerken auf Basis detaillierter Bild- und Videodaten, fotogrammetrischer sowie Infrarot-/Thermografiedaten die handnahe Prüfung optimieren, aber noch nicht ersetzen kann.⁹²²

Zur Nutzung von Daten aus dem Verkehrswesen stehen mehrere Portale zur freien Verfügung, wobei insbesondere die „mCLOUD“ des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), der „MobilitätsDatenMarktplatz MDM“ der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), das Datenportal für Deutschland „GovData“ des IT-Planungsrates in Hamburg sowie das Open-Data-Portal der Deutschen Bahn AG gehören.⁹²³ Während der Bearbeitung der Studie waren noch sehr wenige Datensätze zur Thematik Brücken abrufbar, was schon

⁹¹⁶ Vgl. DIN 1076 (1999); BMVBS (2013) S. 26, S. 32; Weber (2013) S. 56 ff., S. 82 f.; Schnellenbach-Held/Fakhouri/Karczewski (2013) S. 19; Mehlhorn/Curbach (2014) S. 1195; Mertens (2015) S. 21, S. 253 ff.; zu den Eisenbahnbrücken vgl. Muncke (2006); RH RLP (2013) S. 19 f.; DB Netz (2015) Module 804.8001–804.8004; Holst (2018) S. 26; Mölter/Fiedler (2019) S. 377.

⁹¹⁷ Vgl. BMVBS (2013) S. 32; Mehlhorn/Curbach (2014) S. 1198; Mertens (2015) S. 255 ff.; Mölter/Pfeifer/Fiedler (2017) S. 90 ff.

⁹¹⁸ Vgl. WPM-Ingenieure (o.J.); Mertens (2015) S. 285.

⁹¹⁹ Vgl. Schnellenbach-Held/Karczewski/Kühn (2014) S. 86; Mertens (2015) S. 294 f.

⁹²⁰ Vgl. Mertens (2015) S. 17 ff.

⁹²¹ Vgl. Muncke (2006); zur Instandhaltung mit SAP vgl. Liebstückel (2017).

⁹²² Vgl. Morgenthal/Hallermann/Achtelik (2015) S. 20; Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 16, S. 19 f.

⁹²³ Vgl. BMVI (2017b) S. 4.

darin begründet lag, dass bislang nur einige Straßenbauverwaltungen der Länder Daten veröffentlicht haben. Es handelte sich vorrangig um Sachdaten der Brücken, Instandhaltungsdaten lagen keine vor.

In der Praxis werden mittlerweile modulare Software für die Planung, Befliegung und Analyse sowie entsprechend aufgesetzte Datenbanksysteme angeboten, mit welcher Unternehmen UAS automatisiert für industrielle Datenanwendungen einsetzen und in bestehende Geschäftsprozesse integrieren können.⁹²⁴ Beim Einsatz von UAS sind sowohl die gesetzlichen Regeln des Flugraums als auch die Richtlinien des Datenschutzes hinsichtlich personenbezogener und nicht personenbezogener Daten einzuhalten.

Brücken können je nach Funktion und Lage Kritische Infrastrukturen darstellen und sind im Sektor Transport und Verkehr anzusiedeln. Die Betreiber Kritischer Infrastrukturen haben als Eigentümer der Infrastrukturen primär deren sicheren Betrieb zu gewährleisten.⁹²⁵ Zum Schutz Kritischer Infrastrukturen hat das Bundesministerium des Innern (BMI) einen Leitfaden herausgegeben, welcher Betreiber Kritischer Infrastrukturen dabei unterstützen soll, Risiken zu ermitteln und vorbeugende Maßnahmen umzusetzen sowie effektiv und effizient mit Krisen umzugehen.⁹²⁶ Zudem wurden in Forschungsprojekten speziell für kritische Brücken präventive bauliche Schutzmaßnahmen erarbeitet.⁹²⁷ Bei Gefährdung einer Brücke sind im Rahmen von Sonderprüfungen zielgerichtete Maßnahmen anzuwenden,⁹²⁸ um die Funktionsfähigkeit aufrechterhalten respektive wieder herstellen zu können, wofür das „Managementsystem zur Aufrechterhaltung der Betriebsfähigkeit“ (BCMS)“ angewandt werden kann.⁹²⁹ Der Einsatz von UAS kann zudem zeitnah ein umfassendes Lagebild kritischer Situationen ermöglichen.⁹³⁰

⁹²⁴ Vgl. FlyNex GmbH; Intel Deutschland GmbH.

⁹²⁵ Vgl. BBK/BSI (o.J.).

⁹²⁶ Vgl. BMI (2011) S. 5, S. 12.

⁹²⁷ Vgl. SKRIBT Schlussbericht (o.J.) S. 70 f.

⁹²⁸ Vgl. BMVBS (2013) S. 25 ff.; Geißler (2014) S. 1159; Mertens (2015) S. 21 f., S. 123 f.

⁹²⁹ Vgl. Brauner/Friedrich (2018) S. 212; Willisegger (2018) S. 73 f.; Baumann/von Rössing (2018) S. 163 ff.

⁹³⁰ Vgl. Fisch (2017) S. 31 ff.

3 Schwachstellen-Analyse

Der offensichtlich steigende Bedarf am Einsatz von unbemannten Luftfahrzeugsystemen (UAS) im Rahmen von Inspektionen und der Datenerfassung (Data Capturing) macht es umso dringlicher erforderlich, sich den derzeitig erkennbaren Defiziten (AP 1–AP 4) zu stellen und hieraus Lösungsansätze für das Sollkonzept zu generieren, um somit nicht nur einen Qualitätsstandard zu gewährleisten, sondern auch die vorliegenden (Daten-)Ressourcen effektiv und effizient unter Einhaltung der gesetzlichen Rahmenbedingungen nutzen zu können.

Tabelle 2: Arbeitspakete der Schwachstellen-Analyse
Quelle: Eigene Darstellung.

Arbeitspakete	Schwachstellen-Analyse
AP 1	3.1 Defizite der bestehenden Einzelkomponenten
AP 2	3.2 Schwachstellen der Systemlösungen und Prozesse
AP 3	3.3 Bewertung der Kostensenkungspotenziale
AP 4	3.4 Datenschutz und Datensicherheit
	3.5 Zusammenfassung

3.1 Defizite der bestehenden Einzelkomponenten

Im Folgenden werden zunächst der derzeitige Forschungsstand zum Thema Inspektion von Brücken und Data Capturing mithilfe von unbemannten Luftfahrzeugsystemen sowie die derzeitigen technologischen Defizite zusammengefasst. Darauf aufbauend werden Inspektionen mit UAS als Dienstleistungen erörtert sowie Voraussetzungen für die Inspektion thematisiert, wozu ein Qualitätsstandard sowie Befliegungseinrichtungen am Ingenieurbauwerk gehören.

3.1.1 Forschungsstand und Technologie

Die Darstellung des Forschungsstandes im Rahmen der Instandhaltung und Überwachung von Brücken hat aufgezeigt, dass in den letzten Jahren zwei Forschungsansätze im Fokus der Betrachtung stehen, um das bisherige Erhaltungsmanagement zu optimieren. Zum einen wird die Überwachung von Brücken durch Messverfahren mithilfe der Sensorik untersucht und entwickelt, zum anderen werden Methoden unter dem Einsatz von unbemannten Luftfahrzeugsystemen analysiert, welche die Bauwerksprüfung und das Data Capturing unterstützen können.

Die praxisorientierten Forschungsprojekte der Bauhaus-Universität Weimar sowie der TÜV Rheinland GmbH Köln widmen sich konkreten Themenstellungen der UAS als technische Hilfsmittel in der Bauwerksprüfung. Dabei wurde festgestellt, dass mithilfe von UAS (Multicopter) zum einen eine visuelle und messtechnische Zustandsermittlung von Bauwerken, u.a. von Brücken, insbesondere an schwer zugänglichen Stellen, sowie zum anderen eine Iden-

tifizierung von Schäden mittels digitaler Bildverfahren grundsätzlich die handnahe Bauwerkprüfung unterstützen und damit optimieren, aber aufgrund der derzeitigen Technologie der UAS noch nicht ersetzen können.⁹³¹ So treten zum einen Grenzen bei der erforderlichen Entnahme von Materialproben auf,⁹³² zum anderen können mit den eingesetzten visuellen Prüfverfahren derzeit noch keine exakten Messungen der Rissbreiten, welche bei Stahlbeton- und Spannbetonbauwerken ab einer Weite von ≥ 2 mm bei visuellen Prüfungen sicher erkannt werden müssen, vorgenommen werden, sondern die Risse im Bauwerk werden insbesondere unter günstigen Randbedingungen, wie Licht und Feuchtigkeit, erkannt.⁹³³

Um die herkömmlichen Methoden in der Bauwerkprüfung zukünftig ersetzen und den Einsatz durch UAS als künftigen Standard etablieren zu können, bedarf es noch weiterer Entwicklungen in der Fluggerätetechnik- und -navigation sowie in der (Bild-)Datenaufnahme, Datenauswertung, -aufbereitung und -weiterverarbeitung (Datenformate).⁹³⁴ Insbesondere müssen im Rahmen der Technologie der UAS die Autonomiefähigkeit unter Einbezug der rechtlichen Sicherheitsstandards sowie eine künftige Robotik zur Erweiterung der visuellen Inspektion erhöht werden, sodass bei Ausfall des Datenlinks ohne externe Hilfe ein UAS automatisch zur Basis zurückfinden oder sofort sicher landen kann, ohne abzustürzen oder eine Gefahr für andere zu werden. Insbesondere bei extremen Wettereinflüssen sind entsprechende Notfallsysteme erforderlich, indem sie z. B. aufgrund der erfassten Wetterdaten autonome Entscheidungen treffen können.⁹³⁵ Bei der Automatisierung essenzieller Funktionen eines Luftfahrzeugsystems sind sowohl zuverlässige Sensoren als auch eine korrekte Verarbeitung der gewonnenen Daten von Relevanz, um einen autonomen Flug zu ermöglichen, der zudem den rechtlichen Sicherheitsstandards genügen muss.⁹³⁶ Dies gilt vor allem für den Betrieb ohne direkten Sichtkontakt zum Luftfahrzeugsystem (Beyond Visual Line Of Sight, BVLOS), wo hinsichtlich der Automatisierung noch erhebliches Handlungspotenzial besteht.⁹³⁷ Um BVLOS fliegen zu können, bedarf es neben einer Genehmigung am Luftfahrzeugsystem installierter Schutzmechanismen als automatisch funktionierende Module, die Kollisionen am Boden und in der Luft verhindern können. Das Luftfahrzeug verfügt demnach über Sensoren, deren Daten in Echtzeit ausgewertet und an die Bodenstation gesendet werden, sodass der Steuerer jederzeit an der Bodenstation ein komplettes Bild der Situation erhält und Steuerkommandos für den Autopiloten ausführen kann.⁹³⁸

⁹³¹ Vgl. Morgenthal/Hallermann/Achtelik (2015) S. 54 ff., S. 91 ff., S. 127 f.; Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 3.

⁹³² Vgl. Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 54.

⁹³³ Vgl. Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 54 f.

⁹³⁴ Vgl. Morgenthal/Hallermann/Achtelik (2015) S. 130; Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 65; Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhardt/Moll (2018) S. 84 f.

⁹³⁵ Vgl. Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhardt/Moll (2018) S. 73.

⁹³⁶ Vgl. Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhardt/Moll (2018) S. 74.

⁹³⁷ Vgl. Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhardt/Moll (2018) S. 75.

⁹³⁸ Vgl. Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhardt/Moll (2018) S. 63.

3.1.2 Verwendung von Building Information Modeling

Die Anwendung von Building Information Modeling (BIM) für das Erhaltungsmanagement und damit auch für die Inspektion von Brücken ist in der Machbarkeitsstudie „BIM für Bestandsbrücken“ aus Beton als eine sehr gute Grundlage verifiziert worden.⁹³⁹ In diesem Rahmen wurden verschiedene Möglichkeiten zur Nutzung der BIM-3D-Brückenmodelle genannt: für die Bereitstellung von Informationen zum Bauwerk zum Zeitpunkt der Errichtung, während der Inspektion zur direkten Verortung von Inspektionsergebnissen, für die Zustandsbewertung und Instandsetzungsplanung, für die Prognose des weiteren Zustandsverlaufs, für die Planung von Ertüchtigungs-, Erneuerungs- oder Instandsetzungsmaßnahmen sowie für die Visualisierung der Schadenshistorie.⁹⁴⁰ Zudem ist auch von einem Nutzen bei der Verwendung von BIM-Modellen für die Ermittlung des Ist-Zustandes eines Schadens im Rahmen einer kritischen Situation, wie z. B. bei Hochwasser, auszugehen. Der Schwerpunkt der Studie lag zum einen auf Betonbrücken, zum anderen auf Brücken im Zuge von Straßen und Wegen, sodass auch die IT-Systeme der Straßenbauverwaltung im Fokus der Betrachtung standen, während Inspektionssysteme der Deutschen Bahn unberücksichtigt blieben.

Bislang liegen noch keine BIM-Modelle im Programmsystem SIB-Bauwerke vor, sodass diese für die oben genannten Möglichkeiten weder im Rahmen von Inspektionen noch von Sonderprüfungen (kritische Fälle) genutzt werden können. Hierfür müssen die erfassten Bauwerke im Programmsystem SIB-Bauwerke zunächst mittels Fotogrammetrie, Laserscanning oder der Nutzung parametrisierter 3D-Brückenmodelle in geometrisch-semantische BIM-Modelle überführt werden.⁹⁴¹ Aufwendiger ist dies für die nicht digital erfassten Bauwerke, deren Aufbereitung aber vergleichbar mit der Datenverarbeitung im System SIB-Bauwerke ist.⁹⁴²

Im Rahmen von Sonderprüfungen, welche im Falle kritischer Situationen bei Straßenbrücken Anwendung finden, ist zeitnah unter dem Einsatz von UAS ein umfassendes Lagebild der kritischen Situation des Ingenieurbauwerks zu erfassen, sodass ableitend zielgerichtete Maßnahmen zur Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit der kritischen Infrastruktur eingeleitet werden können.⁹⁴³ Da die digital erfassten Bauwerksmodelle eine 3D-Geometrie aller Bauteile zur Verfügung stellen, werden sowohl die präzise Lokalisierung von Schädigungen als auch die Visualisierung des ermittelten Bauzustands ermöglicht.⁹⁴⁴ Die Bauwerksmodelle können zudem je nach Anwendung in verschiedene Detaillierungsgrade (Level of Detail) erfolgen, welche sowohl die geometrische Ausprägung als auch die Detailtiefe der semantischen Informationen des Bauwerks wiedergeben.⁹⁴⁵

⁹³⁹ Vgl. Singer/Borrmann (2016) S. 65, S. 67.

⁹⁴⁰ Vgl. Singer/Borrmann (2016) S. 19.

⁹⁴¹ Vgl. Singer/Borrmann (2016) S. 16, S. 55 ff., S. 66.

⁹⁴² Vgl. Singer/Borrmann (2016) S. 60 ff., S. 66.

⁹⁴³ Vgl. Sperber/Göbmann u.a. (2017) S. 57.

⁹⁴⁴ Vgl. Singer/Borrmann (2016) S. 19, S. 65.

⁹⁴⁵ Vgl. Singer/Borrmann (2016) S. 48.

Gemäß dem Stufenplan „Digitales Planen und Bauen“ zur schrittweisen Einführung von Building Information Modeling (BIM) in Deutschland⁹⁴⁶ hat die Deutsche Bahn mit der Implementierung in 2015 begonnen (BIM-Phase 1-Konvergenz) und befindet sich aktuell in der Konsolidierungs- und Standardisierungsphase (BIM-Phase 2 – Digitale Kompetenz), mit der Zielsetzung bis 2025 (BIM-Phase 3 – Digitale Transformation) die BIM-Methodik vollständig für Planung und Bau der Infrastruktur zu nutzen.⁹⁴⁷ Inwieweit BIM-Modelle bereits im Instandhaltungssystem der Deutschen Bahn vorliegen, konnte nicht eruiert werden.

3.1.3 Dienstleister zur Inspektion mit UAS

Mittlerweile gibt es bereits zahlreiche Unternehmen auf dem deutschsprachigen Markt, welche eine Inspektion mithilfe von unbemannten Luftfahrzeugsystemen als Dienstleistung anbieten.⁹⁴⁸ Anders als in der Literatur wird auf den jeweiligen Unternehmensseiten die Inspektion durch den Einsatz von Coptern bereits als Standard präsentiert.⁹⁴⁹

Wie anhand der deutschen Unternehmensseiten verschiedener Dienstleister hervorgeht, existiert noch keine einheitliche Terminologie der eingesetzten Fluggeräte. Überwiegend werden sie als Drohnen bezeichnet, teilweise als UAV, selten als UAS. Der Typus der Einsatzgeräte beschränkt sich auf Copter. Zudem sind die Unternehmen nicht auf einen bestimmten Bereich der Inspektion ausgerichtet, sondern bieten sie für Infrastrukturen an, wo der Zugang schwer erreichbarer Stellen auf herkömmliche Weise überdurchschnittlich kosten- und zeitaufwändig sowie risikobehaftet wäre, wie Brücken, Denkmäler, Hochbauten, Hochspannungsleitungen oder Energieanlagen. Wenn man in Betracht zieht, dass Brücken einer anderen Prüfung unterzogen werden müssen als beispielsweise Hochspannungsleitungen, kann eine Befliegung mittels UAS nur als optimale Ergänzung dienen, wenn im Rahmen der Inspektion qualifizierte Bauwerksprüfer die Befliegung begleiten und Qualitätsstandards für die Inspektionen mit UAS vorliegen.

Schließlich bieten nur wenige Unternehmen neben den Befliegungen eine Auswertung (auf Basis von Algorithmen) der erhobenen Daten an. Möglichkeiten des Data Science, der Verknüpfung der generierten Daten mit anderen Informationsquellen, des Datenmanagements der generierten Massendaten oder der Einbindung dieser Daten in die bestehenden Systeme der Kunden, wie im Rahmen der Inspektion von Brücken insbesondere die Systeme der Straßenbauverwaltungen, werden nicht angeboten.

⁹⁴⁶ Vgl. ARGE INFRABIM; BMVI (2015a) S. 5; Singer/Borrmann (2016) S. 6 f.; Liebich/Borrmann u.a. (2018) S. 3.

⁹⁴⁷ Vgl. Deutsche Bahn (2019a) S. 6.

⁹⁴⁸ Vgl. Westphal (2017b); air-view[®]; ARCEXPRESS GMBH; Baudrone; BLADESCAPE Airborne Services GmbH; CopterCloud[®] GmbH; droneproject.at; Eight Wings; GEARS GmbH; HELJO Industries; Ingenieurbüro Tuma; LINDSCHULTE Ingenieurgesellschaft mbH; LOGXON GmbH & Co. KG; mirko baum Airborne Images; SPECTAIR GmbH & Co. KG; TÜV Rheinland Industrie Service GmbH; ViewCopter e.U.; viZaar industrial imaging AG.

⁹⁴⁹ Vgl. Kormmeier (2012) S. 30 ff.; Plücken (2017) S. 29 f.; Giemulla/van Schyndel/Friedl (2018) S. 4; Christen/Guillaume/Jablonski/Lenhardt/Moll (2018) S. 84 f.; Dieckert/Eich (2018) S. 59 ff.; Landrock/Baumgärtel (2018) S. 2, S. 17, S. 27 ff., S. 41 ff.

3.1.4 Qualitätsstandards zur Inspektion von Brücken mit UAS

Allen Normen respektive Regelwerken ist gemein, dass die Überwachung respektive Inspektion der Brückenbauwerke in bestimmten regelmäßigen Abständen und mit unterschiedlichem Detaillierungsgrad zu erfolgen hat. Im Wesentlichen wird zwischen einer laufenden Überwachung alle drei bis sechs Monate, einer einfachen Prüfung alle zwei bis drei Jahre und einer Hauptprüfung alle sechs bis zehn Jahre differenziert. Zusätzlich werden je nach Bedarf und Anlass Sonderprüfungen durchgeführt.⁹⁵⁰ Für die handnahe Bauwerksüberwachung (Wartung), Bauwerksprüfung und Bewertung (Inspektion) des (Ist-)Zustandes der Brücken und Ingenieurbauwerke von Straßen dient als Grundlage die DIN 1076⁹⁵¹ respektive von Eisenbahnbrücken die Ril 804.⁹⁵² Da der Einsatz von unbemannten Luftfahrzeugsystemen im Rahmen von Inspektionen von Ingenieurbauwerken in der DIN 1076 respektive der Ril 804 nicht verankert ist, allerdings von einem verstärkten Einsatz in diesem Bereich in naher Zukunft auszugehen ist, ist die Erstellung von Standards respektive die Erweiterung der DIN 1076 bzw. der Ril 804 für die Bauwerksprüfung mithilfe von UAS, was im Rahmen der Pilotstudie „Unterstützung der Bauwerksprüfung durch innovative digitale Bildauswertung“ als Forschungsbedarf bereits angeregt wurde, explizit zu befürworten, um sowohl die Qualität einer Befliegung hinsichtlich der Planung, Durchführung, des Ziels und der Ergebnisse gewährleisten als auch das Angebot von Dienstleistern transparenter machen zu können.⁹⁵³ Entsprechend müssen auch die Anforderungsprofile und Leistungsbeschreibungen hinsichtlich der Bauwerksprüfung mithilfe von UAS durch Qualitätsstandards festgelegt werden.⁹⁵⁴

In diesem Umfeld hat der Verband Deutscher Ingenieure (VDI) aktuell eine Richtlinie zur „Inspektion von Anlagen und Gebäuden mit UAV“ (Flugdrohnen) herausgegeben (VDI 2879).⁹⁵⁵ Es fehlen dort allerdings konkrete Angaben, wie unter dem Einsatz von UAS eine effiziente Inspektion von Brücken und Ingenieurbauwerken zu erfolgen hat, damit diese zukünftig nicht mehr nur als unterstützende Maßnahme zur handnahen Bauwerksprüfung dient, sondern die herkömmlichen Methoden gänzlich ersetzen kann. So sollte neben der aufgeführten Darstellung der Ausstattung und (Flug-)Eigenschaften für spezifische Einsatzmöglichkeiten insbesondere geregelt werden, wann und wie der Einsatz der unbemannten Luftfahrzeugsysteme im Rahmen der festgelegten Bauwerksprüfungen (Hauptprüfung, einfache Prüfung, Sonderprüfung)⁹⁵⁶ zu erfolgen hat, wobei, abhängig vom Material der Brücke, die Flugrouten zu konkretisieren sind, an welchen (schwer zugänglichen) Stellen bzw. Bauteilen einer Brücke eine Befliegung bzw. Aufnahme erfolgen soll.

⁹⁵⁰ Vgl. Mehlhorn/Curbach (2014) S. 1192 f.

⁹⁵¹ Vgl. DIN 1076 (1999); BMVBS (2013) S. 10, S. 11 ff.; Schnellenbach-Held/Fakhouri/Karczewski (2013) S. 24, 70, S. 81; Geißler (2014) S. 1159 ff.; Mertens (2015) S. 16, S. 21.

⁹⁵² Vgl. DB Netz (2015) Module 804.8001–804.8004; Mölter/Fiedler (2019) S. 377.

⁹⁵³ Vgl. Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 65.

⁹⁵⁴ Vgl. Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 65.

⁹⁵⁵ Vgl. VDI (2018); Landrock/Baumgärtel (2018) S. 43.

⁹⁵⁶ Vgl. BMVBS (2013) S. 26 ff.; Schnellenbach-Held/Fakhouri/Karczewski (2013) S. 87 f.; Geißler (2014) S. 1159; Mertens (2015) S. 21.

Auf der technologischen Seite ist bereits eine neue DIN 5452 für unbemannte Luftfahrzeugsysteme im Aufbau, von der Teil 1: Begriffe und Teil 2: Anforderungen an den Piloten veröffentlicht sind.⁹⁵⁷

3.1.5 Einrichtungen an Ingenieurbauwerken zur Inspektion mit UAS

Bislang liegen keine ortsfesten Einrichtungen für UAS an Ingenieurbauwerken vor. Um sich Zugang zu einer Brücke im Rahmen der handnahen Bauwerksprüfung verschaffen zu können, sind ortsfeste Einrichtungen an den Ingenieurbauwerken, wie z. B. Laufstege, Treppen, Steigleitern, Rampen, Beleuchtungseinrichtungen, Haltevorrichtungen für Hängegerüste und Lastbeförderungen, angebracht.⁹⁵⁸ Diese Einrichtungen sind während der Planung der Bauwerke gemäß der „Richtlinie für die bauliche Durchbildung und Ausstattung von Brücken zur Überwachung, Prüfung und Erhaltung (BDA-BRÜ)“ zu berücksichtigen.⁹⁵⁹ Auch bei Eisenbahnbrücken wird im Rahmen des Entwurfs des Brückenbauwerks die Zugänglichkeit zu allen relevanten Bauteilen der Brücke eingeplant und ermöglicht.⁹⁶⁰ Wenn künftig Inspektionen verstärkt mithilfe von UAS optimiert werden sollen, müssen auch die zukünftigen Planungen ortsfester Einrichtungen an Ingenieurbauwerken gemäß dem Einsatz von UAS ausgerichtet werden.

Darüber hinaus ist die Erweiterung ortsveränderlicher und stationärer Einrichtungen bzw. Geräte an Ingenieurbauwerken im Rahmen der Inspektion⁹⁶¹ mit UAS zu planen und einzurichten. Ortsveränderliche sowie straßen- und schienengängige Besichtigungsgeräte für den Über- und Unterflurbetrieb werden von verschiedenen Herstellern und Verleihfirmen angeboten.⁹⁶² Hierzu gehören für den Überflurbetrieb zahlreiche Hubarbeitsbühnen mit möglichen Arbeitshöhen von mehr als 100 m,⁹⁶³ straßengängige Unterflurarbeitsbühnen, welche zusätzlich mit Besichtigungstürmen oder Hydroliften ausgestattet werden können, Pfeilerbefahrgeräte, Unterflurbesichtigungsgeräte mit einem steuerbaren Korb, Büro- oder Gerätewagen mit einem begehbaren Dach, Zweibegefahrzeuge, Hubmontagewagen oder Fahrwerke für die Randwege zur Prüfung von Brücken über Gleisen sowie Motorschiffe mit Arbeitsbühnen zur Prüfung von Brücken über Wasserstraßen.⁹⁶⁴ Wenn die Inspektion durch den Einsatz von UAS unterstützt und optimiert werden soll, sind künftig auch ortsveränderliche Befliegungsstationen einzurichten.

Stationäre Besichtigungseinrichtungen (-wagen), welche für jede zu prüfende Brücke individuell konzipiert werden, werden derzeit nur ausnahmsweise eingesetzt, wenn der Einsatz mobiler Unterflurgeräte aufgrund der Größe oder Konstruktion des Ingenieurbauwerks keine

⁹⁵⁷ Vgl. UAV Dach (2018).

⁹⁵⁸ Vgl. BMVBS (2013) S. 39 ff.; Mertens (2015) S. 31.

⁹⁵⁹ Vgl. BMVBS (2013) S. 12, S. 39; BDA-BRÜ (2017); Saager (2018) S. 32 ff.

⁹⁶⁰ Vgl. Mölter/Pfeifer/Fiedler (2017) S. 55, S. 62 ff.; Mölter/Fiedler (2019) S. 379.

⁹⁶¹ Vgl. BMVBS (2013) S. 47 ff.; Mertens (2015) 31 ff.

⁹⁶² Vgl. BMVBS (2013) S. 48; Mertens (2015) S. 32; Cramer (2016) S. 26 ff.

⁹⁶³ Vgl. BMVBS (2013) S. 48 ff.; Mertens (2015) S. 32.

⁹⁶⁴ Vgl. Muncke (2006); BMVBS (2013) S. 48 ff.; Mertens (2015) S. 32; Mölter/Pfeifer/Fiedler (2017) S. 63 f. Abb. 3.4.

vollständige handnahe Prüfung ermöglicht oder zu unvermeidbaren Verkehrseinschränkungen führen würde.⁹⁶⁵ Durch die Einrichtung stationärer Befliegungseinrichtungen könnten zukünftig stationäre Besichtigungseinrichtungen ersetzt werden.

3.2 Schwachstellen der Systemlösungen und Prozesse

Im Folgenden werden die Defizite der Systemlösungen und Prozesse zusammengefasst. Zunächst werden mögliche Datenbestände sowie deren Auswertung zur Informationserschließung von Inspektionen mit UAS thematisiert. Anschließend werden die derzeit genutzten IT-Systeme zur Instandhaltung von Brücken und zur Speicherung der generierten Daten erörtert. Die derzeitigen Schwachstellen im Rahmen der Organisation und Prozesse Kritischer Infrastrukturen respektive zu besonderen Anlässen im Rahmen kritischer Fälle werden abschließend im Besonderen betrachtet.

3.2.1 Datenbestände und Datenauswertung

Bislang stehen die im Rahmen der Inspektion mithilfe von UAS generierten Daten im Fokus der Betrachtung sowie deren Bewertung im Vergleich mit den Ergebnissen der handnahen Bauwerksprüfung.⁹⁶⁶ Eine Zusammenführung und Vernetzung mit anderen Datenquellen außerhalb der Inspektion wurde in diesem Umfeld bislang nicht diskutiert. Die sinnvolle Kombination der durch den Einsatz von unbemannten Luftfahrzeugsystemen generierten Massendaten mit Daten anderer Quellen, wie z. B. Verwaltungsdaten, Erdbeobachtungsdaten oder Satellitenbilddaten, kann neue Informationsquellen erschließen und einen Mehrwert dieser Daten generieren.⁹⁶⁷

Unter diesem Gesichtspunkt wurden in der Ist-Analyse offene Verwaltungsdaten aus dem Bereich Verkehrswesen gesichtet. Hierzu gehörten die Datenbestände der „mCLOUD“ des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), der „MobilitätsDatenMarktplatz MDM“ der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), das Datenportal für Deutschland „GovData“ des IT-Planungsrates in Hamburg sowie das Open-Data-Portal der Deutschen Bahn AG.⁹⁶⁸ Die Betrachtung hat gezeigt, dass die zum jetzigen Zeitpunkt bereit gestellten offenen Verwaltungsdaten in den oben genannten Rechercheportalen zum einen nur wenige Informationen zum Thema Brücken respektive Ingenieurbauwerke liefern, insbesondere wären die Prüfungs- und Zustandsdaten der Brücken der Straßenbauverwaltungen der Länder relevant, die derzeit noch nicht veröffentlicht sind, zum anderen die vorliegenden Daten für die Inspektion mithilfe von unbemannten Luftfahrzeugsystemen nur bedingt genutzt werden können. Grundsätzlich sind in den Rechercheportalen viele Datensätze mit Dateiformaten gespeichert, welche sich ohne ein zusätzliches Programm nicht öffnen lassen respektive nicht lesbar sind oder ohne konkrete Erläuterungen nicht informativ und daher nicht nutzbar

⁹⁶⁵ Vgl. BMVBS (2013) S. 47; Mölter/Pfeifer/Fiedler (2017) S. 62 ff. Abb. 3.2, 3.3, 3.4; Mölter/Fiedler (2019) S. 379 Abb. 7.2.5.

⁹⁶⁶ Vgl. Morgenthal/Hallermann/Achtelik (2015); Sperber/Gößmann u.a. (2017).

⁹⁶⁷ Vgl. DLR (2018b).

⁹⁶⁸ Vgl. BMVI (2017b) S. 4.

sind. Da in der mCLOUD Daten gespeichert sind, welche zugleich im Open-Data-Portal der Deutschen Bahn AG und in der GovData abrufbar sind, sollte entweder ein Zusammenschluss der diversen Portale angeregt werden oder der Inhalt der Portale sollte in weitere Kategorien differenziert werden, um sich voneinander unterscheiden zu können.

Neben den offenen Verwaltungsdaten können als weitere Datenquellen Luft- und Satellitenbilddaten im Rahmen der Inspektion von Ingenieurbauwerken herangezogen werden. So hat das Raumfahrtmanagement im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) 2018 das erste Symposium in Köln zu Nutzen und Anwendungspotenzialen der Erdbeobachtung veranstaltet, wobei in diesem Zusammenhang die Erdbeobachtung „als wichtige Informationsquelle zu einer unverzichtbaren Infrastruktur der Gesellschaft“ deklariert wurde.⁹⁶⁹ Abgesehen von den frei verfügbaren Satellitenbildern der Datenportale und Dienste des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), stehen u.a. auch Portale der European Space Agency (ESA), der National Aeronautics and Space Administration (NASA), der United States Geological Survey (USGS), des Committee on Earth Observation Satellites (CEOS) der Global Land Cover Facility (GLCF), der National Geospatial-Intelligence Agency (NGA) und des Portals GISGeography zur Verfügung.⁹⁷⁰

Bei der Inspektion von Brücken unter dem Einsatz von unbemannten Luftfahrzeugsystemen können immens große Datenmengen, wie Bilder, Videos oder Messdaten, entstehen, sodass für deren Auswertung Analyseverfahren des Data Science angewendet werden müssen, um damit Informationen aus diesen Daten generieren zu können.⁹⁷¹ Darüber hinaus können diese Datenmassen oft erst in einem Zusammenhang mit anderen Daten Ergebnisse liefern.⁹⁷² Data Science umfasst die Extraktion von Informationen respektive Wissen aus großen Datenmengen und verwendet hierfür sowohl technische Hilfsmittel, wie Datenbanken oder Analysesoftware, als auch theoretische Verfahren, wie Maschinelles Lernen (mathematische Verfahren), Data Mining (analytische Prozesse) und statistische Verfahren.⁹⁷³ Für diese Verfahren sind sowohl individuell zu entwickelnde Software-Applikationen zur Interpretation und Visualisierung der Berechnungs- und Analyseergebnisse notwendig als auch große Speicherkapazitäten erforderlich,⁹⁷⁴ insbesondere unter dem Aspekt, dass mit der stetigen Erweiterung von Einsatzmöglichkeiten der UAS eine neue Dimension der schnellen Datengenerierung entstehen wird.⁹⁷⁵ Um die vielfältigen Inspektionsdaten effizient nutzen zu können, müssen zudem spezielle Methoden zur Analyse und Visualisierung dieser Daten entwickelt sowie Methoden zur Verknüpfung mit bestehenden Daten anderer Quellen, wie z. B. Satellitendaten, erforscht werden.⁹⁷⁶ Darüber hinaus besteht für das Thema der vorliegenden Studie Forschungsbedarf, Techniken zu entwickeln, inwieweit Daten, welche speziell im Rahmen der Inspektion von Brücken generiert werden, als eigene Data Science entwickelt

⁹⁶⁹ Vgl. DLR (2018a).

⁹⁷⁰ Vgl. Mikusch (o.J.a); Baldenhofer (2019) Stichwort: Satellitenbild mit umfangreicher Liste zu Bezugsquellen.

⁹⁷¹ Vgl. Landrock/Baumgärtel (2018) S. 2, S. 49.

⁹⁷² Vgl. Landrock/Baumgärtel (2018) S. 51.

⁹⁷³ Vgl. Oettinger (2017) S. 8, S. 85, S. 87 f.; Desoi (2018) S. 13.

⁹⁷⁴ Vgl. Landrock/Baumgärtel (2018) S. 51.

⁹⁷⁵ Vgl. Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhardt/Moll (2018) S. 227.

⁹⁷⁶ Vgl. Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhardt/Moll (2018) S. 227.

und miteinander verknüpft werden können, um Schadensanalysen und hieraus abzuleitende Instandhaltungsmaßnahmen zu optimieren.

3.2.2 IT-Systeme

In der Ist-Analyse wurde aufgeführt, dass im Rahmen der Instandhaltung der Straßenbrücken mehrere IT-Systeme respektive Datenbanken zur Verfügung stehen. Diese dienen zur Verwaltung und Dokumentation der Daten, welche im Rahmen der Überwachung, Prüfung und Instandsetzung von Bauwerken entstehen und darüber hinaus die Planung und das Management der Instandhaltung unterstützen.⁹⁷⁷ Die digitale Bauwerksprüfung nach DIN 1076 erfolgt mit dem Programmsystem Straßeninformationsbank (SIB-Bauwerke),⁹⁷⁸ welches aus einem Verwaltungsprogramm für die Straßenbauverwaltung und einem externen Erfassungsprogramm für die Bauwerksprüfer besteht.⁹⁷⁹ Darüber hinaus dient das Bauwerk-Management-System (BMS) zur Unterstützung der bundesweiten systematischen Erhaltungsplanung von Brücken und Ingenieurbauwerken.⁹⁸⁰ Unter dem Aspekt, dass bereits im Rahmen von Forschungsprojekten die Inspektion und Wartung von Anlagen und Bauwerken mithilfe von unbemannten Luftfahrzeugsystemen erprobt wurde und Unternehmen Bauwerksprüfungen mithilfe von UAS anbieten, ist bislang noch kein System konzipiert worden, welches die im Rahmen der Inspektion unter dem Einsatz von UAS erhobenen Daten verwaltet und dokumentiert respektive in die vorhandenen Systeme einbindet und den Einsatz von Building Information Modeling (BIM) nutzt. Ein solches System sollte sowohl Informationen zur Flugvorbereitung enthalten, als auch die Flugdurchführung dokumentieren. Die bestehenden Systeme sollten zudem schrittweise durch den Einsatz von Building Information Modeling (BIM) erweitert werden, mit dem die erfassten Daten respektive Bauwerke im Rahmen des Erhaltungsmanagement modellbasiert aufbereitet und strukturiert werden können sowie eine gute Grundlage für die dauerhafte Speicherung von Informationen zu Brückenbauwerken bilden.⁹⁸¹ Hier sind allerdings rechtliche, organisatorische und verwaltungstechnische Aspekte im Rahmen der Einführung von BIM für den Betrieb von Brücken noch zu untersuchen.⁹⁸²

3.2.3 Datenmanagement

Durch den Einsatz von unbemannten Luftfahrzeugsystemen werden große Datenmengen produziert, welche es zu speichern, zu verarbeiten und zu verwalten gilt. Zudem wird sich die Menge der Daten mit der stetig steigenden Auflösung der Kameras und der länger werdenden Flugzeiten zusätzlich erhöhen.⁹⁸³ Hierfür werden die vorhandenen IT-Infrastrukturen der

⁹⁷⁷ Vgl. Mehlhorn/Curbach (2014) S. 1215 ff.

⁹⁷⁸ Vgl. WPM-Ingenieure (o.J.); Mertens (2015) S. 285.

⁹⁷⁹ Vgl. Schnellenbach-Held/Karczewski/Kühn (2014) S. 86; Mertens (2015) S. 294 f.

⁹⁸⁰ Vgl. Mertens (2015) S. 17 ff.

⁹⁸¹ Vgl. Singer/Borrmann (2016) S. 16, S. 22, S. 65, S. 67.

⁹⁸² Vgl. Singer/Borrmann (2016) S. 67.

⁹⁸³ Vgl. Landrock/Baumgärtel (2018) S. 50.

Straßenbauverwaltungen sowie der Deutschen Bahn nicht ausreichen. Mit dem stetigen Wachstum dieser Datenmengen werden daher zukünftig neue Speichertechnologien erforderlich werden. Insbesondere bei Inspektionen in ländlichen Gebieten, wo nicht die erforderlichen Netzwerke mit ausreichender Bandbreite zur Verfügung stehen, muss auf eine direkte IT-Auswertung verzichtet werden.⁹⁸⁴ Dies bedeutet, dass die Daten nach der Erhebung an eine externe IT-Infrastruktur sowohl zu speichern als auch dort mithilfe spezieller Analyseverfahren des Data Science zu verarbeiten sind (Service-Modelle).⁹⁸⁵ Um aus den im Rahmen einer Inspektion generierten Datenmengen den größten Nutzen ziehen zu können, besteht allerdings Bedarf an einer Datenbank, welche speziell auf die Verwaltung von Daten der Inspektion von Brücken ausgerichtet ist, mit der diese zugleich ausgewertet werden können.

3.2.4 Kritische Infrastrukturen

Im Folgenden werden die derzeitigen Schwachstellen im Rahmen der Organisation und Prozesse Kritischer Infrastrukturen sowie zu besonderen Anlässen in kritischen Fällen im Besonderen skizziert.

In den Verbundprojekten „Schutz kritischer Brücken und Tunnel im Zuge von Straßen“ (SKRIBT und SKRIBT^{Plus}) wurden im Rahmen von Forschungsarbeiten für die als kritisch erkannten Brückentypen bautechnische, betriebstechnische und organisatorische Schutzmaßnahmen sowie Empfehlungen für Eigentümer, Betreiber und Einsatzdienste in Abhängigkeit der Gefahrenlage in einem Leitfaden zusammengefasst, wobei für jede konkrete Gefahr im Wesentlichen bauliche Maßnahmen bestimmt wurden, die zur Prävention geeignet sind.⁹⁸⁶ Maßnahmen zum Aufbau eines Krisenmanagements sowie zielgerichtete Maßnahmen zur Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit der Kritischen Infrastruktur wurden bislang nicht spezifisch für Brücken und Ingenieurbauwerke untersucht. Das für die Bauwerksprüfung verwendete Programmsystem Straßeninformationsbank (SIB-Bauwerke)⁹⁸⁷ enthält u.a. Maßnahmenempfehlungen, welche datentechnisch mit den Schäden des Bauwerks verknüpft werden, um so die Art und Dringlichkeit der Maßnahmen zu erfassen.⁹⁸⁸ Hier wird die Einbindung des Building Information Modeling (BIM) empfohlen, um Schäden der Bauwerke als 3D-Modell noch präziser ermitteln zu können.⁹⁸⁹ Wie in Kapitel 3.1.2 bereits erwähnt, liegen allerdings noch keine BIM-Modelle im Programmsystem SIB-Bauwerke vor. Allerdings konnte in der Pilotstudie zum Thema „Unterstützung der Bauwerksprüfung durch innovative digitale Bildauswertung“ bereits verifiziert werden, dass grundsätzlich die im Rahmen der Befliegung generierten Daten mittels einer Photosoftware (Agisoft Photoscan) und dem SfM⁹⁹⁰-Verfahren (Fotogrammetrie) in 3D-Modelle überführt und z. B. in BIM-

⁹⁸⁴ Vgl. Landrock/Baumgärtel (2018) S. 50 f.

⁹⁸⁵ Vgl. Landrock/Baumgärtel (2018) S. 51.

⁹⁸⁶ Vgl. SKRIBT Schlussbericht (o.J.) S. 22 ff., S. 70 f.

⁹⁸⁷ Vgl. WPM-Ingenieure (o.J.); Mertens (2015) S. 285.

⁹⁸⁸ Vgl. Mertens (2015) S. 295 f.

⁹⁸⁹ Vgl. Singer/Bormann (2016) S. 65.

⁹⁹⁰ Structure from motion.

Softwaresysteme exportiert werden können.⁹⁹¹ Die Software eignet sich aufgrund der Bildqualität zurzeit aber noch nicht für die Bedürfnisse der Bauwerksprüfung (vgl. Kap. 3.1.1).⁹⁹²

Sonderprüfungen, welche aus besonderem Anlass respektive im Falle kritischer Situationen erfolgen, dienen dazu, zielgerichtete Maßnahmen abzuleiten, um die Funktionsfähigkeit einer Brücke aufrechterhalten respektive wiederherstellen zu können.⁹⁹³ Als weitere Untersuchung wird die „Objektbezogene Schadensanalyse (OSA)“ angewandt, wenn das Ausmaß des Schadens nicht ausreichend ermittelt werden kann.⁹⁹⁴ Der Einsatz von UAS als ergänzende Prüfmethode im Rahmen der Sonderprüfungen, um zeitnah ein umfassendes Lagebild der kritischen Situation einschätzen und damit gezielt und schneller Maßnahmen zur Wiederherstellung der Betriebsfähigkeit des Bauwerks erreichen zu können,⁹⁹⁵ ist, vergleichbar zu den anderen Prüfungsarten, noch nicht in einem Standard festgelegt. Somit ist derzeit ein routinierter Ablauf mit UAS hinsichtlich der Planung, Durchführung und Bewertung der Datenergebnisse nicht gewährleistet.⁹⁹⁶ Wie bei der Inspektion im Rahmen der Hauptprüfungen und einfachen Prüfungen kann der Einsatz von UAS (Coptern) die Sonderprüfungen zwar unterstützen und damit optimieren, aber aufgrund der derzeitigen Technologie der UAS noch nicht ersetzen.⁹⁹⁷ Hierfür bedarf es insbesondere weiterer Entwicklungen in der Fluggerätektechnik und -navigation, da der Einsatz von UAS noch sehr stark vom Wetter, von der Windstabilität sowie vom KP Index ≤ 4 ⁹⁹⁸ abhängig ist und somit die Verfügbarkeit derzeit eingeschränkt ist.⁹⁹⁹

3.3 Bewertung der Kostensenkungspotenziale

Die Gegenüberstellung einer präzisen Kostenaufstellung zwischen einer handnahen Bauwerksprüfung und einer Inspektion unter dem Einsatz von unbemannten Luftfahrzeugsystemen wird im Rahmen der vorliegenden Studie nicht erfolgen können. Hierfür müssten an einem Referenzbauwerk beide Prüfungsmethoden angewandt und anschließend die Kosten der Prüfung gegenübergestellt werden. Darüber hinaus ist anzumerken, dass die Inspektion durch den Einsatz von UAS zwar optimiert wird, aber die handnahe Bauwerksprüfung noch nicht ersetzen kann, was bedeutet, dass derzeit zwei Prüfungsmethoden parallel laufen. Unter diesem Aspekt ist derzeit von zusätzlichen Kosten auszugehen, umso mehr, als für eine effiziente und effektive Inspektion mit UAS zunächst Investitionsausgaben (CAPEX)¹⁰⁰⁰ entstehen, wobei neben der Anschaffung der UAS sowie deren dazugehörige Ausstattung zusätzliche laufende Betriebskosten (OPEX),¹⁰⁰¹ insbesondere IT-Kosten, verursacht werden.

⁹⁹¹ Vgl. Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 25 f.

⁹⁹² Vgl. Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 65.

⁹⁹³ Vgl. BMVBS (2013) S. 25 ff.; Geißler (2014) S. 1159; Mertens (2015) S. 21 f., S. 123 f.

⁹⁹⁴ Vgl. DIN 1076 (1999); BMVBS (2013) S. 25, S. 28; Geißler (2014) S. 1159; Mertens (2015) S. 20, S. 136 ff.

⁹⁹⁵ Vgl. Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 3, S. 57.

⁹⁹⁶ Vgl. Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 65.

⁹⁹⁷ Vgl. Morgenthal/Hallermann/Achtelik (2015) S. 54 ff., S. 91 ff., S. 127 f.; Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 3, S. 56 f.

⁹⁹⁸ Vgl. Landrock/Baumgärtel (2018) S. 15.

⁹⁹⁹ Vgl. Landrock/Baumgärtel (2018) S. 15.

¹⁰⁰⁰ Capital Expenditure.

¹⁰⁰¹ Operational Expenditure.

Im Rahmen der Einleitung wurde bereits dargelegt, dass die Kosten der handnahen Bauwerksprüfung insbesondere von folgenden Faktoren beeinflusst werden: Brückenfläche, Größe, Lage, Bauart, Baustoff, Alter, Zustand und Ausstattung des Ingenieurbauwerks, kreuzende Verkehrswege und Gewässer, Anfahrtswege, Arten der Besichtigungsgeräte und schließlich Einrichtung der Verkehrssicherung.¹⁰⁰²

Daraus lässt sich ableiten, dass zunächst folgende zeit- und kostenverursachende Faktoren im Bereich der OPEX bei einer Inspektion mit UAS entfallen respektive begrenzt werden:

- Besichtigungsgeräte, welche für die handnahe Bauwerksprüfung angemietet und aufgebaut werden müssen
- Einrichtungen von Verkehrssicherungen
- Stillstandzeiten¹⁰⁰³

Bei dem Kostenfaktor Besichtigungsgeräte ist für die Zukunft zu prüfen, inwieweit ortsfeste Einrichtungen für Inspektionen durch UAS eingerichtet werden müssen, um eine optimale Prüfung zu gewährleisten, und inwieweit ortsveränderliche und stationäre Einrichtungen grundsätzlich entfallen oder entsprechend der UAS ausgerichtet werden müssen.

Da die Stundensätze für Bauwerksprüfungingenieure und Assistenten im Rahmen der handnahen Prüfung von Ingenieurbauwerken an Straßen und Wegen von den Ingenieurbüros sehr unterschiedlich angesetzt wurden, hat der VFIB 2016 eine erste Ausgabe der „Empfehlung zur Leistungsbeschreibung, Aufwandsermittlung und Vergabe von Leistungen der Bauwerksprüfung nach DIN 1076“ herausgegeben.¹⁰⁰⁴ Der VFIB empfiehlt auf Grundlage des „Tarifvertrags für den öffentlichen Dienst der Länder“ und in Anlehnung an die „Richtlinie zur Ermittlung der Vergütung für die statische und konstruktive Prüfung von Ingenieurbauwerken für Verkehrsanlagen (RVP)“ als Stundensatz für den Ingenieur 79,- €/h und für den Assistenten 60,- €/h (Stand 01/2018). Der Gesamtzeitaufwand setzt sich zusammen aus dem Aufwand der erforderlichen Leistungen (Grundleistungen), wozu die Vorbereitung inkl. Fahrtzeit und Besprechung mit dem Auftraggeber, Durchführung, Auswertung und Dokumentation der Bauwerksprüfung gehören,¹⁰⁰⁵ und dem Aufwand möglicher bauwerksspezifischer zusätzlicher Leistungen (Besondere Leistungen) für Hauptprüfungen und einfache Prüfungen.¹⁰⁰⁶ Die weiteren Leistungen zur Durchführung der Bauwerksprüfung (Hilfeleistungen), wie Verkehrssicherung, Zugangstechnik, Reinigung und Rückbau von Abdeckungen, sind vom Auftraggeber auszuführen und entsprechend bei der Vergabe zu benennen.¹⁰⁰⁷

Die Anschaffungskosten für UAS sind abhängig von deren Typ, Anwendung und Ausstattung, wie Aufnahmegereäte, Sensorik und Software. Zusätzlich kommen laufende Betriebskosten der UAS, wie Akkus, Wartung, Versicherungen und Genehmigungen, hinzu. Die

¹⁰⁰² Vgl. BMVBS (2013) S. 61, S. 67; Weber (2013) S. 59; Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 55 f.

¹⁰⁰³ Vgl. Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 56; Landrock/Baumgärtel (2018) S. 75.

¹⁰⁰⁴ Vgl. Reibetanz/Schindler (2016) S. 56, S. 60 f.; VFIB (2017) Teil I S. 9.

¹⁰⁰⁵ Vgl. Reibetanz/Schindler (2016) S. 60; VFIB (2017) Teil II u. III (Hauptprüfung und einfache Prüfung).

¹⁰⁰⁶ Vgl. Reibetanz/Schindler (2016) S. 57; VFIB (2017) Teil I S. 7 ff.

¹⁰⁰⁷ Vgl. Reibetanz/Schindler (2016) S. 57.

Kalkulation der Kosten beim Einsatz eines UAS hängt auch davon ab, wie häufig das smarte Fluggerät im Rahmen der Inspektion zum Einsatz kommen soll und welches zusätzliche Personal benötigt wird, z. B. externe Copterpiloten, Personal für Datenerfassung und -auswertung.¹⁰⁰⁸ Alternativ können UAS gemietet werden, wobei deren Anschaffungs- und laufende Betriebskosten entfallen (drone as a service),¹⁰⁰⁹ was zudem den Vorteil hat, dass neueste technologische Geräte eingesetzt werden können. In diesem Fall stehen allerdings andere Betriebskosten (OPEX), insbesondere IT-Kosten, an, welche die bisherigen Investitionen der IT (CAPEX), wie Server oder Serverräume, ersetzen:

- Externe Cloud-Dienste¹⁰¹⁰
- Software as a service (z. B. modulare Software für Planung, Befliegung, Analyse)
- Platform as a service (Datenbankverwaltung/Datenverarbeitung)
- Infrastructure as a Service (Speicherkapazitäten)

Die Nutzung externer Cloud-Dienste bedeutet, dass die durch UAS generierten Daten auf einem fremden Server mittels einer Cloud-Software gespeichert, berechnet und bereitgestellt werden. Hierbei fallen Kosten für die Verwendung der Cloud-Software respektive Datenbank sowie für die Auswertung der Daten (Data Science) an. Bei der Speicherung von Daten auf einem fremden Server ist allerdings auf die unbefugte Verfügbarmachung der Daten für Dritte zu achten. Die Speicherung und Aufbereitung der Daten auf einer eigenen IT-Struktur erfordert neben hohen Rechnerkapazitäten spezielle Software sowie Know-how für die Datenanalyse (Data Science).¹⁰¹¹ Dies bedeutet allerdings zunächst die kostenintensive Einrichtung einer IT-Struktur, welche eine Einbindung oder Erweiterung der bisherigen Systeme und die Einbindung von BIM ermöglichen muss.

Grundsätzlich sind demnach sowohl die Kosten während der Befliegung respektive handnahen Bauwerksprüfung als auch die Kosten im Rahmen der Auswertung der Daten zu berücksichtigen.

In der Literatur zum Thema der Anwendung von Coptern in der Industrie wurde ein erster Versuch unternommen, Kostenfaktoren der Anschaffung und des Einsatzes von Coptern aufzuzeigen, wobei die Kosten für die Auswertung der generierten Daten nicht berücksichtigt wurden.¹⁰¹² Um die veranschlagten Kosten eines Einsatzes mit einem Copter zu verdeutlichen, wurden sie mit den Kosten anderer Einsatzmethoden, wie die Dienstleistung „drone as a service, Helikopter, Kräne/Hubsteiger und Kletterer, gegenübergestellt. Als Basis wurden folgende Kosten einkalkuliert: Anschaffungskosten respektive Miet- oder Honorarkosten, Personalkosten, Verfügbarkeit des Einsatzgerätes oder Kletterers, Höhe des Bauwerks, Nebenkosten, wie z. B. Genehmigungen, und Stillstandzeiten der zu prüfenden Infrastruktur.

¹⁰⁰⁸ Vgl. Landrock/Baumgärtel (2018) S. 74 f.

¹⁰⁰⁹ Vgl. Landrock/Baumgärtel (2018) S. 74 f.

¹⁰¹⁰ Vgl. Schneider/Sunyaev (2015) S. 7 f.

¹⁰¹¹ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 328 f.

¹⁰¹² Vgl. Landrock/Baumgärtel (2018) S. 75 f.

Anschaffungs-, Miet-, Honorarkosten

Die Anschaffungskosten für einen Copter betragen je nach Typ, Anwendung und Ausstattung zwischen 8.000 € und 50.000 €. ¹⁰¹³ Für kommerzielle Einsätze werden allerdings UAS von Marktführern, wie Ascending Technologies, eingesetzt, welche deutlich preisintensiver sind, sodass die Preisspanne von 20.000 € bis 50.000 € allein in der Grundausstattung (Fluggerät) liegt. Hinzu kommen zusätzliche Kosten der einsatzspezifischen Aufnahmegeräte (Foto-, Video oder Thermalkameras) sowie weitere Ausstattungsgegenstände, ¹⁰¹⁴ welche mit einer Höhe von 10.000 € einzukalkulieren sind. Im Vergleich dazu wird der Service „drone as a service“ mit einem Stundensatz ab 150,- € berechnet, abhängig von dem eingekauften Paket, wie z. B. Genehmigungskosten und Bildbearbeitung. Der Einsatz eines Helikopters wird mit einem Stundensatz ab 500,- € angesetzt, abhängig von der Anreise sowie Lande- und Startmöglichkeiten. Für den Einsatz eines Krans/Hubsteigers wird ein Stundensatz von 80,- € berechnet, zzgl. der Kosten für die Einrichtung, den Auf- und Abbau sowie den Transport. Schließlich beträgt der Stundensatz eines Kletterers ab 50,- €, wobei die Anzahl des Personals und die Anfahrtkosten zusätzlich zu berücksichtigen sind. ¹⁰¹⁵

Personalkosten

Beim Einsatz eines Copters ist ein geschulter Copter-Pilot zum Steuern des Fluggeräts Voraussetzung, der gemäß der Luftverkehrsordnung (LuftVO) Kenntnissnachweise zu erbringen hat. ¹⁰¹⁶ Bei der Dienstleistung „drone as a service“ ist das Personal im Paket mit inbegriffen. Beim Einsatz eines Helikopters, Krans/Hubsteigers oder Kletterers liegen die Personalkosten deutlich höher, da weiteres eigenes Personal eingesetzt werden muss oder externe Dienstleister zu beauftragen sind, wie z. B. neben dem Piloten Personal für die Bildaufnahmen. ¹⁰¹⁷

Verfügbarkeit

Der Einsatz von UAS ist derzeit noch sehr stark vom Wetter, der Windstabilität sowie vom KP Index ≤ 4 ¹⁰¹⁸ abhängig, was bedeutet, dass nur kurzfristige Planungen möglich sind. Dies würde bei dem zunächst geplanten Einsatz von UAS im Rahmen von Sonderprüfungen im Falle einer schlechten Wetterlage ein Ausfall der Prüfmethode bedeuten. Die Verfügbarkeit eines Krans/Hubsteigers wird als gut eingeschätzt, während der Einsatz eines Helikopters oder Kletterers langfristig geplant werden muss, da er von der Verfügbarkeit des Anbieters abhängt. ¹⁰¹⁹ Unter diesem Aspekt ist bei dem Einsatz von UAS zu berücksichtigen, dass die Flugtage im Gegensatz zu anderen Methoden derzeit begrenzt und die Einsätze nicht langfristig planbar sind.

¹⁰¹³ Vgl. Landrock/Baumgärtel (2018) S. 75.

¹⁰¹⁴ Vgl. Morgenthal/Hallermann/Achtelik (2015) S. 12.

¹⁰¹⁵ Vgl. Landrock/Baumgärtel (2018) S. 75.

¹⁰¹⁶ Vgl. § 21a (4), § 21d LuftVO (2017); Dieckert/Eich (2018) S. 365 ff.; Giemulla/van Schyndel/Friedl (2018) S. 34 ff.

¹⁰¹⁷ Vgl. Landrock/Baumgärtel (2018) S. 75.

¹⁰¹⁸ Vgl. Landrock/Baumgärtel (2018) S. 15.

¹⁰¹⁹ Vgl. Landrock/Baumgärtel (2018) S. 15.

Höhe

Die Aufstiegshöhe von UAS kann mit einer Einzelaufstiegsgenehmigung jeweils bis zu 1.000 m betragen, bei einem Helikopter bis zu 2.000 m und bei einem Kran 30 m.¹⁰²⁰

Nebenkosten

Zu den Nebenkosten eines Coptereinsatzes gehören Genehmigungen, welche je nach Bundesland zwischen 120 € und 200 € betragen, Akkus, Schulungen des Steuerers und Versicherungen. Diese Kosten sind im Rahmen der Dienstleistung „drone as a service“ im vereinbarten Stundensatz bereits enthalten. Für den Einsatz von Helikoptern sind ebenfalls Genehmigungen erforderlich. Der Einsatz eines Krans/Hubsteigers respektive Kletterers verursacht Kosten bezüglich der Sicherheit (Absperrungen, Verkehrssicherungen), Ausrüstung für das Personal sowie zusätzlichen Personals für den Auf- und Abbau.¹⁰²¹ In diesem Rahmen liegen die Nebenkosten bei einem Einsatz von Coptern deutlich niedriger als bei herkömmlichen Methoden.

Stillstandzeiten

Stillstandzeiten der zu prüfenden Anlage sind beim Einsatz eines Helikopters, Krans/Hubsteigers oder Kletterers in der Regel erforderlich, beim Einsatz von UAS nicht oder nur begrenzt notwendig,¹⁰²² sodass hier ebenfalls von einem Kostensenkungspotenzial auszugehen ist.

Betriebskosten für UAS

Neben dem Kostenvergleich verschiedener Einsatzmethoden wurde in der Literatur zum Thema des Einsatzes von UAS in der Industrie eine Kalkulation der Betriebskosten vorgenommen.¹⁰²³ So wurde festgestellt, dass, abhängig von der Höhe der Anschaffungskosten des Copters, täglich zwischen 10,- bis 20,- € bei einem Anschaffungswert von 8.000 €, 23,- bis 45,- € bei einem Anschaffungswert von 25.000 € und 40,- bis 81,- € bei einem Anschaffungswert von 50.000 € anfallen.¹⁰²⁴ Darüber hinaus sind zusätzlich je nach Einsatz Personalkosten für den Copterpiloten, Fahrt- und Reisekosten, deren Höhe vom Einsatzort abhängt, sowie Kosten für die Einzelaufstiegsgenehmigungen zu berücksichtigen.¹⁰²⁵

¹⁰²⁰ Vgl. Landrock/Baumgärtel (2018) S. 75.

¹⁰²¹ Vgl. Landrock/Baumgärtel (2018) S. 75.

¹⁰²² Vgl. Landrock/Baumgärtel (2018) S. 75.

¹⁰²³ Vgl. Landrock/Baumgärtel (2018) S. 75 f.

¹⁰²⁴ Vgl. Landrock/Baumgärtel (2018) S. 76.

¹⁰²⁵ Vgl. Landrock/Baumgärtel (2018) S. 76.

3.4 Datenschutz und Datensicherheit

Im Folgenden werden die Aspekte Datenschutz und Datensicherheit sowie Data Science im Umfeld von UAS thematisiert, welche untrennbar mit der Datengenerierung und Datenanalyse verbunden sind.

3.4.1 Terminologie

Bislang liegt keine einheitliche Begriffsverwendung für unbemannte Fluggeräte vor,¹⁰²⁶ welche insbesondere auch nicht in den Gesetzestexten angewandt wird. Während im Luftverkehrsgesetz (LuftVG) und in der europäischen Verordnung für die Zivilluftfahrt und Flugsicherheit der Begriff Luftfahrzeug Anwendung findet,¹⁰²⁷ wird sowohl in der Luftverkehrsordnung (LuftVO) als auch in der Luftverkehrs-Zulassungs-Ordnung (LuftVZO) die Bezeichnung Luftfahrtsystem verwendet.¹⁰²⁸ Hier sollte eine einheitliche Regelung gemäß der DIN 5452-1 angestrebt werden, welche wie die ICAO den Begriff Luftfahrzeugsystem definiert und eingeführt hat,¹⁰²⁹ und im Rahmen des Luftverkehrsgesetzes verankert werden. Darüber hinaus ist die umgangssprachliche Bezeichnung „Drohne“ im gesetzlichen Umfeld, wie es z. B. im Rahmen der „neuen Drohnenverordnung“ erfolgt ist,¹⁰³⁰ insofern problematisch, als mit diesem Begriff in erster Linie Copter assoziiert werden, welche nicht das gesamte Spektrum von unbemannten Luftfahrzeugsystemen abdecken.

3.4.2 Unbemannte Luftfahrzeugsysteme und Datenschutz

Neben der bislang uneinheitlichen Begriffsverwendung unbemannter Fluggeräte im Luftverkehrsgesetz (LuftVG), in der Luftverkehrsordnung (LuftVO) und der Luftverkehrs-Zulassungs-Ordnung (LuftVZO) ist als weiterer Aspekt die Verankerung des Datenschutzes in der LuftVO im Zusammenhang mit der Erlaubnispflicht von unbemannten Luftfahrtsystemen anzuführen.

Trotz der neuen Verordnung zur Regelung des Betriebs von unbemannten Fluggeräten, welche u.a. ausdrücklich den Schutz der Privatsphäre verbessern soll, wird in der Luftverkehrsordnung (LuftVO) der Datenschutz lediglich im Rahmen der Betriebserlaubnis insofern erwähnt, als der „beabsichtigte Betrieb von unbemannten Fluggeräten nach Absatz 1 und die Nutzung des Luftraums nicht zu einer Gefahr für die Sicherheit des Luftverkehrs oder die öffentliche Sicherheit oder Ordnung, insbesondere zu einer Verletzung der Vorschriften über den Datenschutz und über den Naturschutz, führen“.¹⁰³¹

¹⁰²⁶ Vgl. Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhardt/Moll (2018) S. 37.

¹⁰²⁷ Vgl. LuftVG (2017); Verordnung EU (2018a).

¹⁰²⁸ Vgl. LuftVZO (2017); LuftVO (2017).

¹⁰²⁹ Vgl. DIN 5452-1 (2018).

¹⁰³⁰ Vgl. BMVI (2017a).

¹⁰³¹ Vgl. § 21 a (3) Nr. 1 LuftVO (2017).

Einer Betriebserlaubnis bedürfen unbemannte Luftfahrtsysteme mit einem Gewicht von mehr als 5 kg, mit Raketenantrieb, sofern die Masse des Treibsatzes über 20 g beträgt, mit Verbrennungsmotor, die in einer Entfernung von weniger als 1,5 km von Wohngebieten betrieben werden, sowie alle unbemannten Luftfahrtsysteme in einer Entfernung von weniger als 1,5 km von der Begrenzung von Flugplätzen und bei Nacht.¹⁰³² Alle anderen unbemannten Luftfahrtsysteme und Flugmodelle bedürfen keiner Erlaubnis, sind aber im juristischen Sinne ebenfalls dem Datenschutz unterworfen, wenn damit (Bild-)Daten erhoben werden. Insbesondere Copter, welche unter 5 kg wiegen können und bereits für verschiedenste Einsätze verwendet werden, werden durch die gesetzlichen Regelungen in der LuftVO nicht erfasst. Dies erscheint umso dringlicher, als deren Einsatzmöglichkeiten künftig weiter ausgebaut werden sollen. Zudem ist zu berücksichtigen, dass aufgrund der rasanten technologischen Weiterentwicklung kommerziell genutzte UAS zukünftig leichter sein werden und eine Einteilung der Luftfahrzeugsysteme nach Gewichtsklassen im Gesetz zu überdenken ist.

Darüber hinaus ist die nach der Luftverkehrs-Zulassungs-Ordnung (LuftVZO) verpflichtende sichtbare Anbringung einer Plakette („feuerfeste Beschriftung“) mit Namen und Anschrift des Eigentümers¹⁰³³ mit den Richtlinien der DSGVO nicht vereinbar, da mit dieser Pflicht personenbezogene Daten offen gelegt werden.¹⁰³⁴ Hier bedarf es insofern einer gesetzlichen Änderung, als die Kennzeichnungspflicht in einer anderen Form, z. B. vergleichbar mit Kennzeichen von Kraftfahrzeugen, ermöglicht werden sollte.

Personenbezogene Daten

Die Nutzung der unbemannten Luftfahrzeugsysteme (UAS) dient neben dem Transport vor allem der Informationsbeschaffung bzw. (Bild-)Datenerfassung, welche während des Flugs erfolgt.¹⁰³⁵ Die Verarbeitung respektive Erhebung von Daten bzw. Bilddaten unterliegt dem Datenschutz, sofern es sich um personenbezogene Daten handelt.¹⁰³⁶ Gemäß der LuftVO darf während des Betriebs der unbemannten Luftfahrzeugsysteme der Datenschutz nicht verletzt werden.¹⁰³⁷

Im Rahmen einer Inspektion von Brücken geht es in erster Linie um die zielgerichtete bildliche Erfassung und Dokumentation des Ist-Zustandes eines Ingenieurbauwerks, wobei als zufälliges Nebenprodukt Aufnahmen von Personen entstehen können.¹⁰³⁸ Diese dürfen dann allerdings, auch wenn sie zufällig und nicht beabsichtigt waren, keinem Dritten zugänglich gemacht werden,¹⁰³⁹ und sind darüber hinaus gemäß Art. 17 DSGVO zu löschen.¹⁰⁴⁰

¹⁰³² Vgl. § 21 a (1) LuftVO (2017).

¹⁰³³ Vgl. § 19 (3) LuftVZO (2017); Dieckert/Eich (2018) S. 356.

¹⁰³⁴ Vgl. Art. 4 (1) DSGVO (2016).

¹⁰³⁵ Vgl. EASA (2015); Dieckert/Eich (2018) S. 404.

¹⁰³⁶ Vgl. Klein (2017) S. 5 ff.; Dieckert/Eich (2018) S. 407 ff.

¹⁰³⁷ Vgl. § 21 a (3) Nr. 1 LuftVO (2017).

¹⁰³⁸ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 412.

¹⁰³⁹ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 413, S. 416.

¹⁰⁴⁰ Vgl. Art. 7 DSGVO (2016); Dieckert/Eich (2018) S. 416.

So gilt nach der DSGVO, dass eine Verarbeitung respektive Erhebung von Bilddaten zur Wahrung der berechtigten Interessen des Verantwortlichen erforderlich ist und damit rechtmäßig, sofern nicht die Interessen und Persönlichkeitsrechte betroffener Personen überwiegen.¹⁰⁴¹ Damit ist mindestens eine Bedingung der Rechtmäßigkeit der Verarbeitung personenbezogener Daten erfüllt. Die Einholung einer Einwilligung, welche an den Zweck der Erhebung gebunden ist, ist im Rahmen von Flugeinsätzen in der Regel kaum realisierbar, wenn im Voraus nicht absehbare Flächen überflogen werden, in denen sich Personen im Aufnahmebereich befinden können.¹⁰⁴² Hier ist zu prüfen, inwieweit dies gesetzlich speziell für den Betrieb von UAS geregelt werden kann.

Neben der Zweckbindung gehört zu den Grundsätzen der Datenverarbeitung die Datenminimierung, wonach der Zweck der Verarbeitung personenbezogener Daten auf das notwendige Maß zu beschränken ist.¹⁰⁴³ In diesem Rahmen hat der Verantwortliche gemäß Art. 25 DSGVO geeignete technische und organisatorische Maßnahmen zu ergreifen.¹⁰⁴⁴ Auch zum Schutz der Daten sind nach Art. 32 DSGVO technische und organisatorische Vorkehrungen zu treffen,¹⁰⁴⁵ welche bereits in der Entwicklung der UAS respektive deren Systeme einzuplanen sind, da die Qualität digitaler Geräte bzw. Systeme zunehmend durch deren Sicherheit definiert werden wird.

Nicht personenbezogene Daten

Der Umgang mit nicht personenbezogenen Daten wurde bislang im Datenschutzgesetz nicht erfasst. Mit der seit dem 14. November 2018 geltenden Verordnung „über einen Rahmen für den freien Verkehr nicht-personenbezogener Daten in der Europäischen Union“ werden die neuen digitalen Technologien, wie Künstliche Intelligenz (KI), das Internet der Dinge (IoT) sowie autonome Systeme berücksichtigt.¹⁰⁴⁶ Zu den autonomen Systemen sind auch unbemannte Luftfahrzeugsysteme zu nennen, welche elektronische nicht personenbezogene Daten generieren. Aufgrund der kontinuierlichen Weiterentwicklung der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) sowie der zunehmenden Digitalisierung wird nicht nur das Volumen der (Massen-)Daten, wie u.a. durch unbemannte Luftfahrzeugsysteme, ansteigen,¹⁰⁴⁷ sondern mit der stetigen Erweiterung von Einsatzmöglichkeiten von unbemannten Luftfahrzeugsystemen wird auch eine neue Dimension der schnellen personen- und insbesondere nicht personenbezogenen Datengenerierung entstehen.¹⁰⁴⁸ Bislang wird der Fokus des Datenschutzes im Zusammenhang mit dem Einsatz von unbemannten Luftfahrzeugsystemen lediglich auf die Persönlichkeitsrechte im Rahmen der Aufnahme von Bilddaten gelenkt.¹⁰⁴⁹

¹⁰⁴¹ Vgl. Art. 6 (1) lit. (f) DSGVO (2016); Dieckert/Eich (2018) S. 411 ff.

¹⁰⁴² Vgl. Art. 6 (1) lit (a) DSGVO (2016); Dieckert/Eich (2018) S. 409 ff.

¹⁰⁴³ Vgl. Art. 5 (1) lit. (a, c) DSGVO (2016).

¹⁰⁴⁴ Vgl. Art. 25 DSGVO (2016); Dieckert/Eich (2018) S. 415 f.

¹⁰⁴⁵ Vgl. Art. 32 DSGVO (2016); Dieckert/Eich (2018) S. 416.

¹⁰⁴⁶ Vgl. ErWG (1) Verordnung EU (2018b).

¹⁰⁴⁷ Vgl. Aichele/Schönberger (2017) S. 506 f.; BVDW (2018) S. 7.

¹⁰⁴⁸ Vgl. Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhardt/Moll (2018) S. 227.

¹⁰⁴⁹ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 407 ff.; Landrock/Baumgärtel (2018) S. 37, S. 39.

Da bei gemischten Datensätzen, welche aus personenbezogenen und nicht personenbezogenen Daten bestehen können, und in diesem Fall sowohl die DSGVO als auch die neue Verordnung gelten,¹⁰⁵⁰ aus anonymisierten Daten durch Analyseverfahren, wie Künstliche Intelligenz (KI) oder Maschinelles Lernen, personenbezogene Daten generiert werden können, gilt für diese Daten wiederum die DSGVO.¹⁰⁵¹ Wenn allerdings beide Arten von Daten untrennbar miteinander verbunden sind, gilt die neue Verordnung.¹⁰⁵²

Der Aspekt der gemischten Datensätze bezüglich der Entwicklung der Technik und Märkte, welche zu einer erweiternden Deanonymisierung von Daten führen kann, muss spätestens bis zum Jahre 2022 erneut geprüft werden.¹⁰⁵³

3.4.3 Satellitendatensicherheitsgesetz

Viele satellitengestützte Erdbeobachtungsdaten und -produkte unterliegen keiner einheitlichen Datenpolitik, sondern sind uneingeschränkt nutzbar. Während deutsche hochauflösende Erdbeobachtungsdaten (TanDEM-X, Terra-SAR-X) dem Satellitendatensicherheitsgesetz (SatDSiG) unterliegen, wobei Betreiber von Satelliten als auch Anbieter der Satellitendaten das SatDSiG zu beachten haben, wird bei Missionen mit Partnerorganisationen die Datenpolitik aller Vertragspartner berücksichtigt.¹⁰⁵⁴

Nach dem Satellitendatensicherheitsgesetz bedarf der Betrieb eines hochwertigen Erdfernerkundungssystems der Genehmigung.¹⁰⁵⁵ Diese wird u.a. erteilt, wenn „die Übermittlung der Daten durch das Orbital- oder Transportsystem an ein Bodensegment des Betreibers“ oder Datenanbieters, „die Übermittlung der Daten zwischen verschiedenen Standorten des Bodensegments des Betreibers und die Übermittlung der Daten vom Betreiber an“ einen Datenanbieter durch entsprechende IT-Sicherheitsmaßnahmen, welche durch das BSI geprüft und für geeignet erklärt wurden, geschützt ist.¹⁰⁵⁶ Außerdem hat der Betreiber technische und organisatorische Maßnahmen (vgl. DSGVO Art. 32) zu treffen, um sowohl den Zugang zu den Anlagen und Betriebsräumen als auch den Zugang zur Verarbeitung und Speicherung der Daten durch Unbefugte zu verhindern.¹⁰⁵⁷ Darüber hinaus wird die Genehmigung nur erteilt, wenn die Übermittlung und Verbreitung der Daten durch das Satellitensystem im Bundesgebiet hergestellt werden und diese durch Sicherheitsmaßnahmen, welche durch das BSI geprüft wurden, gegen eine Veränderung durch Dritte geschützt werden.¹⁰⁵⁸ Der Betreiber eines Satellitensystems hat der zuständigen Behörde zu melden, an welche Datenanbieter er Daten übermittelt.¹⁰⁵⁹

¹⁰⁵⁰ Vgl. ErwG (10), Art. 2 (2) Verordnung EU (2018b); Piltz (2018).

¹⁰⁵¹ Vgl. ErwG (9) Verordnung EU (2018b); Piltz (2018).

¹⁰⁵² Vgl. Art. 2 (2) Verordnung EU (2018b); Piltz (2018).

¹⁰⁵³ Vgl. Art. 8 (1a) Verordnung EU (2018b).

¹⁰⁵⁴ Vgl. Zwenzner (o.J.); Baldenhofer (2019) Stichwort: Satellitendatensicherheitsgesetz (SatDSiG).

¹⁰⁵⁵ Vgl. § 3 (1) SatDSiG (2017).

¹⁰⁵⁶ Vgl. § 4 (3) SatDSiG (2017).

¹⁰⁵⁷ Vgl. § 4 (4) SatDSiG (2017).

¹⁰⁵⁸ Vgl. § 4 (2) SatDSiG (2017).

¹⁰⁵⁹ Vgl. § 6 (2) SatDSiG (2017).

Im Satellitendatensicherheitsgesetz (SatDSiG) wird damit die Erteilung der Genehmigung für den Betrieb eines hochwertigen Erdfernerkundungssystems von dem Umgang der Übermittlung und Verbreitung der generierten Daten abhängig gemacht. Darüber hinaus unterscheidet dieses Gesetz zwischen dem Betreiber der Satellitenanlage und dem Datenanbieter.

In der Luftverkehrsordnung (LuftVO) bezieht sich die Betriebserlaubnis unbemannter Luftfahrzeugsysteme lediglich auf das Fluggerät als solches hinsichtlich des Gewichtes, des Motors und des Flugraums.¹⁰⁶⁰ Darüber hinaus darf der Betrieb nicht zu einer Gefahr im Luftraum oder zur Verletzung der Vorschriften über den Datenschutz oder Naturschutz führen, ohne dass in der LuftVO näher darauf eingegangen wird.¹⁰⁶¹ Hier ist zu überlegen, ob ein entsprechendes Datensicherheitsgesetz für unbemannte Luftfahrzeugsysteme zu erheben ist, zumal diese nicht nur personenbezogene Daten generieren.

Das Satellitendatensicherheitsgesetz regelt u.a. die Zulassung des Datenanbieters, der Daten verbreiten will, die Verbreitung von Daten sowie das Verfahren der Verbreitung von Daten. Die Zulassungsvoraussetzung zur Verbreitung der Daten entsprechen den Regelungen der Genehmigung des Betriebs der Satellitenanlage, wonach der Datenanbieter entsprechende technische und organisatorische Maßnahmen zum Schutz der Daten zu treffen hat sowie die Übermittlung der Daten durch IT-Maßnahmen, welche durch das BSI geprüft wurden, geschützt wird.¹⁰⁶² Beim Verbreiten der Daten muss der Datenanbieter die Anfrage zunächst einer Sensitivitätsprüfung unterziehen, inwieweit diese hinsichtlich der durch die Verarbeitung erzielte Informationsgehalt, das mit den Daten dargestellte Zielgebiet, der Zeitpunkt der Erzeugung der Daten sowie die Bodensegmente, an welche die Daten zu übermitteln sind, in ihrer Gesamtbetrachtung mögliche wesentliche Sicherheitsinteressen der Bundesrepublik Deutschland beeinträchtigen können.¹⁰⁶³ Zudem müssen auch die anfragenden Personen im Rahmen dieser Betrachtung mit berücksichtigt und entsprechend überprüft werden.¹⁰⁶⁴ Neben der Sensitivitätsprüfung haben Datenanbieter eine Verbreitung von Daten hochwertiger Erdfernerkundungssysteme behördlich genehmigen zu lassen.¹⁰⁶⁵

Bislang ist eine Verbreitung von Daten, welche durch den Einsatz von UAS erhoben werden, gesetzlich nicht geregelt. Bei den Daten kann es sich um Daten handeln, welche keinen erkennbaren Bezug zu einer Person aufweisen und damit im Datenschutzgesetz nicht verankert sind. Darüber hinaus handelt es sich um unstrukturierte Daten, welche erst durch deren Analyse mithilfe von Verfahren, wie Data Mining, zu Informationen werden. Auch diese Daten sind bislang keiner gesetzlichen Regelung unterworfen und stehen somit zur freien Verfügung. Sie sind aber Teil der generierten Informationen.

¹⁰⁶⁰ Vgl. § 21 a (1) LuftVO (2017).

¹⁰⁶¹ Vgl. § 21 a (3) Nr. 1 LuftVO (2017).

¹⁰⁶² Vgl. § 11 (1), § 12 (2–4) SatDSiG (2017).

¹⁰⁶³ Vgl. § 17 (1–2) SatDSiG (2017).

¹⁰⁶⁴ Vgl. § 18 (1) SatDSiG (2017).

¹⁰⁶⁵ Vgl. § 19 (1) SatDSiG (2017).

3.4.4 Data Science und Datenschutz

Im Rahmen des Einsatzes von unbemannten Luftfahrzeugsystemen werden große Mengen an Bild- und Messdaten generiert. Diese Daten können oft erst in einem Zusammenhang mit Daten aus anderen Quellen ein Ergebnis liefern und müssen durch Analyseverfahren ausgewertet werden, um Informationen zu erhalten.¹⁰⁶⁶ Das System des UAS ist damit nur Teil eines größeren Systems, welches erst die gewünschte Dienstleistung erbringt respektive die gewünschten Informationen liefert,¹⁰⁶⁷ was bedeutet, dass aus den zunächst nicht personenbezogenen oder allgemein zugänglichen Daten Informationen entstehen können, welche personenbeziehbar werden. Die Forschungsprojekte der Helmholtz-Gesellschaft, welche sich u.a. mit Analysetechniken enormer Datenmengen, Techniken des Maschinellen Lernens (Machine Learning) respektive der Künstlichen Intelligenz (KI) zur Erforschung von Beziehungen großer wissenschaftlicher Datenmengen sowie Methoden der Bilderkennung und bildgebender Verfahren auseinandersetzen, um hieraus Wissen (Mehrwert) zu generieren,¹⁰⁶⁸ lassen erahnen, dass mit der stetigen Weiterentwicklung der Analysemethoden und der zunehmenden Digitalisierung Daten häufiger personenbeziehbar werden und somit dem Datenschutz unterliegen.¹⁰⁶⁹ So sind neben den Möglichkeiten auch die Grenzen der Datenanalyse mithilfe des Data Mining im Hinblick auf die neue Datenschutzgrundverordnung (DSGVO) respektive des Datenschutzes zu bedenken.¹⁰⁷⁰

3.5 Zusammenfassung

Um die herkömmlichen Methoden in der Bauwerksprüfung zukünftig ersetzen und den Einsatz durch UAS als künftigen Standard etablieren zu können, ist die derzeitige Fluggerätekunde- und -navigation noch nicht ausgereift.¹⁰⁷¹ Insbesondere müssen die Autonomiefähigkeit der UAS unter Einbezug der rechtlichen Sicherheitsstandards sowie eine künftige Robotik zur Erweiterung der visuellen Inspektion erhöht werden.¹⁰⁷² Dies gilt vor allem für den Betrieb ohne direkten Sichtkontakt zum Luftfahrzeugsystem (Beyond Visual Line Of Sight, BVLOS),¹⁰⁷³ wobei ein funktionierendes Kollisionsschutzsystem (Detect and avoid-Systeme) hochwertiger als bisher verfügbar eine zentrale Voraussetzung ist.¹⁰⁷⁴

Im Rahmen der Datenaufnahme ist zudem eine höhere Auflösung zur präzisen Schadensidentifizierung, insbesondere von Rissbreiten von Betonbrücken, erforderlich.¹⁰⁷⁵ Bislang liegen auch keine BIM-Modelle im Programmsystem SIB-Bauwerke vor, sodass diese zur

¹⁰⁶⁶ Vgl. Landrock/Baumgärtel (2018) S. 2, S. 49, S. 51.

¹⁰⁶⁷ Vgl. Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhardt/Moll (2018) S. 82.

¹⁰⁶⁸ Vgl. Helmholtz-Gemeinschaft (2017) S. 6 ff.

¹⁰⁶⁹ Vgl. Desoi (2018) S. 245.

¹⁰⁷⁰ Vgl. Desoi (2018) S. 2, S. 4.

¹⁰⁷¹ Vgl. Morgenthal/Hallermann/Achtelik (2015) S. 130; Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 65; Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhardt/Moll (2018) S. 84 f.

¹⁰⁷² Vgl. Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhardt/Moll (2018) S. 73.

¹⁰⁷³ Vgl. Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhardt/Moll (2018) S. 75.

¹⁰⁷⁴ Vgl. Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhardt/Moll (2018) S. 63 f., S. 66; Landrock/Baumgärtel (2018) S. 12 f.; S. 63.

¹⁰⁷⁵ Vgl. Morgenthal/Hallermann/Achtelik (2015) S. 54; Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 54.

präzisen Lokalisierung von Schädigungen sowie zur Visualisierung des ermittelten Bauzustands weder im Rahmen von Inspektionen noch von Sonderprüfungen (kritische Fälle/KRITIS) genutzt werden können.¹⁰⁷⁶ Darüber hinaus liegt für den Einsatz von UAS im Rahmen von Inspektionen von Ingenieurbauwerken noch kein Qualitätsstandard vergleichbar zur DIN 1076 respektive zur Ril 804 für die handnahe Bauwerksprüfung vor, welcher die Anforderungsprofile und Leistungsbeschreibungen festlegt.¹⁰⁷⁷ Die vom Verband Deutscher Ingenieure (VDI) herausgegebene Richtlinie (VDI 2879) zur „Inspektion von Anlagen und Gebäuden mit UAV“ (Flugdrohnen) macht keine konkreten Angaben für eine effiziente Inspektion von Brücken und Ingenieurbauwerken.¹⁰⁷⁸ Mit dem stetigen Wachstum der Datenmengen werden zukünftig große Speicherkapazitäten erforderlich, wofür die vorhandenen IT-Infrastrukturen der Straßenbauverwaltungen sowie der Deutschen Bahn (DB) noch nicht ausgerichtet sind. Zudem sind für die Analyseverfahren unter Entwicklung und Anwendung einer Data Science individuelle Software-Applikationen zur Interpretation und Visualisierung der Berechnungs- und Analyseergebnisse der Inspektion zu entwickeln.¹⁰⁷⁹ Wie bei der Inspektion im Rahmen der Hauptprüfungen und einfachen Prüfungen kann der Einsatz von UAS (Coptern) die Sonderprüfungen zwar unterstützen und damit optimieren, aber aufgrund der derzeitigen Technologie der UAS ebenfalls noch nicht ersetzen.¹⁰⁸⁰ So würde ein zunächst geplanter Einsatz von UAS im Rahmen von Sonderprüfungen im Falle einer schlechten Wetterlage ausfallen. Zudem liegt auch für den Einsatz von UAS im Rahmen der Sonderprüfungen noch kein Standard vor.

Für die Befliegung an Ingenieurbauwerken ist noch zu untersuchen, inwieweit ortsfeste Einrichtungen¹⁰⁸¹ für Inspektionen durch UAS angepasst werden müssen, und inwieweit ortsveränderliche und stationäre Einrichtungen an Ingenieurbauwerken¹⁰⁸² entfallen können oder den UAS ausgerichtet werden müssen. Zum Zeitpunkt der Verfassung der Studie kann der Einsatz von UAS die Kosten der handnahen Bauwerksprüfung nicht reduzieren, da er diese noch nicht ersetzen kann. Darüber hinaus sind für eine effiziente und effektive Inspektion mit UAS zunächst Investitionsausgaben erforderlich, wozu neben der Anschaffung der UAS sowie deren dazugehörige Ausstattung zusätzliche laufende Betriebskosten, insbesondere IT-Kosten, sowie Kosten im Rahmen der Auswertung der Daten gehören.

Da durch den Einsatz von unbemannten Luftfahrzeugsystemen Daten generiert werden, sind UAS zum einen wie jedes andere IT-System durch entsprechende Sicherheitsmaßnahmen zu schützen, zum anderen unterliegen sie den Richtlinien des Datenschutzes hinsichtlich personenbezogener und nicht personenbezogener Daten, wobei in diesem Rahmen noch Handlungsbedarf bezüglich der Optimierung und Anpassung der neuen Technologie besteht.

¹⁰⁷⁶ Vgl. Singer/Borrmann (2016) S. 16, S. 55 ff., S. 66.

¹⁰⁷⁷ Vgl. Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 65.

¹⁰⁷⁸ Vgl. VDI (2018); Landrock/Baumgärtel (2018) S. 43.

¹⁰⁷⁹ Vgl. Landrock/Baumgärtel (2018) S. 51 f.

¹⁰⁸⁰ Vgl. Morgenthal/Hallermann/Achtelik (2015) S. 54 ff., S. 91 ff., S. 127 f.; Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 3, S. 56 f.

¹⁰⁸¹ Vgl. BMVBS (2013) S. 39 ff.; Mertens (2015) S. 31; Mölter/Pfeifer/Fiedler (2017) S. 55, S. 62 ff.; Mölter/Fiedler (2019) S. 379.

¹⁰⁸² Vgl. BMVBS (2013) S. 47 ff.; Mertens (2015) 31 ff.; Mölter/Pfeifer/Fiedler (2017) S. 62 ff. Abb. 3.2, 3.3, 3.4; Mölter/Fiedler (2019) S. 379 Abb. 7.2.5.

4 Sollkonzept

Forschungen im Bereich der unbemannten Luftfahrzeugsysteme sollten sich nicht allein auf ihre Technologie als Fluggeräte fokussieren, sondern diese sind insbesondere aufgrund ihrer komplexen Sensorik, welche eine Aufzeichnung und Übertragung von Bild-, Video- und Tonaufnahmen ermöglicht,¹⁰⁸³ sowie Steuerungstechnik im Kontext der Digitalisierung und Industrie 4.0 zu betrachten.¹⁰⁸⁴ Erst die Konvergenz (Verschmelzung) der medialen Technologien (Kamerasysteme, Sensorik) mit den Fluggeräten sowie den intelligenten Datenanalysen und Datenauswertungen (Data Science) wird der Betrachtung der unbemannten Luftfahrzeugsysteme gerecht.¹⁰⁸⁵ Da beim Einsatz von unbemannten Luftfahrzeugsystemen (Bild-)Daten generiert und verarbeitet werden, sind sie zudem im Kontext des Datenschutzes und der Datensicherheit zu betrachten.¹⁰⁸⁶

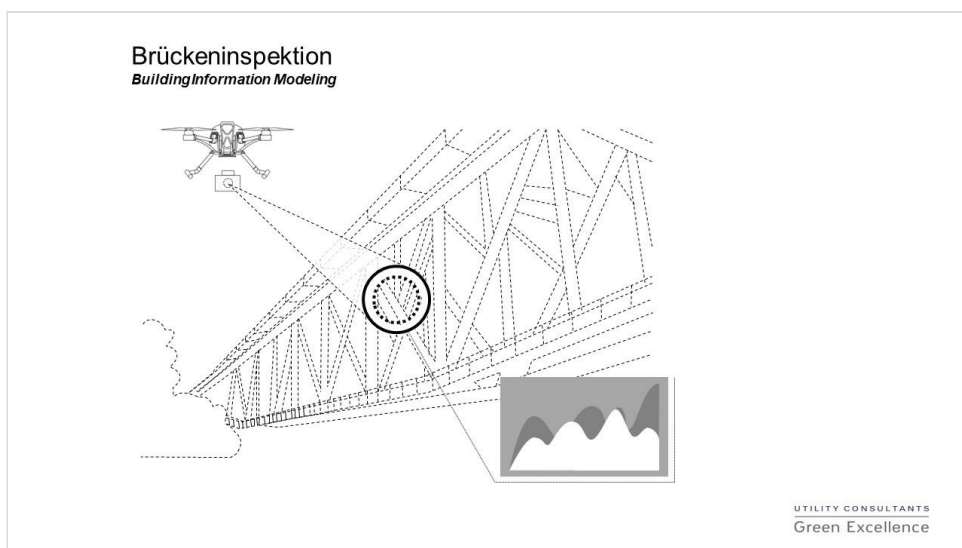


Abbildung 17: Sollkonzept

Quelle: Eigene Darstellung nach Fotografie von WSV Braunschweig (2016).

Im Folgenden wird im Rahmen des Sollkonzepts zunächst ein Anforderungsprofil für eine verbesserte Vorgehensweise der Inspektion von Brücken und Ingenieurbauwerken unter Nutzung von unbemannten Luftfahrzeugsystemen und der Verwendung von BIM-Daten erarbeitet. Dieses Anforderungsprofil bezieht sich sowohl auf die technischen Voraussetzungen des Fluggeräts als auch auf die Geschäftsprozesse der Inspektion, also Flugplanung und Befliegung, und IT-Systeme. Im Besonderen wird der Einsatz neuer Technologien zum

¹⁰⁸³ Vgl. Plücken (2017) S. 28; Dieckert/Eich (2018) S. 59, S. 228 ff., S. 316 ff., S. 404; Landrock/Baumgärtel (2018) S. 49.

¹⁰⁸⁴ Vgl. Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhart/Moll (2018) S. 227.

¹⁰⁸⁵ Vgl. Landrock/Baumgärtel (2018) S. 64.

¹⁰⁸⁶ Die Verarbeitung respektive das Erheben von Bilddaten unterliegt den Regeln der DSGVO, vgl. Art. 4 (1) DSGVO (2016); Dieckert/Eich (2018) S. 407 ff.; vgl. allgemein Schläger/Thode (2018) S. 23 ff., S. 503 ff.

Schutz von Kritischen Infrastrukturen behandelt. Anschließend werden die erforderlichen Partner und Technologien zur Umsetzung der Inspektionsstrategie identifiziert. Darauf aufbauend wird die Systemarchitektur für ein ganzheitliches Inspektionskonzept erarbeitet. Es folgt eine Maßnahmenplanung zur möglichen Umsetzung der erarbeiteten Strategie.

Tabelle 3: Arbeitspakete des Sollkonzepts

Quelle: Eigene Darstellung.

Arbeitspakete	Sollkonzept
AP 1	4.1 Anforderungsprofil an eine optimierte Lösung unter Verwendung von BIM-Daten
AP 2	4.2 Erforderliche Partner und Technologien
AP 3	4.3 Entwicklung einer Systemarchitektur für ein ganzheitliches Inspektionskonzept
AP 4	4.4 Maßnahmenplanung zur Umsetzung

4.1 Anforderungsprofil an eine optimierte Lösung unter Verwendung von BIM-Daten

Unbemannte Luftfahrzeugsysteme lassen sich anhand folgender technischer Eigenschaften charakterisieren: Das System des Fluggeräts besitzt eine Flugkontrollfunktionalität, welche eine Energieversorgung, Manövrierbarkeit, Navigation und Robustheit gegenüber Umwelteinflüssen gewährleistet, sowie partielle Autonomiefähigkeiten zur Flugstabilisierung.¹⁰⁸⁷ Weitere autonome Fähigkeiten, wie z. B. Kollisionsvermeidung und automatische Flugrounterzeugung, sind aktuell Gegenstand von Forschung und Entwicklung (Algorithmen).¹⁰⁸⁸ Darüber hinaus ist das Fluggerät in ein Datenübertragungssystem eingebunden, das sowohl zur Fernsteuerung als auch zur Übertragung und Auswertung von Daten dient.¹⁰⁸⁹ Je nach Typ und Größe kann das Fluggerät verschiedene Systeme, wie Kameras, Sensoren und Nutzlast, aufnehmen (Payload).¹⁰⁹⁰ Charakteristisch für unbemannte Luftfahrzeugsysteme ist die Verzahnung digitaler Technologien (Sensorik, Steuerung) mit elektromechanischen Komponenten, welche sich neben der einhergehenden Miniaturisierung stetig weiterentwickeln.¹⁰⁹¹

Da Testgebiete für die Weiterentwicklung und Forschung der Technologie unbemannter Luftfahrzeugsysteme wichtig sind, bedarf es der Einrichtung weiterer Flächen in Deutschland, um nicht auf Versuchsgebiete im Ausland ausweichen zu müssen.¹⁰⁹² Möglichkeiten bieten ehemalige Flughäfen, wie z. B. der Airport in Magdeburg-Cochstedt,¹⁰⁹³ welcher 2016 geschlossen wurde, oder ungenutzte ehemalige Militärstandorte.

¹⁰⁸⁷ Vgl. Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhardt/Moll (2018) S. 42.

¹⁰⁸⁸ Vgl. Morgenthal/Hallermann/Achtelik (2015) S. 86, S. 130; Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhardt/Moll (2018) S. 42; z. B. RWTH Aachen, FSD; Universität Heidelberg, ZITI.

¹⁰⁸⁹ Vgl. Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhardt/Moll (2018) S. 42.

¹⁰⁹⁰ Vgl. Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhardt/Moll (2018) S. 42.

¹⁰⁹¹ Vgl. Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhardt/Moll (2018) S. 42, S. 72.

¹⁰⁹² Vgl. Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhardt/Moll (2018) S. 212.

¹⁰⁹³ Vgl. FMC mbH.

4.1.1 Kollisionsschutzsysteme

Bislang existieren noch keine ausgereiften Technologien, welche einen nicht kooperativen Flugverkehr im unkontrollierten Luftraum zuverlässig detektieren und diesem ausweichen können (Detect and avoid-Systeme). Da bei Sichtflügen keine Pflicht besteht, einen Kollisionsswarnsender mitzuführen, sind Kameras oder Abstandssensoren an Bord eines Luftfahrzeugsystems erforderlich, um andere Luftverkehrsteilnehmer zuverlässig erfassen zu können, sowie eine Software, welche die erfassten Sensordaten in Echtzeit auswerten kann und sie an die Bodenstation sendet, sodass der Steuerer jederzeit sowohl ein komplettes Bild der Situation erhalten und Steuerkommandos für den Autopiloten ausführen kann.¹⁰⁹⁴ Ein funktionierendes Kollisionsschutzsystem ist also eine zentrale Voraussetzung für den Einsatz mit UAS ohne direkten Sichtkontakt (Beyond Visual Line of Sight), um Kollisionen am Boden und in der Luft verhindern zu können.¹⁰⁹⁵ So ist zum jetzigen Zeitpunkt auch der Betrieb eines unbemannten Luftfahrzeugsystems mit einem Gewicht unter 5 kg und weniger außerhalb der Sichtweite des Steuerers verboten, sofern keine spezielle Genehmigung einer Behörde vorliegt oder der Flug unter deren Aufsicht erfolgt.¹⁰⁹⁶ Eine gesetzliche Änderung wird erst dann erfolgen können, wenn die oben genannten technologischen Voraussetzungen gegeben sind.

Auf dem Gebiet der Sensorfusion und Umweltwahrnehmung mit Kamera und Laser als Sensor in der Flugsteuerung werden Forschungen am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) unternommen, da bislang kein Algorithmus eine zuverlässige Möglichkeit bietet, bewegende Objekte gegen stark strukturierte Hintergründe zu detektieren und Bilddaten mit einer mobilen Kamera aufzunehmen. Im Rahmen einer aktuellen Forschungsarbeit wurde ein neuer Detektions- und Trackingalgorithmus ermittelt, welcher eine Bildpositionsabweichung von weniger als 10 px aufweisen konnte, die UAS in bis zu 100 % der Sequenzen erfassen und eine Detektionsreichweite von ca. 148 m erreichen konnte.¹⁰⁹⁷

Das amerikanisch-finnische Unternehmen Sharper Shape wirbt auf seiner Unternehmensseite mit einem Copter, der BVLOS fliegen kann, indem das Fluggerät 100 Meilen entfernt von der Bodenstation kontrolliert werden kann. Inwieweit es auch über ein ausreichendes Detect and avoid-System verfügt, ist nicht ersichtlich.¹⁰⁹⁸

4.1.2 Automatisierung

Auf dem Gebiet der Automatisierung der UAS besteht noch erheblicher Forschungsbedarf.¹⁰⁹⁹ Um die Einsätze der unbemannten Luftfahrzeugsysteme im Rahmen der Inspektionen von Ingenieurbauwerken effizient zu gestalten, bedarf es hierbei der Entwicklung von Algorithmen, welche sich sowohl auf die Befliegung als auch auf die Inspektion beziehen.

¹⁰⁹⁴ Vgl. Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhardt/Moll (2018) S. 63 f.

¹⁰⁹⁵ Vgl. Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhardt/Moll (2018) S. 64, S. 66; Landrock/Baumgärtel (2018) S. 12 f., S. 63.

¹⁰⁹⁶ Vgl. § 21b (1) Nr. 1 LuftVO (2017).

¹⁰⁹⁷ Vgl. Seel (2018) S. 77, S. 78 f.

¹⁰⁹⁸ Vgl. Sharper Shape Inc.

¹⁰⁹⁹ Vgl. Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhardt/Moll (2018) S. 72 ff.

Auf dem Markt sind bereits diverse Softwarepakete erhältlich, welche die Einsätze der UAS im Rahmen der Befliegung optimieren.

Flugplanung (Kartendienst)

Mit der neu entwickelten Flugplanungssoftware MAP2FLY PRO (UAS Flightplanning Software) der Flynex GmbH können vor dem Flug durch 3D-Visualisierung individuelle Flugrouten der eingesetzten UAS (Copter) auf der Basis valider Geodaten geplant werden. Die erstellten Flugpläne werden dabei automatisch validiert, indem die rechtlichen Rahmenbedingungen, wie Flughöhe und Lufträume, sowie Verkehrszonen, Siedlungen, Umweltbereiche und Kritische Infrastrukturen, wie Energieanlagen und Sicherheitsbereiche, mithilfe eines Kartenlayers berücksichtigt werden.¹¹⁰⁰

Befliegung (Inspektion)

Für die Automatisierung von Funktionen während der Befliegung sind von verschiedenen Herstellern spezifische Softwarepakete entwickelt worden. Die Flugplanungssoftware Intel® Mission Control Software der Intel Deutschland GmbH ermöglicht Flüge mit großer Flächenabdeckung, wobei Wegpunkt-Missionen erstellt und Vermessungsflüge automatisiert werden können.¹¹⁰¹ Mit der Software Horizon des Unternehmens Flynex GmbH können digitale und automatisierte Workflows implementiert, Checklisten ausgeführt, Aufstiege und Projekte gesteuert sowie die während der Befliegung generierten Daten gespeichert und Unternehmensprozesse dokumentiert werden.¹¹⁰² Die Software UAV mobil der CiS GmbH bietet eine grafisch orientierte Flugplanung, -überwachung und -wiedergabe sowie eine Datenaufnahme und Flugsteuerung. Folgende kombinierbare Flugplanungsvarianten, u.a. für Inspektionen an Gebäuden und Industrieanlagen, sind dabei möglich: Flächenbefliegung, Konturbefliegung, Fassadenbefliegung, flächendeckende Befliegung, Wegpunktbefliegung sowie eine Befliegung mit konstanter Höhe über dem Boden. Im Rahmen der Flugüberwachung und -sicherheit ist eine aktuelle Positionsbestimmung des Flugsystems, eine Unterbrechung der Flugroute sowie eine automatische Rückkehr des Flugsystems an den Startpunkt möglich.¹¹⁰³

Mit der Flugplanungssoftware Automatic Detailed Inspection (ADI) des finnisch-amerikanischen Unternehmens Sharper Shape wurde eine Software speziell für die automatische Inspektion der Anlagen von Stromversorgern unter Nutzung georeferenzierter Daten entwickelt.¹¹⁰⁴ Auch die aktuell entwickelte Software SIEAERO-High-End-Multisensorsystem der Siemens AG Österreich dient speziell der Inspektion von Freileitungen.¹¹⁰⁵ Auf der Basis eines noch zu entwickelnden Qualitätsstandards ist vergleichbar eine Flugplanungssoftware speziell für die Inspektion von Brücken und Ingenieurbauwerken zu entwickeln, welche z. B. materialbedingte Schwachstellen des Bauwerks automatisch erkennen kann.

¹¹⁰⁰ Vgl. FlyNex GmbH.

¹¹⁰¹ Vgl. Intel Deutschland GmbH.

¹¹⁰² Vgl. FlyNex GmbH.

¹¹⁰³ Vgl. CiS GmbH.

¹¹⁰⁴ Vgl. Gerstl (2017); Sharper Shape Inc.

¹¹⁰⁵ Vgl. hilfutura (2018).

Im Rahmen des Flugbetriebs sind weitere autonome Fähigkeiten zu entwickeln respektive zu optimieren. Hierzu gehören neben den bereits oben genannten Detect-and-avoid-Systemen, verbunden mit Flügen ohne direkten Sichtkontakt (Beyond Visual Line of Sight), ein automatisches Zurückfinden und sicheres Landen zur Basis, z. B. bei Ausfall des Datenlinks oder extremen Wettereinflüssen, ohne Absturz oder mögliche Gefahr für andere.¹¹⁰⁶ Voraussetzung für autonome Flüge sind insbesondere sowohl zuverlässige Sensoren als auch eine korrekte Verarbeitung der gewonnenen Daten und nicht zuletzt die Einhaltung der rechtlichen Sicherheitsstandards.¹¹⁰⁷

4.1.3 Luftverkehrsmanagement

Im Rahmen des Air Traffic Management (ATM) wird der Flugverkehr durch Leitstände (Flugverkehrsleitstelle) überwacht und geführt. Hierbei leiten die Fluglotsen den Verkehr und sind für dessen Koordination verantwortlich. Durch den Einsatz von unbemannten Luftfahrzeugsystemen treten weitere Fluggeräte in den Luftraum, deren erlaubte Flugzonen und Flughöhe durch die Luftverkehrsordnung (LuftVO) genau geregelt ist.¹¹⁰⁸ Die Mehrzahl der UAS fliegt im unteren Luftraum (unter 100 m) nach den gültigen Sichtflugregeln (Visual Flight Rules, VFR). Da zukünftig von einem verstärkten Wachstum des Einsatzes von UAS auszugehen ist, sind diese im bestehenden kontrollierten ATM zu koordinieren und zu integrieren, zumal die Fluggeräte vergleichbar wie Fahrzeuge am Boden nur bestimmte Routen fliegen dürfen. Hierfür ist die Entwicklung eines Unmanned Air Traffic Management (UTM/U-Space) maßgeblich, welcher die Kommunikation zwischen dem Fluggerät und dem Leitstand, welcher die Einsätze steuert, sowie zwischen den UAS ermöglicht.¹¹⁰⁹ Die Flugzonen sind dabei sukzessive zu integrieren. Zunächst kann die Einführung des Luftkorridors für UAS unter 100 m erfolgen, anschließend werden kooperative und nicht kooperative Navigationssysteme eingeführt. In einem letzten Schritt werden UAS in das derzeitige Luftfahrtssystem nach Instrumentenregeln (Instrument Flight Rules, IFR) integriert.¹¹¹⁰

Das Forschungsprogramm Single European Sky ATM Research (SESAR) der europäischen Kommission und Europäischen Organisation zur Sicherung der Luftfahrt (EUROCONTROL) befasst sich mit der Einführung einer effizienteren Flugführung im europäischen Luftraum, wobei die Integration von UAS in bereits bestehende und zukünftige Luftraumzonen einen wesentlichen Stellenwert einnimmt.¹¹¹¹ Im Rahmen der Entwicklung eines Unmanned Air Traffic Management (UTM/U-Space) sollen neue automatisierte digitale Services in vier Phasen (U1 bis U4) geschaffen werden, welche voll- und teilautomatisierte Einsätze von UAS sowohl effizient als auch sicher ermöglichen sollen. Neben digitalen Services,

¹¹⁰⁶ Vgl. Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhardt/Moll (2018) S. 73.

¹¹⁰⁷ Vgl. Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhardt/Moll (2018) S. 74.

¹¹⁰⁸ Vgl. LuftVO (2017); Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhardt/Moll (2018) S. 66.

¹¹⁰⁹ Vgl. Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhardt/Moll (2018) S. 66 f.; FlyNex (2018a).

¹¹¹⁰ Vgl. Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhardt/Moll (2018) S. 67.

¹¹¹¹ Vgl. Bitkom (o.J.); Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhardt/Moll (2018) S. 66.

wie „e-registration“, „e-identification“ und „geofencing“, werden auch die Themen Datenaustausch, Datenverfügbarkeit und digitale Infrastruktur behandelt.¹¹¹²

Für die Entwicklung eines UTM sind verschiedene Schlüsseltechnologien zu integrieren. Voraussetzung für den geplanten Einsatz der Fluggeräte sind zunächst Geoinformationen, also alle Daten zu einem geografischen Gebiet, welches befliegen werden soll. Hierfür hat die FlyNex GmbH ein Online-Kartendienst entwickelt,¹¹¹³ mit dem die geplanten Flugrouten auf Basis von Geodaten geprüft und validiert werden und damit die rechtlichen Rahmenbedingungen der bodengebundenen Infrastruktur berücksichtigen. Diese Daten müssen permanent verarbeitet und aktualisiert werden. Darüber hinaus dienen diese Daten auch der SORA-Berechnung¹¹¹⁴ (Risikobewertung nach Risikoklassen).¹¹¹⁵ Damit die UAS im übrigen Luftraum integriert werden können, ist darüber hinaus ein Informationsaustausch zwischen den Teilnehmern im UTM notwendig. So müssen die Betreiber die Flugeigenschaften und andere Operations- und Input-Daten der UAS zur Verfügung stellen. Im Gegenzug dazu bietet der UTM den Steuerern zur sichereren Durchführung einer Mission Geofencing, ein spezifisch aufgestelltes Lizenzwesen sowie eine Registrierung der UAS an, sodass entsprechende Informationen über Halter und Piloten, z. B. im Rahmen von Zwischenfällen oder Flugunfalluntersuchungen zur Verfügung stehen, mit deren Informationen entsprechende Empfehlungen zur Verbesserung der Sicherheit abgeleitet werden können.¹¹¹⁶ Während des Flugs dienen zudem topografische Daten zur Positionsbestimmung und Identifikation in Echtzeit zur sicheren Durchführung der Flüge und Vermeidung von Kollisionen. Die Erfassung von Wetterdaten dienen der Wettervorhersage zur genauen Flugplanung und Vermeidung von Gefahren. Diese können auch im Rahmen des Flugs erfasst werden. Nicht zuletzt kann die Luftfahrtbehörde oder Flugsicherung Luftverkehrsinformationen zur Erteilung von Freigaben oder Erläsen von Einschränkungen ableiten.¹¹¹⁷

Im Rahmen eines UTM werden verschiedene Systeme und Stakeholder, wie Behörden, Steuerer, kooperieren müssen. Mithilfe der revisionssicheren Blockchain-Technologie können über ein dezentrales Netzwerk nachverfolgbare und nicht-veränderbare Transaktionen durchgeführt und über eine cloudbasierte Plattform gespeichert werden, sodass sich die verschiedenen Teilnehmer vernetzen und kooperieren können, ohne ihre Datenhoheit aufgeben zu müssen. Zudem bietet die Technologie die Möglichkeit einer revisionssicheren Integration des SORA-Prozesses. Die im Rahmen des UTM anfallenden großen Datenmengen können über Cloud-Computing integriert und prozessiert werden.¹¹¹⁸ Hierfür sind bereits verschiedene Plattformen, wie z. B. die Cloudbasierte Datenanalyseplattform Intel® Insight-Plattform der Intel Deutschland GmbH, entwickelt worden.¹¹¹⁹ Neben den erforderlichen IT-

¹¹¹² Vgl. Bitkom (o.J.).

¹¹¹³ Vgl. FlyNex GmbH.

¹¹¹⁴ Specific Operational Risk Assessment.

¹¹¹⁵ Vgl. FlyNex (2018a).

¹¹¹⁶ Vgl. Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhardt/Moll (2018) S. 68 f.

¹¹¹⁷ Vgl. Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhardt/Moll (2018) S. 68 f.

¹¹¹⁸ Vgl. BDEW (2017) S. 6, S. 14, S. 24, S. 37, S. 49 f.; Dell (2017) S. 219; FlyNex (2018a).

¹¹¹⁹ Vgl. Intel Deutschland GmbH.

sicherheitsrechtlichen Aspekten sind allerdings insbesondere die zu schaffenden regulatorischen Richtlinien noch offen. Da in der Blockchain personenbezogene Daten verarbeitet und gespeichert werden, welche weder einzeln entfernt noch endgültig transferiert werden können, lediglich bei manchen Blockchains eine regelmäßige komplette Abtrennung der historischen Datensätze möglich ist, besteht hier dringender Handlungsbedarf, wie die datenschutzrechtlichen Anforderungen umgesetzt werden können.¹¹²⁰

Durch den Einsatz von Edge Computing können mehr Daten auf den Endgeräten prozessiert werden und somit das übertragende Datenvolumen reduziert sowie die Übertragungsgeschwindigkeit zwischen Bodenstation und dem Fluggerät erhöht werden.¹¹²¹ Dies ermöglicht z. B. kurzfristig Änderungen der Flugroute vornehmen zu können. Darüber hinaus kann der Einsatz eines Mesh-Netzwerkes zukünftig die Voraussetzung für eine sichere und zuverlässige Kommunikation zwischen den UAS ermöglichen, um somit z. B. Zusammenstöße zwischen den Luftfahrzeugsystemen verhindern zu können. Diese Technologie wird zurzeit in Pilotprojekten getestet. Auch der Einsatz von Künstlicher Intelligenz (KI) wird im Rahmen eines UTM einen großen Stellenwert einnehmen, um die großen Datenmengen, wie z. B. Geodaten, in kürzester Zeit verarbeiten zu können, sodass die Systeme damit automatisiert und selbstständig Entscheidungen treffen können, wie z. B. eine automatisierte Anpassung der Flugrouten in Abstimmung aller Teilnehmer im Luftraum.¹¹²²

Die FlyNex GmbH hat zusammen mit der Workplace Solutions GmbH einen Leitstand für Copter entwickelt, mit dem per Touchscreen Einsätze geplant und die gesamte Mission in Echtzeit überwacht und gesteuert werden kann. Zusätzlich werden mithilfe der Sensorik am Fluggerät Messdaten aufgenommen und an den Bediener des Leitstandtisches gesendet.¹¹²³

4.1.4 IT-Systeme zur Inspektion unter Nutzung von BIM-Modellen

Das im Rahmen der Bauwerksprüfung verwendete Programmsystem Straßeninformationbank (SIB-Bauwerke),¹¹²⁴ welches aus einem Verwaltungsprogramm für die Straßenbauverwaltung (Auswertung) und einem externen Erfassungsprogramm für die Bauwerksprüfer (Prüfungs- und Zustandsdaten) besteht,¹¹²⁵ ist in Bezug auf Inspektionen mit UAS funktions-technisch zu erweitern. So sind im Erfassungsprogramm sowohl Aspekte der Flugvorbereitung, wie Genehmigungen, Risikobewertungen (SORA),¹¹²⁶ Befliegungspläne, datenschutzrechtliche Maßnahmen, wie Auftragsverarbeitungsverträge und Einwilligungserklärungen, Art der Aufzeichnung von Bild- und Videoaufnahmen mittels Video-, Foto-, Spektral- oder 360°-Kameras, Art der Messungen mithilfe von Infrarot- und Wärmebildkameras (Fotogrammetrie) und speziellen Lasern, als auch der Flugdurchführung zu dokumentieren, wie Aufnahme der Bilder oder Messungen von Bauwerksteilen nach dem Befliegungsplan,

¹¹²⁰ Vgl. BDEW (2017) S. 50 f.; Dell (2017) S. 219.

¹¹²¹ Vgl. FlyNex (2018a); Hippmann/Klingner/Leis (2018) S. 12.

¹¹²² Vgl. FlyNex (2018a).

¹¹²³ Vgl. FlyNex (2018a).

¹¹²⁴ Vgl. WPM-Ingenieure (o.J.); Mertens (2015) S. 285.

¹¹²⁵ Vgl. Schnellenbach-Held/Karczewski/Kühn (2014) S. 86; Mertens (2015) S. 294 f.

¹¹²⁶ Specific Operational Risk Assessment ist eine Methode zur Risikobewertung von Einsätzen mit UAS auf Basis der Joint Authorities for Rulemaking on Unmanned Systems (JARUS), vgl. FlyNex (2018a); Dieckert/Eich (2018) S. 384 f., S. 489.

Protokollierung der festgestellten Schäden nach Art der eingesetzten Sensorik, Bewertung der Aufnahmen und Schadensbilder, Vergleiche mit den Ergebnissen der handnahen Bauwerksprüfung sowie Bewertung der Befliegungsrouten. Auch das Verwaltungsprogramm ist hinsichtlich der Dokumentation der Befliegungen mit UAS anzupassen. Eine solche Erweiterung ist auch für das Instandhaltungssystem der Deutschen Bahn vorzunehmen. Das Unternehmen DJI bietet bereits eine webbasierte „Drohnen-Verwaltungsplattform“ an, mit welcher bis zu vier Copter gleichzeitig in Echtzeit überwacht und zudem die Flugkoordination sowie Flugeinsätze mehrerer Teams organisiert werden können.¹¹²⁷

Da die derzeitigen Systeme der Straßenbauverwaltungen zudem nicht darauf ausgerichtet sind, modellgestützte Informationen der Ingenieurbauwerke zu verarbeiten, stellt das Building Information Modeling (BIM) eine mögliche Erweiterung dieser Softwaresysteme dar, mit dem die erfassten Daten modellbasiert aufbereitet und strukturiert werden können.¹¹²⁸ Im Rahmen einer Machbarkeitsstudie konnte bereits verifiziert werden, dass die im BIM zugrundeliegenden digitalen Bauwerksmodelle sowohl die Datenerfassung der Inspektion als auch die Zustandsbewertung und Instandsetzung von Straßenbrücken aus Beton unterstützen können. Das mit BIM erstellte digitale Bauwerksmodell stellt eine dreidimensionale Geometrie aller Bauteile eines Ingenieurbauwerks zur Verfügung und ermöglicht die Lokalisierung von Schädigungen sowie die Visualisierung des ermittelten Bauzustands und die Verknüpfung der erforderlichen Dokumente, wie Bauwerkspläne und Prüfberichte.¹¹²⁹ Das dreidimensionale Modell kann zudem mit zeitlichen Informationen verknüpft werden, sodass ein vierdimensionales Modell entsteht, mit dem die Schadens- und Zustandsentwicklung des Bauwerks über gewählte Zeiträume wiedergegeben werden kann.¹¹³⁰ Zukünftig sind in diesem Rahmen auch Einsätze von digitalen Zwillingen, also digitalen Kopien der zu prüfenden Bauwerke, einzuplanen, mit denen diese im virtuellen Raum mit allen Eigenschaften ausgestattet werden können, um Optimierungsmöglichkeiten der Bauwerksprüfungen zu erzielen und Schäden frühzeitig zu erkennen.¹¹³¹

Es besteht somit Handlungsbedarf, sowohl die im Programmsystem SIB-Bauwerke erfassten als auch nicht erfassten Bauwerke zunächst mittels Fotogrammetrie, Laserscanning oder der Nutzung parametrisierter 3D-Brückenmodelle in geometrisch-semantische BIM-Modelle zu überführen.¹¹³² Hierfür bedarf es zudem der Entwicklung weiterführender Technologien für die automatisierte Erfassung von Bestandsbauwerken und die Erzeugung von BIM-Bestandsmodellen.¹¹³³ Da mit dem Standard IFC¹¹³⁴ ein herstellernerutraler Austausch geometrisch-semantischer Bauwerksmodelle zwischen Softwaresystemen unterschiedlicher

¹¹²⁷ Vgl. Bergert (2017).

¹¹²⁸ Vgl. Singer/Borrmann (2016) S. 16, S. 22.

¹¹²⁹ Vgl. Singer/Borrmann (2016) S. 19, S. 65, S. 67.

¹¹³⁰ Vgl. Singer/Borrmann (2016) S. 65.

¹¹³¹ Vgl. Huber (2018) S. 91 ff.; Hippmann/Klingner/Leis (2018) S. 13.

¹¹³² Vgl. Singer/Borrmann (2016) S. 16, S. 55 ff., S. 60 ff., S. 66.

¹¹³³ Vgl. Liebich/Borrmann (2018) S. 30.

¹¹³⁴ Vgl. Borrmann/König/Koch/Beetz (2015) S. 83 ff., S. 129 ff., S. 193 ff.; Hausknecht/Liebich (2016) S. 62 ff., S. 98 ff.

Hersteller ermöglicht werden kann, sodass geometrische und alphanumerische Bauwerksdaten bereitgestellt und über lange Zeiträume gespeichert werden können,¹¹³⁵ ist die Umsetzung des IFC-Standards auch für die Einführung der BIM-Methodik im Brückenbau maßgeblich,¹¹³⁶ um sie in die bestehenden Programmsysteme integrieren zu können.

In weiteren Studien sind zudem die rechtlichen, organisatorischen und verwaltungstechnischen Aspekte im Rahmen der Einführung von BIM für den Betrieb von Brücken zu untersuchen.¹¹³⁷ Da beim Einsatz von BIM alle Daten eines Ingenieurbauwerks von der Planung über die Realisierung bis hin zur Instandhaltung zusammengefasst werden, fallen in den einzelnen Phasen des Inspektionsprozesses mit BIM folgende personenbezogene Daten an, welche es zu schützen gilt: Projektbeteiligte, Kontaktdaten von Geschäftspartnern, Adressen möglicher Grundstücke, Luftbildaufnahmen per UAS, Foto- und Filmaufnahmen, Standortdaten, Projekt- und Kalendereinträge. Eine datenschutzkonforme Ausgestaltung des BIM-Prozesses kann zudem bei der Projektdurchführung Vorteile mit sich bringen: Überblick der Verantwortlichkeiten und Projektbeteiligten, Umsetzung von technischen und organisatorischen Maßnahmen zur Datensicherung, Datenminimierung sowie Schutz vor unbefugtem und unberechtigtem Zugriff auf Datensysteme, Schutz von Urheberrechten und Nutzungsrechten, Transparenz über die verwendeten Daten während des Projektablaufs, gesicherter Datenaustausch, Kontrollmöglichkeiten der Datenqualität, Vereinheitlichung der Datenformate und Schnittstellen, Festlegung von dedizierten Datenbankrechten und Verwaltung von Benutzerrechten sowie eine durchgängige Dokumentation. Gemäß dem Grundsatz der Zweckbindung der DSGVO dürfen in das BIM-System nur solche personenbezogene Daten aufgenommen werden, welche erforderlich sind, andernfalls ist die Verarbeitung personenbezogener Daten auf das notwendige Maß zu beschränken.¹¹³⁸ Darüber hinaus sind angemessene technische und organisatorische Maßnahmen der Datensicherung vorzunehmen, wie Authentifizierungsmaßnahmen, Verschlüsselungen, sichere Netzwerke und Schnittstellen.¹¹³⁹

4.1.5 Einsatz innovativer Technologien zum Schutz Kritischer Infrastrukturen

In dem Forschungsprojekt „Schutz kritischer Brücken und Tunnel im Zuge von Straßen“ (SKRIBT und SKRIBT^{Plus}) wurden im Rahmen mehrerer Forschungsarbeiten (2008–2015) für die als kritisch erkannten Brückentypen Schutzmaßnahmen sowie Empfehlungen für Eigentümer, Betreiber und Einsatzdienste in Abhängigkeit der Gefahrenlage in einem Leitfaden zusammengefasst, wobei für jede konkrete Gefahr im Wesentlichen geeignete bauliche Maßnahmen zur Prävention bestimmt wurden.¹¹⁴⁰ Im Weiteren gilt es, Maßnahmen zum Aufbau eines Krisenmanagements sowie zielgerichtete Maßnahmen unter dem Einsatz innovativer

¹¹³⁵ Vgl. Singer/Borrmann (2016) S. 65.

¹¹³⁶ Vgl. Singer/Borrmann (2016) S. 30.

¹¹³⁷ Vgl. Singer/Borrmann (2016) S. 67.

¹¹³⁸ Vgl. Art. 5 (1) lit. (a, c) DSGVO (2016).

¹¹³⁹ Vgl. Vogel (2017).

¹¹⁴⁰ Vgl. SKRIBT Schlussbericht (o.J.) S. 22 ff., S. 70 f.

Technologien zur Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit kritischer Brückentypen zu erarbeiten.

Die Aktualität und Wichtigkeit der Thematik „Schutz Kritischer Infrastrukturen“ zeigt zum einen die seit 2016 jährlich in Leipzig stattfindende Konferenz „protekt“ für den Schutz Kritischer Infrastrukturen mit Teilnehmern aus Unternehmen und öffentlichen Institutionen,¹¹⁴¹ zum anderen die Einrichtung des 2016 an der Technischen Universität Darmstadt zunächst auf viereinhalb Jahre festgelegten interdisziplinären, von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Graduiertenkollegs „Kritische Infrastrukturen: Konstruktion, Funktionskrisen und Schutz in Städten“. Im Mittelpunkt des Kollegs stehen Systeme der Ver- und Entsorgung, der Kommunikation und des Transports in Städten, aufgrund deren engen Vernetzung und Komplexität sowie aufgrund der wachsenden Verwundbarkeit der Infrastruktur durch externe Bedrohungen. Ziel ist es, Maßnahmen der Planung, Vermeidung von Funktionskrisen bzw. der Vorbereitung auf diese zu analysieren.¹¹⁴²

In diesem Rahmen werden am Institut für Numerische Methoden und Informatik im Bauwesen der Technischen Universität Darmstadt insbesondere digitale Methoden zur Modellierung, Simulation und Analyse Kritischer Infrastrukturen für interdisziplinäre ingenieurtechnische Sicherheitsbetrachtungen im städtischen Kontext erforscht. Hierzu gehören die Bereiche digitale Bauwerksmodellierung mit Building Information Modeling (BIM) in Verbindung mit Sensorik, Virtual und Augmented Reality sowie Serious Gaming. Mit dem Einsatz der neuen Technologien soll analysiert werden, wie der Schutz vor und die Vorbereitung auf infrastrukturelle Funktionskrisen unter räumlichen und zeitlichen Faktoren organisiert werden können.¹¹⁴³

Als wesentlicher Bestandteil für die Analyse Kritischer Infrastrukturen in Städten und deren Sicherheitsbetrachtungen wird wie bei den kritischen Brücken die Bauwerksmodellierung mit BIM gesehen. Die notwendige Erweiterung des Programmsystems SIB-Bauwerke durch BIM sowie die Erzeugung von BIM-Modellen der Brücken, um Schäden der Bauwerke als 3D-Modell noch präziser auch im Rahmen von Sonderprüfungen, welche im Falle kritischer Situationen des Bauwerks vorgenommen werden, lokalisieren und visualisieren zu können,¹¹⁴⁴ wurden bereits in Kapitel 4.1.4 „IT-Systeme zur Inspektion unter Nutzung von BIM-Modellen“ eingehender erläutert. Im Rahmen des oben genannten Forschungsprojekts werden neben BIM weitere neue Technologien in das zu erarbeitende Schutzprogramm involviert. Die Echtzeit-Analyse mithilfe von UAS generierten Bilddaten in Verbindung mit Geo- und Satellitendaten kann u.a. situationsspezifische Informationen zur Gefährdungslage im Rahmen eines Managements Kritischer Infrastrukturen als ergänzende Prüfmethode im Rahmen der Sonderprüfungen liefern,¹¹⁴⁵ da hiermit zeitnah ein umfassendes Lagebild der kritischen Situation eingeschätzt werden kann und folglich schneller Maßnahmen zur Wiederherstellung der

¹¹⁴¹ Vgl. protekt.

¹¹⁴² Vgl. TU Darmstadt (o.J.).

¹¹⁴³ Vgl. TU Darmstadt (o.J.).

¹¹⁴⁴ Vgl. Singer/Borrmann (2016) S. 65.

¹¹⁴⁵ Vgl. DLR (2018b).

Funktionsfähigkeit des Bauwerks unter Einsatz des „Managementsystems zur Aufrechterhaltung der Betriebsfähigkeit“¹¹⁴⁶ eingesetzt werden können.¹¹⁴⁷ Zudem gilt es bei der Datenanalyse die durch UAS generierten Daten mit den Daten aufbereiteter 3D-Modelle zu verknüpfen, um einen Mehrwert für zielgerichtete Maßnahmen für die Wiedererreichung des Normalzustands des Bauwerks zu erhalten. Die oben genannten Technologien Virtual und Augmented Reality¹¹⁴⁸ sowie der Einsatz Digitaler Zwillinge¹¹⁴⁹ lassen sich auch im Falle von kritischen Situationen von Brücken, wie Hochwasser oder Einsturzgefahr, als zusätzliche visuelle Methoden für die Abschätzung der Schadenssituation, aber auch im Rahmen von Schulungen, wie die Simulation des Aufbaus eines Krisenmanagements respektive der Vorbereitung und des Ablaufs kritischer Situationen, einbinden.

Die Deutsche Bahn hat im Rahmen eines sukzessiven Drei-Phasen-Modells die Zielsetzung, bis 2025 die BIM-Methodik vollständig für Planung und Bau der Infrastruktur anzuwenden. Zusätzlich soll dabei durch die Unterstützung neuer digitaler Technologien eine Optimierung der Qualität von Planung, Ausführung und Betrieb von Eisenbahninfrastrukturanlagen angestrebt werden.¹¹⁵⁰

Wesentliche Aspekte zur Bewältigung kritischer Situationen von Brücken sind derzeit die Erarbeitung eines Standards für die Sonderprüfung unter dem Einsatz mit UAS, um einen routinisierten Ablauf hinsichtlich der Planung, Durchführung und Bewertung der Datenergebnisse zu gewährleisten,¹¹⁵¹ sowie weitere Entwicklungen in der Fluggerätetechnik und -navigation der UAS, um deren Verfügbarkeit optimieren zu können.¹¹⁵²

4.2 Erforderliche Partner und Technologien

Um eine handnahe Bauwerksprüfung durch UAS zu ergänzen und zukünftig zu ersetzen, sind Änderungen in den Geschäftsprozessen und IT-Systemen erforderlich. Hierfür muss zunächst auf der Grundlage eines zu erarbeitenden Qualitätsstandards das Programmsystem Straßeninformationsbank (SIB-Bauwerke) erweitert respektive angepasst werden. Die Erweiterung und Optimierung des Systems ist von den Straßenbauverwaltungen von Bund und Ländern sowie der WPM-Ingenieure GmbH vorzunehmen, welche das System entwickelt haben.¹¹⁵³ Zum einen müssen im bestehenden System die Module für die Inspektion mit UAS hinzugefügt werden, zum anderen muss die Speicherkapazität erhöht werden. Darüber hinaus muss die Einbindung von BIM ermöglicht werden. Hierfür empfiehlt sich die Kooperation mit der Technischen Universität München, Leonhard Obermeyer Center, Lehrstuhl

¹¹⁴⁶ Vgl. Brauner/Friedrich (2018) S. 212; Willisegger (2018) S. 73 f.; Baumann/von Rössing (2018) S. 163 ff.

¹¹⁴⁷ Vgl. Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 3, S. 57.

¹¹⁴⁸ Vgl. Fellner (2018) S. 27 ff.

¹¹⁴⁹ Vgl. Huber (2018) S. 91 ff.; Hippmann/Klingner/Leis (2018) S. 13.

¹¹⁵⁰ Vgl. Deutsche Bahn (2019a) S. 6.

¹¹⁵¹ Vgl. Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 65.

¹¹⁵² Vgl. Morgenthal/Hallermann/Achtelik (2015) S. 130; Landrock/Baumgärtel (2018) S. 15.

¹¹⁵³ Vgl. WPM-Ingenieure (o.J.); Mertens (2015) S. 285.

für Computergestützte Modellierung und Simulation, unter deren Leitung die Machbarkeitsstudie „BIM für Bestandsbrücken“ entstanden ist.¹¹⁵⁴

Eine Flugplanungssoftware speziell für die Inspektion von Brücken und Ingenieurbauwerken liegt noch nicht vor. Diese ist ebenfalls auf der Basis eines noch zu entwickelnden Qualitätsstandards zu erarbeiten. Das Unternehmen Sharper Shape plant bereits ihre speziell für die automatische Inspektion der Anlagen von Stromversorgern entwickelte Software Automatic Detailed Inspection (ADI) auf andere Kritische Infrastrukturen anwenden zu können.¹¹⁵⁵

Der Einsatz von unbemannten Luftfahrzeugsystemen im Rahmen der Inspektion erfordert die Entwicklung einer Datenbank, welche die generierten Massendaten speichern kann. Das Institut für Datenwissenschaften des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) in Jena beschäftigt sich in der Abteilung Datenmanagement und -analyse neben der Analyse und Verarbeitung großer komplexer Datenmengen, insbesondere aus der Erdbeobachtung, mit der Verwaltung und Archivierung großer heterogener Datenbestände (Inhalt und Herkunft) sowie dem Aufbau zukünftiger Datenbanken für den Umgang mit diesen Daten, welche immer schneller produziert werden und zudem auf verschiedenen IT-Infrastrukturen, wie z. B. öffentliche oder private Rechner, verteilt sein können.¹¹⁵⁶

Unter dem Aspekt der wachsenden Datenmenge, welche durch UAS im Rahmen der Inspektion generiert werden und deren stetig erweiternden Einsatzmöglichkeiten, ist neben der Verwaltung eine Archivierung dieser Daten in Betracht zu ziehen, welche nach unterschiedlichen Kategorien zu sortieren sind und über ein Portal zur Verfügung gestellt werden könnten. Im Earth Observation Center (EOC) im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) werden z. B. die Satellitenbilddaten im deutschen Satellitendatenarchiv (D-SDA) von fast allen europäischen Erdbeobachtungsmissionen empfangen, verwaltet und archiviert. Das D-SDA archiviert derzeit über 10 Petabyte an Erdbeobachtungsdaten und Geoinformationsprodukten. Das Datenmanagement wird durch Bandroboter mit hoher Speicherkapazität sowie durch hoch leistungsfähige Server unterstützt. Mit einer Speicherkapazität von 50 Petabyte wurde die Voraussetzung geschaffen, die großen Datenmengen derzeitiger und zukünftiger Satellitenmission zu verarbeiten. Darüber hinaus bieten ca. 170 Terabyte Festplattenspeicher die Möglichkeit für einen schnellen Datentransfer zwischen Archiv und Prozessierungssystemen.¹¹⁵⁷

Cloudbasierte Datenanalyseplattformen, mit denen branchenunabhängig die durch UAS generierten Daten gespeichert, verwaltet, verarbeitet und analysiert werden können, wurden bereits von der Flynex GmbH sowie der Intel Deutschland GmbH entwickelt.¹¹⁵⁸

Die sinnvolle Kombination der durch den Einsatz von UAS generierten Massendaten mit Daten anderer Quellen, wie z. B. Verwaltungsdaten, Erdbeobachtungsdaten oder Satellitenbilddaten, kann zukünftig die Inspektion von Ingenieurbauwerken optimieren. So arbeiten seit

¹¹⁵⁴ Vgl. Singer/Borrmann (2016).

¹¹⁵⁵ Vgl. Gerstl (2017); Sharper Shape Inc.

¹¹⁵⁶ Vgl. DLR, Institut für Datenwissenschaften.

¹¹⁵⁷ Vgl. Mikusch (o.J.b); Molch/Kiemle u.a. (2016); Baldenhofer (2019) Stichwort: Datenmanagement.

¹¹⁵⁸ Vgl. FlyNex GmbH; Intel Deutschland GmbH.

2018 in dem interdisziplinären vierjährigen Forschungsprojekt „Big-Data-Plattform“ 21 DLR-Institute aus den Bereichen Raumfahrt, Luftfahrt, Verkehr, Energie und Sicherheit zusammen, um Methoden zu entwickeln, große wissenschaftliche Datensätze zu analysieren und auszuwerten, um sie damit effizient nutzen zu können sowie Erdbeobachtungsdaten sinnvoll mit Messungen am Boden zu kombinieren bzw. intelligent zu vernetzen und somit neue Informationsquellen respektive gesellschaftlich relevantes Wissen zu erschließen. Im letzteren Fall geht es um die Zusammenführung von heterogenen Datensätzen, wie z. B. Satellitenbilder oder sensorische Daten mit Aufnahmen von Bauwerken. Bei den Analyseverfahren handelt es sich um Data Mining, womit Informationen und Gesetzmäßigkeiten erkannt werden können, und maschinelles Lernen, wobei neben dem Erkennen von Gesetzmäßigkeiten zusätzlich Fähigkeiten durch Verarbeitung von Datensätzen zum eigenständigen Lernen entwickelt werden (vgl. Kap. 2.2.1). Im Rahmen der Inspektion von Brücken könnten somit z. B. mit der Echtzeit-Analyse von Bilddaten einer Brücke in Verbindung mit Methoden des maschinellen Lernens Schäden, wie z. B. Korrosionsstatus/-entwicklung, frühzeitig erkannt werden.¹¹⁵⁹

Auch die Forschungsorganisation Helmholtz-Gemeinschaft beschäftigt sich in ihrem Forschungsbereich „Information & Data Science“ u.a. mit den Themenfeldern Informationsverarbeitung, Big Data, Data Analytics, Simulation, Modellierung, bildgebende Verfahren, Forschungsdaten-Management und High Performance Computing und verfügt über einen „exponentiell wachsenden Schatz von Big Data“.¹¹⁶⁰ Im Rahmen von Pilotprojekten werden derzeit u.a. moderne Analysetechniken, Bilderkennung und bildgebende Verfahren sowie Methoden zur Analyse von Metadaten entwickelt, da zum einen ein wachsender Anteil der Informationen in Bildform erhoben und verarbeitet wird und zum anderen immer vielfältigere und komplexere Datensätze zur Generierung von Wissen erhoben werden.¹¹⁶¹

4.3 Entwicklung einer Systemarchitektur für ein ganzheitliches Inspektionskonzept

Zum Aufbau eines ganzheitlichen Inspektionskonzepts ist neben der Erweiterung der bestehenden IT-Systeme respektive der Entwicklung einer neuen IT-Infrastruktur die Implementierung einer Data Governance und eines Datenmanagements unter Berücksichtigung des gesamten Lebenszyklus der generierten Daten unabdingbar erforderlich. Da die Erhebung der durch UAS generierten Daten einen Mehrwert für Unternehmen, die Verwaltung (Smart City) und Gesellschaft (Smart Living) schaffen kann, werden zudem digitale Geschäftsmodelle mit UAS sowie das Recht und die Verwertung der Daten thematisiert. Unter dem Kontext der Digitalisierung und Industrie 4.0 nehmen die Aspekte Datenschutz und Datensicherheit einen weiteren Schwerpunkt im Rahmen des Inspektionskonzepts mit UAS ein.

¹¹⁵⁹ Vgl. DLR (2018b); Kammermeier (2019) 6 ff.

¹¹⁶⁰ Vgl. Helmholtz-Gemeinschaft (2017) S. 3.

¹¹⁶¹ Vgl. Helmholtz-Gemeinschaft (2017) S. 6 ff.

Zur Entwicklung, Optimierung und Umsetzung der erforderlichen Systeme und Software sowie der Datenanalyse und Datenauswertung im Rahmen der Inspektion von Ingenieurbauwerken mit UAS ist die Erarbeitung von Qualitätsstandards erforderlich. Darüber hinaus ist im Hinblick auf die rechtlichen Rahmenbedingungen die Verwendung einer einheitlichen Terminologie sowohl auf nationaler als auch auf internationaler Ebene einzuführen sowie eine ganzheitliche Betrachtung der UAS vorzunehmen. Abschließend wird die Zertifizierung von Einsätzen mit UAS im Rahmen des Datenschutzes thematisiert.

4.3.1 Data Governance unter dem Einsatz von UAS

Daten und Informationen gehören zu den wichtigsten und wertvollsten Ressourcen für den Wettbewerbsvorteil und damit den wirtschaftlichen Erfolg eines Unternehmens¹¹⁶² und gelten neben Kapital, Arbeitskraft und Rohstoffen als vierter Produktionsfaktor der Informations- bzw. Wissensgesellschaft.¹¹⁶³ Im Rahmen von Industrie 4.0 sind unbemannte Luftfahrzeugsysteme eine wichtige Quelle für die Anreicherung vorhandener Geschäftsprozesse mit neuen und detaillierteren Daten.¹¹⁶⁴ Da nahezu alle Wirtschaftsbranchen mit ihren Geschäftsmodellen und Geschäftsprozessen von Daten abhängig sind respektive Daten selbst Basis eines digitalen Geschäftsmodells werden können,¹¹⁶⁵ gilt es, diese effizient und gewinnbringend zu nutzen und sie als Wirtschaftsgut (Asset) sicher zu stellen. Daten bilden als betriebswirtschaftliches Vermögen die Grundlage jeder Geschäftsstrategie und müssen daher über ihren gesamten Lebenszyklus qualitativ gesichert werden. Mit der Implementierung von Data Governance kann eine verantwortungsvolle und nachhaltige Organisation, Dokumentation, Steuerung und Optimierung von Daten sowie deren Informationen im Unternehmen erzielt werden.¹¹⁶⁶ Es dient dazu, während des gesamten Lebenszyklus von Daten, wie Erhebung, Speicherung, Analyse, Auswertung, Archivierung und Löschung, sowohl die Risiken zu erkennen und zu vermeiden als auch die Potenziale zu nutzen und die Kosten zu senken.¹¹⁶⁷ Mit Data Governance werden die vorhandenen Unternehmensdaten in der Form gepflegt, optimiert, angereichert oder anderweitig aufbereitet, dass die Datenqualität messbar gesteigert und somit die Daten als Wirtschaftsgut genutzt werden, wodurch zugleich die Prozesse bei der Datenverarbeitung optimiert werden.¹¹⁶⁸

Bei der Datenqualität geht es um die Sicherstellung, dass Daten vollständig erfasst, aktuell und für die Weiterverarbeitung geeignet sind. Darüber hinaus muss deren Zugang gewährleistet und geregelt sein.¹¹⁶⁹ Um die Datenqualität (Data Quality) verbessern zu können, bedarf es Verantwortlichkeiten, Standards, Richtlinien, Prozesse und Metriken im

¹¹⁶² Vgl. Uniserv GmbH.

¹¹⁶³ Vgl. Anke/Berning u.a. (2017) S. 168.

¹¹⁶⁴ Vgl. Landrock/Baumgärtel (2018) S. 50.

¹¹⁶⁵ Vgl. Landrock/Baumgärtel (2018) S. 49.

¹¹⁶⁶ Vgl. Uniserv GmbH.

¹¹⁶⁷ Vgl. Hinssen/Pürsing (2015).

¹¹⁶⁸ Vgl. Tiedemann (2018a); Uniserv GmbH.

¹¹⁶⁹ Vgl. Hinssen/Pürsing (2015); Tiedemann (2018a).

Unternehmen, welche mit Data Governance als organisatorische Grundlage erzeugt werden.¹¹⁷⁰ Das Ziel der konsistenten Datenqualität muss innerhalb der strategischen Unternehmensziele verankert sein, sodass Unternehmensprozesse mit qualitätsgesicherten Daten operieren können und somit die Ressource Daten optimal genutzt wird.¹¹⁷¹ Neben der Datenqualität gehört im Rahmen des Data Governance insbesondere die Stammdatenpflege (Data Maintenance), welche die Datenanreicherung, Korrektur von Daten und Pflege von Stammdaten zum Ziel hat, der Datenschutz (Data privacy) und Data Compliance, der Einhaltung von gesetzlichen und firmeninterner Standards und Richtlinien. In jedem dieser Bereiche werden Rollen zugewiesen, Einhaltung von Standards sichergestellt und Prozesse definiert.¹¹⁷²

Um Daten (Big Data) der UAS auswerten und die Möglichkeiten der Datennutzung insbesondere mithilfe der Künstlichen Intelligenz erweitern zu können, werden je nach Zweck verschiedene analytische Methoden (Big Data Analytics) eingesetzt, wobei drei Stufen differenziert werden: Bei der deskriptiven Analytik wird das Datenmaterial hinsichtlich deren Auswertung gesichtet und aufbereitet (Priorisierung, Klassifizierung, Filterung). Die prädiktive Analytik dient dazu, Indikatoren für einen Kausalzusammenhang zu identifizieren, um sich entwickelnde Trends und Verhaltensmuster erkennen zu können. Im Rahmen der präskriptiven Analytik wird schließlich das deskriptiv aufbereitete und prädikative Wissen zur Erreichung der gesetzten Ziele eingesetzt. Diese analytischen Methoden gehen über die in der DSGVO verankerte Fokussierung der Verarbeitung personenbezogener Daten hinaus und zielen auf die Ausweitung und Nutzung des durch die Daten generierten Wissens.¹¹⁷³

Für den Umgang mit digitalen Daten und UAS werden Algorithmen eingesetzt, worunter Regeln, welche bestimmte gestellte Aufgaben nach einem standardisierten Muster in zuvor definierten Einzelschritten lösen sollen, verstanden werden. Um diese nutzen zu können, werden sie in einer digitalen maschinell verarbeitbaren Sprache für Computer geschrieben. Meist sind diese Teile komplexer Systeme. Die Einsatz- und Leistungsmöglichkeiten von Algorithmen und damit deren Bedeutung nehmen im Zuge der Digitalisierung stetig zu.¹¹⁷⁴ Algorithmen bestimmen einen großen Teil der täglichen Aktivitäten, insbesondere im Rahmen des Medienkonsums. Beispiele für den Einsatz von Algorithmen sind das Internet der Dinge (IoT), die Nutzung von Apps oder die Vernetzung smarter Gegenstände.¹¹⁷⁵ So lassen sich z. B. mit einem als Software konzipierten Algorithmus Datenmengen sammeln, auswerten und anhand gewonnener Ergebnisse Ratschläge geben.¹¹⁷⁶

Um die analytischen Methoden (Big Data Analytics) erfolgreich durchführen und eine Datenqualität generieren zu können, bedarf es einer Data Governance, welche eine ganzheitliche Betrachtung der Daten im Unternehmen vorsieht, also auch die sog. Big Data mit einbezieht.

¹¹⁷⁰ Vgl. Uniserv GmbH.

¹¹⁷¹ Vgl. Uniserv GmbH.

¹¹⁷² Vgl. Tiedemann (2018a); Uniserv GmbH.

¹¹⁷³ Vgl. Hoffmann-Riem (2018) S. 21 f.

¹¹⁷⁴ Vgl. Hoffmann-Riem (2018) S. 14, S. 21.

¹¹⁷⁵ Vgl. Hoffmann-Riem (2018) S. 21 f.

¹¹⁷⁶ Vgl. Bayer (2016).

Die Implementierung einer sog. Big Data Governance dient dazu, einen substanziellen Mehrwert aus der Analyse von Big Data ziehen und damit Markttrends mitgestalten zu können. Zudem sollen nicht nur die Prozesse der Verarbeitung und Analyse von Big Data effizient und effektiv ablaufen, sondern darüber hinaus müssen die einzelnen Fachbereiche Vertrauen in die Qualität und korrekte Analyse der verwendeten Daten haben können, da die Ergebnisse als Grundlage für strategische und operative Entscheidungen dienen. Und schließlich müssen sich Unternehmen gegen gesetzliche und vertragliche Verstöße absichern.¹¹⁷⁷

4.3.2 Datenmanagement im Rahmen der Inspektion mit UAS

Im Rahmen des Datenmanagements wird der gesamte Daten-Lebenszyklus (Data-Lifecycle-Management) und Informations-Lebenszyklus (Information-Lifecycle-Management) in Betracht gezogen, wozu die Erhebung, Speicherung, Analyse, Auswertung, Archivierung und Löschung komplexer Daten und Informationen gehören.¹¹⁷⁸ Gemäß der DSGVO gehört zur Verarbeitung personenbezogener Daten jeder Vorgang mit oder ohne einem automatisierten Verfahren, „wie das Erheben, das Erfassen, die Organisation, das Ordnen, die Speicherung, die Anpassung oder Veränderung, das Auslesen, das Abfragen, die Verwendung, die Offenlegung durch Übermittlung, Verbreitung oder eine andere Form der Bereitstellung, den Abgleich oder die Verknüpfung, die Einschränkung, das Löschen oder die Vernichtung“ von Daten.¹¹⁷⁹ In gleicher Weise wird dies auch in der europäischen Verordnung für den freien Verkehr nicht-personenbezogener Daten in der Europäischen Union geregelt.¹¹⁸⁰ So unterliegt auch das Erheben und Verarbeiten von Daten mithilfe der unbemannten Luftfahrzeuge den Regeln des Datenschutzes personenbezogener und nicht personenbezogener Daten.¹¹⁸¹ Bei einer Inspektion unter dem Einsatz von unbemannten Luftfahrzeugsystemen werden Daten generiert, welche gespeichert, verarbeitet, analysiert, ausgewertet, archiviert und gelöscht werden, sodass jeder Verantwortliche, wie z. B. die Straßenbauverwaltung, ein Verzeichnis aller Verarbeitungstätigkeiten zu führen hat.¹¹⁸²

Datenerhebung

Zu den wesentlichen vier Aufgaben der unbemannten Luftfahrzeuge, welche zum Zeitpunkt der Verfassung der vorliegenden Studie identifiziert werden konnten, gehören aus technischer Sicht Inspektionen (visuelles Monitoring), Messungen (analytical Monitoring), Transport und Automation (Robotik). Das visuelle Monitoring umfasst Inspektionen, Luftaufnahmen, optische Vermessungsmethoden und Beobachtungen aus der Luft, wobei die unbemannten Luftfahrzeuge mithilfe der eingesetzten/montierten Kameras visuelle Daten generieren. Neben Foto- und Filmkameras werden beim visuellen Monitoring zudem

¹¹⁷⁷ Vgl. Bayer (2016); Eberlein (2016).

¹¹⁷⁸ Vgl. Schneider/Sunyaev (2015) S. 38; Helmholtz-Gemeinschaft (2017) S. 4.

¹¹⁷⁹ Vgl. Art. 4 Nr. 2 DSGVO (2016).

¹¹⁸⁰ Vgl. Art. 3 Nr. 2 Verordnung EU (2018b).

¹¹⁸¹ Vgl. Art. 4 (1–2) DSGVO (2016); Dieckert/Eich (2018) S. 407 ff.

¹¹⁸² Vgl. Art. 30 DSGVO (2016).

andere optische Geräte, wie Infrarot-, Multispektral- oder Thermografie-Kameras eingesetzt.¹¹⁸³ Die durch UAS generierten Bilddaten (2D- und 3D-Daten) entsprechen dem Standardformat der klassischen digitalen Photographie, wie z. B. GeoTIFF (Orthofotos), das in allen CAD- und GIS-Programmen geöffnet werden kann, JPEG oder RAW (Schrägluftbilder). Videobilder werden in den Formaten MPEG oder AVI erzeugt.¹¹⁸⁴

In der Studie „Unbemannte Fluggeräte zur Zustandsermittlung von Bauwerken“ des Instituts für Konstruktiven Ingenieurbau der Bauhaus-Universität Weimar wurde mithilfe der UAS der Zustand von Bauwerken durch Bild- und Videodaten, fotogrammetrische Daten und Infrarot-/Thermografiedaten erfasst. Die Schadenslokalisierung erfolgte auf der Basis von georeferenzierten Daten.¹¹⁸⁵ Die Luftbilder wurden im RAW- und JPEG-Format aufgenommen.¹¹⁸⁶ Beim RAW-Format werden die Daten mithilfe der Digitalkamera zunächst unbearbeitet gespeichert, wobei später Korrekturen der Belichtungen, Verzeichnungen und Vignettierungen an den Aufnahmen erfolgen können.¹¹⁸⁷ Auch im Rahmen der Pilotstudie zum Thema „Unterstützung der Bauwerksprüfung durch innovative digitale Bildauswertung“ erfolgten Aufnahmen durch UAS parallel im JPEG- und RAW-Format.¹¹⁸⁸ Die eingesetzte Spektalkamera zeichnete thermografische Daten als radiometrisches Video im RAVI-Format auf.¹¹⁸⁹ Auch hier wurden die Daten der Sensorsysteme durch Flug- und Lagedaten der UAS ergänzt.¹¹⁹⁰ In einem aktuell vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projekt haben Forschende des Fraunhofer Institut für Physikalische Messtechnik (IPM) und der AirRobot GmbH ein Laser-basiertes Messsystem entwickelt. Unter dem Einsatz eines Coperters wird der Wartungsbedarf der Infrastruktur, wie Brücken oder Straßen, erkannt und digitalisiert. Anhand eines Laserscanners werden dabei Veränderungen, wie die Unterspülung von Bahngleisen oder Risse mit einer Breite von wenigen Millimetern in Bauwerken, durch hochauflösende 3D-Daten erfasst.¹¹⁹¹

Da die mithilfe der UAS generierten Bild- und Videodaten personenbezogene Daten nach der DSGVO darstellen können, sind die Grundsätze der Datenverarbeitung bereits vor Erhebung der Daten zu beachten. Zu diesen Grundsätzen gehören Rechtmäßigkeit, Zweckbindung, Datenminimierung, Richtigkeit, Speicherbegrenzung sowie Integrität und Vertraulichkeit.¹¹⁹² Wenn die Inspektion mit UAS in Auftrag, z. B. durch die Straßenbauverwaltung (Auftraggeber), gegeben werden soll, hat dies auf der Grundlage eines Vertrags zu erfolgen, wobei der Dienstleister (Auftragnehmer) durch geeignete technische und organisatorische Maßnahmen eine rechtskonforme Verarbeitung garantieren muss.¹¹⁹³ In diesem

¹¹⁸³ Vgl. Landrock/Baumgärtel (2018) S. 26 ff.

¹¹⁸⁴ Vgl. Schlesinger/Vogt (2017) S. 3 ff. Tab. 1.

¹¹⁸⁵ Vgl. Morgenthal/Hallermann/Achtelik (2015) S. 20.

¹¹⁸⁶ Vgl. Morgenthal/Hallermann/Achtelik (2015) S. 56, S. 101, S. 115.

¹¹⁸⁷ Vgl. Morgenthal/Hallermann/Achtelik (2015) S. 119.

¹¹⁸⁸ Vgl. Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 26.

¹¹⁸⁹ Vgl. Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 24 f.

¹¹⁹⁰ Vgl. Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 17.

¹¹⁹¹ Vgl. BMBF (2018a).

¹¹⁹² Vgl. Art. 5 DSGVO (2016).

¹¹⁹³ Vgl. Art. 28 (1, 3), Art. 32 DSGVO (2016); Wybitul (2016) S. 69; Krebs (2017) S. 46; Roßnagel/Sunyaev u.a. (2018) S. 15 ff.

Vertrag sind Gegenstand, Dauer, Art und Zweck der Verarbeitung, Art der personenbezogenen Daten sowie Pflichten und Rechte des Verantwortlichen und Auftragsverarbeiters festzulegen.¹¹⁹⁴ Die seit dem 14. November 2018 geltende Verordnung für den freien Verkehr nicht-personenbezogener Daten in der Europäischen Union enthält keine klaren Richtlinien für eine Vertragsgestaltung, sondern es werden hierfür noch Leitlinien entwickelt werden müssen, welche u.a. genaue Angaben über die Prozesse und technischen Anforderungen, enthalten sollen.¹¹⁹⁵ Da im Rahmen einer Inspektion von Brückenbauwerken durch UAS in erster Linie zwar nicht personenbezogene Daten erfasst werden, aber auch unbeabsichtigt personenbezogene Daten generiert werden können, gelten beide Gesetze,¹¹⁹⁶ sodass vertraglich die Verarbeitung beider Arten von Daten geregelt werden muss. Die neue Verordnung gibt allerdings vor, dass untrennbar miteinander verbundene Daten, welche gemischte Datensätze enthalten, nicht nach der DSGVO, sondern nach der neuen Verordnung zu regeln sind.¹¹⁹⁷

Nach den Grundsätzen der DSGVO gilt die Erfassung von Bilddaten im Rahmen einer Inspektion von Ingenieurbauwerken mithilfe von UAS zur Wahrung der berechtigten Interessen des Verantwortlichen als rechtmäßig, da sie erforderlich ist, sofern nicht die Persönlichkeitsrechte betroffener Personen überwiegen.¹¹⁹⁸ Der Zweck besteht also in der zielgerichteten Erfassung und Dokumentation eines Ingenieurbauwerks, wobei allerdings unbeabsichtigt Daten bzw. Aufnahmen von Personen entstehen können.¹¹⁹⁹ Da die Einholung einer Einwilligung an den Zweck der Erhebung gebunden ist,¹²⁰⁰ besteht somit dringender Handlungsbedarf, die Regeln der Bedingungen für die Einwilligung besonderer Fälle, wie im Rahmen von Aufnahmen durch unbemannte Luftfahrzeugsysteme, zu ergänzen. Sofern die Einholung einer Einwilligungserklärung nicht möglich ist, müssen nach Erhebung der Daten diese auf ihren Zweck hin geprüft und nicht zweckgebundene Daten gelöscht werden. Im Rahmen der Datenminimierung ist der Zweck der Verarbeitung personenbezogener Daten auf das notwendige Maß zu beschränken,¹²⁰¹ wonach der Verantwortliche gemäß DSGVO geeignete technische und organisatorische Maßnahmen zu ergreifen hat.¹²⁰²

Datenspeicherung und -aufbereitung

Nach der Übergabe der generierten Daten durch den Dienstleister an den Auftraggeber (Auftragsdatenverarbeitung) empfiehlt sich, diese Daten zunächst in einer gesonderten Datenbank zur ersten Sichtung zu speichern und auf ihre Zweckgebundenheit hin zu prüfen. Wie bei jeder anderen Bildaufnahme können beim Einsatz von unbemannten Luftfahrzeugsyste-

¹¹⁹⁴ Vgl. Art. 26 (1), Art. 28 (3) DSGVO (2016); Wybitul (2016) S. 69 ff.; Krebs (2017) S. 46.

¹¹⁹⁵ Vgl. Art. 6 Verordnung EU (2018b).

¹¹⁹⁶ Vgl. ErWG (10), Art. 2 (2) Verordnung EU (2018b); Piltz (2018).

¹¹⁹⁷ Vgl. Art. 2 (2) Verordnung EU (2018b); Piltz (2018).

¹¹⁹⁸ Vgl. Art. 5 (1) lit. (a), Art. 6 (1) lit. (f) DSGVO (2016).

¹¹⁹⁹ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 411 ff.

¹²⁰⁰ Vgl. Art. 6 (1) lit. (a), Art. 7 DSGVO (2016); Dieckert/Eich (2018) S. 409 ff.

¹²⁰¹ Vgl. Art. 5 (1) lit. (c) DSGVO (2016).

¹²⁰² Vgl. Art. 25 DSGVO (2016); Dieckert/Eich (2018) S. 415 f.

men per Kamera und Video neben dem eigentlichen Zweck unbeabsichtigt Daten bzw. Aufnahmen von Personen entstehen.¹²⁰³ Die Verarbeitung respektive Erhebung von Bilddaten ist zwar im Rahmen einer Inspektion nach dem Grundsatz der Rechtmäßigkeit zur Wahrung der berechtigten Interessen des Verantwortlichen erforderlich, sofern nicht die Interessen und Persönlichkeitsrechte betroffener Personen überwiegen, allerdings ist die Einholung einer Einwilligung an den Zweck der Erhebung gebunden.¹²⁰⁴ Wenn die Einholung einer Einwilligungserklärung im Rahmen einer Befliegung allerdings nicht möglich respektive nicht realisierbar war, indem im Voraus nicht absehbare Flächen überflogen werden, in denen sich Personen im Aufnahmebereich befinden können,¹²⁰⁵ müssen nach Erhebung der Daten diese zunächst auf ihren Zweck hin geprüft und nicht zweckgebundene Daten unverzüglich gelöscht werden.¹²⁰⁶

Wie bei der handnahen Bauwerksprüfung sind die Ergebnisse der Befliegung in einem Prüfbericht nach der „Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076“ (RI-EBW-PRÜF) zu dokumentieren. Dabei werden die Schäden des Ingenieurbauwerks mithilfe des Programmsystems Straßeninformationsbank (SIB-Bauwerke)¹²⁰⁷ erfasst.¹²⁰⁸ Im Rahmen der Pilotstudie zum Thema „Unterstützung der Bauwerksprüfung durch innovative digitale Bildauswertung“ wurden die Ergebnisse der Bildserien aus der Befliegung in das System SIB-Bauwerke integriert. Zum einen besteht dabei die Möglichkeit, alle Befunde in einer Datei im tif-Format einzufügen, wobei eine geringere Datenmenge entsteht und die Befunde als Anlage des Prüfberichtes gedruckt werden können, zum anderen können die Bauwerksteile im 3D-PDF-Format generiert werden, womit eine deutlich verbesserte Darstellung und ein hoher Wiedererkennungsgrad hinsichtlich der Schadensveränderungen erzeugt wird.¹²⁰⁹ In Kapitel 4.1.4 wurde bereits erläutert, dass zukünftig die angewandten Programmsysteme der Straßenbauverwaltungen sowohl funktionstechnisch durch den Einsatz mit UAS als auch durch die Integration von Building Information Modeling (BIM) zu erweitern sind, um die erfassten Daten modellbasiert aufbereiten und strukturieren zu können.¹²¹⁰ Die damit dreidimensional erstellten Bauwerksmodelle ermöglichen die Lokalisierung von Schädigungen sowie die Visualisierung des ermittelten Bauzustands¹²¹¹ nicht nur während der einfachen Prüfungen und Hauptprüfungen, sondern auch im Rahmen von Sonderprüfungen aus besonderem Anlass, indem sie in Kombination mit den durch UAS generierten Daten ein umfassenderes Lagebild der kritischen Situation abgeben können, sodass eine zügigere Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit des Bauwerks erfolgen kann.¹²¹²

¹²⁰³ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 412.

¹²⁰⁴ Vgl. Art. 6 (1) lit. (a, f) DSGVO (2016); Dieckert/Eich (2018) S. 409 ff.

¹²⁰⁵ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 409 ff.

¹²⁰⁶ Vgl. Art. 5 lit. (e) DSGVO (2016).

¹²⁰⁷ Vgl. WPM-Ingenieure (o.J.); Mertens (2015) S. 285; RI-EBW-PRÜF (2017) S. 19 (Anlage 1).

¹²⁰⁸ Vgl. BMVBS (2013) S. 28; Mertens (2015) S. 24 ff.; RI-EBW-PRÜF (2017) S. 9, S. 25 ff. (Anlage 7); Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 59.

¹²⁰⁹ Vgl. Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 59 ff.

¹²¹⁰ Vgl. Singer/Borrmann (2016) S. 16, S. 22.

¹²¹¹ Vgl. Singer/Borrmann (2016) S. 19, S. 65, S. 67.

¹²¹² Vgl. Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 57.

Die derzeitigen Instandhaltungssysteme werden für die Speicherung, Verwaltung und Verarbeitung großer heterogener Datenbestände im Rahmen der Inspektion zukünftig nicht ausreichen, sodass die Entwicklung von Datenbanken für den Umgang mit diesen Daten erforderlich ist, welche in die bestehenden Systeme integriert werden können. Dies ist auch unter dem Aspekt der wachsenden Datenmenge notwendig, welche sowohl aufgrund der steigenden Auflösung der Kameras und länger werdenden Flugzeiten durch UAS¹²¹³ als auch durch zukünftig vermehrte Einsätze mit UAS generiert wird. Hierfür bieten sich verschiedene externe Service-Modelle, wie Software as a Service (Anwendungen des UAS), Plattform as a Service (Datenbankverwaltung/Datenverarbeitung) und Infrastructure as a Service (Speicherkapazitäten) an.¹²¹⁴ So hat die Intel Deutschland GmbH bereits eine Cloudbasierte Datenanalyseplattform (Intel® Insight-Plattform) entwickelt, mit der branchenunabhängig die durch UAS generierten Daten sicher und präzise gespeichert, verwaltet und verarbeitet werden können.¹²¹⁵ Die Software Horizon der Flynex GmbH ermöglicht auf der Basis eines cloudbasierten Datenmanagements neben der Speicherung und Verarbeitung der Daten darüber hinaus auch deren Analyse unter Verknüpfung von Geodaten.¹²¹⁶ Auch das Informationssystem UAV GIS der CiS GmbH dient zur digitalen Weiterverarbeitung der generierten Daten, wobei das System mit einer georeferenzierten Hintergrundkarte an den Autopiloten des UAS gekoppelt ist.¹²¹⁷

Datenanalyse und -auswertung

Nachdem die Daten der Inspektion in den Systemen gespeichert sind, werden sie analysiert und ausgewertet. Auch für die Auswertung und Analyse der im Rahmen einer Inspektion generierten Datenmengen ist eine Datenbank mit hoher Speicherkapazität erforderlich.¹²¹⁸ Im Rahmen der Pilotstudie zum Thema „Unterstützung der Bauwerksprüfung durch innovative digitale Bildauswertung“ konnten anhand von Testbefliegungen an verschiedenen Brückenbauwerken unterschiedlichen Materials (Beton, Stahl, Beton) Schäden in den Kategorien überwiegend prüfbar, teilweise prüfbar und überwiegend nicht prüfbar identifiziert werden. So sind bei den Betonbrücken die Betonoberflächen überwiegend prüfbar, wobei dort Abplatzungen, Bindedrahtreste, Fremdkörper und mechanische Beschädigungen nur teilweise prüfbar sind. Rissbreiten werden ab 0,2 mm unter günstigen Licht- und Feuchtigkeitsbedingungen erkannt. Abplatzungen an den freiliegenden Bewehrungen und Aussinterungen sind ebenfalls überwiegend prüfbar, Haarrisse dagegen nur teilweise prüfbar. Chemische Reaktionen, wie z. B. Chlorid-Einwirkungen, und Rissbreiten $\leq 0,2$ mm sind überwiegend nicht prüfbar. Bei Stahlbrücken sind Schweißnähte, Umschweißungen, Korrosionen und Korrosionsbeschichtungen weitgehend prüfbar, während Schrauben, Unterlegscheiben und Nieten nur teilweise prüfbar sind. Schließlich sind bei Steinbrücken Risse und Abplatzungen überwiegend prüfbar.¹²¹⁹

¹²¹³ Vgl. Landrock/Baumgärtel (2018) S. 50.

¹²¹⁴ Vgl. Schneider/Sunyaev (2015) S. 7 f.; Landrock/Baumgärtel (2018) S. 51.

¹²¹⁵ Vgl. Intel Deutschland GmbH.

¹²¹⁶ Vgl. FlyNex GmbH.

¹²¹⁷ Vgl. CiS GmbH.

¹²¹⁸ Vgl. Landrock/Baumgärtel (2018) S. 50 ff.

¹²¹⁹ Vgl. Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 53 Tab. 3.

Vergleichbare Ergebnisse bezüglich der Erkennung von Rissbreiten wurden in der Studie „Unbemannte Fluggeräte zur Zustandsermittlung von Bauwerken“ des Instituts für Konstruktiven Ingenieurbau der Bauhaus-Universität Weimar erzielt. So wurde im Rahmen einer Luftbildaufnahme eines Gebäudes festgestellt, dass Rissbreiten von 0,5 mm bei einem Abstand von 7,5 m deutlich erkennbar sind und Rissbreiten von 0,2 mm bis zu einem Abstand von 10 m annähernd erkennbar sind.¹²²⁰ Wie bei der oben genannten Studie liegt die Grenze der Erkennung von Rissbreiten bei 0,2 mm. Die hochaufgelösten Bild- und Videodaten können sowohl für die visuelle als auch für eine messtechnische Zustandsermittlung und Überwachung von Bauwerken genutzt werden. Bei der messtechnischen Zustandsermittlung werden die Bilddaten zur fotogrammetrischen Auswertung und georeferenzierten 3D-Rekonstruktion von Bauwerken verwendet.¹²²¹ In diesem Rahmen wurde bereits der neu entwickelte gewichtsoptimierte Laserscanner genannt, der unter dem Einsatz eines Copters anhand hochauflösender 3D-Daten u.a. Risse mit einer Breite von wenigen Millimetern in Bauwerken, wie Brücken und Straßen, erkennen kann.¹²²² Hier ist zukünftig von weiteren Optimierungen der Erhebung von Bilddaten auszugehen.

Aufgrund unklarer bzw. unzureichender Schadensidentifizierungen, welche auf die begrenzten Aufnahmekapazitäten respektive nicht geeigneten Bildverarbeitungsprogramme basieren, dient der Einsatz von UAS zum Zeitpunkt der vorliegenden Studie nur als Unterstützung zur Bauwerksprüfung, was vor allem für die Prüfung von Betonbrücken gilt.¹²²³ Insbesondere sind derzeit noch Grenzen gesetzt, wo manuelle Tätigkeiten, wie Materialproben, Abklopfen nach Hohlstellen, Entfernen von Verkleidungen oder Messungen, z. B. von Rissbreiten, notwendig sind. Vor allem die Bewertung von Rissbreiten ab 0,2 mm kann Einzelbewertungen der Dauerhaftigkeit von ≥ 2 (Zustandsnote) zur Folge haben, was einer eingehenderen Untersuchung bedarf und somit bei visuellen Prüfungen sicher erkannt werden müssen.¹²²⁴ Es besteht somit Handlungsbedarf, eine Software zu entwickeln, welche sowohl eine höhere Auflösung der Aufnahmen als auch eine dreidimensionale Auswertung der Bauwerksteile sowie Messungen von Schäden der Bauwerksteile ermöglichen kann. Zudem sollte die Möglichkeit bestehen, die Datenformate im Building Information Modeling (BIM) überführen zu können, da BIM Informationen analysieren und auswerten kann, welche im Anschluss für andere Prozesse genutzt werden können.¹²²⁵ Die erzeugten Daten der Inspektion sind zur Generierung von weiteren Informationen mit Analyseverfahren des Data Science, wie Data Mining, Deep Learning oder Künstliche Intelligenz (KI),¹²²⁶ auszuwerten.¹²²⁷ Für die Interpretation und Visualisierung der Berechnungs- und Analyseergebnisse sind individuell zu entwickelnde Software-Applikationen erforderlich.¹²²⁸

¹²²⁰ Vgl. Morgenthal/Hallermann/Achtelik (2015) S. 56.

¹²²¹ Vgl. Morgenthal/Hallermann/Achtelik (2015) S. 54, S. 91.

¹²²² Vgl. BMBF (2018a).

¹²²³ Vgl. Morgenthal/Hallermann/Achtelik (2015) S. 54; Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 54.

¹²²⁴ Vgl. Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 54.

¹²²⁵ Vgl. Morgenthal/Hallermann/Achtelik (2015) S. 130.

¹²²⁶ Vgl. Oettinger (2017) S. 8, S. 85, S. 87 f.; Desoi (2018) S. 13.

¹²²⁷ Vgl. Landrock/Baumgärtel (2018) S. 2, S. 49.

¹²²⁸ Vgl. Landrock/Baumgärtel (2018) S. 51.

Darüber hinaus lassen sich die im BIM erfassten digitalen Daten der Inspektion mit Informationen externer Datenbanken verknüpfen und sind somit vielseitig auswertbar.¹²²⁹ Letztere Möglichkeit ist insbesondere für die Zusammenführung und Vernetzung mit anderen Datenquellen zur Erweiterung der Auswertung der Inspektionsdaten von Relevanz. Eine zukünftige Inspektion von Brücken und Ingenieurbauwerken sollte nicht nur anhand der Analyse der durch UAS generierten Daten erfolgen, sondern diese sind zur weiteren Auswertung sinnvoll mit Daten anderer Quellen, wie z. B. Daten im bestehenden System SIB-Bauwerke, in dem alle Konstruktions-, Zustands- und Prüfungsdaten der Brücken verwaltet werden, Daten aufbereiteter 3D-Modelle (BIM), Daten des Monitoring, welche mithilfe von in Brücken eingebauten Sensoren generiert werden,¹²³⁰ oder Satellitenbilddaten, zu verknüpfen, um somit sowohl neue Informationen für die Bauwerksprüfung zu erschließen als auch zusätzlich einen Mehrwert dieser Daten zu generieren.¹²³¹ So setzt das von der Deutschen Bahn gegründete Kompetenzzentrum in Eschborn seit 2015 bundesweit zwölf verschiedene Typen von Multicoptern, welche nach Tragkraft, Flugdauer und Einsatzbereitschaft unterschieden werden, zur Inspektion, Überwachung und Vermessung von Gleisen, Brücken, Bahnhöfen, Bahnwäldern und Baustellen ein. Dabei werden die Luftaufnahmen mit weiteren Geodaten verknüpft, 3D-Modelle errechnet und somit die Basis für das Building Information Modeling gebildet.¹²³²

Die klassische Wertschöpfungskette der Energiewirtschaft wird zunehmend durch eine datenbasierte Wertschöpfung erweitert, indem durch die Verfügbarmachung bereits bestehender Daten der klassischen Wertschöpfungskette (Erzeugung, Handel, Netz, Vertrieb) der Rohstoff für die datenbasierte Wertschöpfungsebene gewonnen werden kann.¹²³³ Im Rahmen der Projektidee „enera“, welche vom BMVI gefördert wurde, ist die Ausgestaltung einer Plattform (Smart Data und Service Plattform) entstanden, mit der Daten aus den zunehmend digitalisierten Netzen, Smart Meter-Daten und anderen Sensordaten in Beziehung gesetzt und analysiert werden können, wodurch neue Services als Grundlage für datenbasierte Geschäftsmodelle im Ecosystem Energie entstehen.¹²³⁴ Hieraus entstand der Gedanke, diese Daten mit jenen anderer Ecosysteme, wie z. B. dem Bereich Verkehr oder der Versicherungswirtschaft, bereitzustellen.¹²³⁵

In der seit dem 14. November 2018 geltenden Verordnung „über einen Rahmen für den freien Verkehr nicht-personenbezogener Daten in der Europäischen Union“ werden elektronische Daten als bedeutsam herausgestellt, welche „eine große Wertschöpfung schaffen, wenn sie analysiert oder mit Dienstleistungen und Produkten kombiniert werden.“¹²³⁶ Die Thematik der Analyseverfahren von generierten Massendaten unter dem Einsatz von neuen Technologien, wie z. B. unbemannten Luftfahrzeugsysteme, wird in dieser Verordnung allerdings nicht im Detail geregelt, obwohl mit der zukünftigen Weiterentwicklung der Analysemethoden und der

¹²²⁹ Vgl. Hausknecht/Liebich (2016) S. 33 f., S. 142 ff.

¹²³⁰ Vgl. Fischer/Straub u.a. (2014); Fischer/Straub u.a. (2015); Haardt (2018); Hill (2018); BASt (2018c).

¹²³¹ Vgl. DLR (2018b).

¹²³² Vgl. Thomas (2017).

¹²³³ Vgl. Arnold/Postina (2017) S. 124 f.

¹²³⁴ Vgl. Arnold/Postina (2017) S. 125 ff., S. 129 ff.; EWE AG.

¹²³⁵ Vgl. Arnold/Postina (2017) S. 129 f.

¹²³⁶ Vgl. ErwG (1) Verordnung EU (2018b); Piltz (2018).

zunehmenden Digitalisierung davon auszugehen ist, dass Daten häufiger personenbeziehbar werden und somit der DSGVO unterliegen.¹²³⁷ Allerdings wird aufgrund des Aufkommens neuer Technologien, wie der Künstlichen Intelligenz, im Zusammenhang mit dem Zugang und der Weiterverwendung von Daten, der Haftung, Ethik und Solidarität, darauf hingewiesen, Regeln für die Selbstregulierung einzuführen.¹²³⁸ Zudem soll der Aspekt der gemischten Datensätze bezüglich der Entwicklung der Technik, welche zu einer erweiternden Deanonymisierung von Daten führen kann, spätestens bis zum Jahre 2022 erneut geprüft werden.¹²³⁹

Insbesondere sind neben den Möglichkeiten auch die Grenzen der Datenanalyse mithilfe des Data Mining im Hinblick auf den Datenschutz zu regeln.¹²⁴⁰ In diversen Fachkreisen wird bereits diskutiert, ob und wie der Wert von Daten zu bilanzieren und zu besteuern ist.¹²⁴¹ In der neuen Verordnung werden die generierten Daten weder als Wirtschaftsgut betrachtet noch die Nutzungsrechte der Daten geregelt, welche als Basis zur Erschließung digitaler Geschäftsmodelle dienen können. So kann gegenwärtig zwischen Unternehmen, welche eine Inspektion mithilfe von unbemannten Luftfahrzeugsystemen als Dienstleistung anbieten, und den Nutzern dieser Dienstleistung eine vertragliche Vereinbarung bezüglich der generierten Daten auch im Hinblick auf die Nutzungsrechte erfolgen.

Datenarchivierung

Die Archivierung dient zur langanhaltenden Speicherung von Daten, um z. B. den gesetzlichen Aufbewahrungsfristen gerecht zu werden oder die Daten zu wissenschaftlichen Zwecken zur Verfügung stellen zu können. Neben der Verfügbarkeit muss die Integrität der archivierten Daten sichergestellt werden, indem sie zugriffsgeschützt abgelegt und alle Zugriffe protokolliert werden.¹²⁴²

Im Rahmen von Industrie 4.0 werden große Datenmengen in Unternehmen in sog. Data Lakes gespeichert, welche mithilfe von definierten Standards erfasst, verarbeitet und verwaltet werden. Nur wenn die Standards eingehalten werden, können relevante Daten im System gefunden sowie sinnvoll und ökonomisch rentabel verarbeitet und als ein wichtiger Teil der Wertschöpfungskette erkannt werden.¹²⁴³ Data Lakes bieten die Möglichkeit viele und heterogene unstrukturierte Daten auch aus externen Datenquellen, welche vorab nicht aufbereitet sind, zu speichern und sie für Auswertungen (Data Analytics) bereitzustellen.¹²⁴⁴

Wie bereits oben erwähnt, sind die Systeme zur Instandhaltung von Brücken nicht für die Verwaltung und Archivierung großer heterogener Datenbestände konzipiert, sodass der Aufbau einer Datenbank zu erwägen ist, welche die Inspektionsdaten nach unterschiedlichen Kategorien, z. B. Art der Nutzung, sowie nach Inhalt und Herkunft archiviert (Digitale Platt-

¹²³⁷ Vgl. Desoi (2018) S. 245.

¹²³⁸ Vgl. ErwG (1) Verordnung EU (2018b).

¹²³⁹ Vgl. Art. 8 (1a) Verordnung EU (2018b).

¹²⁴⁰ Vgl. Desoi (2018) S. 2, S. 4.

¹²⁴¹ Vgl. Wrobel/Hecker (2018) S. 268.

¹²⁴² Vgl. Schläger/Thode (2018) S. 537 f.

¹²⁴³ Vgl. Tiedemann (2018a).

¹²⁴⁴ Vgl. Tiedemann (2018b).

form für Inspektionsdaten), vergleichbar mit dem Satellitendatenarchiv des Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR). Nach der Nutzung der im Rahmen der Inspektion generierten Daten sind diese zur weiteren Wertschöpfung und zu wissenschaftlichen Zwecken zu archivieren, vorausgesetzt die Eigentumsrechte wurden vertraglich geregelt und die Archivierung verstößt nicht gegen gesetzliche Richtlinien.

Datenlöschung

Sofern im Rahmen der Inspektion mit UAS personenbezogene Daten generiert wurden, sind diese gemäß DSGVO, wenn sie nicht mehr für den Zweck notwendig sind oder unrechtmäßig verarbeitet wurden oder die betroffene Person ihre Einwilligung widerrufen respektive Widerspruch eingelegt hat, zu löschen,¹²⁴⁵ sofern die Löschung keinen gesetzlichen Archivierungspflichten gegenübersteht.¹²⁴⁶ Insbesondere digitale Datenträger, wie Festplatten, CDs, USB-Sticks und SSDs, stellen dabei eine große Herausforderung dar, da mit einem einfachen Löschvorgang im System die Daten in der Regel nicht sicher gelöscht werden. Zu den sicheren Löschmethoden gehören zum einen die physische Vernichtung, zum anderen das digitale Löschen. Die physische Vernichtung wird insbesondere für Papierdokumente verwandt, wobei das Schreddern nach der DIN-Norm 66399 in Sicherheitsstufen, deren Einsatz von der Höhe der Vertraulichkeit der Daten abhängig ist, eingeteilt wird. Schredder können darüber hinaus auch für Mikrofilme oder CDs verwandt werden, andernfalls können Medien physisch beschädigt oder zerstört werden. Vor der physischen Zerstörung empfiehlt sich eine zusätzliche digitale Löschung der Daten. Beim digitalen Löschen der Daten muss sichergestellt werden, dass diese nicht mehr hergestellt werden können, indem Überschreibprogramme verwendet werden.¹²⁴⁷ Die Speicherung verschlüsselter Daten bietet durch das Überschreiben des verwendeten Schlüssels eine weitere Möglichkeit, Daten zu löschen, da ohne den Schlüssel auf diese Daten grundsätzlich nicht zugegriffen werden kann.¹²⁴⁸

Eine geregelte Löschung nicht personenbezogener Daten ist gemäß der seit dem 14. November geltenden Verordnung „für den freien Verkehr nicht-personenbezogener Daten in der Europäischen Union nicht vorgesehen.“¹²⁴⁹ Demzufolge ist hier auch nicht zwischen Aufbewahrungs- oder Verweilregeln der Daten zu differenzieren.¹²⁵⁰

4.3.3 Digitale Geschäftsmodelle mit UAS

Die Erhebung digitaler Daten, welche einen Mehrwert für das eigene Unternehmen, für Kunden, Partner und Lieferanten generieren, ist zukünftig der Schlüssel zum „digitalen Point of Sale“. Durch den Einsatz der UAS werden große Datenmengen generiert, welche sich gezielt für Optimierungen bestehender Geschäftsmodelle und für neue innovative Geschäftsmodelle

¹²⁴⁵ Vgl. Art. 17 (1) lit. (a–d) DSGVO (2016); Wybitul (2016) S. 43 f., S. 59 ff., S. 119; Krebs (2017) S. 44 f.

¹²⁴⁶ Vgl. Schläger/Thode (2018) S. 541.

¹²⁴⁷ Vgl. Schläger/Thode (2018) S. 541 f.

¹²⁴⁸ Vgl. Schläger/Thode (2018) S. 545 f.

¹²⁴⁹ Vgl. Verordnung EU (2018b).

¹²⁵⁰ Vgl. Lehnert/Luther u.a. (2018) S. 140.

nutzen lassen. Hierfür müssen Unternehmen neue IT-Infrastrukturen aufbauen, welche Daten in unterschiedlichen Formaten und aus diversen Quellen sowie die bestehenden Systeme integrieren können.¹²⁵¹ Darüber hinaus müssen die zuvor erschlossenen Daten in den Unternehmen analysiert und für Services und Produkte optimal nutzbar gemacht werden, um eine Kopierbarkeit zu erschweren.¹²⁵² Neben der Speicherung und Analyse der Daten im eigenen Unternehmen, ist die Möglichkeit der Übertragung dieser Aufgaben an externe Firmen gegeben.¹²⁵³ So bietet z. B. Intel neben einer „Drohnen- und Flugplanungssoftware“ (Intel® Mission Control Software) eine Cloudbasierte Bestandsverwaltungsplattform (Intel® Insight-Plattform) an, welche für die Erfassung, die Speicherung, das Management und die Verarbeitung der durch UAS generierten Daten ausgerichtet ist.¹²⁵⁴

Neue (digitale) Geschäftsmodelle entstehen, indem durch bestehende Produkte, wie z. B. Daten, mit deren erweiterten Funktionsspektrum neuartige Nutzungsangebote ermöglicht werden können, wobei die Kernkompetenz des Unternehmens, kombiniert mit neuen Technologien, die Grundlage bildet.¹²⁵⁵ Dabei gibt es zwei Ansätze, die bestehenden Geschäftsmodelle zu verändern: eine evolutionäre Veränderung und Weiterentwicklung respektive Optimierung sowie eine disruptive innovative Veränderung bestehender Geschäftsmodelle, wonach beide Ansätze zunächst parallel verlaufen können.¹²⁵⁶ Bei einem digitalen Geschäftsmodell hat die Digitalisierung die gesamte Wertschöpfung durchdrungen, wobei von analogen Ansätzen bis hin zu vollständig autonom ablaufenden Geschäftsmodellen ausgegangen wird.¹²⁵⁷

Digitale Geschäftsmodelle verändern sich aufgrund des Marktes, der Kunden, der sich stetig weiter entwickelten Technologie und Kopierbarkeit des jeweiligen Geschäftsmodelles schneller als analoge, sodass Unternehmen entsprechend der sich verändernden Rahmenbedingungen ihre bestehenden Geschäftsmodelle optimieren und neue Geschäftsfelder identifizieren müssen.¹²⁵⁸ Zu den wirtschaftlichen und technischen Treibern sowie Eigenschaften für neue digitale Geschäftsmodelle gehören Personalisierung und Individualisierung, Cyber-physische Systeme (CPS),¹²⁵⁹ Service statt Produkt sowie Verkauf ermittelter Daten und Nutzen externer Daten, Cloud-/Plattformen und digitale Eco-Systeme.¹²⁶⁰ Neben einer geeigneten IT-Infrastruktur ist auch die Daten- und Lieferqualität für die Einführung neuer digitaler Geschäftsmodelle von Bedeutung. So kann eine unterschiedliche Granularität sowie zeitliche Auflösung der Daten eine Kombination dieser Daten erschweren.¹²⁶¹ Darüber

¹²⁵¹ Vgl. Harbert/Müller (2015); Huber (2018) S. 76 f.

¹²⁵² Vgl. Wrobel/Hecker (2018) S. 261.

¹²⁵³ Vgl. Harbert/Müller (2015).

¹²⁵⁴ Vgl. Intel Deutschland GmbH.

¹²⁵⁵ Vgl. Huber (2018) S. 99, S. 115.

¹²⁵⁶ Vgl. Huber (2018) S. 99 f.

¹²⁵⁷ Vgl. Huber (2018) S. 104, S. 106 ff.

¹²⁵⁸ Vgl. Huber (2018) S. 105 f.

¹²⁵⁹ Cyber-physische Systeme (CPS) verknüpfen reale (physikalische) Objekte und Prozesse mit informationsverarbeitenden (virtuellen) Objekten und Prozessen (Hard- und Software), die miteinander über das Internet kommunizieren können, vgl. Huber (2018) S. 30 ff.

¹²⁶⁰ Vgl. Huber (2018) S. 108.

¹²⁶¹ Vgl. Huber (2018) S. 119.

hinaus gilt es mit IT-/Cyber-Sicherheit und Datenschutz Vertrauen in digitale Geschäftsmodelle aufzubauen, wobei der technische Datenschutz, wie Verschlüsselung und Anonymisierung der Daten, an erster Stelle steht. Ein weiterer Aspekt ist die Datenverwaltung nur jener Daten, welche erforderlich sind, was gleichzeitig eine Reduzierung der IT-Ressourcen bedeutet (vgl. Kap. 4.3.5).¹²⁶² Neben der eigenen gewinnbringenden Nutzung der generierten Daten, auch in Kombination mit externen Daten, können diese auch für andere Unternehmen von Wert respektive Interesse sein, wie z. B. das Bereitstellen von Wetterdaten. Maßgebend hierbei ist der Grad der Datennutzung.¹²⁶³

Mit dem Einsatz von unbemannten Luftfahrzeugsystemen ist auch die Entwicklung neuer, innovativer Geschäftsmodelle verbunden, wie z. B. in der öffentlichen Sicherheit (Katastrophenschutz und Polizeiarbeit), Land- und Forstwirtschaft, medizinischen Versorgung, Luftbilderstellung, Logistik, Wartung und Instandhaltung. So setzt sich der Digitalverband Bitkom für eine technologiefreundliche Regulierung der zivilen Nutzung von unbemannten Luftfahrzeugsystemen ein, damit innovative Geschäftsmodelle, welche auf dem Einsatz von unbemannten Luftfahrzeugsystemen basieren, am Wirtschaftsstandort Deutschland entstehen und nachhaltig betrieben werden können.¹²⁶⁴

Im Rahmen der digitalen Transformation müssen bestehende Systemarchitekturen grundlegend revidiert oder neu geschaffen werden, um neben den herkömmlichen modernisierte und neuartige Produkte sowie Dienstleistungen anbieten zu können. Die neu organisierten digitalen Geschäftsmodelle werden unter dem Begriff „Smart Ecosystems“ (digitale Ökosysteme) subsumiert, welche alle betrieblichen, privaten und gesellschaftlichen Aktivitäten und Dienstleistungen, die durch softwarebasierte Systeme unterstützt werden, integrieren, so dass diese als Einheit fungieren, um gemeinsam kundenspezifische Lösungen unternehmensübergreifend anbieten zu können. Die digitale Transformation hat in zahlreichen Branchen dazu geführt, dass bisher persönlich erbrachte Dienstleistungen digital vermittelt werden, wie z. B. Amazon, Uber oder Airbnb, welche ohne eigene – Assets – Produktion, Transportmittel oder Wohnraum Dienstleistungen über Plattformen anbieten.¹²⁶⁵ So sind auch im Bereich Inspektion unter dem Einsatz von UAS neue digitale Geschäftsmodelle entstanden.

Als Beispiel eines ersten innovativen Geschäftsmodells mit UAS im Bereich der Energiewirtschaft ist die Plattform der UCAIR GmbH aufzuführen, welche eine schnelle und transparente Inspektion von Fotovoltaikanlagen – aus der Luft unter Nutzung einer Plattform ermöglicht. UCAIR nutzt dabei ein Netzwerk von über 45 „Drohnenpiloten“ in ganz Deutschland, welche mit Thermografie-Aufnahmen die Anlagen überprüfen. Die generierten Daten werden im Anschluss zur Analyse an UCAIR weitergeleitet. In der Datenauswertung werden Defekte an Solarzellen und -modulen oder Komplettausfälle von Substrings oder Wechselrichtern durch Temperaturunterschiede sichtbar, welche in einem digitalen Inspektionsbericht aufgearbeitet

¹²⁶² Vgl. Art. 25 (2) DSGVO (2016); Huber (2018) S. 118 f.

¹²⁶³ Vgl. Huber (2018) S. 111 f.

¹²⁶⁴ Vgl. Bitkom (o.J.).

¹²⁶⁵ Vgl. Liggesmeyer/Rombach/Bomarius (2018) S. 347 f.

werden. Auf dieser Grundlage werden Handlungsempfehlungen für Reparaturen oder Wartungsmaßnahmen gegeben, um einen maximalen Ertrag der Anlagen zu erzielen.¹²⁶⁶

Das Start-up Fairfleet vermittelt Bildaufnahmen und -auswertungen von „Drohnen“ über eine webbasierte Plattform. Kunden können zunächst auf einer Karte definieren, welcher Raum und welches Objekt überflogen, fotografiert oder gefilmt werden soll. Nach der Onlinebuchung kümmert sich Fairfleet um die Genehmigungen und lässt ein Fluggerät aus seinem Netzwerk von aktuell 1.600 lizenzierten und versicherten „Drohnenpiloten“ aus 42 Ländern starten. Anschließend können zudem auf Wunsch die Auswertung der Aufnahmen für Vermessungen und Inspektionen oder die Erstellung von automatisierten Analyseberichten erfolgen. Das Unternehmen Fairfleet bietet aktuell seine Dienstleistungen, welche als Festpreispakete angeboten werden, vor allem für die Immobilienbranche und als Inspektionsservice für die Telekommunikations-, Energie- und Versicherungsbranche an. Weitere Einsatzgebiete sind in Planung. In Kooperation mit der Allianz Global Corporate & Specialty (AGCS) baut Fairfleet ein Netzwerk von „Drohnenpiloten“ auf, das bei der Datenerhebung und bei Überwachungsmaßnahmen nach Naturkatastrophen weltweit eingesetzt werden kann.¹²⁶⁷ Das US-amerikanische Start-up Airware ist mit einem ähnlichen Geschäftsmodell wie Fairfleet als Dienstleister auf dem Markt.¹²⁶⁸

Wien Energie, der größte Energiedienstleister Österreichs, hat mit „Smart Drone Inspection“ ein neues Servicemodell im Bereich der Inspektion von Kraftwerksanlagen, Industriekaminen, Fernwärmeleitungen und Windkraftträder entwickelt, um unter anderem die Arbeitssicherheit zu erhöhen sowie Stillstands- und Ausfallzeiten zu minimieren. Kooperationspartner sind die österreichischen Unternehmen Skyability GmbH und Robimo GmbH sowie die niederländische Firma Birds.ai. „Smart Drone Inspection“ verbindet „Drohnen-Technologie“ mit künstlicher Intelligenz, indem die während der Befliegung mithilfe von Kameras und Sensoren generierten Bilder und Daten mit Künstlicher Intelligenz analysiert und von einem Algorithmus ausgewertet werden. Unter dem Einsatz vielfältiger Algorithmen (Deep Neural Networks) und Supercomputern werden zunächst die erhobenen Bilder und Rohdaten über ein Analyse-Tool auf das Nötigste reduziert. Mithilfe von Künstlicher Intelligenz werden anschließend die verschiedenen Defekte und Fehler automatisiert in den Bildern aufgespürt und diese als Mängelbericht erstellt. „Smart Drone Inspection“ soll nicht nur intern verwendet werden, sondern ist auch als Dienstleistungspaket für externe Kunden von Wien Energie, wie kommunale Infrastruktur- oder Industriebetriebe, vorgesehen. Die nächsten Schritte sind die Markteinführung, welche von der Wirtschaftsuniversität Wien unterstützt wird, sowie die Zertifizierung durch den TÜV-Austria.¹²⁶⁹

Der finnisch-amerikanische „Drone Software as a Service“-Anbieter Sharper Shape, welcher sich auf UAS-Lösungen für Energieversorgungsunternehmen spezialisiert hat, ermöglicht mithilfe der entwickelten Software Automatic Detailed Inspection (ADI) eine vollautomatische, detaillierte Inspektion, ohne manuelle Fernsteuerung, sowie eine Datenanalyse zur Prüfung

¹²⁶⁶ Vgl.UCAIR GmbH.

¹²⁶⁷ Vgl. Heckel (2018); Fairfleet GmbH.

¹²⁶⁸ Vgl. Heckel (2018); Airware Inc.

¹²⁶⁹ Vgl. Roth (2018); Wien Energie GmbH.

von elektrischen Versorgungseinrichtungen, welche unter dem Einsatz von gewerblich verfügbaren Quadrocoptern erfolgen können. Zunächst werden mit der Flugplanungssoftware mithilfe der LiDAR-Daten des Systems automatisch präzise 3D-Modelle der Stromleitungen erzeugt, wobei georeferenzierte Daten genutzt werden, um damit optimierte Flugstrecken für die automatische Inspektion der Anlagen von Stromversorgern zu erstellen. Die während des Fluges generierten Bilder werden anschließend in die cloudbasierte Sharper Inspector-Software-Plattform geladen, wobei durch KI-gestützte Werkzeuge die Analyse der Daten beschleunigt wird. Durch den vollautomatischen Ablauf der Inspektion wird neben einer erhöhten Sicherheit die Inspektionsdauer von derzeit zehn bis zwanzig Minuten pro Anlage bei der manuellen Flugsteuerung auf ein bis zwei Minuten gesenkt. Zudem ist kein speziell geschultes Personal zur „Drohnenoperation“ notwendig und die Qualität der Daten erheblich besser. Das Unternehmen arbeitet zurzeit daran, die Software neben der Inspektion von Stromleitungen und Strommasten zukünftig auch bei automatischen Flugoperationen und Inspektionen an Mobilfunkmasten, Windkraftwerken oder sonstigen kritischen Industrieanlagen einsetzen zu können.¹²⁷⁰

4.3.4 Recht des Eigentums und der Verwertung von Daten

Die durch die zunehmende Digitalisierung und die steigende Vernetzung anfallenden Datenmengen ermöglichen neue Möglichkeiten digitaler Geschäftsmodelle und leisten einen wesentlichen Beitrag zur Wertschöpfung (vgl. Kap. 4.3.3),¹²⁷¹ „wenn sie analysiert oder mit Dienstleistungen und Produkten kombiniert werden.“¹²⁷² In der neuen Verordnung „über einen Rahmen für den freien Verkehr nicht-personenbezogener Daten in der Europäischen Union“ werden allerdings weder die Analyseverfahren von Massendaten unter dem Einsatz neuer Technologien, wie z. B. unbemannte Luftfahrzeugsysteme, noch die Nutzungsrechte nicht personenbezogener Daten und deren Verwertung geregelt, welche als Basis zur Erschließung digitaler Geschäftsmodelle dienen können.¹²⁷³ Das Erheben und Verwerten von Daten tangiert dabei alle Bereiche von Wirtschaft und Gesellschaft, wie Gesundheit, Umwelt, Ernährung, Energieversorgung und intelligente Verkehrssysteme.¹²⁷⁴ Dies bedeutet, dass Verbraucher weder an der Nutzung ihrer Daten, wie z. B. Mobilitätsdaten, wirtschaftlich partizipieren noch deren Freigabe steuern können. Zudem fehlt es an Transparenz hinsichtlich der Erhebung und Verarbeitung von Daten.¹²⁷⁵ So fordert auch der Bundesverband IT-Mittelstand e.V. (BITMi) eine rechtliche Regelung des Eigentums an nicht personenbezogenen Daten, um damit der Bedeutung datenbasierter Geschäftsmodelle gerecht zu werden. In diesem Rahmen sollen sowohl die Hersteller von datenproduzierenden Maschinen als auch die Nutzer solcher Maschinen ein Recht zur Nutzung der Daten erhalten, wobei Klauseln in

¹²⁷⁰ Vgl. Gerstl (2017); Sharper Shape Inc.

¹²⁷¹ Vgl. BMVI (2017b) S. 3.

¹²⁷² Vgl. ErwG (1) Verordnung EU (2018b); Piltz (2018).

¹²⁷³ Vgl. Verordnung EU (2018b).

¹²⁷⁴ Vgl. Wesseler (2018).

¹²⁷⁵ Vgl. BMVI (2017b) S. 3.

den allgemeinen Vertragsbedingungen (AGB), die eine einseitige, ausschließliche Datennutzung durch einen der Vertragspartner festlegen, als unwirksam gelten sollen.¹²⁷⁶

In das Zentrum zukünftiger Geschäftsmodelle wird nicht mehr die Produktion oder der Verkauf von Maschinen liegen, sondern die Daten selbst.¹²⁷⁷ Daten werden allerdings erst dann wertvoll, wenn diese durch Interpretation und Auswertung, wie z. B. durch eigens dafür entwickelte Algorithmen, zu werthaltigen Informationen verarbeitet werden und hieraus mögliche Geschäftsmodelle entstehen oder dem eigenen Geschäftsmodell nützen, wobei sich ein konkreter Wert zunächst nicht festlegen lässt.¹²⁷⁸ Die aus den Informationen entstandene Wertschöpfung respektive Hoheit über das entwickelte Geschäftsmodell unterliegt dann jenem Unternehmen, welches aus den Daten werthaltige Erkenntnisse gezogen hat, um damit z. B. eine Plattform betreiben zu können.¹²⁷⁹

Aus juristischer Sicht kann die Frage nach dem Eigentümer der Daten nicht beantwortet werden, da Daten keine Sache sind und es somit keinen Eigentümer gibt. Auch die vorliegenden Gesetze über Urheberrecht, Patentrecht oder Markenrecht sind nicht auf Daten respektive Massendaten anwendbar.¹²⁸⁰ Relevanter als die Frage nach dem Eigentum der Daten (Wem gehören die Daten?) ist in der Industrie 4.0 vielmehr die Frage nach der Datenhoheit (Wer kann bestimmen, wofür die Daten genutzt werden?).¹²⁸¹

Zur Erlangung einer Datensouveränität können u.a. die Schaffung eines eigentumsähnlichen Ausschließlichkeitsrecht oder die Etablierung spezifischer Nutzungsrechte und Nutzungslizenzen sowie bi- oder multilaterale Verträge zwischen verschiedenen Parteien, wie Unternehmen, Lieferanten von IT-Systemen, Hersteller von Sensoren oder Cloud-Provider, dienen. Auf vertraglicher Basis können dabei die Gewährleistung von Datenschutz und Vertraulichkeit der Daten sowie die Wahrung von Betriebsgeheimnissen und die Einhaltung der Persönlichkeitsrechte festgelegt werden.¹²⁸² Auch muss das Eigentums- und Zugriffsrecht zwischen den Beteiligten vertraglich geregelt werden, wie z. B. ein ausschließliches Zugriffsrecht auf Daten durch den Erzeuger, ein Nutzungsrecht für den IT-Dienstleister oder auch Verträge auf der Basis von Naturalien, wie den kostenlosen Bezug von Cloud-Dienstleistungen gegen die Überlassung von Daten.¹²⁸³ Aufgrund einer bislang nicht vorhandenen Regelung besteht allerdings die Gefahr, dass in erster Linie AGB die Nutzung von Daten bestimmen und damit der stärkere Verhandlungspartner über die Datenhoheit entscheidet. Dies führt dazu, dass sowohl Unternehmen mit weniger Marktmacht als auch kleinere und mittlere Unternehmen (KMU) nicht nur eine Teilnahme an datenbasierten Geschäftsmodellen erschwert wird, sondern von der wirtschaftlichen Nutzung der von ihnen generierten Daten, wozu auch Verbraucher gehören, ausgeschlossen werden.¹²⁸⁴

¹²⁷⁶ Vgl. BITMi (o.J.).

¹²⁷⁷ Vgl. BITMi (o.J.).

¹²⁷⁸ Vgl. Wesseler (2018).

¹²⁷⁹ Vgl. Mies in Wesseler (2018); BITMi (o.J.).

¹²⁸⁰ Vgl. Wesseler (2018).

¹²⁸¹ Vgl. Biegel in Wesseler (2018).

¹²⁸² Vgl. BMVI (2017b) S. 4; Gerenstein und Biegel in Wesseler (2018).

¹²⁸³ Vgl. Wirtgen in Wesseler (2018); BITMi (o.J.).

¹²⁸⁴ Vgl. BITMi (o.J.).

Im Rahmen der Datensouveränität bietet das Unternehmen itsmydata einen ersten Lösungsansatz, indem auf deren Plattform die angeforderten persönlichen Daten, welche bei Unternehmen gespeichert sind, übertragen werden können und anschließend die Möglichkeit der Entscheidung besteht, Daten gegen Entgelt freizugeben.¹²⁸⁵ Auch das französische Unternehmen DAWEX Systems wirbt mit seinem Online-Portal als Marktplatz für die Monetarisierung und den Kauf von Daten.¹²⁸⁶

Neben den im Rahmen der Digitalisierung entstehenden nicht personenbezogenen Massendaten, welche bislang keiner gesetzlichen Regelung unterliegen, werden Daten von Regierung und Verwaltung (offene Verwaltungsdaten) in Form von Rohdaten zur freien kostenlosen Nutzung, insbesondere zur Weiterverwendung und Weiterverbreitung, öffentlich bereitgestellt, sofern es sich um nicht personenbezogene und sicherheitsrelevante Daten handelt.¹²⁸⁷ Für diese Daten gibt es mit dem Informationsweiterverwendungsgesetz (IWG)¹²⁸⁸ und dem geänderten E-Government-Gesetz (EGovG)¹²⁸⁹ einen Rechtsrahmen.¹²⁹⁰

Inwieweit eine Nutzung der durch neue Technologien, wie z. B. unbemannte Luftfahrzeugsysteme, generierten Massendaten zulässig ist, ist nicht nur aus der Perspektive des Datenschutzes zu betrachten, sondern auch aus der Sicht der Datensouveränität und digitalen Privatautonomie hinsichtlich des persönlichen Inhalts der Daten und der Hoheit über deren wirtschaftlichen Verwertbarkeit.¹²⁹¹ Die Prinzipien des Datenschutzes hinsichtlich Datensparsamkeit, Datenminimierung und kurze Speicherdauer kollidieren mit der Entwicklung innovativer Produkte und Dienstleistungen durch die Nutzung und Analyse von Massendaten, welche im Gegensatz zu den genannten Prinzipien durch die drei Eigenschaften Volume (Volumen), Velocity (Geschwindigkeit) und Variety (Heterogenität) charakterisiert werden¹²⁹² (vgl. Kap. 2.2.1). Es gilt demnach die Grundsätze des Datenschutzes mit einem nachhaltigen und verantwortungsvollen Umgang der generierten Daten (Datability)¹²⁹³ zu vereinen.¹²⁹⁴ Mit dem Gesetzesvorschlag „Richtlinie des europäischen Parlaments und des Rates über bestimmte vertragsrechtliche Aspekte der Bereitstellung digitaler Inhalte“ wurde festgelegt, dass Anbieter digitaler Inhalte (Daten in digitaler Form) vom Verbraucher als Gegenleistung Geld erhalten oder diese in Form personenbezogener oder anderer Daten zu erfolgen hat.¹²⁹⁵ Nach diesem Gesetzesvorschlag werden damit Daten als ökonomischen Wert betrachtet, indem sie auf Vertragsbasis als Ersatz für eine Geldleistung herangezogen werden.¹²⁹⁶ Auch

¹²⁸⁵ Vgl. its my data GmbH; Schönwitz (2018) S. 80.

¹²⁸⁶ Vgl. Dawex Systems; Wesseler (2018).

¹²⁸⁷ Vgl. Wesseler (2018).

¹²⁸⁸ Vgl. IWG (2015).

¹²⁸⁹ Vgl. EGovG (2017).

¹²⁹⁰ Vgl. BMI (2017).

¹²⁹¹ Vgl. Weber (2018) S. 112.

¹²⁹² Vgl. Dorschel (2015) S. 6 ff., S. 307, S. 308 ff.; Aichele/Schönberger (2017) S. 508 f.; Desoi (2018) S. 13 ff.; Huber (2018) S. 22.

¹²⁹³ Der Begriff setzt sich aus „Dataprotection“ und „Sustainability“ zusammen.

¹²⁹⁴ Vgl. Weber (2018) S. 113.

¹²⁹⁵ Vgl. Art. 3 (1) Richtlinie (2015).

¹²⁹⁶ Vgl. Weber (2018) S. 113.

im Weißbuch des BMWi wird dafür plädiert, Datensouveränität als Leitgedanken im Datenschutz zu etablieren, wonach die informationelle Selbstbestimmung des Einzelnen über die (wirtschaftliche) Nutzung respektive Verwertung seiner Daten im Mittelpunkt stehen, zugleich aber der gesellschaftliche Nutzen von Datenanalysen, wie z. B. im Mobilitätssektor, ermöglicht werden sollte,¹²⁹⁷ sofern die Analysemethoden von sog. Big Data einen potenziell hohen Nutzen haben.¹²⁹⁸

Der BITMi plädiert für die Entstehung eines offenen Marktes für datenbasierte Geschäftsmodelle hinsichtlich der Nutzung von nicht personenbezogenen Daten, wobei der Inhaber und Nutzer eines datengenerierenden Systems, wie z. B. eines Copters, über das anfallende Datenaufkommen freie Verfügung hat. Im Rahmen von Kauf- oder Mietverträgen werden aber erwartungsgemäß die Lieferanten (z. B. Smartphone, Kraftfahrzeug) entsprechende Klauseln in AGB zur alleinigen Nutzung festschreiben wollen. Dies bedeutet für den Nutzer des Geräts, dass er einer dauerhaften vertraglichen Verpflichtung gegenüber dem Hersteller unterliegt und eine wirtschaftliche Verwertung seiner Daten nicht möglich ist.¹²⁹⁹

Im Rahmen der wachsenden Bedeutung digitaler Geschäftsmodelle stellt sich neben der Datensouveränität zu Recht die Frage nach einer angemessenen Besteuerung dieser Modelle, zumal deren physische Präsenz zugunsten der Relevanz von Nutzern als bewusste oder unbewusste Datenlieferanten an Bedeutung verliert und damit ein adäquater steuerlicher Zugriff auf Basis der aktuellen Richtlinien nicht gänzlich gewährleistet ist.¹³⁰⁰ Mit dieser Themenstellung befassen sich aktuell sowohl die Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) im Rahmen der Maßnahme 1 der BEPS-Initiative,¹³⁰¹ als auch die Europäische Kommission, welche am 21. März 2018 einen „Vorschlag für eine Richtlinie des Rates zum gemeinsamen System einer Digitalsteuer auf Erträge aus der Erbringung bestimmter digitaler Dienstleistungen“ eingereicht hat. Während die OECD die Aspekte der Verortung der Wertschöpfung in digitalen Geschäftsmodellen sowie der den einzelnen Wertschöpfungsstufen beizumessenden Bedeutung im Fokus stellt, besteht der Vorschlag der EU in der Einführung einer Digitalsteuer (Digital Service Tax) und der Besteuerung einer digitalen Betriebsstätte, um weitgehend automatisierten Leistungen, die über das Internet oder andere elektronische Netzwerke bereitgestellt werden, besteuern zu können.¹³⁰²

Neben der grundsätzlichen Frage nach der Besteuerung stellt sich zudem die Frage „welcher Wertschöpfungsbeitrag von den Teilnehmern eines digitalen Geschäftsmodells als für die Ertragsbesteuerung maßgeblicher Maßstab für die Gewinnaufteilung zwischen Staaten ausgeht.“¹³⁰³ In den bisher vorliegenden Gesetzen respektive Richtlinien werden keine praxistauglichen Vorgaben gemacht, wie der Beitrag von Daten zur Wertschöpfung beurteilt

¹²⁹⁷ Vgl. BMWi (2017) S. 67; Weber (2018) S. 114.

¹²⁹⁸ Vgl. BMWi (2017) S. 69.

¹²⁹⁹ Vgl. BITMi (o.J.).

¹³⁰⁰ Vgl. Schwarz/Stein/Freudenberg (2018) S. 2267.

¹³⁰¹ Base Erosion and Profit Shifting.

¹³⁰² Vgl. Richtlinie (2018); Schwarz/Stein/Freudenberg (2018) S. 2267 f.

¹³⁰³ Schwarz/Stein/Freudenberg (2018) S. 2267.

werden kann. Daten sind zwar die notwendige Voraussetzung, damit digitale Geschäftsmodelle funktionieren können, aber sie allein führen nicht zu wertvollen Informationen, sondern erst durch die Entwicklung von Algorithmen und die Auswertung der generierten Daten werden digitale Werte erzeugt. Um den Wertschöpfungsbeitrag von Daten für ein digitales Geschäftsmodell beurteilen zu können, sind zunächst die Bedeutung der Daten in dem jeweiligen digitalen Geschäftsmodell sowie der Prozess der Datenverarbeitung zu definieren.¹³⁰⁴ Hierfür kann das Konzept des Business Model Canvas (BMC) dienen, mit welchem die zentralen Schlüsselfaktoren von Geschäftsmodellen in neun Feldern eines Canvas schematisiert werden können und somit Erfolgsfaktoren sowie Risiken des eigenen Geschäftsmodells transparent werden. Darauf aufbauend ist eine Analyse der Schlüsselressource Daten (Data-Analytics) durchzuführen.¹³⁰⁵

Im Rahmen des strukturierten Datenanalyse-Projekts (Data Mining) wird der sog. CRISP-DM Ansatz (CRoss-Industry Standard Process for Data Mining) verwendet (vgl. Kap. 2.2.1), welcher zur Bestimmung des Grads der Wertschöpfung von Daten eingesetzt werden kann. Der CRISP-DM Ansatz basiert auf einem sechs Phasen orientierten Standard-Prozessmodell, beginnend von der Entwicklung eines grundsätzlichen Verständnisses über ein Geschäftsmodell bis zur Evaluation der Ergebnisse. In den ersten beiden Schritten werden das Datenanalyse-Projekt aus Sicht des operativen Geschäfts und die hierfür notwendige Datengrundlage definiert („Business Understanding“ und „Data Understanding“). Im weiteren Schritt müssen die notwendigen Daten bereinigt, ergänzt und kombiniert werden („Data Preparation“), damit diese anschließend zusätzlich mithilfe innovativer neuer Methoden, wie Machine Learning, weiterverarbeitet werden können („Data Modeling“). In der Evaluationsphase wird überprüft, ob die zu Beginn festgelegte Zielsetzung erreicht wurde oder eine weitere verfeinerte Analyse vorgenommen werden muss. In der abschließenden Umsetzungsphase („Deployment“) sind sowohl die Ergebnisse der Analyse aufzubereiten als auch der Prozess der Datenerhebung zu standardisieren.¹³⁰⁶

Für die Verrechnungspreisanalyse von Daten nach OECD gilt es, die Frage zu beantworten, „wer einen Wertschöpfungsbeitrag zu einem immateriellen Wert oder einem Geschäftsmodell leistet und dafür wertschöpfungsgerecht vergütet werden sollte.“¹³⁰⁷ Bei der Bewertung von Daten sollte zunächst die Datenqualität, d.h. die Eignung von Daten im Rahmen des (digitalen) Geschäftsmodells definiert werden, um deren Eignung für operative Prozesse zu prüfen. So werden bei der Datenerhebung und der Datenpflege Prozesse zur Sicherung der Datenqualität durchgeführt, welche die Analyse der Daten (Data Profiling), Bereinigung der Daten (Data Cleaning) und das Monitoring der Daten (Data Monitoring) umfassen.¹³⁰⁸ Folgende Kriterien charakterisieren ein Mindestmaß an Datenqualität, welche die technischen Aspekte der Datenverarbeitung betreffen: Vollständigkeit, Eindeutigkeit, Korrektheit, Konsistenz, Zu-

¹³⁰⁴ Vgl. Schwarz/Stein/Freudenberg (2018) S. 2268.

¹³⁰⁵ Vgl. Schwarz/Stein/Freudenberg (2018) S. 2268.

¹³⁰⁶ Vgl. Schwarz/Stein/Freudenberg (2018) S. 2268 f.

¹³⁰⁷ Vgl. Schwarz/Stein/Freudenberg (2018) S. 2269.

¹³⁰⁸ Vgl. Schwarz/Stein/Freudenberg (2018) S. 2269.

verlässigkeit und Verständlichkeit. Die weiteren Kategorien Exaktheit, Redundanzfreiheit, Aktualität und Relevanz begründen dagegen die Werthaltigkeit der Daten für das (digitale) Geschäftsmodell.¹³⁰⁹ Die Werthaltigkeit der Daten kann mithilfe eines Scoring-Modells erfolgen, wobei zunächst die relative Relevanz der genannten Kategorien für das eigene (digitale) Geschäftsmodell und anschließend für jede Kategorie, unabhängig von der Bedeutung für das Geschäftsmodell, die Ausprägung bestimmt wird. Die Summe über alle Kategorien ergibt ein Maß für die Datenqualität bezüglich des eigenen Geschäftsmodells.¹³¹⁰

Aufgrund der derzeit noch fehlenden nationalen und internationalen Richtlinien obliegt es den Steuerpflichtigen selbst, die verrechnungspreistechnische Behandlung von Daten im Unternehmen zumindest im Sinne einer Zwischenlösung abzubilden, indem die Herleitung des Wertbeitrags der Daten zwar subjektiv, aber nachvollziehbar darzustellen ist. Da Frankreich im Alleingang eine Digitalsteuer einführen wird, ist in naher Zukunft von einer einheitlichen Regelung auf EU-Ebene auszugehen.¹³¹¹

4.3.5 Informationssicherheitsmanagementsystem

Die Verarbeitung von Daten nimmt im Zuge der Digitalisierung nicht nur eine zentrale Stellung in den Unternehmen ein, sondern aufgrund ihrer zunehmenden Menge und der komplexen Speicherung, wie z. B. cloudbasierter Plattformen, stellt sie die Unternehmen auch vor einer großen Herausforderung und Verantwortung, da nationale und internationale datenschutzkonforme Richtlinien zu beachten sind.¹³¹² Die systematische Implementierung und kontinuierliche Einhaltung eines angemessenen Datenschutzniveaus setzt eine ganzheitliche Betrachtung sowohl der gesetzlichen Richtlinien als auch der Anwendungssysteme der Unternehmen voraus. Dabei sind folgende Aspekte zu beachten: Zum einen ist die Komplexität gewachsener IT-Systemlandschaften in den Unternehmen hoch, deren operative Administration mit den im Datenschutzkonzept verankerten Regeln und Anforderungen im Einklang stehen muss, zum anderen erfordern die zunehmende Automatisierung von Geschäftsprozessen, die Entwicklung neuer datengetriebener Geschäftsmodelle sowie die Erhöhung der Datenmenge und -vielfalt in immer kürzeren Abständen Änderungen an den IT-Systemen, welche stetig überprüft werden müssen.¹³¹³ Darüber hinaus steigen mit der zunehmenden Digitalisierung und Vernetzung der Systeme auch die Gefahren der Angriffe auf die Daten(kommunikation) respektive deren Informationen und IT-Systeme.¹³¹⁴

Datenschutz und Datensicherheit werden im Zuge der fortschreitenden Digitalisierung noch wichtiger werden, weil immer mehr kritische Systeme, wie z. B. Fahrzeuge oder Maschinen, digital vernetzt werden und Cyberkriminalität sowie Cyberspionage sich professionalisiert haben, indem sie sich den üblichen Schutzmaßnahmen, wie Firewalls, Anti-Viren-Programme

¹³⁰⁹ Vgl. Schwarz/Stein/Freudenberg (2018) S. 2270.

¹³¹⁰ Vgl. Schwarz/Stein/Freudenberg (2018) S. 2271.

¹³¹¹ Vgl. Stolton (2018).

¹³¹² Vgl. Anke/Berning u.a. (2017) S. 168.

¹³¹³ Vgl. Anke/Berning u.a. (2017) S. 169 f.

¹³¹⁴ Vgl. Hoffmann-Riem (2018) S. 24.

und Intrusion-Detection-Systeme,¹³¹⁵ widersetzen können.¹³¹⁶ Mit jeder neuen Innovation in der Informationstechnologie wird die Verknüpfung von Informationen, Diensten und Endgeräten intensiviert und eröffnet damit immer neue Bedrohungen für Datenschutz und Datensicherheit.¹³¹⁷

Die technischen Möglichkeiten unbemannter Luftfahrzeugsysteme bieten zwar keine neuen Methoden der Datengenerierung, verleihen ihnen aber eine Dynamik, die es in dieser Form bisher nicht gegeben hat.¹³¹⁸ Durch die Nutzung der UAS im Rahmen einer Inspektion besteht zudem die Möglichkeit, Daten zu generieren, welche den Regeln der DSGVO unterliegen und daher zu schützen sind. Die Umsetzung des Datenschutzes über ein Datenschutzmanagementsystem (DSMS), welches zukünftig auch nicht personenbezogene Daten umfassen wird, betrifft dabei sowohl die Betreiber der UAS (Auftragsverarbeiter) als auch die Nutzer (Verantwortliche) der generierten Daten. Das DSMS verbindet die rechtlichen und betrieblichen Anforderungen unter einem systematischen, managementorientierten Ansatz.¹³¹⁹

Zu den Grundsätzen für die Verarbeitung personenbezogener Daten gehören „Integrität und Vertraulichkeit“, wonach die Sicherheit und der Schutz der Daten durch geeignete technische und organisatorische Maßnahmen gewährleistet werden soll.¹³²⁰ Darin zeigt sich bereits, dass die IT-Sicherheit in der neuen Datenschutzgrundverordnung (DSGVO) einen höheren Stellenwert erhalten hat als im bisherigen alten Bundesdatenschutzgesetz (BDSG).¹³²¹

Mit der Einführung des Datenschutzes durch Technik, dem Prinzip des „privacy by design“, indem die speziellen Anforderungen des Datenschutzes bereits zu einem frühen Zeitpunkt berücksichtigt werden sollen,¹³²² und der „privacy by default“, der datenschutzfreundlichen Voreinstellungen, wonach nicht mehr Daten zu verarbeiten sind, als für den konkreten Zweck notwendig ist,¹³²³ werden konkrete Anforderungen an die Implementierung technischer Sicherheitsmaßnahmen gestellt. Auch zur Sicherheit personenbezogener Daten sind technische und organisatorische Vorkehrungen zu treffen,¹³²⁴ welche zukünftig in der Entwicklung der Sensorik der unbemannten Luftfahrzeugsysteme zu berücksichtigen sind, da die Qualität digitaler Technologien und das Vertrauen in deren Systeme zunehmend durch die IT-Sicherheit und den Datenschutz definiert werden wird. So können mit Mustererkennungstechnologien und der Fähigkeit zum selbstständigen Lernen Sicherheitssysteme erheblich optimiert werden.¹³²⁵

¹³¹⁵ Einbruchmeldeanlagen.

¹³¹⁶ Vgl. Eckert/Waidner (2018) S. 276, S. 277.

¹³¹⁷ Vgl. Eckert/Waidner (2018) S. 282.

¹³¹⁸ Vgl. Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhardt/Moll (2018) S. 159.

¹³¹⁹ Vgl. Loomans/Matz/Wiedemann (2014) S. 19.

¹³²⁰ Vgl. Art. 5 (1) lit. (f) DSGVO (2016).

¹³²¹ Vgl. Schläger/Thode (2018) S. 477.

¹³²² Vgl. Art. 25 (1) DSGVO (2016); Wybitul (2016) S. 45, S. 118, S. 161; Krebs (2017) S. 45.

¹³²³ Vgl. Art. 25 (2) DSGVO (2016); Wybitul (2016) S. 45, S. 118, S. 161; Krebs (2017) S. 45 f.

¹³²⁴ Vgl. Art. 32 DSGVO (2016); Dieckert/Eich (2018) S. 416.

¹³²⁵ Vgl. Wrobel/Hecker (2018) S. 264.

Zu den technischen und organisatorischen Schutzmaßnahmen gehören die Pseudonymisierung und Verschlüsselung von (personenbezogenen) Daten, die Sicherstellung der Fähigkeit, Vertraulichkeit, Integrität, Verfügbarkeit und Belastbarkeit der Systeme und Dienste im Rahmen der Verarbeitung der Daten, die Wiederherstellung der Fähigkeit, Verfügbarkeit und des Zugangs zu den Daten bei einem technischen Zwischenfall sowie ein Verfahren zur regelmäßigen Überprüfung und Bewertung der Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen.¹³²⁶

Im Rahmen der Verschlüsselung, welche der Wahrung der Vertraulichkeit und Integrität von Daten dient, wird zwischen dem symmetrischen und asymmetrischen Verfahren unterschieden. Während bei einem symmetrischen Verfahren die Ver- und Entschlüsselung mit demselben Schlüssel erfolgt, werden bei einem asymmetrischen Verfahren (Public-Key-Verfahren) unterschiedliche Schlüssel, ein privater Schlüssel (private key) zum Entschlüsseln und ein öffentlicher Schlüssel (public key) zum Verschlüsseln verwendet.¹³²⁷ Um Daten verschlüsseln zu können, werden diese zunächst codiert, wobei jedem Zeichen ein eindeutiger Zahlenwert zugeordnet wird. Schlüssel mit einer Länge von weniger als 128 Bit, entsprechend einer 38-stelligen Zahl, werden als nicht sicher eingestuft.¹³²⁸ Bei einer Verschlüsselung ist entscheidend, dass nur Befugte Zugriff auf die verwendeten Schlüssel haben und damit der Schutz des Schlüssels gewährleistet ist. Mit der Implementierung eines Schlüsselmanagements lässt sich der gesamte Lebenszyklus der eingesetzten Schlüssel regeln, wobei folgende Bereiche umfasst werden: Schlüsselgenerierung, -verteilung, -speicherung, -Backup und -vernichtung.¹³²⁹

Bei einer Pseudonymisierung werden personenbezogene Daten mithilfe einer Zuordnungsvorschrift verändert, wie z. B. der Ersatz eines Namens durch eine Nummer, sodass einzelne Angaben von Personen ohne Kenntnis oder Nutzung dieser Zuordnungsvorschrift nicht mehr zugewiesen werden können. Mit der Zuordnungsvorschrift können die vergebenen Nummern wieder den zugehörigen Personennamen zugeordnet werden.¹³³⁰ Dabei lässt sich zwischen selbst generierten Pseudonymen, Referenz-Pseudonymen und Einweg-Pseudonymen unterscheiden. Selbstgenerierte Pseudonyme werden von den Betroffenen im Rahmen wissenschaftlicher Studien selbst generiert, welche nicht gleichzeitig mit den Identitätsdaten verwendet oder gespeichert werden. Referenz-Pseudonyme werden mithilfe von Referenzlisten hergestellt, wobei die Referenzliste räumlich und organisatorisch von den pseudonymisierten Datensätzen getrennt gespeichert werden muss. Einweg-Pseudonyme werden mittels Einweg-Funktion aus personenbezogenen Identitätsdaten im Rahmen von Längsschnittuntersuchungen und Auskunftssystemen gebildet, wobei weitgehend auszuschließen ist, dass die Identitätsdaten zweier Personen auf ein gemeinsames Pseudonym abgebildet werden.¹³³¹

¹³²⁶ Vgl. Art. 25 (1), Art. 32 (1) DSGVO (2016).

¹³²⁷ Vgl. Petric/Sorge (2017) S. 14 ff.; Schläger/Thode (2018) S. 546 ff.

¹³²⁸ Vgl. Schläger/Thode (2018) S. 547.

¹³²⁹ Vgl. Schläger/Thode (2018) S. 555 f.

¹³³⁰ Vgl. Art. 4 Nr. 5 DSGVO (2016); Petric/Sorge (2017) S. 13 f.

¹³³¹ Vgl. Schläger/Thode (2018) S. 487 f.

Für Unternehmen, welche UAS einsetzen, ist es von immenser Wichtigkeit, dass die von ihnen erhobenen Daten, welche per Funk vom System zur Bodenstation für die Steuerkontrolle und Überwachung der Telemetriedaten sowie für die visuelle Kontrolle des Kamerabil-des übertragen werden, verschlüsselt werden, um den Zugriff unbefugter Dritter zu unterbinden und somit die Sicherheit der Daten zu gewährleisten. Ohne eine sichere Kommunikation können Sensordaten, Steuerbefehle und Nutzerdaten manipuliert oder sogar abgegriffen werden. Aus diesem Grund ist die Kommunikation der Steuerung und der Nutzerdaten (Audio-, Video- und Sensordaten) nach Standards, wie VPN-Verbindungen,¹³³² zu verschlüsseln. Darüber hinaus sollte eine rechnergebundene Basisstation weder mit dem Internet verbunden sein noch Anschlüsse für Speichermedien haben, um somit einen unerwünschten Datenzugriff zu verhindern.¹³³³ Da auf UAS basierte Anwendungen Teil der Digitalisierung von Unternehmen im Kontext von Industrie 4.0 sind, müssen sie im Rahmen eines Cyber-Sicherheits-Konzepts berücksichtigt werden.¹³³⁴

Das Informationssicherheits-Managementsystem (ISMS) umfasst den gesamten Prozess zur Aufrechterhaltung der Informationssicherheit, was sowohl konkrete Sicherheitsmaßnahmen als auch einen strukturierten Ansatz beinhaltet, mit dem anhand definierter Sicherheitsziele und des Schutzbedarfs die entsprechenden Maßnahmen umgesetzt werden.¹³³⁵ Informationssicherheit bedeutet gemäß der Norm DIN EN ISO/IEC 27001 Schutz von Informationen vor Angriffen, um damit die Kontinuität des Geschäfts zu sichern, Risiken zu minimieren und den Umsatz der Geschäftschancen zu maximieren. Die Grundwerte der Informationssicherheit respektive Datensicherheit sind Vertraulichkeit, Verfügbarkeit und Integrität von Informationen, welche zu schützen sind.¹³³⁶ Die Prozesse werden dabei so gestaltet, dass das Management kontinuierlich über den Status der Informationssicherheit im Unternehmen informiert ist.¹³³⁷

Folgende grundlegende Komponenten liegen in einem Unternehmen, welches ein ISMS integriert hat, vor: Management-Prinzipien, Ressourcen, Mitarbeiter und eine Strategie, welche der wichtigste Baustein ist.¹³³⁸ Das Management nimmt folgende Aufgaben und Pflichten im Rahmen des ISMS wahr: Übernahme der Verantwortung der Informationssicherheit, Vorbildfunktion hinsichtlich der Einhaltung von Regelungen zur Informationssicherheit, Prozessintegration des IT-Sicherheitsbeauftragten, Steuerung und Aufrechterhaltung der Informationssicherheit, Definition erreichbarer Unternehmensziele, Einschätzung der Risiken, Aufrechterhaltung und Auditierung des ISMS, Kommunikationsstrategie sowie Berichterstattung über das ISMS.¹³³⁹ Zur wirksamen Implementierung des ISMS sind hinreichende finanzielle, technische, personelle und zeitliche Ressourcen zur Verfügung zu stellen, wobei

¹³³² Virtual Private Network.

¹³³³ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 322 f.

¹³³⁴ Vgl. Eckert/Waidner (2018) S. 275 ff.

¹³³⁵ Vgl. Schläger/Thode (2018) S. 503.

¹³³⁶ Vgl. Sowa (2017) S. 9 ff.

¹³³⁷ Vgl. Schläger/Thode (2018) S. 503.

¹³³⁸ Vgl. Schläger/Thode (2018) S. 505.

¹³³⁹ Vgl. Schläger/Thode (2018) S. 506.

stets zu überprüfen ist, ob die eingesetzten Ressourcen wirksam und geeignet sind. Die Mitarbeiter sind zudem hinsichtlich der Informationssicherheit angemessen und regelmäßig zu sensibilisieren, wobei sicherheitsrelevante Aspekte zu vermitteln sind. Dies gilt auch im Rahmen der Einstellung, des Ausscheidens oder Wechsels der Mitarbeiter innerhalb eines Unternehmens.¹³⁴⁰

Als wichtigste Komponente eines ISMS gilt die Strategie des Informationssicherheitsprozesses, welche sich in den vier Phasen des sogenannten Plan-Do-Check-Act-Zyklus (PDCA-Zyklus) widerspiegelt und die Schritte Planung und Konzeption, Umsetzung und Betrieb, Überwachung und Kontrolle sowie die kontinuierliche Verbesserung des ISMS beschreibt.¹³⁴¹ Zunächst erfolgen im Rahmen dieses Zyklus die Planung des Sicherheitsprozesses und die Festlegung des Geltungsbereichs. Hieraus lassen sich die Sicherheitsziele in Form einer Sicherheitsrichtlinie formulieren. Zudem muss eine Sicherheitsorganisation eingerichtet werden.¹³⁴² Darauf aufbauend wird der Sicherheitsbeauftragte die vorgegebene Sicherheitsrichtlinie mithilfe der zur Verfügung gestellten Ressourcen umsetzen. In diesem Rahmen findet zunächst eine Ist-Analyse statt, um alle relevanten Assets, wie Daten, IT-Anwendungen, IT-Systeme und Räume zu erfassen, welche zu schützen sind respektive für das Unternehmen von Wert sind. Anschließend ist zu dokumentieren, welche Anforderungen für das Unternehmen, wie z. B. gesetzliche Richtlinien, umzusetzen sind (Sicherheitskonzept). Es wird eine Risikoanalyse gemäß der ISO 27001 respektive Sicherheitsanalyse auf der Basis von IT-Grundschutz gemäß dem BSI-Standard 200-2 durchgeführt, indem alle relevanten Bedrohungen vollständig erfasst und bewertet werden.¹³⁴³

Auf dieser Grundlage können eine Sicherheitsstrategie abgeleitet und ein Konzept für die Auswahl geeigneter Sicherheitsmaßnahmen erstellt werden („Plan“).¹³⁴⁴ Im Rahmen der Risikobehandlung werden die umzusetzenden Sicherheitsmaßnahmen anhand anerkannter Standards durchgeführt und dokumentiert, wobei der menschliche Faktor als wesentlicher Bestandteil der Informationssicherheit einbezogen wird und somit Sensibilisierungsmaßnahmen als ein wichtiger Bestandteil der Umsetzung von Sicherheitskonzepten sind („Do“).¹³⁴⁵ Im weiteren Schritt des PDCA-Zyklus wird eine Erfolgskontrolle und Überwachung der Zielerreichung durchgeführt, indem regelmäßig überprüft und bewertet wird, ob und inwieweit die relevanten Assets und der Schutzbedarf sowie die identifizierten Risiken noch gelten. Darüber hinaus ist zu kontrollieren, ob die definierten Sicherheitsmaßnahmen wirksam und effizient umgesetzt wurden („Check“).¹³⁴⁶ Wenn im Rahmen der Kontrolle Mängel respektive Sicherheitsvorfälle oder Optimierungspotenzial erkannt werden, gilt es im letzten Schritt, die festgestellten Fehler zu beseitigen und die Sicherheitsmaßnahmen zu optimieren („Act“).¹³⁴⁷

¹³⁴⁰ Vgl. Schläger/Thode (2018) S. 507.

¹³⁴¹ Vgl. Sowa (2017) S. 18 ff.; Schläger/Thode (2018) S. 507.

¹³⁴² Vgl. Schläger/Thode (2018) S. 503, S. 507.

¹³⁴³ Vgl. Schläger/Thode (2018) S. 503, S. 507 f.

¹³⁴⁴ Vgl. Sowa (2017) S. 18, S. 39 ff.

¹³⁴⁵ Vgl. Sowa (2017) S. 18, S. 55 ff.; Schläger/Thode (2018) S. 504, S. 508.

¹³⁴⁶ Vgl. Sowa (2017) S. 18, S. 67 ff.; Schläger/Thode (2018) S. 504, S. 508.

¹³⁴⁷ Vgl. Schläger/Thode (2018) S. 504, S. 508.

Die Notwendigkeit von Veränderungen der Sicherheitsmaßnahmen führen zu einem erneuten Durchlauf des Zyklus und einer regelmäßigen Überprüfung möglicher Risiken respektive Gefahren sowie der Ermittlung weiterer Schutzmaßnahmen.¹³⁴⁸

Der IT-Grundschutz gemäß BSI-Standard 200-2 beschreibt den Aufbau eines ganzheitlichen Managementsystems für Informationssicherheit (ISMS) in Unternehmen (vgl. Kap. 2.9.2).¹³⁴⁹ Zu den Standards für Informationssicherheits-Managementsysteme gehört der ISO 27001 welcher in zwei Varianten vorliegt: zum einen der international anerkannte Standard ISO/IEC 27001, zum anderen der ISO 27001 auf der Basis von IT-Grundschutz des Bundesamtes für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI), welcher sich zwar nach internationalen Vorgaben orientiert, dessen Zertifikat aber im Ausland keine Gültigkeit besitzt.¹³⁵⁰ So wird der ISO 27001 auf der Basis von IT-Grundschutz insbesondere von öffentlichen Behörden angefragt, während die native Norm ISO/IEC 27001 vor allem bei international tätigen Unternehmen im Fokus steht, zumal es Synergien zu anderen Managementsystem-Normen, wie der ISO 9001 für das Qualitätsmanagement, aufweist. In beiden Ausprägungen wird die Informationssicherheit als Prozess aufgefasst, welche über die IT-Sicherheit hinausgeht.¹³⁵¹ Der Prozessansatz eines ISMS ist in der ISO/IEC 27001 beschrieben, welcher eine Zertifizierungsnorm ist, wonach ein ISMS auditiert und zertifiziert werden kann.¹³⁵² Neben der Basisnorm ISO/IEC 27001 dienen weitere ergänzende Normen zur Umsetzung der Informationssicherheit. Hierzu gehören ein Glossar (ISO/IEC 27000), eine Erläuterung der zu überprüfenden Maßnahmen, sog. Controls, (ISO/IEC 27002), ein Leitfaden zur Implementierung eines ISMS (ISO/IEC 27003) sowie eine Beschreibung der Messbarkeit eines ISMS (ISO/IEC 27004) und der Durchführung von Risikoanalysen (ISO/IEC 27005). Darüber hinaus sind in weiteren Normen branchenspezifische Anforderungen an die Informationssicherheit publiziert, u.a. die ISO/IEC 27017 und ISO/IEC 27018 für Cloud-Dienste und die ISO/IEC TR 27019 für die Energiewirtschaft.¹³⁵³

Das BSI hat einen IT-Grundschutz entwickelt, um Sicherheitsmaßnahmen zu identifizieren und umzusetzen. Hierzu gehören die Standards BSI 200-1 bis 200-3, welche es ermöglichen, ein zu der Norm ISO 27001 auf der Basis von IT-Grundschutz konformes Informationssicherheits-Managementsystem (ISMS) aufzubauen. Neben dem Managementsystem für ISMS (BSI 200-1) wurde ein „Leitfaden zur Basis-Absicherung nach IT-Grundschutz“ auf dem BSI-Standard 200-2 zum Schutz der Geschäftsprozesse, Informationen und IT-Systeme in Unternehmen erstellt.¹³⁵⁴ Darüber hinaus bieten das BSI 200-3 eine Risikoanalyse auf Basis von IT-Grundschutz und das IT-Grundschutz-Kompendium einen Maßnahmenkatalog für die maßgebliche Absicherung eines Informationsverbundes.¹³⁵⁵

¹³⁴⁸ Vgl. Sowa (2017) S. 18, S. 127 ff.

¹³⁴⁹ Vgl. BSI (2017c) S. 14 ff.

¹³⁵⁰ Vgl. Schläger/Thode (2018) S. 510 f.

¹³⁵¹ Vgl. Schläger/Thode (2018) S. 511.

¹³⁵² Vgl. Schläger/Thode (2018) S. 512.

¹³⁵³ Vgl. Schläger/Thode (2018) S. 511 f., S. 513 ff.

¹³⁵⁴ Vgl. BSI (2017c) S. 9 f.; Alberts/Schildt (2018) S. 14.

¹³⁵⁵ Vgl. Schläger/Thode (2018) S. 515.

Bei der ISO 27001 werden zunächst auf der Basis von IT-Grundschutz im Rahmen einer Strukturanalyse die IT-Infrastruktur (Informationsverbund), welche wesentliche Aufgaben und Geschäftsprozesse des Unternehmens beinhalten, definiert. Anschließend werden bei der Schutzbedarfsfeststellung die Schutzbedarfskategorien (normal, hoch, sehr hoch) formuliert, sodass den Anwendungen und Geschäftsprozessen entsprechende Schutzbedarfe zugeordnet werden können, und der Informationsverbund mithilfe der IT-Grundschutz-Bausteine modelliert. In einem IT-Grundschutz-Check werden im Rahmen eines Soll-Ist-Vergleichs das IT-Grundschutz-Kompendium sowie der darüber hinaus gehende Schutzbedarf analysiert.¹³⁵⁶ Diese Vorgehensweise entspricht der Grundidee eines ISMS. Der Unterschied zwischen den beiden Ausprägungen des ISO 27001 liegt in der Anwendung der Risikoanalyse.¹³⁵⁷ Im Gegensatz zur Norm ISO/IEC 27001, wo die umzusetzenden Sicherheitsmaßnahmen auf Basis einer Risikoanalyse extrahiert werden, sind die IT-Grundschutz-Bausteine des ISO 27001 bereits auf ein Sicherheitsniveau ausgerichtet, sodass zunächst die dort empfohlenen Grundschutz-Maßnahmen für den normalen Schutzbedarf umgesetzt werden. Eine Risikoanalyse erfolgt erst, wenn ein hoher oder sehr hoher Schutzbedarf besteht respektive Zielobjekte vorhanden sind, welche sich nicht mit den IT-Grundschutz-Bausteinen modellieren lassen.¹³⁵⁸

Die Basis-Absicherung nach dem Standard 200-2 zur IT-Grundschutz-Methodik lässt sich in die Basis-, Kern- und Standard-Absicherung unterteilen und ist in die folgenden drei Schritte aufgeteilt: Im ersten Schritt wird zunächst festgelegt, wer die Verantwortung für die Implementierung des Informationssicherheitsmanagementsystems (ISMS) übernimmt und welche Systeme, wozu auch die Systeme unbemannter Luftfahrzeuge gehören, überprüft werden müssen und welche momentan außen vor bleiben können. Im weiteren Schritt werden die Ziele festgelegt sowie eine Leitlinie erarbeitet. Es empfiehlt sich, eine frühzeitige Einbindung der Leitungs- oder Managementebene. In dieser Phase wird der Sicherheitsprozess organisiert, konzeptioniert und geplant, indem die Erkenntnisse und Maßnahmen aus diesem Prozess in bestehende Geschäftsprozesse integriert werden. Im letzten Schritt erfolgt die Durchführung des Sicherheitsprozesses. Hierbei wird die zuvor festgelegte Sicherheitskonzeption unter der Einbeziehung passender Bausteine des IT-Grundschutz-Kompendium umgesetzt.¹³⁵⁹

Die Basis-Absicherung dient als Einstieg zu einer grundlegenden Absicherung der Informationssicherheit in Unternehmen, wobei der Ablauf der Implementierung nicht explizit nach dem PDCA-Zyklus erfolgt, sondern als Basis dient, anschließend eine Kern- oder Standard-Absicherung vorzunehmen. Bei der Kern-Absicherung stehen die besonders schützenswerten Geschäftsprozesse und Informationen im Fokus. Die Standard-Absicherung basiert weitestgehend auf den klassischen IT-Grundschutz und zielt auf den Schutzbedarf von Anwendungen, Informationen, IT-Komponenten, Räumen und Gebäuden ab. Sowohl die

¹³⁵⁶ Vgl. Schläger/Thode (2018) S. 515 ff.

¹³⁵⁷ Vgl. Schläger/Thode (2018) S. 515.

¹³⁵⁸ Vgl. Schläger/Thode (2018) S. 515 f., S. 517.

¹³⁵⁹ Vgl. Schläger/Thode (2018) S. 518; Albers/Schildt (2018) S. 15.

Kern- als auch die Standard-Absicherung enthalten gemäß dem PDCA-Zyklus einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess und es besteht die Möglichkeit, diese zertifizieren zu lassen.¹³⁶⁰

Unbemannte Luftfahrzeugsysteme respektive Copter stellen allerdings aufgrund ihrer Funkverbindungen auch eine neue Bedrohung für Dritte, wie Unternehmen, dar. Sie können firmeninterne Funknetze angreifen, so auf das WLAN, auf kabellose Verbindungen zu Peripheriegeräten, wie Tastaturen, auf IoT-Systeme, die per Funk kommunizieren, und auf kabellose Systeme zur Gebäudesteuerung. Als passive Maßnahme gilt es, UAS als Risikopotenzial in Sicherheitsstrategien einzubinden und sämtliche Funkverbindungen innerhalb eines Unternehmens durch Verschlüsselungen zu sichern.¹³⁶¹

Um ein System gegenüber Cyber-Angriffen so unempfindlich wie möglich zu machen, sollte bereits bei der Entstehung von Produkten die IT-Sicherheit in der Software berücksichtigt werden („security by design“), was bedeutet, dass von der ersten Ideenfindung zu einem neuen Projekt Security-Verantwortliche in die Entwicklung einbezogen werden, welche darauf achten, dass gesetzliche Vorgaben, wie die DSGVO, aber auch individuelle Policies und branchenspezifische Richtlinien eingehalten werden. Während der Produktentwicklung gilt es, sowohl die Funktionsfähigkeit als auch die Sicherheit mithilfe von Penetrationstests zu prüfen, um festzustellen, inwieweit das Sicherheitsniveau den eingangs definierten Anforderungen und Risiken entspricht. Auch nach dem Einsatz des neuen Produkts respektive der neuen Software ist das erreichte Sicherheitsniveau, u.a. durch laufende Updates zu aufkommenden Angriffsvektoren, aufrechtzuerhalten.¹³⁶² Das Konzept „security by design“ schafft sowohl eine Grundlage für sichere Produkte und Technik als auch ein einheitliches transparentes Sicherheitsniveau. Die Umsetzung des Konzeptes sollte überprüfbar und durch Zertifizierungen nachweisbar sein.¹³⁶³

4.3.6 Erforderliche Qualitätsstandards zur Inspektion von Brücken

In der DIN 1076 respektive Ril 804, welche als Grundlage für die handnahe Bauwerksüberwachung (Wartung), Bauwerksprüfung und Bewertung (Inspektion) des (Ist-)Zustandes der Ingenieurbauwerke und Brücken dienen, ist u.a. geregelt, was in einer handnahen Bauwerksprüfung geprüft werden muss und in welchen Intervallen diese zu erfolgen hat.¹³⁶⁴ In diesem Rahmen ist sowohl die Bauwerksprüfung als auch die Bauwerksüberwachung unter dem Einsatz von UAS zu ergänzen.

¹³⁶⁰ Vgl. Schläger/Thode (2018) S. 518 f.

¹³⁶¹ Vgl. NTT Security (2018).

¹³⁶² Vgl. Dose (2018).

¹³⁶³ Vgl. Schönbohm (2018) S. 25.

¹³⁶⁴ Zu Straßenbrücken vgl. DIN 1076 (1999); BMVBS (2013) S. 10, S. 11 ff.; Schnellenbach-Held/Fakhouri/Karczewski (2013) S. 24, 70, S. 81; Geißler (2014) S. 1159 ff.; Mertens (2015) S. 16, S. 21; zu Eisenbahnbrücken vgl. Muncke (2006); RH RLP (2013) S. 19 f.; DB Netz (2015) Module 804.8001–804.8004; Mölter/Fiedler (2019) S. 377.

Die aktuell durch den Verband Deutscher Ingenieure (VDI) herausgegebene Richtlinie (VDI 2879) zur „Inspektion von Anlagen und Gebäuden mit UAV“ (Flugdrohnen) dient weder konkret der Inspektion von Brücken und Ingenieurbauwerken, noch werden konkrete Angaben vorgegeben, wie und wann unter dem Einsatz von UAS eine effiziente Inspektion zu erfolgen hat und welche Leistungen zu erbringen sind.¹³⁶⁵ So werden vom VFIB für die Sicherung und Qualität der handnahen Bauwerksprüfung neben qualifizierten sachkundigen Bauwerksprüfingenieurinnen sowie einem angemessenen Honorar auch eine klare und eindeutige Leistungsbeschreibung als erforderlich angesehen, welche im Rahmen der „Empfehlung zur Leistungsbeschreibung, Aufwandsermittlung und Vergabe von Leistungen der Bauwerksprüfung nach DIN 1076“ durch den VFIB publiziert wurden.¹³⁶⁶ Letzteres muss auch für die Bauwerksprüfung unter dem Einsatz von UAS vorliegen respektive erweitert werden, um die Zielvorgaben Sicherung und Qualität von Ingenieurbauwerken einhalten zu können. Es gilt also, sowohl die Leistungen des Bauwerksprüfingenieurs unter dem Einsatz von UAS als auch des Copterpiloten festzulegen. Darüber hinaus sind die Inspektionsprozesse und die anschließende Auswertung der generierten Daten im Rahmen der Dokumentation als Leistungsbeschreibungen näher zu spezifizieren.

In einem Qualitätsstandard speziell für die „Inspektion von Brücken und Ingenieurbauwerken mit UAS“ sind im Rahmen der Darstellung der Grundlagen von UAS zusätzlich die verschiedenen Typen sowie deren diverse (Flug-)Eigenschaften für spezifische Einsatzmöglichkeiten aufzuführen, um bestmögliche Ergebnisse erzielen zu können. Zudem sollte geregelt werden, wann ein Einsatz der UAS im Rahmen der festgelegten Bauwerksprüfungen (Hauptprüfung, einfache Prüfung, Sonderprüfung) zu erfolgen hat. Um kritische Situationen von Brücken sowie deren Normalzustand zügig wiederherstellen zu können, sind Standards für die Sonderprüfung unter dem Einsatz von UAS als gezielte Schutzmaßnahmen zu erarbeiten.¹³⁶⁷

Neben den regelmäßigen Bauwerksprüfungen haben zum einem alle halbe Jahre laufende Überwachungen im Rahmen einer Begehung zu erfolgen, zum anderen jährliche Besichtigungen in den Jahren ohne Prüfungen oder nach besonderen Ereignissen.¹³⁶⁸ Da die Begehungen und jährlichen Besichtigungen derzeit ohne größere Hilfsmittel erfolgen, sollte in diesem Rahmen der Einsatz von UAS insbesondere an schwer zugänglichen oder schlecht einsehbaren Stellen der Brücken ebenfalls als Prüfungsstandard aufgenommen werden, um somit die Ergebnisse der Begehungen zu optimieren.

Unter dem Leitgedanken, dass Schäden an Brücken zukünftig frühzeitig, lange bevor die Schäden von außen sichtbar werden, erkannt werden sollen, entstand 2011 das Projektcluster unter dem Titel „Intelligente Brücke“. Dabei sollen mithilfe von eingebauten Sensoren Brücken permanent überwacht und bewertet werden, wobei die ermittelten Informationen in

¹³⁶⁵ Vgl. VDI (2018); Landrock/Baumgärtel (2018) S. 43.

¹³⁶⁶ Vgl. Reibetanz/Schindler (2016) S. 56.

¹³⁶⁷ Vgl. Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 57, S. 65.

¹³⁶⁸ Zu Straßenbrücken vgl. BMVBS (2013) S. 26 ff.; Schnellenbach-Held/Fakhouri/Karczewski (2013) S. 87 f.; Geißler (2014) S. 1159; Mertens (2015) S. 21; zu Eisenbahnbrücken vgl. Muncke (2006).

Echtzeit erfasst werden.¹³⁶⁹ Auch dieses Prüfverfahren könnte zusätzlich durch Inspektionsflüge mithilfe von UAS unterstützt werden, welche ausgestattet mit einem sensorbasierten System gezielt die Stellen der Brücken befliegen und Daten dort generieren, wo die Brücken über die eingebauten Sensoren Warnsignale abgegeben haben. So werden bereits Sensoren für das automatisierte Monitoring und die Diagnose von Hochspannungs-Freileitungen mithilfe des Einsatzes von UAS erforscht.¹³⁷⁰ Hierzu bedarf es allerdings Informationen, welche Brücken bereits mit einem solchem System geprüft werden und an welchen Stellen diese Brücken mit Sensoren ausgestattet sind.

Darüber hinaus sind in einem Qualitätsstandard die Art der Befliegungsmöglichkeiten und Flugrouten vorzugeben. Die verschiedenen Baustoffe, Bauweisen und Nutzungsarten der Brücken verursachen unterschiedliche Abnutzungserscheinungen bzw. Schadensarten und werden daher auch verschiedenen Prüfmethoden unterzogen, wobei diese insbesondere durch das Material der Brücke bestimmt werden. So sollten auch im Rahmen einer Inspektion mithilfe von UAS die Flugrouten konkretisiert werden, an welchen (schwer zugänglichen) Stellen bzw. Bauteilen einer Brücke Befliegungen zur Datengenerierung zu erfolgen haben.

4.3.7 Gesetzesgrundlage für UAS

Die derzeitige gesetzliche Regelung im Umgang mit unbemannten Luftfahrzeugsystemen sieht eine Unterscheidung zwischen Fluggerät und System nicht vor, sondern stellt den Betrieb des Luftfahrzeugs in den Vordergrund, ohne das System zu berücksichtigen. Der Anwendungsbereich der Luftverkehrsordnung (LuftVO) bezieht sich auf die Regelung der Voraussetzungen und Bedingungen für die Teilnahme am Luftverkehr.¹³⁷¹ Diese Verordnung wurde am 30.03.2017 durch den Abschnitt „Betrieb von unbemannten Luftfahrtsystemen und Flugmodellen“ erweitert, um sowohl die Sicherheit im Luftraum durch den Betrieb unbemannter Luftfahrzeugsysteme zu erhöhen als auch den Schutz der Privatsphäre, welche in erster Linie auf die Befliegungsbereiche, wie z. B. private Grundstücke, abzielt, zu verbessern.¹³⁷² Anders als im Satellitendatensicherheitsgesetz, welches sowohl den Betrieb von Erdfernerkundungssystemen als auch den Umgang mit den Daten, die von einem solchen System erzeugt worden sind bis zu deren Verbreiten umfasst,¹³⁷³ ist in der Luftverkehrsordnung die Erzeugung, Verarbeitung und Verbreitung von Daten, welche im Rahmen der Befliegung erhoben werden, nicht geregelt, weil dieses Gesetz aufgrund seines Anwendungsbereiches dies nicht vorsieht. Die Generierung von Daten ist allerdings mit dem Betrieb unbemannter Luftfahrzeuge eng verbunden, da deren Anwendungsbereiche vor allem in der Informationsbeschaffung bzw. Datensammlung liegen.

¹³⁶⁹ Vgl. Fischer/Straub u.a. (2014); Fischer/Straub u.a. (2015); Haardt (2018); Hill (2018); BAST (2018c).

¹³⁷⁰ Vgl. Universität Kassel, AHT.

¹³⁷¹ Vgl. § 1 LuftVO (2017).

¹³⁷² Vgl. § 21a–f LuftVO (2017); BMVI (2016b); BMVI (2017a); Verordnung (2017); Dieckert/Eich (2018) S. 353 ff.; Giemulla/van Schyndel/Friedl (2018) S. 25 f.

¹³⁷³ Vgl. SatDSiG (2017).

Auch auf europäischer Ebene ist am 04.07.2018 eine neue Regelung zum Betrieb von unbemannten Luftfahrzeugen im Rahmen der Vorschriften für die Zivilluftfahrt und Flugsicherheit in Kraft getreten.¹³⁷⁴ Diese Verordnung findet wie die Luftverkehrsordnung (LuftVO) Anwendung für den Betrieb des Luftfahrzeugs, wobei neben der Konstruktion, Herstellung, Instandhaltung lediglich die „Ausrüstung zur Fernsteuerung von unbemannten Luftfahrzeugen“,¹³⁷⁵ jedoch nicht die Sensorik in Betracht gezogen werden.¹³⁷⁶ Dies wird bereits unter den Begriffsbestimmungen der Verordnung deutlich, wonach ein „Luftfahrzeug“ als jede Maschine, die sich aufgrund von Reaktionen der Luft, mit Ausnahme von Reaktionen der Luft gegenüber der Erdoberfläche, in der Atmosphäre halten kann“ definiert wird.¹³⁷⁷ Die Luftverkehrsordnung (LuftVO), das nationale Pendant zur europäischen Verordnung, verwendet wie auch die Luftverkehrs-Zulassungs-Ordnung (LuftVZO) hingegen den Begriff Luftfahrtsystem, ohne diesen Begriff näher zu definieren.¹³⁷⁸ Im Luftverkehrsgesetz (LuftVG) wird neben dem Begriff Luftfahrzeug ebenfalls der Ausdruck Luftfahrtsystem verwendet, welches als unbemanntes Fluggerät einschließlich seiner Kontrollstation, das nicht zu Zwecken des Sports oder der Freizeitgestaltung betrieben wird, definiert wird.¹³⁷⁹ Mit dieser Definition wird aber lediglich die Plattform und die Bodenkontrollstation, also die Steuerung des Geräts umfasst, nicht jedoch die Datenübertragung bzw. Sensorik des Fluggerätes.

Im Anhang IX der europäischen Verordnung wird geregelt, dass sowohl Betreiber als auch Fernpilot u.a. die geltenden Vorschriften insbesondere in Bezug auf Sicherheit, Schutz der Privatsphäre, Datenschutz, Haftung, Versicherung, Gefahrenabwehr und Umweltschutz kennen müssen.¹³⁸⁰ Hierfür muss das unbemannte Luftfahrzeug Merkmale und Funktionen aufweisen, welche die Grundsätze des Schutzes der Privatsphäre und der personenbezogenen Daten durch Technik und Voreinstellungen berücksichtigen. Darüber hinaus wird gefordert, dass diese Merkmale und Funktionen eine einfache Identifizierung des Luftfahrzeugs sowie Art und Zweck des Betriebs gewährleisten.¹³⁸¹ Die europäische Verordnung greift damit Art. 25 der DSGVO auf, wonach der Verantwortliche durch Technikgestaltung und datenschutzfreundliche Voreinstellungen personenbezogene Daten zu schützen hat.¹³⁸² In der Luftverkehrsordnung (LuftVO) wird der Datenschutz lediglich im Rahmen der Betriebserlaubnis erwähnt, als der beabsichtigte Betrieb von unbemannten Fluggeräten u.a. insbesondere nicht zu einer Verletzung der Vorschriften über den Datenschutz führen darf.¹³⁸³

Zum jetzigen Zeitpunkt werden in den Gesetzen, welche im Anwendungsbereich unbemannte Luftfahrzeugsysteme umfassen, sowohl auf nationaler als auch auf europäischer Ebene diverse Begrifflichkeiten und verschiedene Definitionen für dieselbe Technologie ver-

¹³⁷⁴ Zu großen unbemannten Luftfahrzeugen ab 150 kg, vgl. Plücken (2017) S. 12 f.

¹³⁷⁵ Vgl. Art. 3 Nr. 32 Verordnung EU (2018a).

¹³⁷⁶ Vgl. Art. 2, Art. 55–58 Verordnung EU (2018a).

¹³⁷⁷ Vgl. Art. 3 Nr. 28 Verordnung EU (2018a).

¹³⁷⁸ Vgl. LuftVZO (2017); LuftVO (2017).

¹³⁷⁹ Vgl. § 1 (2) Nr. 11 LuftVG (2017).

¹³⁸⁰ Vgl. Anhang IX Nr. 1.1 Verordnung EU (2018a).

¹³⁸¹ Vgl. Anhang IX Nr. 1.3 Verordnung EU (2018a).

¹³⁸² Vgl. Art. 25 DSGVO (2016)

¹³⁸³ Vgl. § 21a (3) Nr. 1 LuftVO (2017).

wendet. Zudem werden die unterschiedlichen Typen von Luftfahrzeugsystemen nicht aufgeführt, sodass in erster Linie mit unbemannten Luftfahrzeugsystemen Copter assoziiert werden. Es besteht also dringender Handlungsbedarf, in den vorliegenden Gesetzen bzw. Verordnungen (LuftVO, LuftVG, LuftVZO, Verordnung (EU)) eine einheitliche Regelung in der Begriffsverwendung vorzunehmen. Als Vorgabe kann die neue DIN 5452-1 dienen, welche die Benennungen für die Anwendung im Bereich der „unbemannten Luftfahrzeugsysteme“ im Jahre 2018 zusammengefasst hat.¹³⁸⁴ Auf der europäischen Ebene kann die Definition der International Civil Aviation Organization (ICAO) greifen, welche den Begriff „unmanned aircraft system“ (UAS) eingeführt hat, mit dem neben dem Fluggerät alle dazugehörigen Teile („an aircraft and its associated elements which are operated with no pilot on board“) des Gesamtsystems des Luftfahrzeugs (Kontrollstation, Datenverbindung) einbezogen werden.¹³⁸⁵

Mithilfe von unbemannten Luftfahrzeugsystemen können Daten erzeugt werden, welche bislang nicht in Geschäftsprozessen genutzt wurden. Darüber hinaus werden enorme Datenmengen generiert, übertragen und gespeichert, wobei es sich sowohl um personenbezogene als auch um nicht personenbezogene Daten handelt. Dies bedeutet, dass hierfür neue Software-Applikationen sowie Speicherarchitekturen erforderlich sind.¹³⁸⁶ Da die DSGVO sich lediglich auf die Verarbeitung personenbezogener Daten bezieht, werden diese Daten mit diesem Gesetz nicht erfasst, sondern deren Umgang wird unter der neuen Verordnung „über einen Rahmen für den freien Verkehr nicht-personenbezogener Daten in der Europäischen Union“, partiell geregelt.¹³⁸⁷

Unbemannte Luftfahrzeugsysteme leisten Aufgaben, die außerhalb der klassischen Bereiche der Luftfahrt, wie Transport von Personen und Gütern, militärische Einsätze sowie Forschung und Wissenschaft, angesiedelt und eng mit der Digitalisierung verbunden sind. Indem sie nicht nur im Außenbereich, sondern auch in Innenräumen, wie z. B. Industrieanlagen oder Tunneln, einsetzbar sind und aufgrund ihrer Sensorik in der Lage sind, Massendaten zu generieren, nehmen sie eine völlig neue Position in der Luftfahrt ein.¹³⁸⁸ Zu bedenken ist auch, dass zukünftige unbemannte Luftfahrzeugsysteme autonom fliegen werden, wobei die Vorgaben des Fluges, wie Dauer oder Ziele, zuvor festgelegt werden und der anschließende Flug autonom erfolgen wird und die Luftfahrzeugsysteme damit eigenständig ihre Aufgaben ausführen.¹³⁸⁹

Es besteht somit dringender Handlungsbedarf für die Konzeption eines Gesetzesentwurfs, welcher eine ganzheitliche Betrachtung der unbemannten Luftfahrzeugsysteme vorsieht, die neben dem Fluggerät das System (Kamera, Sensorik) sowie die Datenanalysen und Datenauswertungen (Data science) mit einbezieht.¹³⁹⁰ Als Vorlage kann hierfür das Satellitendatensicherheitsgesetz (SatDSiG) dienen, welches neben dem Betrieb des Systems auch den

¹³⁸⁴ Vgl. DIN 5452-1 (2018).

¹³⁸⁵ Vgl. ICAO (2011) S. X; Dieckert/Eich (2018) S. 351.

¹³⁸⁶ Vgl. Landrock/Baumgärtel (2018) S. 49 ff.

¹³⁸⁷ Vgl. Verordnung EU (2018b).

¹³⁸⁸ Vgl. Landrock/Baumgärtel (2018) S. 25.

¹³⁸⁹ Vgl. Plücken (2017) S. 21 f.; Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhart/Moll (2018) S. 29.

¹³⁹⁰ Vgl. Landrock/Baumgärtel (2018) S. 64.

Umgang mit den Daten, welche von diesem erzeugt werden, regelt. Beide Systeme generieren große Datenmengen, welche in Kombination mit Messungen am Boden neue Informationsquellen liefern. Das Satellitendatensicherheitsgesetz hat eine wichtige Voraussetzung für deutsche Unternehmen geschaffen, Satellitendaten in wirtschaftlich tragfähige (digitale) Geschäftsmodelle umzusetzen, um damit neue Absatzmärkte erschließen zu können. Darüber hinaus dient es der Wahrung sicherheits- und außenpolitischer Interessen beim Verbreiten und kommerziellen Vermarkten der durch Satelliten erzeugten Erdfernerkundungsdaten.¹³⁹¹ Im Folgenden werden daher mögliche Rahmenbedingungen und Anforderungen für Betreiber von UAS und Datenanbieter skizziert, als Ergänzung zu den vorliegenden Richtlinien.

Anwendungsbereich

Das Gesetz soll sowohl für den Betrieb von unbemannten Luftfahrzeugsystemen als auch für den Umgang mit den Daten, die von einem Luftfahrzeugsystem erzeugt werden, und deren Verarbeitung gelten.

Begriffsbestimmungen

Im Rahmen der Begriffsbestimmungen sollte nicht nur das Fluggerät, sondern alle seine dazugehörigen Teile definiert werden. Darüber hinaus sind hier die unterschiedlichen Typen von unbemannten Luftfahrzeugsystemen aufzuführen.

Kennzeichnungspflicht

Die Kennzeichnungspflicht hat in einer anonymen Form zu erfolgen, um die Richtlinien des Datenschutzes einhalten zu können.

Datenschutz

Die Befolgung des Datenschutzes ist unabhängig von der Betriebserlaubnis zu sehen, welcher es nach der LuftVO für unbemannte Luftfahrtsysteme ab einem Gewicht von 5 kg bedarf. Sofern unbemannte Luftfahrtsysteme aufgrund ihrer Sensorik Daten generieren können, sind unabhängig ihres Gewichtes die Regeln der Datenschutzgesetze einzuhalten.

Datenanalyseverfahren

Es sind die Möglichkeiten und Grenzen der Analyseverfahren aufzuführen und welches Datenschutzgesetz nach einer Auswertung der Daten zum Tragen kommt.

Datennutzung (Nutzungsrechte)

Im Rahmen eines Vertrags ist zu regeln, wer die Nutzungsrechte der generierten Daten hat. Der Anbieter des unbemannten Luftfahrzeugsystems oder der Eigentümer des Bildobjekts. Darüber hinaus ist vertraglich zu regeln, inwieweit der Anbieter oder der Nutzer die Daten weiterverwenden oder verwerten darf.

¹³⁹¹ Vgl. SatDSiG (2017); BMWi (o.J.).

Service-Modelle bezogen auf UAS

Eine Nutzung verschiedener Servicemodelle, welche im Rahmen von UAS-Einsätzen möglich sind, bringt unterschiedliche rechtliche Verantwortlichkeiten mit sich. Software as a Service (Anwendungen des UAS), Platform as a Service (Datenbankverwaltung/Datenverarbeitung), Infrastructure as a Service (Speicherkapazitäten).

4.3.8 Zertifizierung von Einsätzen mit UAS

In der Datenschutzgrundverordnung (DSGVO) ist geregelt, dass die Einführung von datenschutzspezifischen Zertifizierungsverfahren sowie von Datenschutzsiegeln und -prüfzeichen von den Mitgliedstaaten, Aufsichtsbehörden, dem Ausschuss und der Kommission insbesondere auf Unionsebene gefördert werden soll, um den Nachweis erbringen zu können, dass die Datenverarbeitungsvorgänge sowohl von Verantwortlichen als auch von Auftragsverarbeitern gemäß der DSGVO eingehalten werden.¹³⁹² Zukünftig ist auch die Förderung entsprechender Zertifizierungsverfahren für den Nachweis der Datenschutzkonformität bei der Verarbeitung nicht personenbezogener Daten zu erwarten, deren Regelung in der DSGVO nicht verankert ist, aber in der neuen Verordnung „über einen Rahmen für den freien Verkehr nicht-personenbezogener Daten in der Europäischen Union“ hinsichtlich der Übertragung von Daten Erwähnung findet.¹³⁹³ Eine Zertifizierung wird gemäß DSGVO durch die Zertifizierungsstellen oder zuständige Aufsichtsbehörde anhand von Kriterien, welche durch die Aufsichtsbehörde oder den Ausschuss genehmigt wurden, erteilt.¹³⁹⁴ Die Erstellung eines solchen Kriterienkatalogs erfolgte im Rahmen des Forschungsprojekts auditor, welches vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) gefördert wird, für die Zertifizierung von Cloud-Diensten nach der DSGVO, wobei hier die datenschutzrechtlichen Anforderungen an die Verarbeitung personenbezogener Daten auf der Seite des Auftragnehmers (Cloud-Anbieter), nicht jedoch an den Auftraggeber (Cloud-Nutzer) adressiert werden.¹³⁹⁵

Die Zertifizierung wird als ein Verfahren definiert, welches durch eine anerkannte (akkreditierte) Stelle durchgeführt wird, die verifiziert, dass ein Produkt, ein Prozess, ein System oder eine Person die definierten Kriterien und Anforderungen einhält respektive zu diesen konform ist und entsprechende Prüfbescheinigungen (Zertifikate) ausstellt.¹³⁹⁶ Die Auditierung umfasst hingegen die Überprüfung der Produkte, Prozesse und Systeme, ob diese den definierten Anforderungen und Richtlinien entsprechen.¹³⁹⁷ Die Bedeutung der Zertifizierungssysteme hat aufgrund der Globalisierung erheblich zugenommen und wird weiter zunehmen, sodass sowohl die Vorgaben, die an der Ausgestaltung der Zertifizierungssysteme gerichtet werden, als auch die einzelnen Zertifizierungssysteme ständig optimiert werden, um den neuen normativen Anforderungen gerecht zu werden.¹³⁹⁸ Auch durch die

¹³⁹² Vgl. § 42 (1) DSGVO (2017); Krebs (2017) S. 45.

¹³⁹³ Vgl. Art. 6 (1) lit. (c) Verordnung EU (2018b).

¹³⁹⁴ Vgl. § 42 (5) DSGVO (2017).

¹³⁹⁵ Vgl. Roßnagel/Sunyaev u.a. (2018) S. 5 (Auditor, Laufzeit: 11/2017–10/2019).

¹³⁹⁶ Vgl. Schneider/Sunyaev (2015) S. 14; Loew (2016) S. 465.

¹³⁹⁷ Vgl. Schneider/Sunyaev (2015) S. 14.

¹³⁹⁸ Vgl. Loew (2016) S. 467.

zunehmende Digitalisierung und immer stärkere Vernetzung durch das Internet, welche untrennbar mit dem Datenschutz verbunden sind, werden Zertifizierungssysteme im Rahmen des Datenschutzes an Bedeutung gewinnen.

Risiken beim Einsatz von UAS in Bezug auf den Datenschutz

Unternehmen oder Behörden, wie Straßenbauverwaltungen, welche eine Inspektion von Ingenieurbauwerken mithilfe unbemannter Luftfahrzeugsysteme durch einen externen Dienstleister abwickeln lassen möchten (Verantwortlicher), müssen nicht nur umfassende Kenntnisse über den Datenschutz besitzen, sondern auch mögliche Datenschutzrisiken beim Einsatz von UAS entwickeln, um so potenzielle Gefahren besser beurteilen und angemessen reagieren zu können. Auch Unternehmen, welche Dienstleistungen mithilfe von unbemannten Luftfahrzeugsystemen anbieten (Auftragsverarbeiter), müssen ein umfassendes Verständnis über mögliche Datenschutzbezogene Risiken haben, um entsprechende Vorkehrungen treffen zu können. Eine Datenschutzzertifizierung schafft hierbei nicht nur eine höhere Transparenz und Vertrauen für den Kunden, sondern kann zudem als Wettbewerbsvorteil angesehen werden.¹³⁹⁹ Darüber hinaus wird mit den Zertifizierungsverfahren die Einhaltung der Regeln der DSGVO optimiert.¹⁴⁰⁰ Nicht unbedeutend ist schließlich auch die Tatsache, dass die Einhaltung von genehmigten Zertifizierungsverfahren bei der Entscheidung über die Verhängung einer Geldbuße sowie deren Betrag entsprechend berücksichtigt wird.¹⁴⁰¹

Kriterienkatalog zur Datenschutzzertifizierung von UAS-Einsätzen

Neben der Einhaltung des Datenschutzes, wobei es sich bei den durch UAS generierten Massendaten sowohl um personen- als auch um nicht personenbezogene Daten handelt, ist ein angemessenes Datenmanagement erforderlich, welches diesen enormen Datenmengen gerecht wird. Das Datenmanagement sollte dabei den gesamten Daten-Lebenszyklus in Betracht ziehen, welcher aus der Erhebung, Speicherung, Analyse, Auswertung, Nutzbarmachung, Weitergabe, Archivierung und Löschung komplexer Daten besteht. Gemäß diesem Zyklus müssen für jede Stufe angemessene (Sicherheits-)Maßnahmen und Prozesse etabliert werden.¹⁴⁰²

Auftragsverarbeitung

Unternehmen, welche eine Inspektion mithilfe von unbemannten Luftfahrzeugsystemen als Dienstleistung anbieten, agieren als Auftragsverarbeiter gemäß Art. 28 DSGVO. Die Verarbeitung personenbezogener Daten, welche im Rahmen einer Inspektion erfolgt, kann im Auftrag eines Verantwortlichen (Auftraggeber, z. B. Straßenbauverwaltung) durch einen Auftragsverarbeiter (Auftragnehmer, z. B. externes Unternehmen) auf der Grundlage eines

¹³⁹⁹ Vgl. Schneider/Sunyaev (2015) S. 9.

¹⁴⁰⁰ Vgl. ErwG (100) DSGVO (2016).

¹⁴⁰¹ Vgl. Art. 83 (2) lit. (j) DSGVO (2016).

¹⁴⁰² Vgl. Schneider/Sunyaev (2015) S. 38; Helmholtz-Gemeinschaft (2017) S. 4.

Vertrags erfolgen, wobei der Auftragnehmer durch geeignete technische und organisatorische Maßnahmen eine rechtskonforme Verarbeitung garantieren muss.¹⁴⁰³ Im Vertrag werden Gegenstand, Dauer, Art und Zweck der Verarbeitung, Art der Daten sowie Pflichten und Rechte des Verantwortlichen und Auftragsverarbeiters festgelegt.¹⁴⁰⁴

Der Auftraggeber, welcher die UAS-Dienste in Anspruch nimmt, kann sich mit dem Nachweis eines Zertifikats die Erfüllung der gesetzlichen Anforderungen bestätigen lassen, da dieses gemäß Art. 28 der DSGVO als Faktor herangezogen werden kann, um hinreichende Garantien nachzuweisen.¹⁴⁰⁵

Die neue europäische Verordnung bezüglich des freien Verkehrs nicht personenbezogener Daten enthält keine klaren Richtlinien für eine Vertragsgestaltung, sondern regelt, dass die Kommission die Entwicklung von Verhaltensregeln für die Selbstregulierung fördert und erleichtert. Es sollen Leitlinien für bewährte Verfahren aufgestellt werden, um einen Anbieterwechsel zu erleichtern und Anbieter sollen beruflichen Nutzern vor Abschluss eines Vertrags über die Speicherung und Verarbeitung von Daten ausführlich über die Prozesse, technischen Anforderungen, Fristen und Entgelte (beim Anbieterwechsel sowie bei Datenübertragung in die eigenen IT-Systeme) informieren.¹⁴⁰⁶

Gewährleistung der Datensicherheit

Die Grundsätze für die Verarbeitung personenbezogener Daten müssen gemäß Art. 5 (2) DSGVO nicht nur eingehalten, sondern auch nachgewiesen werden können („Rechenschaftspflicht“).¹⁴⁰⁷ So muss der Verantwortliche „geeignete technische und organisatorische Maßnahmen“ gemäß Art. 24 (1) DSGVO umsetzen, um nicht nur sicherzustellen, sondern auch nachweisen zu können, dass die Datenverarbeitung rechtskonform erfolgt.¹⁴⁰⁸ Die Einhaltung eines genehmigten Zertifizierungsverfahrens gemäß Art. 42 DSGVO kann als Nachweis der Erfüllung der Pflichten des Verantwortlichen herangezogen werden.¹⁴⁰⁹

Um die Sicherheit personenbezogener Daten während der Verarbeitung zu gewährleisten, haben sowohl der Verantwortliche als auch der Auftragsverarbeiter gemäß Art. 32 DSGVO technische und organisatorische Maßnahmen zu ergreifen.¹⁴¹⁰ Die Gewährleistung einer angemessenen Sicherheit gehört zu den Grundsätzen der Verarbeitung personenbezogener Daten („Integrität und Vertraulichkeit“).¹⁴¹¹ Die Einhaltung eines genehmigten Zertifizierungsverfahrens kann dazu dienen, die Erfüllung der technischen und organisatorischen Anforderungen nachzuweisen.¹⁴¹²

¹⁴⁰³ Vgl. Art. 28 (1, 3), Art. 32 DSGVO (2016); Wybitul (2016) S. 69; Krebs (2017) S. 46; Roßnagel/Sunyaev u.a. (2018) S. 15 ff.

¹⁴⁰⁴ Vgl. Art. 28 (3) DSGVO (2016); Wybitul (2016) S. 69 ff.; Krebs (2017) S. 46.

¹⁴⁰⁵ Vgl. ErwG (81), Art. 28 (5) DSGVO (2016); Roßnagel/Sunyaev u.a. (2018) S. 6.

¹⁴⁰⁶ Vgl. Art. 6 Verordnung EU (2018b).

¹⁴⁰⁷ Vgl. Art. 5 (1–2) DSGVO (2016); Wybitul (2016) S. 32; Krebs (2017) S. 40, S. 65.

¹⁴⁰⁸ Vgl. Art. 24 (1) DSGVO (2016); Wybitul (2016) S. 32, S. 122; Krebs (2017) S. 65.

¹⁴⁰⁹ Vgl. Art. 24 (3) DSGVO (2016).

¹⁴¹⁰ Vgl. Art. 32 DSGVO (2016); Wybitul (2016) S. 49 f.; Krebs (2017) S. 47 f.

¹⁴¹¹ Vgl. Art. 5 (1) lit. (f) DSGVO (2016).

¹⁴¹² Vgl. ErwG (77), Art. 32 (3) DSGVO (2016).

Datenschutz durch Systemgestaltung

Art. 25 (1) DSGVO regelt den Grundsatz der „privacy by design“, das Prinzip des Datenschutzes durch Technik, welches den Ansatz verfolgt, die speziellen Anforderungen des Datenschutzes bereits zu einem frühen Zeitpunkt zu berücksichtigen.¹⁴¹³ In Art. 25 (2) DSGVO wird das Prinzip der „privacy by default“, der datenschutzfreundlichen Voreinstellungen (IT-Grundschutz) geregelt, wonach nicht mehr Daten zu verarbeiten sind, als für den konkreten Zweck notwendig ist.¹⁴¹⁴ Ein genehmigtes datenschutzspezifisches Zertifizierungsverfahren gemäß Art. 42 DSGVO kann als Nachweis der Erfüllung der genannten Anforderungen vorgelegt werden.¹⁴¹⁵

Inspektion

Neben dem Datenschutz und der Datensicherheit ist auch die Inspektion durch UAS einem Zertifizierungsverfahren zu unterziehen. Hierzu bedarf es jedoch zunächst eines Qualitätsstandards, auf dessen Basis eine Zertifizierung ermöglicht werden kann.

4.4 Maßnahmenplanung zur Umsetzung

Im Folgenden werden zusammenfassend die in Kapitel 4.1 bis Kapitel 4.3 erarbeiteten Anforderungen für eine Inspektion von Brücken und Ingenieurbauwerken unter dem Einsatz von unbemannten Luftfahrzeugsystemen als Maßnahmenplanung zur Umsetzung empfohlen. Die Maßnahmenplanung setzt sich dabei aus den folgenden fünf (Haupt-)Liefergegenständen zusammen: Prozesse, Kritische Infrastrukturen, Informatik, Recht und Technologie. Unter einem Liefergegenstand wird „ein eindeutiges und überprüfbares Produkt oder Ergebnis oder eine Dienstleistung“ verstanden, welches „hergestellt bzw. erbracht werden muss, um einen Prozess, eine Phase oder ein Projekt vollständig abschließen zu können“.¹⁴¹⁶ Die Maßnahmenplanung wurde aufgrund der unterschiedlichen Aspekte der UAS (Technologie, Recht, Informatik, Prozesse), welche untrennbar miteinander verwoben sind, sowie der Betrachtung des Prozesses der Inspektion als End-to-End-Prozess nicht, wie ursprünglich vorgesehen, am Beispiel eines Infrastrukturbetreibers erarbeitet, sondern dient als generelle Empfehlung sowohl für Unternehmen, welche Inspektionen und Überwachungen von Brücken mit UAS durchführen, wie Infrastrukturbetreiber (Eisenbahnunternehmen), Straßenbauverwaltungen der Länder und Kommunen, die Schifffahrtsverwaltung sowie private Unternehmen, für Ministerien, welche gesetzliche Regelungen (Gesetzesentwürfe) für UAS konzipieren müssen, sowie für Hersteller von UAS aus Forschung und Entwicklung. Auf der Basis der oben genannten fünf (Haupt-)Liefergegenstände (auf der obersten Ebene) werden diese auf der zweiten und dritten Ebene weiter zergliedert, welche im Rahmen der vorliegenden Studie keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben können.

¹⁴¹³ Vgl. Art. 25 (1) DSGVO (2016); Wybitul (2016) S. 45, S. 118, S. 161; Krebs (2017) S. 45.

¹⁴¹⁴ Vgl. Art. 25 (2) DSGVO (2016); Wybitul (2016) S. 45, S. 118, S. 161; Krebs (2017) S. 45 f.

¹⁴¹⁵ Vgl. Art. 25 (3) DSGVO (2016).

¹⁴¹⁶ Vgl. PMI (2013) S. 84.

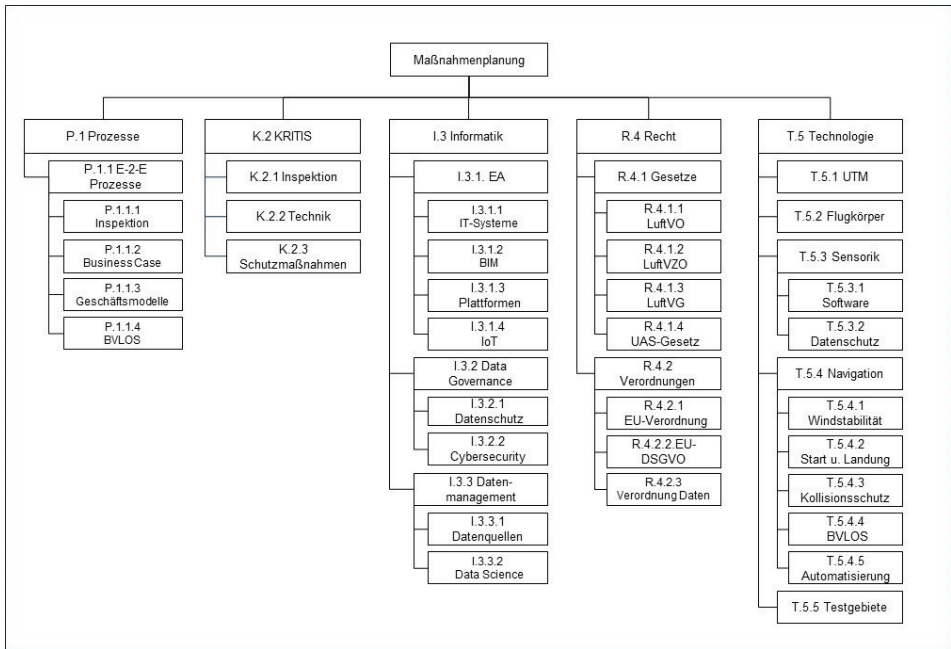


Abbildung 18: Liefergegenstände der Maßnahmenplanung

Quelle: Eigene Darstellung.

4.4.1 P.1 Prozesse

Die Implementierung von digitalen und automatisierten Abläufen unter Nutzung von unbemannten Luftfahrzeugsystemen (UAS) innerhalb der bestehenden Geschäftsprozesse der handnahen Bauwerksprüfung von Brücken und Ingenieurbauwerken bedeutet für die Unternehmen Änderungen in den Geschäftsprozessen, der Organisation und den IT-Systemen vorzunehmen. Um einen möglichst großen Nutzen der Digitalisierung der Geschäftsprozesse ziehen zu können, muss diese übergreifend erfolgen und kann sich nicht nur auf einzelne Organisationseinheiten sowie auf Haupt- und Teilprozesse beziehen. Unter dem Gesichtspunkt, die Einführung der digitalen Arbeitsabläufe optimal strukturieren zu können, sind die Geschäftsprozesse im Rahmen der Inspektion von Bücken mithilfe des Einsatzes von UAS jeweils als End-to-End-Prozesse zu betrachten.¹⁴¹⁷

P.1.1 End-to-End-Prozesse

End-to-End-Prozesse lassen sich als „die Abfolge aller notwendigen und direkt mit dem Geschäftsfall verbundenen Tätigkeiten zur Erstellung einer Leistung für einen Kunden, mit der bei diesem ein vorausgehender Bedarf gedeckt wird und die daher für diesen von Wert ist,

¹⁴¹⁷ Vgl. Wagner/Sodies u.a. (2019). S. 708.

samt der Zuordnung der dafür notwendigen Ressourcen“ definieren.¹⁴¹⁸ Übertragen auf die Inspektion mit UAS bedeutet dies, dass im Rahmen eines End-to-End-Prozesses alle Tätigkeiten vor der Befliegung, wie u.a. Einholen der Genehmigungen, während der Inspektion sowie nach der Inspektion einschließlich der Auswertung der generierten Daten, welche als Endprodukt dem Kunden, wie z. B. der Straßenbauverwaltung, übergeben werden, einbezogen werden (Flugvorbereitung, Befliegung, Datenanalyse).

Auf der zweiten Ebene des Liefergegenstandes End-to-End-Prozesse werden die folgenden Liefergegenstände erarbeitet werden müssen, welche den Ablauf der Geschäftsprozesse im Rahmen von Inspektionen mit UAS betreffen.

P.1.1.1 Inspektion

Für die Inspektion von Brücken unter dem Einsatz von UAS sind vergleichbar zur DIN 1076 respektive zur Ril 804 für die handnahe Bauwerksprüfung Standards zu erarbeiten, da diese noch nicht vorliegen, um die Zielvorgaben Sicherung und Qualität von Ingenieurbauwerken einhalten zu können. Insbesondere soll geregelt werden, was und wie in einer Bauwerksprüfung unter dem Einsatz von UAS geprüft werden muss, welche Leistungen zu erbringen sind und in welchen Intervallen die festgelegten Bauwerksprüfungen (Hauptprüfung, einfache Prüfung, Sonderprüfung) zu erfolgen haben.¹⁴¹⁹ Zusätzlich sollte in den Standards der Einsatz von UAS im Rahmen der halbjährigen Überwachungen und jährlichen Besichtigungen¹⁴²⁰ geregelt werden. Darüber hinaus ist die anschließende Auswertung der generierten Daten im Rahmen der Dokumentation als Leistungsbeschreibung näher zu spezifizieren. Für die Flugvorbereitung sind Checklisten zu erarbeiten und als Module in den IT-Systemen zu hinterlegen.

P.1.1.2 Business Case

Im Rahmen eines Business Case ist die Rentabilität des Einsatzes von UAS im Rahmen einer Inspektion zu analysieren. Dabei ist anzumerken, dass die Inspektion durch den Einsatz von UAS derzeit die handnahe Bauwerksprüfung noch nicht ersetzen kann, was bedeutet, dass derzeit zwei Prüfungsmethoden angewandt werden. Es gilt demnach zu untersuchen, welche Bereiche der Inspektion durch UAS gegenüber der handnahen Bauwerksprüfung vorteilhafter sind und bereits ersetzt werden können. Ziel ist, zukünftig alle Prozesse der Inspektion durch digitale Abläufe zu ersetzen.

P.1.1.3 Geschäftsmodelle

Mit dem Einsatz der UAS werden große Datenmengen generiert, welche sich gezielt für Optimierungen bestehender Geschäftsmodelle und neue digitale Geschäftsmodelle im Rahmen

¹⁴¹⁸ Bergsmann (2012) S. 29; Wagner/Sodies u.a. (2019) S. 699.

¹⁴¹⁹ Zu Straßenbrücken vgl. DIN 1076 (1999); BMVBS (2013) S. 10, S. 11 ff.; Schnellenbach-Held/Fakhouri/Karczewski (2013) S. 24, 70, S. 81; Geißler (2014) S. 1159 ff.; Mertens (2015) S. 16, S. 21; zu Eisenbahnbrücken vgl. Muncke (2006); RH RLP (2013) S. 19 f.; DB Netz (2015) Module 804.8001–804.8004; Mölter/Fiedler (2019) S. 377.

¹⁴²⁰ Vgl. BMVBS (2013) S. 26 ff.; Schnellenbach-Held/Fakhouri/Karczewski (2013) S. 87 f.; Geißler (2014) S. 1159; Mertens (2015) S. 21.

des Sektors Transport und Verkehr nutzen lassen. Neben dem Aufbau neuer IT-Infrastrukturen zur Speicherung der generierten Daten unterschiedlichen Formats und aus diversen Quellen,¹⁴²¹ sind Strategien der Verfügbarkeit und Nutzung dieser Daten zu erarbeiten.

P.1.1.4 Beyond Visual Line Of Sight

Neben der Entwicklung technischer Lösungen zur Ausweitung der Flüge außerhalb der Sichtweite (BVLOS), gilt es in diesem Liefergegenstand zu analysieren, welche Prozesse im Rahmen des Fluges außerhalb der Sichtweite erforderlich sind.¹⁴²² So ist zur Bewältigung kritischer Situationen dieser Flüge, wie der Ausfall einer Funkverbindung, die Erarbeitung eines Standards erforderlich, um einen sicheren Ablauf für Flüge außerhalb der Sichtweite zu gewährleisten.

4.4.2 K.2 Kritische Infrastrukturen

Ein Teil der Brücken und Ingenieurbauwerke gehören zu den Kritischen Infrastrukturen des Sektors Transport und Verkehr. Für die als Kritische Infrastrukturen identifizierten Brücken wurden bereits für jede konkrete Gefahr geeignete bauliche Maßnahmen zur Prävention bestimmt.¹⁴²³ Die folgenden Liefergegenstände betreffen Maßnahmen zur Planung während einer Funktionskrise der Bauwerke.

K.2.1 Inspektion

Ziel des Liefergegenstands ist die Erarbeitung eines Standards für die Sonderprüfung von Brücken unter dem Einsatz von UAS, um einen routinierten Ablauf hinsichtlich der Planung, Durchführung und Bewertung der Ergebnisse im Rahmen einer kritischen Situation der Brücke zu gewährleisten sowie Maßnahmen zur Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit bestimmen zu können.¹⁴²⁴

K.2.2 Technik

Um die Verfügbarkeit von UAS optimieren respektive deren Einsatz in Gefahrensituationen gewährleisten zu können, sind weitere Entwicklungen in der Flugnavigation der UAS erforderlich, wie der Einsatz von Flügen „BVLOS“ sowie die Möglichkeit einer besseren Windstabilität.¹⁴²⁵

¹⁴²¹ Vgl. Harbert/Müller (2015); Huber (2018) S. 76 f.

¹⁴²² Vgl. Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhart/Moll (2018) S. 63 f.

¹⁴²³ Vgl. SKRIBT Schlussbericht (o.J.) S. 22 ff., S. 70 f.

¹⁴²⁴ Vgl. Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 3, S. 57, S. 65.

¹⁴²⁵ Vgl. Morgenthal/Hallermann/Achtelik (2015) S. 130; Landrock/Baumgärtel (2018) S. 15.

K.2.3 Schutzmaßnahmen

Es sind zielgerichtete Maßnahmen unter dem Einsatz innovativer Technologien zur Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit kritischer Brückentypen zu erarbeiten. Hierzu gehören neben dem Einsatz von Building Information Modeling (BIM) und digitalen Zwillingen, um Schäden der Bauwerke als 3D-Modell noch präziser lokalisieren und visualisieren zu können,¹⁴²⁶ unter der Verknüpfung externer Datenquellen, die Involvierung weiterer neuer Technologien, wie Virtual und Augmented Reality, als zusätzliche visuelle Methoden für die Abschätzung der Schadenssituation sowie als Simulation zum Ablauf kritischer Situationen.

4.4.3 I.3 Informatik

Unbemannte Luftfahrzeugsysteme sind in ein Datenübertragungssystem eingebunden,¹⁴²⁷ mit dem derzeit Bild- und Videodaten, fotogrammetrische Daten sowie Infrarot-/Thermografie-daten aufgenommen und übertragen werden können.¹⁴²⁸ Diese Daten gilt es in die Systeme von Unternehmen zu integrieren und gewinnbringend auszuwerten. In diesem Rahmen sind folgende Liefergegenstände zu erbringen: Optimierung der Enterprise Architecture, Maßnahmen zum Data Governance und Analyse des Datenmanagements.

I.3.1 Enterprise Architecture

Im Rahmen der Unternehmensarchitektur oder Enterprise Architecture (EA) wird die gesamte Leistungsinfrastruktur von Unternehmen betrachtet, wozu neben der erforderlichen Infrastruktur die Organisation gehört, also Geschäftsprozesse, Anwendungsarchitektur (IT), Informationsarchitektur (Daten) und technologische Architektur.¹⁴²⁹ Auf der zweiten Ebene des Liefergegenstandes Enterprise Architecture (EA) werden die Liefergegenstände IT-Systeme, Building Information Modeling (BIM), Plattformen und Internet der Dinge (IoT) erarbeitet.

I.3.1.1 IT-Systeme

Die im Rahmen der handnahen Bauwerksprüfungen verwendeten Systeme, wie das Programmsystem Straßeninformationsbank (SIB-Bauwerke),¹⁴³⁰ und das Instandhaltungssystem der Deutschen Bahn, sind in Bezug auf Inspektionen mit UAS funktionstechnisch zu erweitern, da diese für die handnahe Bauwerksprüfung konzipiert wurden und derzeit nicht den Ansprüchen einer Inspektion mit UAS genügen können. Die Systeme sollten neben den Inspektionsergebnissen sowohl die Informationen zur Flugvorbereitung als auch die Ergebnisse der Flugdurchführung dokumentieren.

¹⁴²⁶ Vgl. Singer/Borrmann (2016) S. 65.

¹⁴²⁷ Vgl. Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhart/Moll (2018) S. 42, S. 72.

¹⁴²⁸ Vgl. Morgenthal/Hallermann/Achteik (2015) S. 20; Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 16, S. 19 f.

¹⁴²⁹ Vgl. Bitkom (2011) S. 12 f. Abb. 2.

¹⁴³⁰ Vgl. WPM-Ingenieure (o.J.); Schnellenbach-Held/Karczewski/Kühn (2014) S. 86; Mertens (2015) S. 285, S. 294 f.

I.3.1.2 Building Information Modeling

Die Systeme der Straßenbauverwaltungen sind derzeit nicht darauf ausgerichtet, modellgestützte Informationen der Ingenieurbauwerke zu verarbeiten. In diesem Liefergegenstand gilt es, die Bestandsbrücken mittels Fotogrammetrie, Laserscanning oder der Nutzung parametrisierter 3D-Brückenmodelle in geometrisch-semantische BIM-Modelle zu überführen, um die erfassten Daten modellbasiert aufbereiten und strukturieren zu können.¹⁴³¹ Hierfür ist die Umsetzung des IFC-Standards für die Einführung der BIM-Methodik im Brückenbau maßgeblich,¹⁴³² um sie in die bestehenden Programmsysteme integrieren zu können. Für die Zukunft sind darüber hinaus weiterführende Technologien für die automatisierte Erfassung der Brücken und Generierung von BIM-Modellen zu entwickeln.¹⁴³³

I.3.1.3 Plattformen

Die bestehenden Instandhaltungssysteme sind für die Verwaltung, Verarbeitung, Auswertung und Analyse der durch UAS generierten Daten nicht konzipiert. Hierfür sind Datenbanken mit hoher Speicherkapazität erforderlich.¹⁴³⁴ In diesem Umfeld wurden bereits cloudbasierte Plattformen verschiedener Unternehmen entwickelt, mit denen branchenunabhängig Daten gespeichert, verwaltet und verarbeitet sowie analysiert werden können.¹⁴³⁵ Eine Datenbank speziell zur Verarbeitung der durch UAS generierten Daten im Rahmen einer Inspektion liegt noch nicht vor. Alternativ bieten sich externe Service-Modelle, wie Plattform as a Service (Datenbankverwaltung/Datenverarbeitung) und Infrastructure as a Service (Speicherkapazitäten) an.¹⁴³⁶

I.3.1.4 Internet der Dinge

Im Rahmen des Internet der Dinge (IoT) werden Gegenstände mit Systemen ausgestattet, sodass diese mit dem Internet vernetzt sind und über das Internet kommunizieren können, um Informationen zu sammeln, zu verarbeiten und daraus Wissen zu generieren.¹⁴³⁷ Durch die Vernetzung über das IoT wird die Einbindung zusätzlicher Datenquellen, Geschäftspartner und Geräte ermöglicht. Darüber hinaus kann durch Sensortechnik ein spezifisches Monitoring in Echtzeit erfolgen.¹⁴³⁸ Es gilt zu analysieren, inwieweit der Einbau von Sensoren in Brücken¹⁴³⁹ durch den Einsatz von UAS im Rahmen der Inspektion optimiert werden kann.

I.3.2 Data Governance

Im Rahmen von Data Governance geht es um die Sicherstellung von Datenschutz und Datensicherheit sowie um Zugriffsrechte, Datenverfügbarkeit und Datenqualität personen- und

¹⁴³¹ Vgl. Singer/Borrmann (2016) S. 16, S. 22, S. 55 ff., S. 60 ff., S. 65 f.

¹⁴³² Vgl. Singer/Borrmann (2016) S. 30.

¹⁴³³ Vgl. Liebich/Borrmann (2018) S. 30.

¹⁴³⁴ Vgl. Landrock/Baumgärtel (2018) S. 50 ff.

¹⁴³⁵ Vgl. Intel Deutschland GmbH: Intel® Insight-Plattform; FlyNex GmbH: Horizon; CiS GmbH: Informationssystem UAV GIS.

¹⁴³⁶ Vgl. Schneider/Sunyaev (2015) S. 7 f.; Landrock/Baumgärtel (2018) S. 51.

¹⁴³⁷ Vgl. Kieviet (2019) S. 104.

¹⁴³⁸ Vgl. Dell (2017) S. 212.

¹⁴³⁹ Vgl. Fischer/Straub u.a. (2014); Fischer/Straub u.a. (2015); Haardt (2018); Hill (2018); BAST (2018c).

nicht personenbezogener Daten in und außerhalb eines Unternehmens respektive einer Organisation.¹⁴⁴⁰ Auf der zweiten Ebene des Liefergegenstandes Data Governance werden die Aspekte Datenschutz und Cyber-Sicherheit betrachtet.

I.3.2.1 Datenschutz

Durch die Nutzung der UAS im Rahmen einer Inspektion werden Daten generiert, welche den Regeln der DSGVO sowie der neuen Verordnung nicht personenbezogener Daten unterliegen und daher zu schützen sind. Die Umsetzung des Datenschutzes über ein Datenschutzmanagementsystem (DSMS) betrifft dabei sowohl die Systeme der Betreiber der UAS als auch die Systeme der Nutzer der generierten Daten.

I.3.2.2 Cyber-Sicherheit

Wie jedes andere IT-System sind die Systeme der Fluggeräte durch entsprechende Sicherheitsmaßnahmen, wie z. B. durch Verschlüsselung, vor Angriffen zu schützen (ISMS). Darüber hinaus sind auch die mit den UAS vernetzten IT-Systeme und Geräte respektive Daten durch entsprechende Maßnahmen zu sichern.

I.3.3 Datenmanagement

Der Liefergegenstand Datenmanagement beinhaltet die Betrachtung des gesamten Datenlebenszyklus (Data-Lifecycle-Management).¹⁴⁴¹ Auf der zweiten Ebene dieses Liefergegenstandes werden die Nutzung Datenquellen und Anwendung von Data Science im Rahmen der Inspektion von Brücken unter dem Einsatz von UAS betrachtet.

I.3.3.1 Datenquellen

Die durch UAS generierten Daten sind zur weiteren Erschließung von Informationen für die Bauwerksprüfung sinnvoll mit weiteren Bestandsdaten, wie z. B. Konstruktions-, Zustands- und Prüfungsdaten der Brücken (SIB-Bauwerke), Daten aufbereiteter 3D-Modelle (BIM) sowie Daten des Brückenmonitoring,¹⁴⁴² zu verknüpfen, um somit einen zusätzlichen Mehrwert dieser Daten zu generieren.¹⁴⁴³ Darüber hinaus können zum einen offene Verwaltungsdaten aus dem Bereich Verkehrswesen, wie Datenbestände der „mCLOUD“, der „MobilitätsDaten-Marktplatz MDM“, des Datenportals für Deutschland „GovData“, des Open-Data-Portals der Deutschen Bahn AG¹⁴⁴⁴ sowie der Geodatenbank „OpenStreetMap“¹⁴⁴⁵ genutzt werden. Zum anderen sind Luft- und Satellitenbilddaten der Datenportale des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR), der European Space Agency (ESA), der National Aeronautics and Space Administration (NASA), der United States Geological Survey (USGS), des Committee on Earth Observation Satellites (CEOS) der Global Land Cover Facility (GLCF), der

¹⁴⁴⁰ Vgl. iRights.Lab (2018).

¹⁴⁴¹ Vgl. Schneider/Sunyaev (2015) S. 38; Helmholtz-Gemeinschaft (2017) S. 4.

¹⁴⁴² Vgl. Fischer/Straub u.a. (2014); Fischer/Straub u.a. (2015); Haardt (2018); Hill (2018); BASt (2018c).

¹⁴⁴³ Vgl. DLR (2018b); Landrock/Baumgärtel (2018) S. 51.

¹⁴⁴⁴ Vgl. BMVI (2017b) S. 4.

¹⁴⁴⁵ Vgl. Arndt/Beckmann u.a. (2013) S. 23 ff.

National Geospatial-Intelligence Agency (NGA) und des Portals GISGeography¹⁴⁴⁶ im Rahmen der Inspektion von Ingenieurbauwerken heranzuziehen.

I.3.3.2 Data Science

Die durch UAS generierten Daten der Inspektion sind mit Analyseverfahren des Data Science, wie Data Mining, Deep Learning oder der Künstlichen Intelligenz (KI),¹⁴⁴⁷ auszuwerten, um aus den Daten Informationen gewinnen zu können.¹⁴⁴⁸ Hierfür sind individuell zu entwickelnde Software-Applikationen zur Interpretation und Visualisierung der Berechnungs- und Analyseergebnisse notwendig sowie die Bereitstellung großer Speicherkapazitäten.¹⁴⁴⁹

4.4.4 R.4 Recht

Der Einsatz von unbemannten Luftfahrzeugsystemen unterliegt gesetzlichen Regelungen, welche sich sowohl auf die Sicherheit des Flugraums als auch auf den Datenschutz beziehen. Folgende Liefergegenstände sind zu erbringen: Prüfung und Anpassung respektive Optimierung der bestehenden sowie zu erarbeitenden Gesetze und Verordnungen.

R.4.1 Gesetze

Der Liefergegenstand Gesetze beinhaltet die Betrachtung der rechtlichen Rahmenbedingungen, welche mit dem Betrieb von UAS verbunden sind, mit dem Ziel der Optimierung der bestehenden Gesetze zur Nutzung von UAS sowie der Konzeption eines Gesetzesentwurfs für UAS.

R.4.1.1 Luftverkehrsordnung

Terminus

Im Rahmen der Gesetze, welche im Anwendungsbereich unbemannte Luftfahrzeugsysteme umfassen (Luftverkehrsgesetz, europäische Verordnung für die Zivilluftfahrt und Flugsicherheit, Luftverkehrsordnung, Luftverkehrs-Zulassungs-Ordnung), liegt bislang keine einheitliche Begriffsverwendung vor.¹⁴⁵⁰ Mit der neuen DIN 5452-1 wurde in Anlehnung an die ICAO der Begriff Luftfahrzeugsystem (Unmanned Aerial System) definiert und eingeführt, der neben dem Fluggerät auch das System der Datenübertragung einbezieht.¹⁴⁵¹ Es wird empfohlen, in den vorliegenden Gesetzen bzw. Verordnungen (LuftVO, LuftVG, LuftVZO, Verordnung (EU)) eine einheitliche Regelung in der Begriffsverwendung vorzunehmen.

¹⁴⁴⁶ Vgl. Mikusch (o.J.a.); Baldenhofer (2019) Stichwort: Satellitenbild mit umfangreicher Liste zu Bezugsquellen.

¹⁴⁴⁷ Vgl. Oettinger (2017) S. 8, S. 85, S. 87 f.; Desoi (2018) S. 13.

¹⁴⁴⁸ Vgl. Landrock/Baumgärtel (2018) S. 2, S. 49.

¹⁴⁴⁹ Vgl. Landrock/Baumgärtel (2018) S. 51.

¹⁴⁵⁰ Vgl. LuftVG (2017); LuftVZO (2017); LuftVO (2017).

¹⁴⁵¹ Vgl. DIN 5452-1 (2018).

Beyond Visual Line Of Sight

Nach der Luftverkehrsordnung (LuftVO) sind derzeit nur Flüge von UAS im Sichtflug erlaubt, der Betrieb außerhalb der Sichtweite des Steuerers ist verboten (Beyond Visual Line Of Sight, BVLOS), es sei denn, es liegt die spezielle Genehmigung einer Behörde vor oder der Flug erfolgt unter deren Aufsicht.¹⁴⁵² Eine gesetzliche Änderung zur Ausweitung der Flüge außerhalb der Sichtweite mit UAS, mit der sich die Einsatzmöglichkeiten und Wirtschaftlichkeit erhöhen werden, wird erst dann erfolgen können, wenn Lösungen für zuverlässig funktionierende Kollisionsschutzsysteme sowie eine erhöhte Regelbetrieb- und Autonomiefähigkeit vorliegen.¹⁴⁵³

Kenntnisnachweis

Der gemäß der LuftVO zu erbringende Kenntnisnachweis der Steuerer bezüglich Anwendung und Navigation der UAS, luftrechtlicher Grundlagen und der örtlichen Luftraumordnung ist durch eine gültige Erlaubnis als Luftfahrzeugführer oder eine Bescheinigung über eine bestandene Prüfung einer vom Luftfahrt-Bundesamt (LBA) anerkannten Stelle vorzulegen.¹⁴⁵⁴ Hier sind darüber hinaus die Empfehlungen der neuen DIN 5452-2 Teil 2: Anforderungen an den Piloten zu berücksichtigen, die umfangreiche Angaben zu Anforderungen, Kompetenz, Ausbildung und Prüfung beinhaltet.¹⁴⁵⁵

R.4.1.2 Luftverkehrs-Zulassungs-Ordnung

Terminus

Es gelten die Empfehlungen unter dem Liefergegenstand 4.1.1 Luftverkehrsordnung.

Kennzeichnungspflicht

Mit der nach der Luftverkehrs-Zulassungs-Ordnung (LuftVZO) verpflichtenden sichtbaren Anbringung einer Plakette („feuerfeste Beschriftung“) mit Namen und Anschrift des Eigentümers¹⁴⁵⁶ werden personenbezogene Daten offen gelegt, was mit den Richtlinien der DSGVO nicht vereinbar ist.¹⁴⁵⁷ In diesem Rahmen ist eine andere Form der Identifizierung und Kennzeichnung zu empfehlen und die DIN 5452-3 Teil 3: Identifizierung und Kennzeichnung, welche in Bearbeitung ist, zu berücksichtigen.¹⁴⁵⁸

¹⁴⁵² Vgl. § 21b LuftVO (2017); Dieckert/Eich (2018) S. 369 ff., S. 400 ff.; Giemulla/van Schyndel/Friedl (2018) S. 28 ff.

¹⁴⁵³ Vgl. Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhard/Moll (2018) S. 64, S. 66.

¹⁴⁵⁴ Vgl. § 21a (4), § 21d LuftVO (2017); Dieckert/Eich (2018) S. 365 ff.; Giemulla/van Schyndel/Friedl (2018) S. 34 ff.

¹⁴⁵⁵ Vgl. UAV Dach (2018); DIN 5452-2 (2019).

¹⁴⁵⁶ Vgl. § 19 (3) LuftVZO (2017); Dieckert/Eich (2018) S. 356.

¹⁴⁵⁷ Vgl. Art. 4 (1) DSGVO (2016).

¹⁴⁵⁸ Vgl. UAV Dach (2018); DIN 5452-3 (2019).

R.4.1.3 Luftverkehrsgesetz

Terminus

Es gelten die Empfehlungen unter dem Liefergegenstand 4.1.1 Luftverkehrsordnung.

R.4.1.4 Gesetz für unbemannte Luftfahrzeugsysteme

Mit der neuen Verordnung zur Regelung des Betriebs von unbemannten Fluggeräten, welche sowohl die Sicherheit im Luftraum erhöhen als auch den Schutz der Privatsphäre verbessern soll, sind Änderungen in der Luftverkehrs-Zulassungs-Ordnung (LuftVZO)¹⁴⁵⁹ und der Luftverkehrs-Ordnung (LuftVO)¹⁴⁶⁰ speziell für unbemannte Luftfahrzeugsysteme erfolgt.¹⁴⁶¹ Wie im Luftverkehrsgesetz wird auch im Rahmen dieser Gesetze aufgrund ihres Anwendungsbereich lediglich das Fluggerät, nicht das System berücksichtigt. Der Fokus des Einsatzes der unbemannten Luftfahrzeugsysteme liegt allerdings auf der Generierung von Daten respektive Informationen.

Aus diesem Grund ist die Konzeption eines Gesetzesentwurfs für unbemannte Luftfahrzeugsysteme zu erwägen, welches eine ganzheitliche Betrachtung der unbemannten Luftfahrzeugsysteme vorsieht, die neben dem Betrieb des Fluggeräts das System (Sensorik), mit dem die Daten generiert werden, berücksichtigt.¹⁴⁶² Darüber hinaus sind Analyseverfahren und Nutzungsrechte der generierten Daten zu regeln. Als Vorlage kann das Satellitendatensicherheitsgesetz (SatDSiG) herangezogen werden.¹⁴⁶³ Ein solches Gesetz sollte vergleichbar zur DSGVO internationale Anwendung finden.

R.4.2 Verordnungen

Der Liefergegenstand Verordnungen sieht eine Erbringung der folgenden Liefergegenstände auf der zweiten Ebene vor, welcher eine Optimierung der Verordnungen der Flugsicherheit sowie des Datenschutzes hinsichtlich der UAS vorsieht.

R.4.2.1 EU-Verordnung zur Flugsicherheit

Terminus

Auch in der Regelung zum Betrieb von unbemannten Luftfahrzeugen im Rahmen der Vorschriften für die Zivilluftfahrt und Flugsicherheit, dem europäischen Pendant zur Luftverkehrsordnung (LuftVO),¹⁴⁶⁴ ist in Anlehnung an die ICAO der Begriff Luftfahrzeugsystem

¹⁴⁵⁹ Vgl. LuftVZO (2017).

¹⁴⁶⁰ Vgl. LuftVO (2017).

¹⁴⁶¹ Vgl. BMVI (2016b); BMVI (2017a); Verordnung (2017); Dieckert/Eich (2018) S. 353 ff.; Giemulla/van Schyndel/Friedl (2018) S. 25 f.

¹⁴⁶² Vgl. Landrock/Baumgärtel (2018) S. 64.

¹⁴⁶³ Vgl. SatDSiG (2017).

¹⁴⁶⁴ Vgl. Anhang IX Verordnung EU (2018a).

(Unmanned Aerial System) einzuführen.¹⁴⁶⁵ Es wird empfohlen, in den internationalen vorliegenden Gesetzen bzw. Verordnungen eine einheitliche Regelung in der Begriffsverwendung vorzunehmen.

Beyond Visual Line Of Sight

Wie in der Luftverkehrsordnung (LuftVO), ist derzeit eine Befliegung außer Sichtweite (BVLOS) nicht erlaubt, sodass hier ebenfalls ohne die technologischen Voraussetzungen der UAS eine gesetzliche Änderung zur Ausweitung der Flüge mit UAS nicht gegeben ist.¹⁴⁶⁶

R.4.2.2 EU-Datenschutz-Grundverordnung

Mit der Nutzung der UAS werden vor allem Daten respektive Informationen während des Flugs generiert.¹⁴⁶⁷ Die Verarbeitung und Erhebung von Daten unterliegt der DSGVO, sofern es sich um personenbezogene Daten handelt.¹⁴⁶⁸ Da gemäß der LuftVO während des Betriebs der unbemannten Luftfahrzeugsysteme der Datenschutz nicht verletzt werden darf,¹⁴⁶⁹ ist zu empfehlen, die DSGVO den neuen Technologien anzupassen, da diese in der jetzigen Verordnung nicht berücksichtigt werden. So können insbesondere mit einer zielgerichteten Erfassung von Daten durch UAS auch unbeabsichtigte Aufnahmen entstehen,¹⁴⁷⁰ respektive im Voraus nicht absehbare Flächen überflogen werden, in denen sich Personen im Aufnahmebereich befinden können, wofür sich keine Einwilligung der betroffenen Personen einholen lässt.¹⁴⁷¹ Hier ist zu prüfen, inwieweit die bestehenden Anforderungen gesetzlich für den Betrieb von UAS respektive neuer Technologien geregelt werden kann, zumal in der LuftVO keine näheren Angaben zum Datenschutz verankert sind.¹⁴⁷²

R.4.2.3 Verordnung für nicht personenbezogene Daten

Mit der seit dem 14. November 2018 geltenden Verordnung „über einen Rahmen für den freien Verkehr nicht-personenbezogener Daten in der Europäischen Union“ werden die neuen digitalen Technologien, wie Künstliche Intelligenz (KI), Produkte und Dienste im Zusammenhang mit dem Internet der Dinge (IoT), autonome Systeme und 5G berücksichtigt.¹⁴⁷³ In diesem Rahmen wird aufgrund des Aufkommens neuer Technologien, wie der Künstlichen Intelligenz, im Zusammenhang mit dem Zugang und der Weiterverwendung von Daten, der Haftung, Ethik und Solidarität, darauf hingewiesen, Regeln für die Selbstregulierung einzuführen.¹⁴⁷⁴ Hier ist die Erarbeitung konkreter Regeln hinsichtlich der Grenzen der

¹⁴⁶⁵ Vgl. ICAO (2011) S. X; Dieckert/Eich (2018) S. 351; DIN 5452-1 (2018).

¹⁴⁶⁶ Vgl. Anhang V Nr. 2 lit. (f), Nr. 3 lit. (e), Nr. 4.4. lit. (c) Verordnung EU (2018a).

¹⁴⁶⁷ Vgl. EASA (2015); Dieckert/Eich (2018) S. 404.

¹⁴⁶⁸ Vgl. Klein (2017) S. 5 ff.; Dieckert/Eich (2018) S. 407 ff.

¹⁴⁶⁹ Vgl. § 21a (3) Nr. 1 LuftVO (2017).

¹⁴⁷⁰ Vgl. Dieckert/Eich (2018) S. 412.

¹⁴⁷¹ Vgl. Art. 6 (1) lit. (a) DSGVO (2016); Dieckert/Eich (2018) S. 409 ff.

¹⁴⁷² Vgl. § 21a (3) Nr. 1 LuftVO (2017).

¹⁴⁷³ Vgl. Verordnung EU (2018b).

¹⁴⁷⁴ Vgl. ErwG (1) Verordnung EU (2018b).

Datenanalyse mithilfe des Data Mining als auch der Nutzungsrechte der Daten zu empfehlen.¹⁴⁷⁵

4.4.5 T.5 Technologie

Unbemannte Luftfahrzeugsysteme zeichnen sich durch ihre enge Verzahnung digitaler und elektromechanischer Technologien aus, wozu die Sensorik, Steuerung und Motorik gehören, und sind darüber hinaus in ein Datenübertragungssystem eingebunden, das sowohl zur Fernsteuerung als auch zur Übertragung und Auswertung von Daten dient.¹⁴⁷⁶ Auf dem Gebiet der Technologie sind folgende Liefergegenstände zu erbringen: Aufbau eines Unmanned Air Traffic Management (UTM), Entwicklung und Optimierung der Funktionen von unbemannten Luftfahrzeugsystemen (UAS), der IT-Systeme und der Software.

T.5.1 Unmanned Air Traffic Management

Durch den Einsatz von UAS treten weitere Fluggeräte und IT-Systeme in das bestehende kontrollierte Air Traffic Management (ATM), wofür die Entwicklung eines Unmanned Air Traffic Management (UTM/U-Space) maßgeblich ist.¹⁴⁷⁷ Neben der Einführung von Systemen, wie u.a. Blockchain-Technologie,¹⁴⁷⁸ Cloud- und Edge-Computing sowie Mesh-Netzwerk, welche zur automatisierten Kommunikation zwischen den UAS und der Bodenstation respektive dem Leitstand sowie zur sicheren und effizienten Integration im Luftraum erforderlich sind, der Konzeption einer Infrastruktur, welche in die bestehende Architektur und die vorhandenen Mobilitätssysteme der Stadt und dem Umland zu integrieren sind,¹⁴⁷⁹ bedarf es darüber hinaus Überlegungen zum Aufbau einer digitalen Infrastruktur zur Analyse und gewinnbringenden Nutzung der generierten Daten für das Unmanned Air Traffic Management (UTM), die Stadt und Gesellschaft. Darüber hinaus sind Daten für die geplanten Flugrouten, zur Identifizierung und Positionsbestimmung der UAS, zur sicheren Durchführung der Flüge und Vermeidung von Kollisionen erforderlich, welche permanent im Rahmen der digitalen Infrastruktur verarbeitet, gespeichert und analysiert werden müssen.¹⁴⁸⁰

T.5.2 Flugkörper

Neben den bereits verwendeten Trägerplattformen der UAS, insbesondere Copter und Starrflügler, sind zukünftig applikationsspezifische Flugkörper zu entwickeln, welche optimal für konkrete Einsätze, wie Inspektionen, ausgerichtet sind.

¹⁴⁷⁵ Vgl. Desoi (2018) S. 2, S. 4.

¹⁴⁷⁶ Vgl. Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhart/Moll (2018) S. 42, S. 72.

¹⁴⁷⁷ Vgl. Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhart/Moll (2018) S. 66 f.; FlyNex (2018a).

¹⁴⁷⁸ Vgl. Burgwinkel (2016) S. 5; Prinz/Rose u.a. (2018) S. 311 ff.

¹⁴⁷⁹ Vgl. Werwitzke (2018).

¹⁴⁸⁰ Vgl. FlyNex (2018a); Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhart/Moll (2018) S. 68 f.

T.5.3 Sensorik

Durch den Einsatz von UAS lassen sich derzeit folgende Möglichkeiten im Rahmen der Zustandsermittlung und Überwachung von Bauwerken identifizieren: Inspektionen auf der Grundlage von Bild- und Videodaten, fotogrammetrischen Daten sowie Infrarot-/Thermografie-daten.¹⁴⁸¹ Der Liefergegenstand Sensorik betrachtet auf der zweiten Ebene die zur Generierung von Daten verwendete Software sowie das Thema Datenschutz im Rahmen der Entwicklung des Systems der Fluggeräte.

T.5.3.1 Software

Die derzeitige Grenze der Erkennung von Rissbreiten an Brückenbauwerken liegt bei 0,2 mm.¹⁴⁸² Oberflächen von Betonbrücken sind zwar überwiegend prüfbar, Abplatzungen, Bindedrahtreste, Fremdkörper und mechanische Beschädigungen allerdings nur teilweise prüfbar. Chemische Reaktionen, wie z. B. Chlorid-Einwirkungen, sind überwiegend nicht prüfbar. Bei Stahlbrücken sind Schweißnähte, Umschweißungen, Korrosionen und Korrosionsbeschichtungen weitgehend prüfbar, während Schrauben, Unterlegscheiben und Nieten nur teilweise prüfbar sind. Schließlich sind bei Steinbrücken Risse und Abplatzungen überwiegend prüfbar.¹⁴⁸³ Es bedarf somit der Entwicklung einer Software, welche eine höhere Auflösung der Aufnahmen, eine dreidimensionale Auswertung der Bauwerksteile sowie Messungen von Schäden der Bauwerksteile ermöglichen kann.¹⁴⁸⁴

T.5.3.2 Datenschutz

Bereits im Rahmen der Entwicklung der Sensorik der Fluggeräte sind technische Vorkehrungen zum Datenschutz zu berücksichtigen, um die Qualität und das Vertrauen in deren Systeme zu stärken („security by design“). So gehört der Aspekt Sicherheit zu den Kernbereichen der „Fraunhofer-Allianz Big Data und Künstliche Intelligenz“, wonach mit Mustererkennungstechnologien und der Fähigkeit zum selbstständigen Lernen Sicherheitssysteme erheblich optimiert werden können.¹⁴⁸⁵

T.5.4 Navigation

Um die Inspektion von Brücken durch den Einsatz von UAS zukünftig als Standard etablieren zu können, bedarf es insbesondere weiterer technologischer Entwicklungen in der Flugnavigation.¹⁴⁸⁶ Der Liefergegenstand Navigation betrachtet auf der zweiten Ebene die Liefergegenstände, welche die Steuerung und Autonomiefähigkeit der UAS betreffen.

¹⁴⁸¹ Vgl. Morgenthal/Hallermann/Achtelik (2015) S. 20; Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 16, S. 19 f.

¹⁴⁸² Vgl. Morgenthal/Hallermann/Achtelik (2015) S. 56; Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 54 f.

¹⁴⁸³ Vgl. Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 53 Tab. 3.

¹⁴⁸⁴ Vgl. Morgenthal/Hallermann/Achtelik (2015) S. 130.

¹⁴⁸⁵ Vgl. Wrobel/Hecker (2018) S. 264.

¹⁴⁸⁶ Vgl. Morgenthal/Hallermann/Achtelik (2015) S. 130.

T.5.4.1 Windstabilität

Für eine unbegrenzte Verfügbarkeit von UAS bedarf es weiterer Entwicklungen bezüglich der Windstabilität, da ihr Einsatz derzeit sehr stark von der Wetterlage sowie vom KP Index ≤ 4 ¹⁴⁸⁷ abhängig ist.¹⁴⁸⁸

T.5.4.2 Automatisierte Start- und Landefähigkeiten

In diesem Liefergegenstand sind Mechanismen zu entwickeln, welches ein automatisiertes Zurückfinden und sicheres Landen zur Basis, z. B. bei Ausfall des Datenlinks oder extremen Wettereinflüssen, ermöglichen können.¹⁴⁸⁹ Bedingungen für autonome Flüge sind zuverlässige Sensoren, eine korrekte Verarbeitung der gewonnenen Daten und die Einhaltung der rechtlichen Sicherheitsstandards.¹⁴⁹⁰

T.5.4.3 Kollisionsschutz

Für die Entwicklung eines funktionierenden Kollisionsschutzsystems (Detect and avoid-System) sind Kameras oder Abstandssensoren an Bord eines UAS erforderlich, um andere Luftverkehrsteilnehmer zuverlässig erfassen und ausweichen zu können, sowie eine Software, welche die erfassten Sensordaten in Echtzeit zur Steuerung des Autopiloten auswerten kann.¹⁴⁹¹ In diesem Rahmen werden u.a. am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) Detektions- und Trackingalgorithmen entwickelt.¹⁴⁹²

T.5.4.4 Beyond Visual Line Of Sight

Ein funktionierendes Kollisionsschutzsystem sowie erhöhte Autonomiefähigkeit sind Voraussetzungen für den Einsatz mit UAS ohne direkten Sichtkontakt (BVLOS), um Kollisionen am Boden und in der Luft verhindern zu können.¹⁴⁹³ Auf diesem Gebiet hat das amerikanisch-finnische Unternehmen Sharper Shape einen Copter entwickelt, der 100 Meilen entfernt von der Bodenstation kontrolliert fliegen kann.¹⁴⁹⁴

T.5.4.5 Automatisierung

Auf dem Gebiet der Automatisierung der UAS besteht noch erheblicher Forschungsbedarf.¹⁴⁹⁵ Für die Automatisierung von Funktionen zur Optimierung der generellen Befliegung sind von verschiedenen Herstellern bereits spezifische Softwarepakete entwickelt worden. Hierzu gehören Flugplanungssoftware zur Planung der Lufträume und Flugrouten sowie zur Implementierung automatisierter Workflows, wie Flugsteuerung, -überwachung und -wiedergabe, und Validierung der erstellten Flugpläne anhand rechtlicher Rahmenbedingungen der

¹⁴⁸⁷ Vgl. Landrock/Baumgärtel (2018) S. 15.

¹⁴⁸⁸ Vgl. Landrock/Baumgärtel (2018) S. 75.

¹⁴⁸⁹ Vgl. Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhardt/Moll (2018) S. 73.

¹⁴⁹⁰ Vgl. Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhardt/Moll (2018) S. 74.

¹⁴⁹¹ Vgl. Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhardt/Moll (2018) S. 63 f., S. 66.

¹⁴⁹² Vgl. Seel (2018) S. 77, S. 78 f.

¹⁴⁹³ Vgl. Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhardt/Moll (2018) S. 64, S. 66.

¹⁴⁹⁴ Vgl. Sharper Shape Inc.

¹⁴⁹⁵ Vgl. Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhardt/Moll (2018) S. 72 ff.

Flughöhe und Flugräume.¹⁴⁹⁶ Auch für die automatische Inspektion der Anlagen von Stromversorgen, wie Freileitungen, wurde bereits spezifische Flugplanungssoftware entwickelt.¹⁴⁹⁷ Eine Flugplanungssoftware speziell für die Inspektion von Brücken und Ingenieurbauwerken liegt derzeit noch nicht vor. Diese ist auf der Basis eines noch zu erarbeitenden Qualitätsstandards zu entwickeln.

T.5.5 Testgebiete

Für die Weiterentwicklung und Forschung der Technologie von UAS bedarf es neben den bereits vorhandenen Testzentren in Oberpfaffenhofen (Bayern), Wesendorf (Niedersachsen) und Wümme (Bremen)¹⁴⁹⁸ der Einrichtung weiterer Flächen in Deutschland, um nicht auf Versuchsgebiete im Ausland ausweichen zu müssen,¹⁴⁹⁹ wozu die Erschließung ehemaliger Flughäfen, oder ungenutzte ehemalige Militärstandorte dienen können.

¹⁴⁹⁶ Vgl. FlyNex GmbH: MAP2FLY PRO, Horizon; Intel Deutschland GmbH: Intel® Mission Control Software; CiS GmbH: Software UAV mobil; Bergert (2017): Drohnen-Verwaltungsplattform von DJI.

¹⁴⁹⁷ Vgl. Gerstl (2017); Sharper Shape Inc.: Automatic Detailed Inspection (ADI); hilfuture (2018): SIEAERO-High-End-Multisensorsystem.

¹⁴⁹⁸ Vgl. Fortner/Hrachowitz (2017) S. 4.

¹⁴⁹⁹ Vgl. Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhart/Moll (2018) S. 212.

5 Fazit und Forschungsbedarf

Unbemannte Luftfahrzeugsysteme gehören zu den bedeutenden technologischen Innovationen der vergangenen zehn Jahre im Umfeld der Industrie 4.0, deren Potenzial aufgrund ihrer vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten, die sich sukzessive erweitern werden, mit der einstigen Bedeutung der Dampfmaschine verglichen wird.¹⁵⁰⁰ Die Betrachtung der Technologie ist dabei nicht alleine auf das Fluggerät zu fokussieren, sondern insbesondere auf die Sensorik, welche eine neue Art der Datengenerierung ermöglicht, wozu Bild-, Video- und Tonaufnahmen gehören,¹⁵⁰¹ sowie die dahinterliegende Datenverarbeitung, vor allem in Verbindung mit der Entwicklung von Algorithmen, Künstlicher Intelligenz (KI) und Deep Learning.¹⁵⁰² Vielfach werden diese Daten erst durch den Einsatz von Analyseverfahren zu Informationen.¹⁵⁰³

Durch die Erzeugung hochauflösender Bild- und Videoaufnahmen verbessert sich die bisherige Datengenerierung sowie die Qualität der Datenanalyse, welche sich durch stetig neue technologische Entwicklungen weiter optimieren lassen werden. Unternehmen können mit den Daten neue Geschäftsfelder erschließen sowie an neuen Anwendungen und Services partizipieren. Aktuell lassen sich primär folgende Industriezweige identifizieren, welche bereits verstärkt Multicopter in verschiedenen Bereichen testen und einsetzen: Bauindustrie, Energiewirtschaft, Medien/Film, Immobilien- und Agrarwirtschaft. Dabei werden Unmanned Aerial Systems (UAS) insbesondere für die Bereiche Inspektion, Vermessung und Überwachung eingesetzt.¹⁵⁰⁴ Nach einer Studie des Beratungsunternehmens PricewaterhouseCoopers (PwC) werden Inspektionsdienstleistungen zum Zeitpunkt der Verfassung der Studie zukünftig den größten Umsatz ausmachen.¹⁵⁰⁵ Dies liegt darin begründet, dass mit dem Einsatz von UAS Inspektionen an schwer oder unzugänglichen Stellen erfolgen können, was auf herkömmliche Weise überdurchschnittlich kosten- und zeitaufwändig sowie risikobehaftet ist.¹⁵⁰⁶ Grundsätzlich sind UAS daher für Unternehmen geeignet, welche Inspektionen, Vermessungen oder Überwachungen vornehmen müssen, zugleich aber bereit sind, sich auf neue Technologien sowie Veränderungen in den bisherigen Arbeitsabläufen einzulassen.¹⁵⁰⁷ Um die Implementierung der digitalen und automatisierten Abläufe mithilfe des Einsatzes von UAS optimal strukturieren zu können, empfiehlt es sich, die Geschäftsprozesse als End-to-End-Prozesse zu betrachten.¹⁵⁰⁸ Die Ausschöpfung der Einsatzmöglichkeiten der UAS und die Nutzung des technologischen Potenzials für industrielle Anwendungen stehen allerdings noch ganz am Anfang.¹⁵⁰⁹ Insbesondere werden sich zukünftige Einsätze verstärkt auf die Überwachung und Analyse von Kritischen Infrastrukturen, wie Pipelines,

¹⁵⁰⁰ Vgl. Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhardt/Moll (2018) S. 13, S. 227.

¹⁵⁰¹ Vgl. Plücken (2017) S. 28; Dieckert/Eich (2018) S. 59, S. 228 ff., S. 316 ff., S. 404; Landrock/Baumgärtel (2018) S. 49.

¹⁵⁰² Vgl. Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhardt/Moll (2018) S. 227; Landrock/Baumgärtel (2018) S. 52 f.

¹⁵⁰³ Vgl. Landrock/Baumgärtel (2018) S. 49.

¹⁵⁰⁴ Vgl. FlyNex (2018b); Landrock/Baumgärtel (2018) S. 32 ff.

¹⁵⁰⁵ Vgl. Reder (2017).

¹⁵⁰⁶ Vgl. Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhardt/Moll (2018) S. 84 f.

¹⁵⁰⁷ Vgl. FlyNex (2018b).

¹⁵⁰⁸ Vgl. Wagner/Sodies u.a. (2019). S. 708.

¹⁵⁰⁹ Vgl. FlyNex (2018b).

Industrieanlagen, Kraftwerken, Stromleitungen sowie Windräder, ausweiten, wo das Gefahrenpotenzial für Bauwerksprüfer besonders hoch ist und es bei Schäden zu hohen gesellschaftlichen Beeinträchtigungen kommen kann.¹⁵¹⁰ Darüber hinaus sind UAS im Rahmen von Schadenssituationen bei Kritischen Infrastrukturen während des Einsatzes und zum Schutz von Einsatzkräften sowie zur schnellen und effektiven Erkundung des Lagebildes sinnvoll.¹⁵¹¹

Zukünftige Entwicklungen von unbemannten Luftfahrzeugsystemen werden durch die zentralen Aspekte Sicherheit und Autonomie bestimmt, sowohl hinsichtlich der automatischen Befliegung (autonomer Start und Landung, Windstabilität, automatische Flugroutenerzeugung, BVLOS, Detect and avoid-Systeme) als auch der Datenübertragung (Smart Gateway).¹⁵¹² Darüber hinaus ist die Entwicklung eines Unmanned Air Traffic Management (UTM/U-Space) maßgeblich und unumgänglich zur sicheren und effizienten Integration im Luftraum sowie zur Einbindung in die bestehende Infrastruktur in Städten und deren Umland.¹⁵¹³

Wie bereits in anderen Forschungsprojekten untersucht, sind UAS (Multicopter) für visuelle und messtechnische Zustandsermittlungen von Bauwerken, u.a. von Brücken, insbesondere an schwer zugänglichen Stellen sehr gut geeignet und ermöglichen darüber hinaus eine Identifizierung von Schäden mittels digitaler Bildverfahren, sodass sie die handnahe Bauwerksprüfung zwar unterstützen und damit optimieren, aber aufgrund der derzeitigen Technologie der UAS noch nicht ersetzen können.¹⁵¹⁴

Im Rahmen der Maßnahmenplanung für eine Inspektion von Brücken und Ingenieurbauwerken unter dem Einsatz von UAS wurde aufgezeigt, dass in den Bereichen Technologie, Recht, Informatik und Prozesse nicht nur Handlungs- und Optimierungsbedarf besteht, sondern aufgrund der Sensorik und Steuerungstechnik der UAS diese Bereiche auch untrennbar miteinander verbunden sind und daher nicht singulär betrachtet werden dürfen. So kann z. B. ohne die Erarbeitung von Qualitätsstandards zur Inspektion unter dem Einsatz von UAS, welche weder für die einfache Prüfung, noch für die Hauptprüfung und Sonderprüfung vergleichbar zur DIN 1076 respektive zur Ril 804 vorliegen, keine spezifische Flugplanungs- und Analysesoftware entwickelt werden, welche den Anforderungen und Bedürfnissen der Inspektion von Brücken und Ingenieurbauwerken optimal gerecht werden kann.¹⁵¹⁵

Verbunden mit der Optimierung der Daten- und Bildqualität sind im Rahmen der Inspektion von Brücken und Ingenieurbauwerken sowohl die Anpassung und Erweiterung der bestehenden IT-Systeme unter Einbindung von BIM-Modellen und neuen Technologien, wie digitale

¹⁵¹⁰ Vgl. Kornmeier (2012) S. 32 ff.; Reder (2017); Landrock/Baumgärtel (2018) S. 33 f., S. 36 ff., S. 41 ff.

¹⁵¹¹ Vgl. Fisch (2017) S. 31 ff.

¹⁵¹² Vgl. Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhardt/Moll (2018) S. 72 f., S. 79; Landrock/Baumgärtel (2018) S. 63 f.

¹⁵¹³ Vgl. Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhardt/Moll (2018) S. 66 f.; FlyNex (2018a); Werwitzke (2018).

¹⁵¹⁴ Vgl. Morgenthal/Hallermann/Achtelik (2015) S. 54 ff., S. 91 ff., S. 127 f.; Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 3, S. 56 f.

¹⁵¹⁵ Vgl. Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 57, S. 65.

Zwillinge, Virtual und Augmented Reality, zur präzisen Lokalisierung von Schäden und Visualisierung des ermittelten Bauzustands als auch cloudbasierte Datenbanken mit großen Speicherkapazitäten erforderlich.¹⁵¹⁶

Zur weiteren Auswertung der Inspektionsdaten sind diese mit Daten anderer Quellen, wie u.a. Daten in bestehenden Instandhaltungssystemen, Daten aufbereiteter 3D-Modelle (BIM), Daten des Monitoring oder Satellitenbilddaten, zu verknüpfen, um somit sowohl neue Informationen und Geschäftsprozesse für die Bauwerksprüfung erschließen zu können als auch zusätzlich einen Mehrwert zur Entwicklung und Nutzung digitaler Geschäftsmodelle zu schaffen.¹⁵¹⁷ Für die Analyseverfahren gilt künftig, durch eine übergreifende Anwendung wissenschaftlich fundierter Methoden, den Aufbau von digitalen Geschäftsprozessen, die Entwicklung von applikationsspezifischen Algorithmen auf der Basis von strukturierten/unstrukturierten Daten (Data Science) individuelle Software-Applikationen zur Interpretation und Visualisierung hochwertiger Inspektionsdaten von Ingenieurbauwerken zu entwickeln.¹⁵¹⁸

Durch den Einsatz von unbemannten Luftfahrzeugsystemen werden nicht nur Daten durch das System generiert und verarbeitet, sondern es ist zwingend notwendig, zur Integration im Luftraum einen Informationsaustausch der Daten zwischen den verschiedenen Stakeholdern bereit zu stellen.¹⁵¹⁹ Damit sind UAS wie andere IT-Systeme durch entsprechende Sicherheitsmaßnahmen (DSMS, ISMS) zu schützen und unterliegen den Richtlinien des Datenschutzes sowie der Datensicherheit. Unter diesem Aspekt gilt es insbesondere zu analysieren, ob die bestehenden Datenschutzgesetze sowie IT-Sicherheitsgesetze aktuell den hohen Anforderungen dieser zukunftsweisenden und bahnbrechenden Technologie gerecht werden und vom Standort Deutschland aus, globale Akzente gesetzt werden können. Inwieweit eine Nutzung der generierten Daten zulässig ist, ist nicht nur aus der Perspektive des Datenschutzes zu betrachten, sondern auch aus der Sicht der Datensouveränität und digitalen Privatautonomie hinsichtlich des persönlichen Inhalts der Daten und der Hoheit über deren wirtschaftlichen Verwertbarkeit, indem die Grundsätze des Datenschutzes mit einem nachhaltigen und verantwortungsvollen Umgang der generierten Daten (Datability) vereinbart werden.¹⁵²⁰

Die ganzheitliche und interdisziplinäre Betrachtung der vorliegenden Konzeptstudie ist aus Sicht der Verfasser als eine „Conditio-sine-qua-non“ für die nachhaltige Einführung von unbemannten Luftfahrzeugsystemen anzusehen, welche bisher in der beschriebenen Form noch nicht vorgelegt wurde.

¹⁵¹⁶ Vgl. Morgenthal/Hallermann/Achtelik (2015) S. 54; Singer/Borrmann (2016) S. 16, S. 55 ff., S. 66; Sperber/Gößmann u.a. (2017) S. 54; Landrock/Baumgärtel (2018) S. 50 ff., S. 64.

¹⁵¹⁷ Vgl. DLR (2018b).

¹⁵¹⁸ Vgl. Landrock/Baumgärtel (2018) S. 51 f.

¹⁵¹⁹ Vgl. Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhart/Moll (2018) S. 66 ff., S. 68.

¹⁵²⁰ Vgl. Weber (2018) S. 112 f.

Literaturverzeichnis

AEG (2019)

Allgemeines Eisenbahngesetz (AEG): Allgemeines Eisenbahngesetz vom 27. Dezember 1993 (BGBl. I S. 2378, 2396; 1994 I S. 2439), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 20. März 2019 (BGBl. I S. 347) geändert worden ist. http://www.gesetze-im-internet.de/aeg_1994/AEG.pdf.

Aichele/Schönberger (2017)

Aichele, Christian/Schönberger, Marius: Die Digitalisierung der Energiewirtschaft: Potenziale und Herausforderungen der IKT-Branche für Utility 4.0. In: Doleski, Oliver, D. (Hrsg.): Herausforderung Utility 4.0. Wie sich die Energiewirtschaft im Zeitalter der Digitalisierung verändert, S. 501 ff. Springer Vieweg, Wiesbaden 2017.

Alberts/Schildt (2018)

Alberts, Katrin/Schildt, Holger: Cyber-Sicherheit. Einstieg leicht gemacht. Basis-Absicherung nach IT-Grundschutz. In: Mit Sicherheit. Industrial Control Systems in der Industrie 4.0. BSI-Magazin 1/2018, S. 14 ff. https://www.bsi.bund.de/DE/Publikationen/BSI-Magazin/BSI-Magazin_node.html. Aufruf am 10.05.2019.

Amann/Borrmann (2015)

Amann, Julian/Borrmann, André: Open BIM for Infrastructure – mit OKSTRA und IFC Alignment zur internationalen Standardisierung des Datenaustauschs. In: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.): Objektkatalog für das Straßen- und Verkehrswesen. 6. OKSTRA-Symposium. Symposium am 20. und 21. Mai 2015 in Köln. http://www.cms.bgu.tum.de/publications/2015_Amann_OKSTRA.pdf.

Anke/Berning u.a. (2017)

Anke, Jürgen/Berning, Wilhelm/Schmidt, Johannes/Zinke, Christian: Rahmenwerk für das IT-gestützte Management von Datenschutz in Anwendungssystemen. In: Knoll, Matthias/Strahinger, Susanne (Hrsg.): IT-GRC-Management – Governance, Risk und Compliance. Grundlagen und Anwendungen, S. 167 ff. Springer Vieweg, Wiesbaden 2017.

Arndt/Beckmann u.a. (2013)

Arndt, Wulf-Holger/Beckmann, Klaus J./Eberlein, Marion/Grabow, Busso: Kommunale Straßenbrücken. Zustand und Erneuerungsbedarf. Deutsches Institut für Urbanistik (Difu), Bd. 6. Difu, Berlin 2013.

Arnold/Postina (2017)

Arnold, Christian/Postina, Matthias: Digitalisierung als Inkubator für die Energieversorgung von morgen. In: Doleski, Oliver, D. (Hrsg.): Herausforderung Utility 4.0. Wie sich die Energiewirtschaft im Zeitalter der Digitalisierung verändert, S. 109 ff. Springer Vieweg, Wiesbaden 2017.

ASB-ING (2013)

Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung. Abteilung Straßenbau: Sammlung Brücken- und Ingenieurbau. Erhaltung. Anweisung Straßeninformationsbank Segment Bauwerksdaten (ASB-ING). Stand: 10/2013.

https://www.bast.de/BASt_2017/DE/Ingenieurbau/Publikationen/Regelwerke/Erhaltung/ASB-ING-Erhaltung.html. Aufruf am 22.07.2018.

Ascending Technologies (2016)

Ascending Technologies: Intel übernimmt Ascending Technologies! 04.01.2016. <http://www.asctec.de/intel-uebernimmt-ascending-technologies/>. Aufruf am 10.05.2019.

Austrian Standards (2016)

Austrian Standards International: Wie Drohnen die Inspektion von Gebäudefassaden und Brücken erleichtern. Bei ASTM International werden dazu spezielle Standards entwickelt. Pressemeldung, Wien, 05.02.2016. <https://www.austrian-standards.at/newsroom/meldung/wie-drohnen-die-inspektion-von-gebaeuefassaden-und-bruecken-erleichtern/>. Aufruf am 05.04.2019.

Baldenhofer (2019)

Baldenhofer, Kurt G.: Lexikon der Fernerkundung. Friedrichshafen, Stand: 26.01.2019. <http://www.fe-lexikon.info/index.htm>. Aufruf am 10.05.2019.

BAM (2017a)

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM): Bauwerkssicherheit – Sensoren melden Brückenschäden. BAM Report 2016/2017, S. 50 ff. LASERLINE, Berlin 2017. urn:nbn:de:kobv:b43-450389. Aufruf am 23.05.2019.

BAM (2017b)

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM): Zu Lande, zu Wasser und in der Luft: Sensoren intelligent vernetzen. BAM Report 2016/2017, S. 119 ff. LASERLINE, Berlin 2017. urn:nbn:de:kobv:b43-450389. Aufruf am 23.05.2019.

BASt (o.J.)

Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt): Bauwerk-Management-System (BMS). <https://www.bast.de/DE/Ingenieurbau/Fachthemen/b4-bms/b4-bms.html>. Aufruf am 05.06.2018.

BASt (2018a)

Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt): Brücken an Bundesfernstraßen. Brückenstatistik: Stand: 01.09.2018.

https://www.bast.de/BASt_2017/DE/Statistik/Bruecken/Brueckenstatistik.pdf?__blob=publicationFile&v=11. Aufruf am 06.05.2019.

BASt (2018b)

Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt): Zustandsnoten der Brücken. Stand: 01.09.2018. https://www.bast.de/BASt_2017/DE/Statistik/Bruecken/Zustandsnoten-excel.html. Aufruf am 10.05.2019.

BASt (2018c)

Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt): Intelligente Brücke. Stand: 2018. https://www.intelligentebraeuecke.de/ibraeuecke/DE/Home/home_node.html. Aufruf am 21.12.2018.

BASt (2019)

Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt): OKSTRA® Objektkatalog für das Straßen- und Verkehrswesen. Stand: 09.05.2019. www.okstra.de/. Aufruf am 22.05.2019.

Baumann/von Rössing (2018)

Baumann, Sheron/von Rössing, Rolf: Business Continuity Management – unverzichtbares Element eines angemessenen Risikomanagements. In: Hunziker, Stefan/Meissner, Jens O. (Hrsg.): Ganzheitliches Chancen- und Risikomanagement. Interdisziplinäre und praxisnahe Konzepte, S. 163 ff. Springer Gabler, Wiesbaden 2018.

Bayer (2016)

Bayer, Martin: BI-Markt im Wandel. Data Governance und Datenqualität im Big-Data-Zeitalter. Computerwoche, 14.02.2016. <https://www.computerwoche.de/a/data-governance-und-datenqualitaet-im-big-data-zeitalter,3218063>. Aufruf am 04.01.2019.

BBK (o.J.)

Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK): Projekte SKRIBT und SKRIPT^{Plus}. https://www.bbk.bund.de/DE/AufgabenundAusstattung/KritischeInfrastrukturen/Projekte/SKRIBT/SKRIBT_Einstieg.html. Aufruf am 10.05.2019.

BBK (2014)

Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK): Stromausfall. Grundlagen und Methoden zur Reduzierung des Ausfallrisikos der Stromversorgung. Schriften des Wissenschaftsforums, Bd. 12. BBK, Bonn 2014.

BBK (2017)

Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK): Schutz Kritischer Infrastrukturen – Identifizierung in sieben Schritten. Arbeitshilfe für die Anwendung im Bevölkerungsschutz. Praxis im Bevölkerungsschutz, Bd. 20. WM, Rheinbach 2017.

BBK/BSI (o.J.)

Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK)/Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI): Partner beim Schutz Kritischer Infrastrukturen. Wichtige Organisationen, die mit dem Schutz Kritischer Infrastrukturen betraut sind. https://www.kritis.bund.de/SubSites/Kritis/DE/Akteure/akteure_node.html. Aufruf am 14.03.2019.

BDA-BRÜ (2017)

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI): Richtlinien für den Entwurf, die konstruktive Ausbildung und Ausstattung von Ingenieurbauwerken (RE-ING). Teil 2 Brücken. Abschnitt 3. Bauliche Durchbildung und Ausstattung von Brücken zur Überwachung, Prüfung und Erhaltung (BDA-BRÜ). Stand: 12/2017. https://www.bast.de/BASt_2017/DE/Ingenieurbau/Publikationen/Regelwerke/Entwurf/RE-ING.html. Aufruf am 10.05.2019.

BDEW (2017)

Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW): Block Chain in der Energiewirtschaft. Potenziale für Energieversorger. EKS, Berlin 2017. <https://www.bdew.de/service/publikationen/blockchain-energiewirtschaft/>. Aufruf am 25.11.2018.

Bechtle (2017)

Bechtle, Philip Moritz: Airborne Wind Energy: The "AWESome" concept. Universität Bonn, 20.04.2017. <https://www.lhc-ilc.physik.uni-bonn.de/research-groups/experimental-physics/prof.-k.-desch/research/airborne-wind-energy>. Aufruf am 05.04.2019.

Becker/Kugeler/Rosemann (2012)

Becker, Jörg/Kugeler, Martin/Rosemann, Michael: Prozessmanagement. Ein Leitfaden zur prozessorientierten Organisationsgestaltung. 7. Aufl. Springer Gabler, Berlin/Heidelberg 2012.

Bergert (2017)

Bergert, Denise: FlightHub: Drohnen-Management-Plattform von DJI. Heise online, 08.11.2017. <https://www.heise.de/newsticker/meldung/FlightHub-Drohnen-Management-Plattform-von-DJI-3884783.html>. Aufruf am 03.12.2018.

Bergsmann (2012)

Bergsmann, Stefan: End-to-End-Geschäftsprozessmanagement: Organisationselement – Integrationsinstrument – Managementansatz. Springer, Wien 2012.

Bitkom (o.J.)

Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (Bitkom): Themenseite: Drohnen. <https://www.bitkom.org/Themen/Digitale-Transformation-Branchen/Luftfahrt/Drohnen.html>. Aufruf am 13.11.2018.

Bitkom (2011)

Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (Bitkom): Enterprise Architecture Management – neue Disziplin für die ganzheitliche Unternehmensentwicklung. Bitkom, Berlin 2011. <https://www.bitkom.org/sites/default/files/file/import/EAM-Enterprise-Architecture-Management-BITKOM-Leitfaden.pdf>.

Bitkom (2015)

Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (Bitkom): Leitlinien für den Big-Data-Einsatz. Chancen und Verantwortung. Bitkom, Berlin 2015. <https://www.bitkom.org/noindex/Publicationen/2015/Leitfaden/LF-Leitlinien-fuer-den-Big-Data-Einsatz/150901-Bitkom-Positionspapier-Big-Data-Leitlinien.pdf>.

BITMi (o.J.)

Bundesverband IT-Mittelstand e.V. (BITMi): BITMi Positionspapier Datenökonomie. Ein offener Markt als Grundvoraussetzung für eine zukunftsfähige Datenökonomie. https://www.bitmi.de/wp-content/uploads/BITMi_Positionspapier_Datenökonomie.pdf.

BMBF (2018a)

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF): Fliegende Inspektoren für marode Bauwerke. Berlin, 21.08.2018. <https://www.bmbf.de/de/fliegende-inspektoren-fuer-marode-bauwerke-6703.html>. Aufruf am 21.12.2018.

BMBF (2018b)

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF): Bewertung alternder Infrastrukturbauwerke mit digitalen Technologien (AISTEC). https://www.sifo.de/files/Projektumriss_AISTEC.pdf.

BMI (2009)

Bundesministerium des Innern (BMI): Nationale Strategie zum Schutz Kritischer Infrastrukturen (KRITIS-Strategie). Bonifatius, Paderborn 2009. https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/themen/bevoelkerungsschutz/kritis.pdf?__blob=publicationFile&v=3.

BMI (2011)

Bundesministerium des Innern (BMI): Schutz Kritischer Infrastrukturen – Risiko- und Krisenmanagement. Leitfaden für Unternehmen und Behörden. Silber Druck, Niestetal 2011. <https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/themen/bevoelkerungsschutz/kritis-leitfaden.html>.

BMI (2017)

Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI): Daten als Rohstoff der Zukunft. Neues Gesetz soll Zugang zu öffentlich finanzierten Daten verbessern. Pressemitteilung, 25.01.2017. <https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/pressemitteilungen/DE/2017/01/open-data-gesetz.html>. Aufruf am 17.12.2018.

BMVBS (2013)

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS): Bauwerksprüfung nach DIN 1076. Bedeutung, Organisation, Kosten. Dokumentation 2013. BMVBS, Berlin 2013.

www.bmvi.de/Shared-Docs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/Strasse/dokumentation-bauwerkspruefung-nach-din-1076.pdf?__blob=publicationFile.

BMVI (o.J.)

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI): mFund-Projekte. <https://www.bmvi.de/DE/Themen/Digitales/mFund/Projekte/mfund-projekte.html>. Aufruf am 22.12.2018.

BMVI (2015a)

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI): Stufenplan Digitales Planen und Bauen. Einführung moderner, IT-gestützter Prozesse und Technologien bei Planung, Bau und Betrieb von Bauwerken. BMVI, Berlin 2015. https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/stufenplan-digitales-bauen.pdf?__blob=publicationFile.

BMVI (2015b)

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI): Geoinformationsstrategie des Geschäftsbereichs des BMVI. Berlin, 27.10.2015. https://www.bmvi.de/Shared-Docs/DE/Anlage/Digitales/geoinformationsstrategie.pdf?__blob=publicationFile.

BMVI (2016a)

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI): Bericht „Stand der Ertüchtigung von Straßenbrücken der Bundesfernstraßen“. Vorlage an den Ausschuss für Verkehr und digitale Infrastruktur des Deutschen Bundestages. Berlin, 14.11.2016. https://www.bmvi.de/Shared-Docs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/Strasse/sonderprogramm%20brueckenmodernisierung%20bericht%20ertuechtigung.pdf?__blob=publicationFile.

BMVI (2016b)

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI): Kurzinformation über die Nutzung von unbemannten Luftfahrtsystemen. BMVI, Berlin 2016. https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/LF/unbemannte-luftfahrtsysteme.pdf?__blob=publicationFile.

BMVI (2016c)

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI): mFund im Überblick. mFund – Unsere Förderung für die Mobilität 4.0. Artikel Digitales, 21.09.2016. <http://www.bmvi.de/DE/Themen/Digitales/mFund/Ueberblick/ueberblick.html>. Aufruf am 20.05.2019.

BMVI (2016d)

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI): Geschäftsbereich des BMVI. Artikel Mobilität, 07.10.2016. <https://www.bmvi.de/Shared-Docs/DE/Artikel/Z/geschaeftsbereich-des-bmvi.html>. Aufruf am 10.05.2019.

BMVI (2017a)

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI): Die neue Drohnen-Verordnung. Ein Überblick über die wichtigsten Regeln. BMVI, Berlin 2017. https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/LF/flyer-die-neue-drohnen-verordnung.pdf?__blob=publicationFile.

BMVI (2017b)

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) (Hrsg.): "Eigentumsordnung" für Mobilitätsdaten? Eine Studie aus technischer, ökonomischer und rechtlicher Perspektive. BMVI, Berlin 2017. https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/eigentumsordnung-mobilitaetsdaten.pdf?__blob=publicationFile.

BMVI (2017c)

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) (Hrsg.): Verkehr in Zahlen 2017/2018. 46. Jahrgang. DVV Media Group, Hamburg 2017. https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/verkehr-in-zahlen-pdf-2017-2018.pdf?__blob=publicationFile.

BMVI (2018)

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI): Bahnsystem soll digitalisiert werden. Artikel Mobilität, 19.09.2018. <https://www.bmvi.de/Shared-Docs/DE/Artikel/E/digitalisierung-bahnsystem.html>. Aufruf am 13.03.2019.

BMVIT (2018)

Bundesministerium Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT): Nach Unglück in Italien: Wie werden Österreichs Brücken kontrolliert? Innovation und Technologie, Wien. 16.08.2018. <https://infothek.bmvit.gv.at/nach-unglueck-in-italien-wie-werden-oesterreichs-bruecken-kontrolliert/>. Aufruf am 22.12.2018.

BMWi (o.J.)

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi): Satellitendatensicherheitsgesetz – SatDSiG. <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Technologie/foerderbereiche-satdsig.html>. Aufruf am 21.05.2019.

BMWi (2017)

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi): Weißbuch. Digitale Plattformen. Digitale Ordnungspolitik für Wachstum, Innovation, Wettbewerb und Teilhabe. Spree Druck, Berlin 2017. https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Digitale-Welt/weissbuch-digitale-plattformen.pdf?__blob=publicationFile&v=24.

BNetzA (2019)

Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA): Aufgaben und Struktur. Gute Infrastrukturen für die Zukunft. Eisenbahn.

<https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Allgemeines/DieBundesnetzagentur/UeberdieAgentur/Aufgaben/aufgaben-node.html>. Aufruf am 19.02.2019.

Borrmann/König/Koch/Beetz (2015)

Borrmann, André/König, Markus/Koch, Christian/Beetz, Jacob (Hrsg.): Building Information Modeling. Technologische Grundlagen und industrielle Praxis. Springer, Wiesbaden 2015.

Brauner/Friedrich (2018)

Brauner, Florian/Friedrich, Frank: Kritische Infrastrukturen und Business Continuity Management. In: Reuter, Christian (Hrsg.): Sicherheitskritische Mensch-Computer-Interaktion. Interaktive Technologien und Soziale Medien im Krisen- und Sicherheitsmanagement, S. 207 ff. Springer Vieweg, Wiesbaden 2018.

BSI (o.J.)

Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI): Gesetz zur Umsetzung der NIS-Richtlinie. Mehr Aufgaben und Befugnisse für das BSI.
https://www.bsi.bund.de/DE/DasBSI/NIS-Richtlinie/NIS_Richtlinie_node.html. Aufruf am 24.06.2018.

BSI (2015)

Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI): KRITIS-Sektorstudie. Transport und Verkehr. Öffentliche Version – Revisionsstand 5. Februar 2015. BSI, Bonn 2015.
https://www.kritis.bund.de/SharedDocs/Downloads/Kritis/DE/Sektorstudie_TuV.pdf;jsessionid=196D3F8760A585630C95EBAB653C9670.2_cid345?__blob=publicationFile.

BSI (2016)

Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI): Das IT-Sicherheitsgesetz. Kritische Infrastrukturen schützen. Zarbock, Frankfurt a.M. 2016.

BSI (2017a)

Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI): Schutz Kritischer Infrastrukturen durch IT-Sicherheitsgesetz und UP KRITIS. Zarbock, Frankfurt a.M. 2017.

BSI (2017b)

Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI): Allianz für Cyber-Sicherheit. Frankfurt a.M., Zarbock 2017.

BSI (2017c)

Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI): Leitfaden zur Basis-Absicherung nach IT-Grundschutz. In drei Schritten zur Informationssicherheit. Frankfurt a.M., Zarbock 2017.

BSI (2018)

Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI): Cyber-Angriff auf KRITIS-Betreiber: BSI für mehr Investitionen in Cyber-Sicherheit. Bonn, Pressemitteilung, 16.05.2018.

https://www.bsi.bund.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Presse2018/Cyber-Angriff_KRITIS_16052018.html. Aufruf am 24.06.2018.

BSIG (2017)

Gesetz über das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI-Gesetz – BSIG): BSI-Gesetz vom 14. August 2009 (BGBl. I S. 2821), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 23. Juni 2017 (BGBl. I S. 1885) geändert worden ist. https://www.gesetze-im-internet.de/bsig_2009/BSIG.pdf.

BSI-KritisV (2017)

Verordnung zur Bestimmung Kritischer Infrastrukturen nach dem BSI-Gesetz (BSI-Kritisverordnung – BSI-KritisV): BSI-Kritisverordnung vom 22. April 2016 (BGBl. I S. 958), die durch Artikel 1 der Verordnung vom 21. Juni 2017 (BGBl. I S. 1903) geändert worden ist. <https://www.gesetze-im-internet.de/bsi-kritisv/BSI-KritisV.pdf>.

Burgwinkel (2016)

Burgwinkel, Daniel: Blockchain technology: Einführung für Business- und IT-Manager. De Gruyter Oldenbourg, Berlin/Boston 2016.

BVDW (2018)

Bundesverband Digitale Wirtschaft (BVDW) e.V.: Datenwertschöpfung und Qualität von Daten. BVDW, Düsseldorf 2018. https://www.bvdw.org/fileadmin/bvdw/upload/publikationen/data_economy/BVDW_Datenwertschoepfung_2018.pdf.

Christen/Guillaume/Jablonowski/Lenhardt/Moll (2018)

Christen, Markus/Guillaume, Michel/Jablonowski, Maximilian/Lenhardt, Peter/Moll, Kurt: Zivile Drohnen – Herausforderungen und Perspektiven. vdf, Zürich 2018.

Copernicus (2015)

Europäische Kommission: Copernicus. Europas Blick auf die Erde. EU, Brüssel 2015. https://www.copernicus.eu/sites/default/files/documents/Brochure/Copernicus_Brochure_DE_WEB.pdf.

Cramer (2016)

Peter Cramer GmbH + Co. KG: Arbeitsbühnen – Brückenuntersichtgeräte – Teleskopstapler. Mietprogramm. Hagen, 2016. <http://www.cramer-arbeitsbuehnen.de/produkt-kategorie/mietprogramm/>. Aufruf am 20.05.2019.

DB Netz (o.J.a)

DB Netz AG: Modernisierungsprogramm. Ausgangslage. <https://bruecken.deutschebahn.com/modernisierungsprogramm/ausgangslage>. Aufruf am 05.06.2018.

DB Netz (o.J.b)

DB Netz AG: Netzleitzentrale. <https://fahrweg.dbnetze.com/fahrweg-de/kunden/betrieb/netzleitzentrale-1393396>. Aufruf am 15.08.2018.

DB Netz (2015)

DB Netz AG (Hrsg.): Richtlinie 804. Eisenbahnbrücken (und sonstige Ingenieurbauwerke) planen, bauen und instand halten. Frankfurt a. M. 2015.

DB Netz (2017)

DB Netz AG (Hrsg.): Eisenbahnbrücken. Masterplan Modernisierung und Erneuerung. TÜV Media, Köln 2017.

DB Netz (2019)

DB Netz AG: Wir über uns. Mit Weitsicht Zukunft planen. Stand: 14.03.2019. https://fahrweg.dbnetze.com/fahrweg-de/unternehmen/db_netz_ag/wirueberuns-1368710. Aufruf am 20.05.2019.

DB Netze Infrastruktur (o.J.)

DB Netze Infrastruktur: DB Netze Infrastruktur – Unsere Leistungen und Produkte für den Schienenverkehr in Deutschland. <https://www.dbnetze.com/resource/blob/1440800/2757376ef7f4c424dabd5d50a8bf134b/Datei-Broschüre-data.pdf>. Aufruf am 15.08.2018.

Dell (2017)

Dell, Timo: Digitalisierung in der Energiewirtschaft – empirische Untersuchung und Wertschöpfungskette. In: Doleski, Oliver, D. (Hrsg.): Herausforderung Utility 4.0. Wie sich die Energiewirtschaft im Zeitalter der Digitalisierung verändert, S. 211 ff. Springer Vieweg, Wiesbaden 2017.

Dern (2011)

Dern, Gernot: Integrationsmanagement in der Unternehmens-IT. Systemtheoretisch fundierte Empfehlungen zur Gestaltung von IT-Landschaft und IT-Organisation. Vieweg+Teubner, Wiesbaden 2011.

Desoi (2018)

Desoi, Bernd Uwe: Big Data und allgemein zugängliche Daten im Krisenmanagement. Exemplarische technische und normative Gestaltung von Analysen zur Entscheidungsunterstützung. Springer Vieweg, Wiesbaden 2018.

Deutsche Bahn (2018)

Deutsche Bahn AG: geo-Brücke. Aus der Zusammenfassung des Datensatzes. Geoinformationen zu Brücken des Schienenverkehrsnetzes. Stand: 03.05.2018. <https://data.deutschebahn.com/dataset/geo-bruecke/resource/95fa90d3-d669-4817-9211-2751c274e60d>. Aufruf am 10.05.2019.

Deutsche Bahn (2019a)

Deutsche Bahn AG: BIM-Strategie. Implementierung von Building Information Modeling (BIM) im Vorstandsressort Infrastruktur der Deutschen Bahn AG. DB AG, Frankfurt a.M. 2019.

<https://www.deutschebahn.com/resource/blob/3985436/edf737542c2ee3bc3ea17173f5af33aa/Implementierung-von-BIM-im-VR-I-data.pdf>.

Deutsche Bahn (2019b)

Deutsche Bahn AG: Leistungs- und Finanzierungsvereinbarung. Infrastrukturzustands- und -entwicklungsbericht 2018. DB AG, Berlin 2019. https://www.eba.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Finanzierung/IZB/IZB_2018.pdf?__blob=publicationFile&v=2.

DFS (2017)

Deutsche Flugsicherung GmbH (DFS): Luftverkehr in Deutschland. Mobilitätsbericht 2016. Langen, Egelsbach 2017. https://www.dfs.de/dfs_homepage/de/Presse/Publikationen/Mobilitaetsbericht2016_web.pdf.

Dieckert/Eich (2018)

Dieckert, Ulrich/Eich, Stephan: Drohnen – Technik und Recht bei gewerblicher und behördlicher Nutzung. Bundesanzeiger, Köln 2018.

Digitales Hessen (2016)

Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung: Strategie Digitales Hessen Intelligent. Vernetzt. Für Alle. A&M Service, Elz 2016. https://www.digitalstrategie-hessen.de/img/Digitalstrategie_Hessen_2016_ver1.pdf.

DIN 1076 (1999)

Deutsches Institut für Normung (DIN): DIN 1076:1999-11: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen – Überwachung und Prüfung. Beuth, Berlin 1999. <https://www.beuth.de/de/norm/din-1076/23474630>. Aufruf am 05.06.2018.

DIN 31051 (2012)

Deutsches Institut für Normung (DIN): DIN 31051:2012-09: Grundlagen der Instandhaltung. Beuth, Berlin 2012. <https://www.beuth.de/de/norm/din-31051/154459920>. Aufruf am 11.07.2018.

DIN 5452-1 (2018)

Deutsches Institut für Normung (DIN): DIN 5452-1:2018-03: Luft- und Raumfahrt – Unbemannte Luftfahrzeugsysteme (UAS) – Teil 1: Begriffe. Text Deutsch und Englisch. Beuth, Berlin 2018. <https://www.beuth.de/de/norm/din-5452-1/283195589>. Aufruf am 05.06.2018.

DIN 5452-2 (2019)

Deutsches Institut für Normung (DIN): DIN 5452-2:2019-03: Entwurf. Unbemannte Luftfahrzeugsysteme (UAS) – Teil 2: Anforderungen an Piloten. Beuth, Berlin 2019. <https://www.beuth.de/de/norm-entwurf/din-5452-2/300594708>. Aufruf am 19.03.2019.

DLR (2013)

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR): Erdbeobachtung – Unseren Planeten erkunden, vermessen und verstehen. KÖLLEN, Bonn 2013. https://www.dlr.de/rd/Portaldata/28/Resources/dokumente/publikationen/Broschuere_Erdbeobachtung_hires.pdf.

DLR (2018a)

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR): Symposium in Köln zu Nutzen und Anwendungspotenzialen der Erdbeobachtung. Köln, 27. Juni 2018. https://www.dlr.de/dlr/desktopdefault.aspx/tabid-10857/1527_read-28596//usetemplate-print/. Aufruf am 27.09.2018.

DLR (2018b)

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR): Big-Data-Science – Nutzung von großen wissenschaftlichen Datensätzen. DLR-Querschnittsprojekt Big-Data-Plattform startet. News, 18.07.2018. https://www.dlr.de/dlr/desktopdefault.aspx/tabid-10204/296_read-28966/year-all/. Aufruf am 27.09.2018.

Dorschel (2015)

Dorschel, Joachim (Hrsg.): Praxishandbuch Big Data. Wirtschaft – Recht – Technik. Springer Gabler, Wiesbaden 2015.

Dose (2018)

Dose, Jens: IT-Sicherheit ab Werk. Security by design umsetzen. Computerwoche, 05.12.2018. <https://www.computerwoche.de/a/security-by-design-umsetzen,3546232>. Aufruf am 21.05.2019.

DRONEII (2018)

Drone Industry Insights UG (DRONEII): Drone Market Environment Map 2018. Hamburg, 2018. <https://www.droneii.com/project/drone-market-environment-map-2018>. Aufruf am 03.05.2019.

DSGVO (2016)

Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO): Verordnung (EU) 2016/679 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. April 2016 zum Schutz natürlicher Personen bei der Verarbeitung personenbezogener Daten, zum freien Datenverkehr und zur Aufhebung der Richtlinie 95/46/EG (Datenschutz-Grundverordnung). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R0679>.

EASA (o.J.)

European Aviation Safety Agency (EASA): Drones – regulatory framework background. <https://www.easa.europa.eu/easa-and-you/civil-drones-rpas/drones-regulatory-framework-background#group-easa-related-content>. Aufruf am 13.03.2019.

EASA (2015)

European Aviation Safety Agency (EASA): Technical Opinion. Introduction of a regulatory framework for the operation of unmanned aircraft. 18.12.2015. <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/Introduction%20of%20a%20regulatory%20framework%20for%20the%20operation%20of%20unmanned%20aircraft.pdf>.

Eberlein (2016)

Eberlein, Rüdiger: Wildwuchs gefährdet Geschäftserfolg. Ohne Big Data Governance droht das Chaos. CIO, 14.10.2016. <https://www.cio.de/a/ohne-big-data-governance-droht-das-chaos,3260737>. Aufruf am 04.01.2019.

Eckert/Waidner (2018)

Eckert, Claudia/Waidner, Michael: Safety und Security. Cybersicherheit als Basis erfolgreicher Digitalisierung. In: Neugebauer, Reimund (Hrsg.): Digitalisierung. Schlüsseltechnologien für Wirtschaft & Gesellschaft, S. 275 ff. Springer Vieweg, Berlin/Heidelberg 2018.

EGovG (2017)

Gesetz zur Förderung der elektronischen Verwaltung (EGovernment-Gesetz – EGovG): E-Government-Gesetz vom 25. Juli 2013 (BGBl. I S. 2749), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 5. Juli 2017 (BGBl. I S. 2206) geändert worden ist. <http://www.gesetze-im-internet.de/egovg/EGovG.pdf>.

ERegG (2016)

Eisenbahnregulierungsgesetz (ERegG): Eisenbahnregulierungsgesetz vom 29. August 2016 (BGBl. I S. 2082). <http://www.gesetze-im-internet.de/eregg/ERegG.pdf>.

Fellner (2018)

Fellner, Dieter, W.: Virtuelle Realität in Medien und Technik. Digitalisierung von Kulturartefakten und industriellen Produktionsprozessen. In: Neugebauer, Reimund (Hrsg.): Digitalisierung. Schlüsseltechnologien für Wirtschaft & Gesellschaft, S. 19 ff. Springer Vieweg, Berlin/Heidelberg 2018.

FIS (o.J.)

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI): Forschungs-Informationssystem für Mobilität und Verkehr (FIS). <https://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/11/>. Aufruf am 22.07.2018.

Fisch (2017)

Fisch, Moritz: Unbemannte Luffahrtsysteme in der Gefahrenabwehr: Marktanalyse und Anforderungen an die Ausbildung von Piloten. Bachelorarbeit Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Hamburg 2017.

Fischer/Straub u.a. (2014)

Fischer, Johannes/Straub, Daniel/Schneider, Ronald/Thöns, Sebastian/Rücker, Werner: Intelligente Brücke – Zuverlässigkeitsbasierte Bewertung von Brückenbauwerken unter Berücksichtigung von Inspektions- und Überwachungsergebnissen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Brücken- und Ingenieurbau, Heft B 99. Schünemann, Bremen 2014.

Fischer/Straub u.a. (2015)

Fischer, Johannes/Straub, Daniel/Thöns, Sebastian/Bügler, Maximilian/Borrmann, André: Intelligente Bauwerke – Prototyp zur Ermittlung der Schadens- und Zustandsentwicklung für Elemente des Brückenmodells. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Brücken- und Ingenieurbau, Heft B 117. Schünemann, Bremen 2015.

FKIE (o.J.)

Fraunhofer Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie (FKIE): Große Herausforderung für Sicherheitsbehörden: Drohnen – die neue Bedrohungsdimension aus der Luft. <https://www.fkie.fraunhofer.de/de/forschungsabteilungen/kom/ambos.html#expand-all>. Aufruf am 20.05.2019.

FlyNex (2018a)

Flynex GmbH: 6 Schlüsseltechnologien für ein funktionales UTM. Blog, 27.06.2018. <https://www.flynex.io/de/blogpage/integration/6-schluesselftechnologien-fuer-ein-funktionales-utm>. Aufruf am 13.03.2019.

FlyNex (2018b)

Flynex GmbH: Drohnen – für welche Unternehmen lohnt sich der Einsatz. Blog, 04.09.2018. <https://www.flynex.io/blogpage/gis/drohnen-fuer-welche-unternehmen-lohnt-sich-der-einsatz>. Aufruf am 04.05.2019.

Fortner/Hrachowitz (2017)

Fortner, Raoul/Hrachowitz, Franz: Studie UAST. UAS-Testgebiet/e in Österreich. Auftraggeber: BMVIT, Abteilung III/I4: Mobilitäts- und Verkehrstechnologien. Wien 2017. https://www.bmvit.gv.at/service/publikationen/innovation/downloads/studie_uast_endbericht.pdf.

Friebel (2018)

Friebel, Wolf-Dieter: Informationen aus dem BMVI. In: Erfahrungsaustausch des Bauwerksprüfpersonals. 26. Zusammenkunft der Ingenieurinnen/Ingenieure der Bauwerksprüfung am 11. und 12. September 2018 in Koblenz. Tagungsband, S. 8 ff.

https://www.vfib-ev.de/img/uploads/files/2476_2018-09-21_finale_Fassung_Ta-gungsband_Internet.pdf.

FStrG (2018)

Bundesfernstraßengesetz (FStrG): Bundesfernstraßengesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 28. Juni 2007 (BGBl. I S. 1206), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 29. November 2018 (BGBl. I S. 2237) geändert worden ist. <http://www.gesetze-im-internet.de/fstrg/FStrG.pdf>.

FwDV 100 (2003)

Führung und Leitung im Einsatz (FwDV 100). Führungssystem. Feuerwehr-Dienstvorschrift, Ausgabe März 1999. Kohlhammer, Stuttgart 2003.

Gadatsch (2012)

Gadatsch, Andreas: Grundkurs Geschäftsprozess-Management: Methoden und Werkzeuge für die IT-Praxis: Eine Einführung für Studenten und Praktiker. 7. Aufl. Springer Vieweg, Wiesbaden 2012.

GeoZG (2012)

Gesetz über den Zugang zu digitalen Geodaten (Geodatenzugangsgesetz – GeoZG): Geodatenzugangsgesetz vom 10. Februar 2009 (BGBl. I S. 278), das durch Artikel 1 des Gesetzes vom 7. November 2012 geändert worden ist. <http://www.gesetze-im-internet.de/geozg/GeoZG.pdf>.

Geißler (2014)

Geißler, Karsten: Handbuch Brückenbau. Entwurf, Konstruktion, Berechnung, Bewertung und Ertüchtigung. Ernst und Sohn, Berlin 2014.

Gerstl (2017)

Gerstl, Sebastian: Wenn Drohnen selbsttätig Stromleitungen inspizieren. Elektronik Praxis, 30.07.2018. <https://www.elektronikpraxis.vogel.de/wenn-drohnen-selbsttaetig-stromleitungen-inspizieren-a-638443/>. Aufruf am 01.12.2018.

GG (2019)

Grundgesetz für die Bundesrepublik Deutschland (GG): Grundgesetz für die Bundesrepublik Deutschland in der im Bundesgesetzblatt Teil III, Gliederungsnummer 1001, veröffentlichten bereinigten Fassung, das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 28. März 2019 (BGBl. I S. 404) geändert worden ist. <http://www.gesetze-im-internet.de/gg/GG.pdf>.

Giemulla/van Schyndel/Friedl (2018)

Giemulla, Elmar/van Schyndel, Heiko/Friedl, Achim: Gewerblicher und privater Einsatz von Drohnen: Regelung des Betriebs von unbemannten Fluggeräten. Luchterhand, Köln 2018.

GPM (2014)

Deutsche Gesellschaft für Projektmanagement/Gessler, M. (Hrsg.): Kompetenzbasiertes Projektmanagement (PM3). Handbuch für die Projektarbeit, Qualifizierung und Zertifizierung auf Basis der IPMA Competence Baseline Version 3.0/unter Mitwirkung der spm swiss project management association. 4. Aufl. Deutsche Gesellschaft für Projektmanagement, Nürnberg 2014.

Großmann/Rönnau (2012)

Großmann, Susanne/Rönnau, Inga (Hrsg.): Security of Road Transport Networks (SeRoN). Printpark Widmann, Karlsruhe 2012.

https://www.bast.de/BASSt_2017/EN/Publications/Media/B-seron-engl.pdf?__blob=publicationFile&v=2.

Haardt (2018)

Haardt, Peter: Intelligente Brücke. Fachtagung Bauwerksdiagnose 2018. 15.–16. Februar 2018, Berlin. DGZfP-Berichtsband BB 165-Stick. <https://www.bauwerksdiagnose2018.de/Portals/bauwerksdiagnose2018/BB/3.pdf>.

Haerder (2019)

Haerder, Max: Experte über Politiker-Hacks. Erbeutetes Material kann immense politische Verwerfungen verursachen. WirtschaftsWoche, 04.01.2019. <https://www.wiwo.de/politik/deutschland/experte-ueber-politiker-hacks-erbeutetes-material-kann-immense-politische-verwerfungen-verursachen/23828754.html>. Aufruf am 06.01.2019.

Hansen/Mendling/Neumann (2015)

Hansen, Robert Hans/Mendling, Jan/Neumann, Gustaf: Wirtschaftsinformatik. 11. Aufl. De Gruyter, Berlin/München/Boston 2015.

Harbert/Müller (2015)

Harbert, Tam/Müller, Dietmar: Die Zukunft des Datensammelns. Drohnen im Unternehmenseinsatz. Computerwoche, 11.08.2015. <http://www.computerwoche.de/a/drohnen-im-unternehmenseinsatz,3098080>. Aufruf am 05.06.2018.

Hausknecht/Liebich (2016)

Hausknecht, Kerstin/Liebich, Thomas: BIM-Kompodium: Building Information Modeling als neue Planungsmethode. Stuttgart, Fraunhofer IRB Verlag 2016.

Heckel (2018)

Heckel, Manuel: Fairfleet: Aufwind für den Drohnen-Dienstleister. WirtschaftsWoche Gründer, 10.08.2018. <http://gruender.wiwo.de/fairfleet-aufwind-fuer-die-drohnen-dienstleister/>. Aufruf am 04.12.2018.

Helmholtz-Gemeinschaft (2017)

Hermann von Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren e.V.: Helmholtz-Inkubator. Information & Data Science. Weiterentwicklung eines neuartigen, gemeinschaftsweiten Ansatzes. Bonn 2017.

https://www.helmholtz.de/fileadmin/user_upload/01_forschung/05_Schluesselformen/Helmholtz_Inkubator_Darstellung_StandDez2017_final.pdf.

Hering/Schönfelder (2012)

Hering, Ekbert/Schönfelder, Gert (Hrsg.): Sensoren in Wissenschaft und Technik. Funktionsweise und Einsatzgebiete. Vieweg+Teubner, Wiesbaden 2012.

hi!future (2018)

Digitaler Zwilling für Freileitungen. hi!future, 05.11.2018. <https://www.hitech.at/energie/digitaler-zwilling-fuer-freileitungen/>. Aufruf am 12.03.2019.

Hill (2018)

Hill, Jürgen: Digitale Überwachung von Betonbauten. Brückenschäden per IoT frühzeitig erkennen. Computerwoche, 29.08.2018. <https://www.computerwoche.de/a/brueckenschaeden-per-iot-fruehzeitig-erkennen,3545691>. Aufruf am 21.12.2018.

Hinszen/Pürsinger (2015)

Hinszen, Stefan/Pürsinger, Monika: Data Governance. So geht Stammdaten-Management. Computerwoche, 28.01.2015. <https://www.computerwoche.de/a/so-geht-stammdaten-management,3091962>. Aufruf am 21.12.2018.

Hippmann/Klingner/Leis (2018)

Hippmann, Sophie/Klingner, Raoul/Leis, Miriam: Digitalisierung – Anwendungsfelder und Forschungsziele. In: Neugebauer, Reimund (Hrsg.): Digitalisierung. Schlüsseltechnologien für Wirtschaft & Gesellschaft, S. 9 ff. Springer Vieweg, Berlin/Heidelberg 2018.

Hoffmann-Riem (2018)

Hoffmann-Riem, Wolfgang (Hrsg.): Big Data – Regulative Herausforderungen. Materialien zur rechtswissenschaftlichen Medien- und Informationsforschung, Bd. 77. Nomos, Baden-Baden 2018.

Holst (2018)

Holst, Ralph: Bauwerksprüfung im Verkehrssektor außerhalb der Straße – Entwicklungen und Chancen. In: Erfahrungsaustausch des Bauwerksprüfpersonals. 26. Zusammenkunft der Ingenieurinnen/Ingenieure der Bauwerksprüfung am 11. und 12. September 2018 in Koblenz. Tagungsband, S. 24 ff. https://www.vfib-ev.de/img/uploads/files/2476_2018-09-21_finale_Fassung_Tagungsband_Internet.pdf.

Huber (2018)

Huber, Walter: Industrie 4.0 kompakt – Wie Technologien unsere Wirtschaft und unsere Unternehmen verändern. Transformation und Veränderung des gesamten Unternehmens. Springer, Wiesbaden 2018.

ICAO (2005)

International Civil Aviation Organization (ICAO): Global Air Traffic Management Operational Concept. Doc 9854. ICAO, Montréal 2005.

ICAO (2011)

International Civil Aviation Organization (ICAO): Unmanned Aircraft Systems (UAS). ICAO, Montréal 2011.

IMC (o.J.)

Infrastructure Management Consultants GmbH (IMC): Kunstbauten Management System KUBA. Das Kunstbauten Management System des Schweizer Bundesamtes für Strassen und der Kantone. http://imc-ch.com/software_kuba/. Aufruf am 22.12.2018.

iRights.Lab (2018)

iRights.Lab GmbH (Hrsg.): Data-Governance-Report. mFUND-Begleitforschung vom Think Tank iRights.Lab. Ausgabe 01, 2018. https://irights-lab.de/wp-content/uploads/2018/05/mFUND_Data-Governance-Report_iRights-Lab.pdf.

IT-SiG (2015)

Gesetz zur Erhöhung der Sicherheit informationstechnischer Systeme (IT-Sicherheitsgesetz) vom 17. Juli 2015 (BGBl. I Nr. 31 S. 1324).
https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/gesetztestexte/it-sicherheitsgesetz.pdf?__blob=publicationFile&v=1.

IWG (2015)

Gesetz über die Weiterverwendung von Informationen öffentlicher Stellen (Informationsweiterverwendungsgesetz - IWG): Informationsweiterverwendungsgesetz vom 13. Dezember 2006 (BGBl. I S. 2913), das durch Artikel 1 des Gesetzes vom 8. Juli 2015 (BGBl. I S. 1162) geändert worden ist. <http://www.gesetze-im-internet.de/iwg/IWG.pdf>.

Kammermeier (2019)

Kammermeier, Florian: Werkzeug für die neue Zeit. Das DLR-Querschnittsprojekt Big-Data-Plattform. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, DLRmagazin, Nr. 160, 2019, S. 6 ff.

Kieviet (2019)

Kieviet, André: Lean Digital Transformation: Geschäftsmodelle transformieren, Kundenmehrwerte steigern und Effizienz erhöhen. Springer Gabler, Berlin 2019.

Klein (2017)

Klein, Florian: Personenbilder im Spannungsfeld von Datenschutzgrundverordnung und Kunsturhebergesetz. Schriftenreihe zum Urheber- und Kunstrecht, Bd. 20. Dissertation Münster 2017. Peter Lang, Frankfurt a.M./Bern/Brüssel u.a. 2017.

Klessmann/Staab (2018)

Klessmann, Jens/Staab, Torsten: Strategische Bereitstellung offener Verwaltungsdaten. Kompetenzzentrum öffentliche IT/Fraunhofer-Institut für Offene Kommunikationssysteme FOKUS, Berlin 2018. <http://oeffentliche-it.de/documents/10181/14412/Strategische+Bereitstellung+offener+Verwaltungsdaten>. Aufruf am 27.08.2018.

Kornmeier (2012)

Kornmeier, Claudia: Der Einsatz von Drohnen zur Bildaufnahme: Eine luftverkehrsrechtliche und datenschutzrechtliche Betrachtung. LIT, Berlin/Münster 2012.

Krcmar (2015)

Krcmar, Helmut: Informationsmanagement. 6. Aufl. Springer Gabler, Berlin/Heidelberg, 2015.

Krebs (2015)

Krebs, Heinz-Adalbert: Geschäftsprozessmanagement als ein Schlüsselfaktor für die Liberalisierung des Energiesektors sowie den Aufbau einer neuen Architektur dargestellt am Beispiel von Energieversorgungsunternehmen in Abhängigkeit gesetzlicher Einflussparameter auf einem liberalisierten Energiemarkt. Dissertation Universität Kassel 2013. University Press, Kassel 2015.

Krebs (2017)

Krebs, Heinz-Adalbert: Digitalisierung und Datenschutz dargestellt am Beispiel der Einführung der Datenschutz-Grundverordnung für Unternehmen der Energiewirtschaft. University Press, Kassel 2017.

Kühl (2017)

Kühl, Eike: Drohnen. Flug unter dem Datenradar. ZEIT Online, 16.08.2017. <https://www.zeit.de/digital/mobil/2017-08/drohnen-dji-daten-weitergabe-local-data-mode>. Aufruf am 18.08.2018.

Landrock/Baumgärtel (2018)

Landrock, Holm/Baumgärtel, Anne: Die Industriedrohne – der fliegende Roboter: Professionelle Drohnen und ihre Anwendung in der Industrie 4.0. Springer Vieweg, Wiesbaden 2018.

Lehnert/Luther u.a. (2018)

Lehnert, Volker/Luther, Iwona/Christoph, Björn/Pluder, Carsten: Datenschutz mit SAP. SAP Business Suite und SAP S/4HANA. Rheinwerk, Bonn 2018.

Liebich/Borrmann u.a. (2018)

Liebich, Thomas/Borrmann, André/Elixmann, Robert/Eschenbruch, Klaus/Hausknecht, Kerstin/Häußler, Marco/Hochmuth, Markus/König, Markus (Arbeitsgemeinschaft INFRABIM): Wissenschaftliche Begleitung der BMVI Pilotprojekte zur Anwendung von BIM im Infrastrukturbau. Endbericht Handlungsempfehlungen. Im Auftrag des BMVI, Berlin 2018.

https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/DG/wissenschaftliche-begleitung-anwendung-bim-infrastrukturbau-2018.pdf?__blob=publicationFile.

Liebstückel (2017)

Liebstückel, Karl: Instandhaltung mit SAP®. Das Praxishandbuch. Rheinwerk, Bonn 2017.

Liggemeyer/Rombach/Bomarius (2018)

Liggemeyer, Peter/Rombach, Dieter/Bomarius, Frank: Smart Energy. Die Digitale Transformation im Energiesektor. In: Neugebauer, Reimund (Hrsg.): Digitalisierung. Schlüsseltechnologien für Wirtschaft & Gesellschaft, S. 347 ff. Springer Vieweg, Berlin/Heidelberg 2018.

Loew (2016)

Loew, Thomas: Zertifizierung, Auditierung, Akkreditierung – Einführung in die Funktionsweise von Konformitätsbewertungssystemen und die verwendeten Begriffe. In: Friedel, Rainer/Spindler, Edmund A. (Hrsg.): Zertifizierung als Erfolgsfaktor. Nachhaltiges Wirtschaften mit Vertrauen und Transparenz, S. 449 ff. Springer Gabler, Wiesbaden 2016.

Loomans/Matz/Wiedemann (2014)

Loomans, Dirk/Matz, Manuela/Wiedemann, Michael: Praxisleitfaden zur Implementierung eines Datenschutzmanagementsystems. Ein risikobasierter Ansatz für alle Unternehmensgrößen. Springer Vieweg, Wiesbaden 2014.

Lucke/Geiger (2010)

Lucke von, Jörn/Geiger, Christian P.: Frei verfügbare Daten des öffentlichen Sektors. Gutachten für die Deutsche Telekom AG zur T-City Friedrichshafen. Version vom 03.12.2010. Zeppelin University gGmbH, Friedrichshafen 2010. <https://www.zu.de/institute/togi/assets/pdf/TICC-101203-OpenGovernmentData-V1.pdf>.

LuftVG (2017)

Luftverkehrsgesetz (LuftVG): Luftverkehrsgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 10. Mai 2007 (BGBl. I S. 698), das zuletzt durch Artikel 2 Absatz 11 des Gesetzes vom 20. Juli 2017 (BGBl. I S. 2808; 2018 I 472) geändert worden ist. <http://www.gesetze-im-internet.de/luftvg/LuftVG.pdf>.

LuftVO (2017)

Luftverkehrs-Ordnung (LuftVO): Luftverkehrs-Ordnung vom 29. Oktober 2015 (BGBl. I S. 1894), die zuletzt durch Artikel 2 der Verordnung vom 11. Juni 2017 (BGBl. I S. 1617) geändert worden ist. http://www.gesetze-im-internet.de/luftvo_2015/LuftVO.pdf.

LuftVZO (2017)

Luftverkehrs-Zulassungs-Ordnung (LuftVZO): Luftverkehrs-Zulassungs-Ordnung vom 19. Juni 1964 (BGBl. I S. 370), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 30. März 2017 (BGBl. I S. 683) geändert worden ist. <https://www.gesetze-im-internet.de/luftvzo/LuftVZO.pdf>.

Maas (2018)

Maas, Marie-Charlotte: DEDRONE: Stefan Quandt investiert in Anbieter von Drohnen-Warnsystemen. *WirtschaftsWoche Gründer*, 14.11.2018. <https://gruender.wiwo.de/dedrone-stefan-quandt-investiert-in-anbieter-von-drohnen-warnsystemen/2/>. Aufruf am 22.12.2018.

Mehlhorn/Curbach (2014)

Mehlhorn, Gerhard/Curbach, Manfred (Hrsg.): *Handbuch Brücken. Entwerfen, Konstruieren, Berechnen, Bauen und Erhalten*. 3. Aufl. Springer Vieweg, Wiesbaden 2014.

Mertens (2015)

Mertens, Martin (Hrsg.): *Handbuch Bauwerksprüfung: Zustandsprüfung im Bestand: Stand-sicherheit, Verkehrssicherheit, Dauerhaftigkeit*. Rudolf Müller, Köln 2015.

Mikusch (o.J.a)

Mikusch, Eberhard: Earth Observation Center. Satellitendaten. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)/Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum, Informationstechnik, Weßling o.J. <https://www.dlr.de/eoc/desktopdefault.aspx/tabid-5356/>. Aufruf am 10.05.2019.

Mikusch (o.J.b)

Mikusch, Eberhard: Earth Observation Center. Satellitendaten. Datenmanagement. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)/Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum, Informationstechnik, Weßling o.J. https://www.dlr.de/eoc/desktopdefault.aspx/tabid-8804/15199_read-37552/. Aufruf am 10.05.2019.

Mikusch (o.J.c)

Mikusch, Eberhard: Earth Observation Center. Satellitendaten. Datenzugang. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)/Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum, Informationstechnik, Weßling o.J. <https://www.dlr.de/eoc/desktopdefault.aspx/tabid-8799/>. Aufruf am 10.05.2019.

Mölter/Fiedler (2019)

Mölter, Tristan/Fiedler, Michael: Eisenbahnbrücken, Tunnel und Ingenieurbauwerke. In: Fendrich, Lothar/Fengler, Wolfgang (Hrsg.): Handbuch Eisenbahninfrastruktur, S. 357 ff. 3. Aufl. Springer Vieweg, Berlin 2019.

Mölter/Pfeifer/Fiedler (2017)

Mölter, Tristan M./Pfeifer, Rolf H./Fiedler Michael: Handbuch Eisenbahnbrücken. Planung – Bau – Instandhaltung – Brückensysteme. 2. Aufl. PMC Media House, Hamburg 2017.

Molch/Kiemle u.a. (2016)

Molch, Katrin/Kiemle, Stephan/Schropp, Stephan/Mikusch, Eberhard: Das Deutsche Satellitendatenarchiv. Sichere EO-Datenarchivierung und effiziente Bereitstellung in einer neuen Ära. D-GEO Workshop DLR Oberpfaffenhofen, 27. Oktober 2016. https://geoss.de/arbeitsreffen/34/P06_Molch_D-SDA.pdf.

Morgenthal/Hallermann/Achtelik (2015)

Morgenthal, Guido/Hallermann, Norman/Achtelik, Michael: Unbemannte Fluggeräte zur Zustandsermittlung von Bauwerken. Fraunhofer IRB, Stuttgart 2015. <https://www.irb-net.de/daten/rswb/15109008386.pdf>.

MOXA (2009)

MOXA Europe GmbH: MOXA Whitepaper. IP-Videoüberwachung in Umspannstationen. Unterschleissheim 2009. <https://de.moxa.com/upload/2009082009270033.pdf>.

Muncke (2006)

Muncke, M.: Inspektion von Bauwerken bei der Deutschen Bahn AG – Grundlagen, Verfahren, Maßnahmen. Fachtagung Bauwerksdiagnose. Praktische Anwendungen Zerstörungsfreier Prüfungen. 23.–24. Februar 2006, Berlin. DGZfP-Berichtsband 100-CD-ROM. <https://www.ndt.net/article/bau-zfp2006/v04.pdf>.

NIS-Gesetz (2017)

Gesetz zur Umsetzung der Richtlinie (EU) 2016/1148 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 6. Juli 2016 über Maßnahmen zur Gewährleistung eines hohen gemeinsamen Sicherheitsniveaus von Netz- und Informationssystemen in der Union vom 23. Juni 2017. https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav#_bgbl__%2F%2F*%5B%40attr_id%3D%27bgbl117s1885.pdf%27%5D__1558609448693.

NTT Security (2018)

NTT Security warnt vor Gefährdung der IT-Sicherheit durch Drohnen. NTT Security, 08.11.2018. <https://www.nttsecurity.com/de-de/uber-uns/Pressemitteilungen/detail/ntt-security-warnt-vor-gefaehrung-der-it-sicherheit-durch-drohnen>. Aufruf am 13.03.2019.

n-tv (2018)

Statik statt Kosmetik. Scheuer plant neuen "Brücken-TÜV". ntv Politik, 19.08.2018.
<https://www.n-tv.de/politik/Scheuer-plant-neuen-Bruecken-TUV-article20579703.html>. Aufruf am 20.08.2018.

ÖBB (2018)

Österreichische Bundesbahnen-Holding Aktiengesellschaft (ÖBB): ÖBB: Forschungsprojekt Brückenvermessung per Drohne. Salzburg, 10.04.2018.
<http://presse.oebb.at/de/presseinformationen/oebb-forschungsprojekt-brueckenvermessung-per-drohne>. Aufruf am 21.06.2018.

Oettinger (2017)

Oettinger, Michael: Data Science. Eine praxisorientierte Einführung im Umfeld von Machine Learning, künstlicher Intelligenz und Big Data. tredition, Hamburg 2017.

Orter (2018a)

Orter, Michael: Fliegen auf Sicht - Was bedeutet LOS, VLOS, EVLOS, ELOS, BVLOS und BLOS. Erklärung der Begriffe rund um das Fliegen. DROHNEN360, 10.04.2018.
<https://drohnen360.com/fliegen-auf-sicht-was-bedeutet-los-vlos-evlos-elos-bvlos-und-blos/>. Aufruf am 28.06.2018.

Orter (2018b)

Orter, Michael: VTOL Drohnen verbinden die Vorteile von Drehflügler und Flächenflügler. Das Prinzip von "Vertikal Take OFF and Landing". DROHNEN360, 29.05.2018.
<https://drohnen360.com/vtol-drohnen-verbinden-die-vorteile-von-drehfluegler-und-flaechenfluegler/>. Aufruf am 28.06.2018.

Osterhage (2014)

Osterhage, Wolfgang W.: ERP-Kompendium. Eine Evaluierung von Enterprise Resource Planning Systemen. Springer, Berlin/Heidelberg 2014.

Petermann/Grünwald (2011)

Petermann, Thomas/Grünwald, Reinhard: Stand und Perspektiven der militärischen Nutzung unbemannter Systeme. Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim deutschen Bundestag (TAB), Arbeitsbericht Nr. 144, Berlin 2011.

Petric/Sorge (2017)

Petric, Ronald/Sorge, Christoph: Datenschutz. Einführung in technischen Datenschutz, Datenschutzrecht und angewandte Kryptographie. Springer Vieweg, Wiesbaden 2017.

Piltz (2018)

Piltz, Carlo: Verordnung über den freien Verkehr nicht personenbezogener Daten in der Europäischen Union kurz vor Verabschiedung – Abgrenzungsfragen zur DSGVO. De Lege Data, 29.07.2018. <https://www.delegedata.de/2018/07/verordnung-ueber-den->

freien-verkehr-nicht-personenbezogener-daten-in-der-europaeischen-union-kurz-vor-verabschiedung-abgrenzungsfragen-zur-dsgvo/. Aufruf am 23.10.2018.

Pinnel (2018)

Pinnel, René: Bauwerksprüfung im kommunalen Bereich. Was kann der VFIB hierzu beitragen? In: Erfahrungsaustausch des Bauwerksprüfpersonals. 26. Zusammenkunft der Ingenieurinnen/Ingenieure der Bauwerksprüfung am 11. und 12. September 2018 in Koblenz. Tagungsband, S. 16 ff.

https://www.vfib-ev.de/img/uploads/files/2476_2018-09-21_finale_Fassung_Tagungsband_Internet.pdf.

Plücken (2017)

Plücken, Milan, A.: Unbemannte Luftfahrzeugsysteme: Zulassungsvorgaben und -vorschriften der ICAO bzw. der EU. Schriften zum Luft- und Weltraumrecht, Nr. 40. Heymann, Köln 2017.

PMI (2013)

Project Management Institute (PMI) (Hrsg.): A Guide to the Project Management Body of Knowledge: (PMBOK® Guide). 5. Ausg. PMI, Newton Square, Pennsylvania 2013.

Prinz/Rose u.a. (2018)

Prinz, Wolfgang/Rose, Thomas/Osterland,Thomas/Putschli, Clemens: Blockchain. Verlässliche Transaktionen. In: Neugebauer, Reimund (Hrsg.): Digitalisierung. Schlüsseltechnologien für Wirtschaft & Gesellschaft, S. 311 ff. Springer Vieweg, Berlin/Heidelberg 2018.

RatSWD (2012)

Rat für Sozial- und Wirtschaftsdaten (RatSWD): Georeferenzierung von Daten. Situation und Zukunft der Geodatenlandschaft in Deutschland. SCIVERO, Berlin 2012.

Reder (2017)

Reder, Bernd: Das sind die Einsatzgebiete von Drohnen. Internet World Business, 16.03.2017. <https://www.internetworld.de/e-commerce/logistik/einsatzgebiete-drohnen-1205240.html>. Aufruf am 21.06.2018.

Reibetanz/Schindler (2016)

Reibetanz, Olaf/Schindler, Erik: Angemessene Honorare für die Bauwerksprüfung nach DIN 1076. Mehr Transparenz bei Leistungsbeschreibung und Aufwandsermittlung. Deutsches Ingenieurblatt 11, 2016, S. 56 ff.

https://vfib-ev.de/img/uploads/files/1021_2017-Aufsatz-DIB-Empfehlung.pdf.

RH RLP (2013)

Rechnungshof Rheinland-Pfalz (RH RLP): Bericht nach § 111 Abs. 1 LHO über die Erhaltung und den Zustand von Brücken in kommunaler Baulast. Speyer 2013. https://rechnungshof.rlp.de/fileadmin/rechnungshof/Weitere_Veroeffentlichungen/Erhaltung_und_Zustand_von_Bruecken_in_kommunaler_Baulast.pdf.

Richtlinie (2015)

Vorschlag für eine RICHTLINIE DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES über bestimmte vertragsrechtliche Aspekte der Bereitstellung digitaler Inhalte. Brüssel, 09.12.2015. <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2015/DE/1-2015-634-DE-F1-1.PDF>.

Richtlinie (2018)

Vorschlag für eine RICHTLINIE DES RATES zum gemeinsamen System einer Digitalsteuer auf Erträge aus der Erbringung bestimmter digitaler Dienstleistungen. Brüssel, 21.03.2018. https://ec.europa.eu/taxation_customs/sites/taxation/files/proposal_common_system_digital_services_tax_21032018_de.pdf.

RI-EBW-PRÜF (2017)

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI): Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten (RI-ERH-ING). Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076 (RI-EBW-PRÜF). Stand: 22.02.2017. www.bast.de/DE/Ingenieurbau/Publikationen/Regelwerke/Erhaltung/RI-EBW-PRUEF-Erhaltung.pdf?__blob=publicationFile&v=2.

Roßnagel/Sunyaev u.a. (2018)

Roßnagel, Alexander/Sunyaev, Ali/Batman, Ayşe Necibe/Lins, Sebastian/Maier, Natalie/Teigeler, Heiner: European Cloud Service Data Protection Certification. AUDITOR-Kriterienkatalog – Entwurfsfassung 0.7. Forschungsbericht. KIT, Karlsruhe 2018. urn:nbn:de:swb:90-832226. Aufruf am 01.09.2018.

Roth (2018)

Roth, Gerhard Franz: Smart Inspection: Das neue Geschäftsmodell der Wien Energie Factory, 14.11.2018. <https://factorynet.at/a/smart-inspection-das-neue-geschaeftsmodell-der-wien-energie>. Aufruf am 04.12.2018.

Saager (2018)

Saager, Robert: Sichere, einfache, handnahe und wirtschaftliche Durchführung von Bauwerksprüfungen nach DIN 1076 – Ausgewählte Beispiele aus der Praxis. In: Erfahrungsaustausch des Bauwerksprüfpersonals. 26. Zusammenkunft der Ingenieurinnen/Ingenieure der Bauwerksprüfung am 11. und 12. September 2018 in Koblenz. Tagungsband, S. 32 ff. https://www.vfib-ev.de/img/uploads/files/2476_2018-09-21_finale_Fassung_Tagungsband_Internet.pdf.

SatDSiG (2017)

Gesetz zum Schutz vor Gefährdung der Sicherheit der Bundesrepublik Deutschland durch das Verbreiten von hochwertigen Erdfernerkundungsdaten (SatDSiG): Satellitendatensicherheitsgesetz vom 23. November 2007 (BGBl. I S. 2590), das zuletzt durch Artikel 92 des Gesetzes vom 29. März 2017 (BGBl. I S. 626) geändert worden ist. <http://www.gesetze-im-internet.de/satdsig/SatDSiG.pdf>.

Schläger/Thode (2018)

Schläger, Uwe/Thode, Jan-Christoph (Hrsg.): Handbuch Datenschutz und IT-Sicherheit. Erich Schmidt, Berlin 2018.

Schlesinger/Vogt (2017)

Schlesinger, Johannes/Vogt, Steffen: Drohneneinsatz für kommunale Aufgaben – Grundlagen, Datenformate und Anwendungsbereiche. Whitepaper. svGeosolutions GmbH, Freiburg 2017. https://www.svgeosolutions.de/wp-content/uploads/2018/10/svGeosolutions_Whitepaper_Drohneneinsatz_fuer_kommunale_Aufgaben.pdf.

Schmelzer/Sesselmann (2013)

Schmelzer, Herrmann J./Sesselmann, Wolfgang: Geschäftsprozessmanagement in der Praxis: Kunden zufrieden stellen, Produktivität steigern, Wert erhöhen. 8. Aufl. Hanser, München, 2013.

Schmidt (2009)

Schmidt, Markus: Grundzüge eines vereinfachten Eignungstests für alternative Organisationsmodelle im Schienenpersonenverkehr. Bauwirtschaft und Baubetrieb, Mitteilungen, Heft 38. Dissertation Technische Universität, Berlin 2009.

Schneider/Sunyaev (2015)

Schneider, Stephan/Sunyaev Ali: Cloud-Service-Zertifizierung. Ein Rahmenwerk und Kriterienkatalog zur Zertifizierung von Cloud-Services. Springer Gabler, Berlin/Heidelberg 2015.

Schnellenbach-Held/Fakhouri/Karczewski (2013)

Schnellenbach-Held, Martina/Fakhouri, Abdalla/Karczewski, Björn: Projekt „Intelligente Bauwerke“. Teilprojekt „Erstellung eines Glossars zum Themenschwerpunkt Intelligente Bauwerke“. FE 89.0277/2012. Schlussbericht. Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Essen 2013.

Schnellenbach-Held/Karczewski/Kühn (2014)

Schnellenbach-Held, Martina/Karczewski, Björn/Kühn, Oliver: Intelligente Brücke – Machbarkeitsstudie für ein System zur Informationsbereitstellung und ganzheitlichen Bewertung in Echtzeit für Brückenbauwerke. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Brücken- und Ingenieurbau, Heft B 105. Schünemann, Bremen 2014.

Schnieder (2018)

Schnieder, Lars: Schutz Kritischer Infrastrukturen im Verkehr. Security Engineering als ganzheitlicher Ansatz. Springer Vieweg, Wiesbaden 2018.

Schönbohm (2018)

Schönbohm, Arne: Industrie 4.0 – Security by Design. In: Mit Sicherheit. Industrial Control Systems in der Industrie 4.0. BSI-Magazin 1/2018, S. 24 f.

Schönwitz (2018)

Schönwitz, Daniel: Selbsttest. Was meine Daten Unternehmen wert sind. WirtschaftsWoche, 02.10.2018. <https://www.wiwo.de/my/technologie/digitale-welt/selbsttest-was-meine-daten-unternehmen-wert-sind/23118302.html>. Aufruf am 15.10.2018.

Schwarz/Stein/Freudenberg (2018)

Schwarz, Christian/Stein, Stefan/Freudenberg, Michael: Besteuerung digitaler Geschäftsmodelle: die Relevanz von Daten aus Verrechnungspreissicht. Betriebsberater 39, 2018, S. 2267 ff.
https://quantum-tax.de/wp-content/uploads/2018/09/BB_Daten_SchwarzSteinFreudenberg.pdf.

Seel (2018)

Seel, Andreas: Entwicklung eines bildbasierten Algorithmus zur Detektion und Verfolgung von unkooperativen unbemannten Luftfahrzeugen. Masterarbeit Institut für Flugsystemtechnik Braunschweig. DLR-Interner Bericht. DLR-IB-FT-BS-2018-22. https://elib.dlr.de/118656/1/IB_FT_2018_22.pdf.

Seidlmeier (2015)

Seidlmeier, Heinrich: Prozessmodellierung mit ARIS®. Eine beispielorientierte Einführung für Studium und Praxis in ARIS 9. 4. Aufl. Springer Vieweg, Wiesbaden 2015.

Sicherheitshandbuch (2013)

Sicherheitshandbuch für die europäische Strasseninfrastruktur. SecMan-Konsortium, Bergisch Gladbach 2013.
https://www.bast.de/BASt_2017/DE/Publikationen/Medien/Dokumente/B-sicherheitshandbuch.pdf;jsessionid=E1D5B76F9B6ECFA7CBBBA3F3BB0D97FDB.live11294?__blob=publicationFile&v=2.

Singer/Borrmann (2016)

Singer, Dominic/Borrmann, André: Machbarkeitsstudie BIM für Bestandsbrücken. FE 89.0309. Schlussbericht. Beauftragt durch die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), 15.03.2016. http://bast.opus.hbz-nrw.de/volltexte/2017/1785/pdf/Machbarkeitsstudie_BIM.pdf.

SKRIBT Bauwerksbezogene Objektanalyse (o.J.)

Verbundprojekt SKRIBT. Schutz kritischer Brücken und Tunnel im Zuge von Straßen. Bauwerksbezogene Objektanalyse: Brücken. Öffentliche Fassung. Gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF).
http://134.147.230.146/skribt/download/AP3/Bauwerksbezogene%20Objektanalyse_Bruecken.pdf.

SKRIBT Schlussbericht (o.J.)

Verbundprojekt SKRIBT. Schutz kritischer Brücken und Tunnel im Zuge von Straßen. Schlussbericht: Schutz kritischer Brücken und Tunnel. Öffentliche Fassung. Gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF).
<http://134.147.230.146/skribt/download/AP5/Schutz%20kritischer%20Br%C3%BCcken%20und%20Tunnel%20-%20Schlussbericht.pdf>.

Sowa (2017)

Sowa, Aleksandra: Management der Informationssicherheit. Kontrolle und Optimierung. Springer Vieweg, Wiesbaden 2017.

Sperber/Gößmann u.a. (2017)

Sperber, Martin/Gößmann, Rainer/Reget, Corinna/Müller, Jörg/Nolden, Jürgen/Köhler, Ralf/Kremkau, Lukas: Unterstützung der Bauwerksprüfung durch innovative digitale Bildauswertung – Pilotstudie. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Brücken- und Ingenieurbau, Heft B 139. Schünemann, Bremen 2017.

Spiecker genannt Döhmann (2017)

Spiecker genannt Döhmann, Indra: Smart Home, Smart Grid, Smart Meter – digitale Konzepte und das Recht an Daten. In: Doleski, Oliver, D. (Hrsg.): Herausforderung Utility 4.0. Wie sich die Energiewirtschaft im Zeitalter der Digitalisierung verändert, S. 285 ff. Springer Vieweg, Wiesbaden 2017.

Statista (2018a)

Statista GmbH. Das Statistikportal: Transportleistung einzelner Verkehrsträger im Güterverkehr in Deutschland im Jahr 2017 (in Millionen Tonnenkilometer). Hamburg, 2018.
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/12136/umfrage/anteil-der-verkehrstraeger-am-gueterverkehr/>. Aufruf am 10.05.2019.

Statista (2018b)

Statista GmbH. Das Statistikportal: Transportleistung im Güterverkehr in Deutschland im Jahr 2017 nach Verkehrszweigen (in Milliarden Tonnenkilometer). Hamburg, 2018.
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/75784/umfrage/gueterverkehr-in-deutschland-nach-verkehrszweigen/>. Aufruf am 09.05.2019.

Stolton (2018)

Stolton, Samuel: Frankreich plant Alleingang bei der Digitalsteuer. Euractiv, 19.12.2018.
<https://www.euractiv.de/section/eu-innenpolitik/news/frankreich-plant-alleingang-bei-der-digitalsteuer/>. Aufruf am 06.01.2019.

Storage Consortium (2017)

Storage Consortium: Speicherlösung zur Archivierung von Satellitendaten bei Airbus Defence and Space. München/Starnberg, 13.02.2017. <https://storageconsortium.de/content/content/speicherlösung-zur-archivierung-von-satellitendaten-bei-airbus-defence-and-space>. Aufruf am 10.05.2019.

Straßenbau NI (o.J.)

Niedersächsische Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr: Projekte. Verfahrensablauf. Übersicht. Von der Planung zum Bau: Verfahrensablauf bei Bundesfernstraßen. <https://www.strassenbau.niedersachsen.de/projekte/verfahrensablauf/>. Aufruf am 10.05.2019.

Straßenbau NRW (o.J.)

Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen: Wir bauen für Sie. Planung & Bau: Planungsablauf. Von der Planung zum Bau. <http://www.strassen.nrw.de/de/planung-bau/mit-planung-zum-bau.html>. Aufruf am 10.05.2019.

Structurae (o.J.)

Structurae. Internationale Datenbank und Galerie für Ingenieurbauwerke (Hrsg.): Brücken und Viadukte. <https://structurae.de/bauwerke/bruecken-und-viadukte>. Aufruf am 15.09.2018.

Structurae Projektbeispiele (2014)

Structurae Projektbeispiele. Eisenbahnbrücken. Ernst & Sohn, Berlin 2014.

Thomas (2017)

Thomas, Peter: Einsatz von Drohnen. Die Bahn geht in die Luft. FAZ, 16.07.2017. <http://www.faz.net/aktuell/technik-motor/motor/deutsche-bahn-setzt-drohnen-zum-in-spezieren-ueberwachen-ein-15098620.html>. Aufruf am 21.12.2018.

Tiedemann (2018a)

Tiedemann, Michaela: Data Governance: Grundlagen, Herausforderungen und Lösungen im Bereich Data Management. Alexander Thamm GmbH, 04.09.2018. <https://www.alexanderthamm.com/de/artikel/data-governance-grundlagen-herausforderungen-und-loesungen-im-bereich-data-management/>. Aufruf am 21.12.2018.

Tiedemann (2018b)

Tiedemann, Michaela: Grundlagen, Anwendungsfälle und Vorzüge eines Data Lake: Alles was Unternehmen über Data Lakes wissen müssen. Alexander Thamm GmbH, 08.11.2018. <https://www.alexanderthamm.com/de/artikel/grundlagen-anwendungsfaelle-data-lake/>. Aufruf am 21.12.2018.

TU Darmstadt (o.J.)

Technische Universität Darmstadt. Institut für Numerische Methoden und Informatik im Bauwesen: KRITIS – Kritische Infrastrukturen. Konstruktion, Funktionskrisen und Schutz

in Städten. https://www.iib.tu-darmstadt.de/forschung_iib/kritis_1/kritis.de.jsp. Aufruf am 10.05.2019.

UAV Dach (2018)

UAV Dach e.V. Verband für unbemannte Luftfahrt: DIN-Norm für unbemannte Luftfahrt definiert Begrifflichkeiten in der neuen DIN 5452-1. Die UAS Branche schafft Strukturen für die zukünftigen Marktentwicklungen durch neue DIN Norm. News Blog, Braunschweig 15.02.2018. <https://www.uavdach.org/?p=2598>. Aufruf am 15.04.2019.

UrhG (2018)

Gesetz über Urheberrecht und verwandte Schutzrechte (Urheberrechtsgesetz – UrhG): Urheberrechtsgesetz vom 9. September 1965 (BGBl. I S. 1273), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 28. November 2018 (BGBl. I S. 2014) geändert worden ist. <https://www.gesetze-im-internet.de/urhg/UrhG.pdf>.

VDI (2018)

Verein deutscher Ingenieure e.V. (VDI): VDI 2879: Inspektion von Anlagen und Gebäuden mit UAV (Flugdrohnen). VDI, Düsseldorf 2018. https://www.vdi.de/fileadmin/pages/vdi_de/redakteure/richtlinien/inhaltsverzeichnisse/2858040.pdf.

Verordnung (2017)

Verordnung zur Regelung des Betriebs von unbemannten Fluggeräten vom 30. März 2017 (BGBl. I Nr. 17 S. 683). https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/LF/verordnung-zur-regelung-des-betriebs-von-unbemannten-fluggeraeten.pdf?__blob=publication-File.

Verordnung EU (2018a)

VERORDNUNG (EU) 2018/1139 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 4. Juli 2018 zur Festlegung gemeinsamer Vorschriften für die Zivilluftfahrt und zur Errichtung einer Agentur der Europäischen Union für Flugsicherheit sowie zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 2111/2005, (EG) Nr. 1008/2008, (EU) Nr. 996/2010, (EU) Nr. 376/2014 und der Richtlinien 2014/30/EU und 2014/53/EU des Europäischen Parlaments und des Rates, und zur Aufhebung der Verordnungen (EG) Nr. 552/2004 und (EG) Nr. 216/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates und der Verordnung (EWG) Nr. 3922/91 des Rates. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R1139>.

Verordnung EU (2018b)

VERORDNUNG (EU) 2018/1807 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 14. November 2018 über einen Rahmen für den freien Verkehr nicht-personenbezogener Daten in der Europäischen Union. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L:2018:303:FULL>.

VFIB (2017)

Verein zur Förderung der Qualitätssicherung und Zertifizierung der Aus- und Fortbildung von Ingenieurinnen/Ingenieuren der Bauwerksprüfung e.V. (VFIB): Empfehlung zur Leistungsbeschreibung, Aufwandsermittlung und Vergabe von Leistungen der Bauwerksprüfung nach DIN 1076. Stand: 30.11.2017.
<https://www.vfib-ev.de/service/leistungsbeschreibung.php>. Aufruf am 15.03.2019.

Vogel (2017)

Vogel, Stephanie: Datenschutz im Building Information Modeling. dataarea, 23.06.2017.
<https://www.dataarea.de/datenschutz-im-building-information-modeling/>. Aufruf am 24.10.2018.

Wagner/Sodies u.a. (2019)

Wagner, Christoph/Sodies, Jan Georg/Meyer, Tobias/Adam, Pascal: Die Bedeutung von End-to-End-Prozessen für die Digitalisierung im Finanzbereich. In: Becker, Wolfgang/Eierle, Brigitte/Fliaster, Alexander/Ivens, Björn/Leischnig, Alexander/Pflaum, Alexander/ Sucky, Eric (Hrsg.): Geschäftsmodelle in der digitalen Welt. Strategien, Prozesse und Praxiserfahrungen, S. 695 ff. Springer Gabler, Wiesbaden 2019.

WaStrG (2018)

Bundeswasserstraßengesetz (WaStrG): Bundeswasserstraßengesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 23. Mai 2007 (BGBl. I S. 962; 2008 I S. 1980), das zuletzt durch Artikel 4 des Gesetzes vom 29. November 2018 (BGBl. I S. 2237) geändert worden ist. <http://www.gesetze-im-internet.de/wastrg/WaStrG.pdf>.

Weber (2013)

Weber, Silvia: Betoninstandsetzung. Baustoff – Schadensfeststellung – Instandsetzung. 2. Aufl. Springer Vieweg, Wiesbaden 2013.

Weber (2018)

Weber, Beatrix: Datenschutz 4.0. In: Wolff, Dietmar/Göbel, Richard (Hrsg.): Digitalisierung. Segen oder Fluch? Wie die Digitalisierung unsere Lebens- und Arbeitswelt verändert. Springer, Berlin 2018.

Werwitzke (2018)

Werwitzke, Cora: Volocopter entwirft Infrastruktur-Konzept für E-Lufttaxis. electrive.net, 18.04.2018. <https://www.electrive.net/2018/04/18/volocopter-entwirft-infrastruktur-konzept-fuer-e-lufttaxis/>. Aufruf am 23.03.2019.

Wesseler (2018)

Wesseler, Berthold: Noch keine verbindliche Regelung in Sicht: Wer ist Herr der Datenschätze? IT-Zoom, 15.06.2018. <https://www.it-zoom.de/it-mittelstand/e/wer-ist-herr-der-datenschaetze-19967/>. Aufruf am 11.12.2018.

Westphal (2017a)

Westphal, Chris: DJI: Vorschlag zum elektronischen Drohnen-Kennzeichen. Drohnen-News/Google News, 04.04.2017. <https://www.drohnen.de/15510/dji-electronic-identification/>. Aufruf am 18.08.2018.

Westphal (2017b)

Westphal, Chris: Inspektion von Bauwerken mittels Drohne. Drohnen Wissen/Drohnen-Einsätze, 04.04.2017. <https://www.drohnen.de/15402/inspektion-von-bauwerken-mittels-drohne/>. Aufruf am 27.10.2018.

Wietek (2017)

Wietek, Bernhard: Böschungen und Baugruben. Sicherung und Wirtschaftlichkeit. 2. Aufl. Springer Vieweg, Wiesbaden 2017.

Willisegger (2018)

Willisegger, Jonas: Schutz kritischer Infrastrukturen. Eine Herausforderung für Staat, Wirtschaft und Gesellschaft. In: Hunziker, Stefan/Meissner Jens O. (Hrsg.): Ganzheitliches Chancen- und Risikomanagement. Interdisziplinäre und praxisnahe Konzepte, S. 61 ff. Springer Gabler, Wiesbaden 2018.

WPM-Ingenieure (o.J.)

WPM-Ingenieure. Ingenieurgesellschaft für Bauwesen und Datenverarbeitung mbh: SIB Bauwerke.
http://www.wpm-ingenieure.de/include.php?path=sib_bauwerke&pid=21&subid=35.
Aufruf am 22.07.2018.

Wrobel/Hecker (2018)

Wrobel, Stefan/Hecker, Dirk: Fraunhofer-Allianz Big Data. Datenschätze heben. In: Neugebauer, Reimund (Hrsg.): Digitalisierung. Schlüsseltechnologien für Wirtschaft & Gesellschaft, S. 261 ff. Springer Vieweg, Berlin/Heidelberg 2018.

WSV Braunschweig (2016)

Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Braunschweig: Bauwerke. Brücken. Stand: 01.06.2016.
http://www.wsa-braunschweig.wsv.de/bauwerke/Bruecken/Brueckenbilder/Kanalbruecke_Eisenbahn_Bechtsbuettel.jpg. Aufruf am 20.05.2019.

Wybitul (2016)

Wybitul, Tim: EU-Datenschutz-Grundverordnung im Unternehmen: Praxisleitfaden. R&W, Frankfurt a.M. 2016.

ZSKG (2009)

Gesetz über den Zivilschutz und die Katastrophenhilfe des Bundes (Zivilschutz- und Katastrophenhilfegesetz – ZSKG): Zivilschutz- und Katastrophenhilfegesetz vom 25. März 1997 (BGBl. I S. 726), das zuletzt durch Artikel 2 Nummer 1 des Gesetzes vom 29.

Juli 2009 (BGBl. I S. 2350) geändert worden ist. <https://www.gesetze-im-internet.de/zsg/ZSKG.pdf>.

Zwenzner (o.J.)

Zwenzner, Hendrik: Earth Observation Center. Satellitendaten. Datenwegweiser. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)/Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum, Informationstechnik, Weßling o.J. https://www.dlr.de/eoc/desktopdefault.aspx/tabid-5368/9016_read-37549/. Aufruf am 10.05.2019.

Behörden¹⁵²¹

BAF

Bundesaufsichtsamt für Flugsicherung (BAF): BAF. Organisation. https://www.baf.bund.de/DE/BAF/Organisation/organisation_node.html. Aufruf am 15.12.2018.

BAM

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM): Über die Bam. Übersicht. <https://www.bam.de/Navigation/DE/Ueber-die-BAM/uebersicht-ueber-die-bam.html>. Aufruf am 30.03.2019.

BAST

Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST): Aufgaben, Leitbild und Geschichte. https://www.bast.de/BAST_2017/DE/BAST/BAST_node.html. Aufruf am 15.12.2018.

BBK

Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK): Das BBK. Über das BBK. https://www.bbk.bund.de/DE/DasBBK/UeberdasBBK/ueberdasbbk_node.html. Aufruf am 09.05.2019.

BFU

Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung (BFU): Die BFU. https://www.bfu-web.de/DE/Home/homepage_node.html. Aufruf am 09.05.2019.

BMVI

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI): Aufgaben und Struktur. Das Ministerium stellt sich vor. <https://www.bmvi.de/DE/Ministerium/Aufgaben-Struktur/aufgaben-struktur.html>. Aufruf am 15.08.2018.

¹⁵²¹ Im Folgenden werden als Quellenverweise Webseiten von Behörden, Universitäten und Unternehmen sowie Portale aufgeführt.

BSI

Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI): Das BSI. Organisationsübersicht des BSI. https://www.bsi.bund.de/DE/DasBSI/Aufgaben/aufgaben_node.html. Aufruf am 25.05.2019.

EBA

Eisenbahn-Bundesamt (EBA): Das Eisenbahn-Bundesamt (EBA). Das EBA. https://www.eba.bund.de/DE/DasEBA/daseba_node.html. Aufruf am 09.05.2019.

LBA

Luffahrt-Bundesamt (LBA): LBA/Außenstellen. Über uns. https://www.lba.de/DE/LBA/LBA_node.html. Aufruf am 05.06.2018.

WSV

Wasserstraßen und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV): Wasserstraßen. <https://www.gdws.wsv.bund.de/DE/wasserstrassen/wasserstrassen-node.html>. Aufruf am 15.08.2018.

Universitäre Einrichtungen und Forschungsinstitute

Bauhaus-Universität Weimar, IKI

Bauhaus-Universität Weimar (Fakultät Bauingenieurwesen)/Institut für Konstruktiven Ingenieurbau (IKI): Institut für Konstruktiven Ingenieurbau (IKI). <https://www.uni-weimar.de/de/bauingenieurwesen/institute/iki/>. Aufruf am 20.05.2019.

DLR, DFD

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)/Earth Observation Center (EOC): Deutsches Fernerkundungszentrum (DFD). https://www.dlr.de/eoc/desktopdefault.aspx/tabid-5278/8856_read-15911/. Aufruf am 10.05.2019.

DLR, EOC

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)/Earth Observation Center (EOC): Earth Observation Center – Für die Erde ins All. https://www.dlr.de/eoc/de/desktopdefault.aspx/tabid-5277/8858_read-15912/. Aufruf am 10.05.2019.

DLR, FT

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)/Institut für Flugsystemtechnik: Abteilung Unbemannte Luftfahrzeuge. Forschungsarbeit. http://www.dlr.de/ft/desktopdefault.aspx/tabid-1377/1905_read-3360/. Aufruf am 05.06.2018.

DLR, IMF

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)/Earth Observation Center (EOC): Institut für Methodik der Fernerkundung (IMF). https://www.dlr.de/eoc/desktopdefault.aspx/tabid-5279/8913_read-16239/. Aufruf am 10.05.2019.

DLR, Institut für Datenwissenschaften

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)/Institut für Datenwissenschaften: Institut. Über uns. https://www.dlr.de/dw/desktopdefault.aspx/tabid-12200/21397_read-49437/. Aufruf am 09.05.2019.

DLR, Institut für Optische Sensorsysteme

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)/Institut für Optische Sensorsysteme: Institut für Optische Sensorsysteme. https://www.dlr.de/os/de/desktopdefault.aspx/tabid-3452/20905_read-48719/. Aufruf am 10.05.2019.

HPI

Hasso-Plattner-Institut (HPI) für Digital Engineering gGmbH: Das Hasso-Plattner-Institut. <https://hpi.de/das-hpi/uebersicht.html>. Aufruf am 16.06.2018.

NBS, IuS

NBS Northern Business School Gemeinnützige GmbH/Institut für unbemannte Systeme (IuS): Profil. Forschungsprofil. <https://ius.nbs.de/institut/profil.html>. Aufruf am 16.06.2018.

RWTH Aachen, FSD

RWTH Aachen/Institut für Flugsystemdynamik (FSD): Das Institut. <http://www.fsd.rwth-aachen.de/cms/fsd/Das-Institut/~nzqw/Das-Institut/>. Aufruf am 05.06.2018.

Technische Universität Berlin, ILR

Technische Universität Berlin (Fakultät für Verkehrs- und Maschinensysteme)/Institut für Luft- und Raumfahrt (ILR)/Fachgebiet Flugmechanik, Flugregelung und Aeroelastizität: Willkommen am Institut für Luft- und Raumfahrt (ILR): <https://www.ilr.tu-berlin.de/menue/home/>. Aufruf am 22.08.2018.

Technische Universität Braunschweig, IFF

Technische Universität Braunschweig/Institut für Flugführung (IFF): Kurze Einführung über das Institut für Flugführung <https://www.tu-braunschweig.de/iff/institut>. Aufruf am 22.08.2018.

Technische Universität Darmstadt, FSR

Technische Universität Darmstadt (Maschinenbau)/Institut für Flugsysteme und Regelungstechnik (FSR): Forschung und Dienstleistung. Forschungsfelder. Unbemannte Flugsysteme. http://www.fsr.tu-darmstadt.de/forschung_und_dienstleistung/forschungsfelder_neu/unmanned_aircraft_systems/autonome_flugsysteme_1.de.jsp. Aufruf am 05.06.2018.

Universität Heidelberg, ZITI

Universität Heidelberg/Institut für Technische Informatik (ZITI): Das Institut.
<https://www.ziti.uni-heidelberg.de/ziti/de/institut>. Aufruf am 05.06.2018.

Universität Kassel, AHT

Universität Kassel, Fachbereich Elektrotechnik/Informatik/Fachgebiet Anlagen und Hochspannungstechnik (AHT): Projekte. Aufgaben. <http://www.uni-kassel.de/eecs/fachgebiete/aht/projekte/unikopter/aufgaben.html>. Aufruf am 16.06.2018.

Universität Kassel, Wirtschaftsinformatik

Universität Kassel, Fachbereich Wirtschaftswissenschaften/Fachgebiet Wirtschaftsinformatik: Willkommen am Fachgebiet Wirtschaftsinformatik. <https://www.uni-kassel.de/fb07/institute/ibwl/personen-fachgebiete/leimeister-prof-dr/home.html>. Aufruf am 25.03.2019.

Universität Kassel, Wirtschaftsrecht

Universität Kassel, Fachbereich Wirtschaftswissenschaften/Institut für Wirtschaftsrecht: Home. <http://www.uni-kassel.de/fb07/institute/iwr/ueber-uns.html>. Aufruf am 10.05.2019.

Unternehmen

Airbus Defence and Space

Airbus Defence and Space: <https://www.intelligence-airbusds.com/satellite-data/>. Aufruf am 10.05.2019.

air-view®

air-view® – aerial filming: <https://air-view.ch/kontakt/>. Aufruf am 20.05.2019.

Airware Inc.

Airware Inc: <https://www.airware.com/en/>. Aufruf am 04.12.2018.

ARCEXPERT GMBH

ARCEXPERT GMBH: <https://www.arc-flyingcontrol.com/bruecken-und-betonbauten>. Aufruf am 27.10.2018.

ARGE INFRABIM

ARGE INFRABIM: <http://infrabim.de/>. Aufruf am 22.12.2018.

Baudrone

Baudrone: <https://www.baudrone.com/de/leistungen/>. Aufruf am 27.10.2018.

BLADESCAPE Airborne Services GmbH

BLADESCAPE Airborne Services GmbH: <http://blade-scape.com/inspektion-wartung/>.
<http://blade-scape.com/uav-full-service-paket/>. Aufruf am 27.10.2018.

CiS GmbH

CiS GmbH: <https://www.cis-rostock.org/uav-systeme/software/>. Aufruf am 01.12.2018.

CopterCloud® GmbH

CopterCloud GmbH: <https://coptercloud.de/branchen/instandhaltung/>. Aufruf am 27.10.2018.

Dawex Sytems

Dawex Sytems: <https://www.dawex.com/de/>. Aufruf am 12.12.2018.

DB Energie GmbH

DB Energie GmbH: <https://www.dbenergie.de/dbenergie-de/db-energie-unternehmen/unternehmen-1345392>. Aufruf am 10.05.2019.

Dedrone GmbH

Dedrone GmbH: <https://www.dedrone.com/de/home>. Aufruf am 27.10.2018.

DFS GmbH

DFS Deutsche Flugsicherung GmbH: http://www.dfs.de/dfs_homepage/de/Unternehmen/Über%20uns/. Aufruf am 09.05.2018.

droneparts e.K.

droneparts e.K.: <https://droneparts.de/branchenloesungen/vermessung-inspektion/>. Aufruf am 27.10.2018.

droneproject.at

droneproject.at: <https://www.droneproject.at/optische-inspektion-monitoring.html>. Aufruf am 27.10.2018.

Eight Wings

Eight Wings: <https://www.eight-wings.de/inspektion-bauwerke/>. Aufruf am 27.10.2018.

Esri Deutschland GmbH

Esri Deutschland GmbH: <https://www.esri.de/de-de/ueber-esri/uebersicht>. Aufruf am 19.05.2019.

EWE AG

EWE AG: <http://energie-vernetzen.de/projekt>. Aufruf am 21.12.2018.

Fairfleet GmbH

FairFleet GmbH: <https://www.fairfleet360.com/>. Aufruf am 04.12.2018.

Flugplatz Rotenburg Wümme GmbH

Flugplatz Rotenburg Wümme GmbH: edqx.de/. Aufruf am 06.01.2019.

FlyNex GmbH

FlyNex GmbH: <https://www.flynex.io/>. <https://map2fly.flynex.de/>. Aufruf am 19.11.2018.

FMC mbH

FMC Flughafengesellschaft Magdeburg/Cochstedt mbH: <https://www.airportpark-magdeburg-cochstedt.de/>. Aufruf am 06.01.2019.

GEARS GmbH

GEARS GmbH: <https://www.gears-gmbh.de/leistungen/drohne/>. Aufruf am 27.10.2018.

GeoContent Deutschland GmbH

GeoContent Deutschland GmbH: <http://www.geocontent.de/>. Aufruf am 07.01.2019.

Green Excellence GmbH

Green Excellence GmbH: <https://www.green-excellence.de/dsgvo/>. Aufruf am 01.06.2018.

HEIGHT TECH GmbH & Co. KG

HEIGHT TECH GmbH & Co. KG: <https://heighttech.com/>. Aufruf am 27.10.2018.

HELJO Industries

HELJO Industries: <https://heljo.industries/drohnen-inspektion/>. Aufruf am 27.10.2018.

HiSystems GmbH

HiSystems GmbH: <http://www.mikrokopter.de/de/anwendungen/inspektion>. Aufruf am 16.06.2018.

Ingenieurbüro Tuma

Ingenieurbüro Tuma: <http://www.ib-tuma.de/inspektion>. Aufruf am 27.10.2018.

Intel Corporation

Intel Corporation: <https://www.intel.de/content/www/de/de/company-overview/company-overview.html>. Aufruf am 10.05.2019.

Intel Deutschland GmbH

Intel Deutschland GmbH: <https://www.intel.de/content/www/de/de/drones/drone-applications/commercial-drones.html>; <http://www.asctec.de/asctec-professional-uav/>. Aufruf am 27.10.2018.

it's my data GmbH

it's my data GmbH: <https://itsmydata.de/>. Aufruf am 10.12.2018.

LINDSCHULTE Ingenieurgesellschaft mbH

LINDSCHULTE Ingenieurgesellschaft mbH: <https://www.lindschulte.de/befliegungen-mit-flugdrohne-als-ingenieur-dienstleistung/>. Aufruf am 27.10.2018.

LOGXON GmbH & Co. KG

LOGXON GmbH & Co. KG: <https://logxon.com/leistungen/uav-inspektion-monitoring-aus-der-luft-mit-drohne/>. Aufruf am 27.10.2018.

Microdrones GmbH

Microdrones GmbH: <https://www.microdrones.com/de/anwendungen/inspektion/>. Aufruf am 27.10.2018.

mirko baum Airborne Images

mirko baum Airborne Images: <https://www.airborne-images.com/application/monitoring-und-inspektionen/>. Aufruf am 27.10.2018.

planen-bauen 4.0 – Gesellschaft zur Digitalisierung des Planens, Bauens und Betriebs mbH

planen-bauen 4.0 – Gesellschaft zur Digitalisierung des Planens, Bauens und Betriebs mbH: <http://planen-bauen40.de/>. Aufruf am 22.12.2018.

Pretherm GmbH

Pretherm GmbH: <http://www.pretherm.de/>. Aufruf am 01.06.2018.

protekt

Leipziger Messe GmbH: protekt. Konferenz für den Schutz Kritischer Infrastrukturen. <http://www.protekt.de/de/>. Aufruf am 10.05.2019.

Sharper Shape Inc

Sharper Shape Inc: <https://sharpershape.com/>. Aufruf am 01.12.2018.

SPECTAIR GmbH & Co. KG

SPECTAIR GmbH & Co. KG: <https://spectair.com/anwendungen/inspektion/bauwerke/>.
<https://spectair.com/anwendungen/geodatenanalyse/gelaende-hoehenmodelle/>. Aufruf am 27.10.2018.

SPIE SAG GmbH

SPIE SAG GmbH: <https://www.spie-sag.de/de/unternehmen/profil.php>; <https://www.spie-sag.de/de/leistungen-produkte/bau-loesungen.php>. Aufruf am 05.06.2018.

SZ DJI Technology Co., Ltd.

SZ DJI Technology Co., Ltd.: <https://www.dji.com/de/company?site=brandsite&from=footer>. Aufruf am 16.06.2018.

TÜV Rheinland Consulting GmbH

TÜV Rheinland Consulting GmbH: <https://www.tuv.com/germany/de/forschungsmanagement.html>. Aufruf am 10.05.2019.

TÜV Rheinland Industrie Service GmbH

TÜV Rheinland Industrie Service GmbH: <https://www.tuv.com/germany/de/bauwerksprüfung.html>. Aufruf am 27.10.2018.

UCAIR GMBH

UCAIR GMBH: <https://ucair.de/>. Aufruf am 04.12.2018.

Uniserv GmbH

Uniserv GmbH: <https://www.uniserv.com/data-management-loesungen/business-loesungen/data-governance/>. Aufruf am 22.12.2018.

Utility Copters

Utility Copters: <https://utility-copters.de/>. Aufruf am 01.06.2018.

VDI/VDE Innovation + Technik GmbH

VDI/VDE Innovation + Technik GmbH: <https://vdivde-it.de/thema/mobilitaet-und-energie;>
<https://vdivde-it.de/auftrag/mfund-modernitaetsfonds>. Aufruf am 28.03.2019.

ViewCopter e.U.

ViewCopter e.U.: <https://www.vcopter.net/index.php/inspektionen.html>. Aufruf am 27.10.2018.

viZaar industrial imaging AG

viZaar industrial imaging AG: <https://www.vizaar.de/de/visuelle-pruefung-vt/visuelle-inspektion-flugdrohne-roav/bauwerksinspektion>. Aufruf am 27.10.2018.

Wien Energie GmbH

Wien Energie GmbH: <https://www.wienenergie.at/eportal3/>. Aufruf am 02.05.2019.

Verbände

buildingSMART e.V.

buildingSMART e.V.: <https://www.buildingsmart.de/>. Aufruf am 22.12.2018.

BUVUS e.V.

Bundesverband für unbemannte Systeme e.V. (BUVUS): <https://www.buvus.de/ziele>. Aufruf am 15.06.2018.

BVCP e.V.

Bundesverband Copter Piloten e.V. (BVCP): <https://bvcp.de/#philosophie>. Aufruf am 28.03.2019.

BVZD e.V.

Branchenverband Zivile Drohnen e.V. (BVZD): <https://www.bvzd.org/>. Aufruf am 10.05.2019.

CURPAS e.V.

Civil Use of Remotely Piloted Aircraft Systems e.V. (CURPAS): <https://curpas.de/de/impresum.html>. Aufruf am 22.12.2018.

Helmholtz-Gemeinschaft e.V.

Hermann von Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren e.V.:
https://www.helmholtz.de/ueber_uns/. Aufruf am 05.03.2019.

UAV Dach e.V.

UAV Dach e.V.: <https://www.uavdach.org/>. Aufruf am 06.05.2019.

VUL

Verband Unbemannte Luftfahrt (VUL): <http://www.verband-unbemannte-luftfahrt.de/verband/>. Aufruf am 28.03.2019.

VFIB e.V.

Verein zur Förderung der Qualitätssicherung und Zertifizierung der Aus- und Fortbildung von Ingenieurinnen/Ingenieuren der Bauwerksprüfung e.V. (VFIB): <https://vfib-ev.de/>. Aufruf am 05.03.2019.

Plattformen

AIS Portal

Deutsche Flugsicherung GmbH (DFS): AIS-Portal der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH. <https://secais.dfs.de/pilotservice/home.jsp?lang=de>. Aufruf am 05.04.2019.

CODE-DE

Copernicus Data and Exploitation Platform – Deutschland (CODE-DE): <https://code-de.org/>. Aufruf am 10.09.2018.

EOWEB® GeoPortal

Earth Observation on the WEB: <https://geoservice.dlr.de/egp/>. Aufruf am 15.05.2019.

GovData

Senatskanzlei. Geschäfts- und Koordinierungsstelle GovData: GOVDATA. Das Datenportal für Deutschland. <https://www.govdata.de/>. Aufruf am 05.06.2018.

mCLOUD

mCLOUD. Das offene Datenportal des BMVI: <https://mcloud.de/>. Aufruf am 05.06.2018.

MDM-Portal

MDM-Portal. MobilitätsDatenMarktplatz. Der Marktplatz für Verkehrsdaten in Deutschland. <https://www.mdm-portal.de/>. Aufruf am 05.06.2018.

Open-Data-Portal

Deutsche Bahn AG: Open-Data-Portal. Das Datenportal der Deutschen Bahn AG. <https://data.deutschebahn.com/>. Aufruf am 05.06.2018.

Dr. Heinz-A. Krebs ist seit 2009 geschäftsführender Gesellschafter des Unternehmens Green Excellence GmbH mit Sitz in Düsseldorf, welches auf die Beratung von Energieversorgern (Strom, Gas, Wasser) und Netzbetreibern spezialisiert ist. Die Beratungsdienstleistungen umfassen neben den Themenfeldern der Organisation und Reorganisation das Geschäfts- und Prozess-/Projektmanagement sowie die Projektentwicklung von Innovationen in den Bereichen der Energieerzeugung (Erneuerbare Energien), Energieübertragung und Energieverteilung.

Vor Übernahme der Geschäftsführung der Green Excellence GmbH war Dr. Heinz-A. Krebs über viele Jahre als Management-Consultant in der Inhouse-Beratung der RWE AG angestellt und zeichnete dort primär verantwortlich für Organisations- und Strategieprojekte in Osteuropa. Darüber hinaus lehrt er seit vielen Jahren an der Universität Kassel in regelmäßigen Blockveranstaltungen die Einführung betriebswirtschaftlicher Geschäftssysteme im Fachgebiet Wirtschaftsinformatik. Seit der Entscheidung zur Energiewende in Deutschland ist die Green Excellence GmbH weltweit in Strategie- und Umsetzungsprojekte eingebunden, welche die Erneuerbaren Energien sowie die Digitalisierung der Energiewirtschaft im Fokus der Betrachtung haben. Insbesondere im Rahmen der Themenstellung „Digitalisierung der Energiewirtschaft“ hat Dr. Heinz-A. Krebs gemeinsam mit dem Fachgebiet Anlagen- und Hochspannungstechnik sowie der Wirtschaftsinformatik der Universität Kassel Innovationsprojekte zur Thematik „Inspektionen von Freileitungen unter dem Einsatz von Unmanned Aerial Systems (UAS)“ initiiert, welche in der Wertschöpfungskette der Energiewirtschaft disruptive Entwicklungen erwarten lassen.

Bei der Umsetzung von Innovationsthemen stellt die Green Excellence GmbH im Rahmen einer stringent interdisziplinären Ausrichtung neben der Informatik, Betriebswirtschaftslehre und Elektrotechnik zunehmend die Integration juristischer Themenstellungen in den Fokus laufender und künftiger Projekte, da sich insbesondere durch den Einsatz von neuen Informations- und Kommunikationstechnologien in der Energiewirtschaft rechtliche Fragestellungen (u. a. EnWG, GDEW, NABEG 2.0, EnLAG, MsbG, DSGVO) mit erheblichen Auswirkungen auf die Organisation, die Geschäftsprozesse und die IT-Systeme der jeweiligen Unternehmen abzeichnen.

Herkömmlich eingesetzte Verfahren zur Inspektion von Brücken und Ingenieurbauwerken zeichnen sich dadurch aus, dass sie zeitintensiv sind und teilweise hohe Kosten verursachen. Die vorliegende Studie hat im Rahmen einer interdisziplinären Betrachtung ein Konzept zu einem optimierten Verfahren zur Inspektion von Brücken und Ingenieurbauwerken mithilfe des Einsatzes von automatisiert fliegenden Luftfahrzeugen sowie damit verbundener Systeme (UAS) entwickelt. Unter dem Einsatz einer Maßnahmenplanung, welche die Liefergegenstände Prozesse, Kritische Infrastrukturen, Informatik, Recht und Technologie beinhaltet, soll künftig eine effektive und effiziente Inspektion der Ingenieurbauwerke ermöglicht werden. Die ganzheitliche und interdisziplinäre Betrachtung der vorliegenden Konzeptstudie bildet aus Sicht der Verfasser eine „Conditio-sine-qua-non“ für die nachhaltige Einführung von unbemannten Luftfahrzeugsystemen (UAS), welche bisher in der beschriebenen Form noch nicht vorgelegt wurde und welche für künftige Geschäftsprozesse, insbesondere für die Prozesse der Inspektion, disruptive Änderungen erwarten lässt.

ISBN 978-3-7376-5092-2



9 783737 650922 >