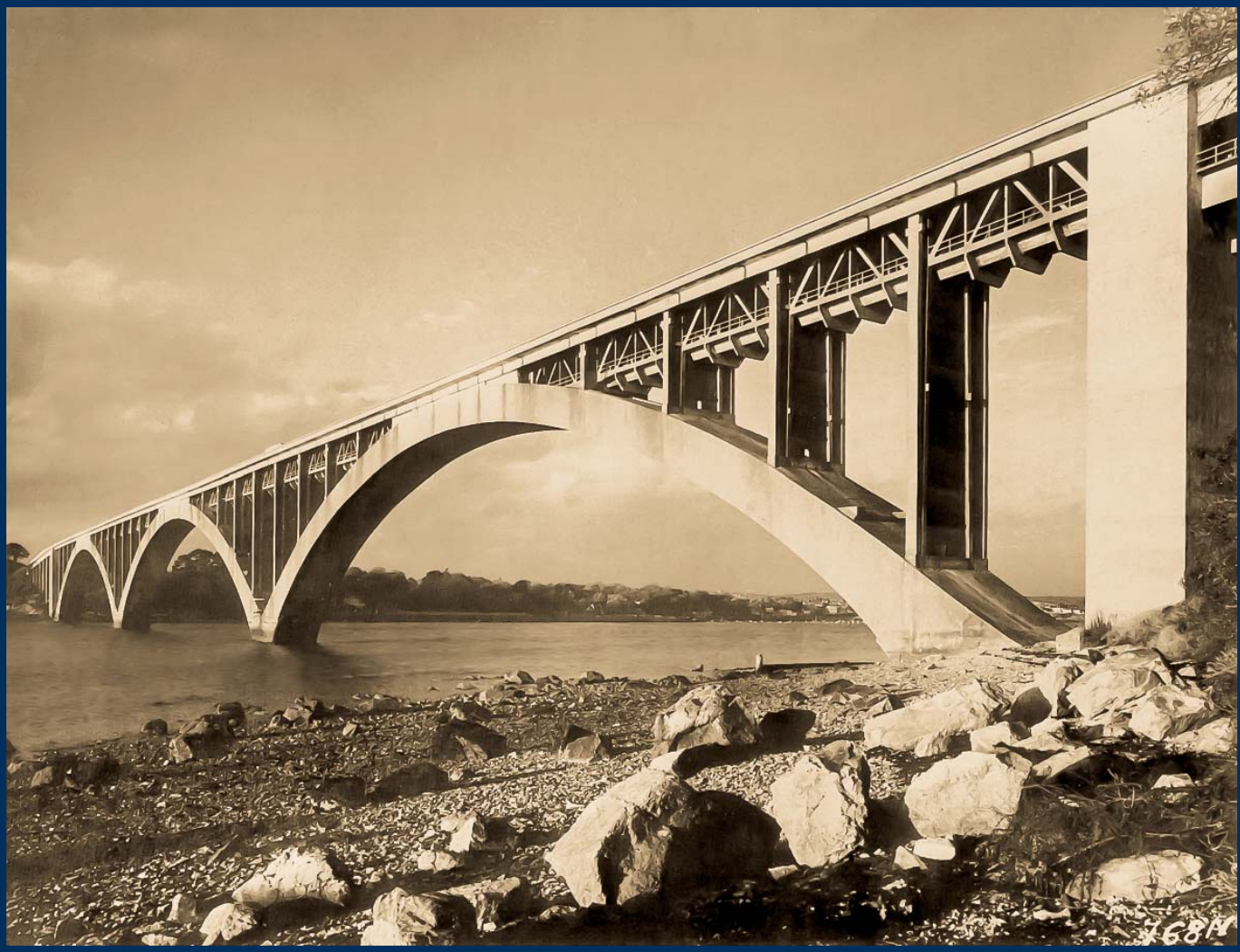
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

FAKULTÄT BAUINGENIEURWESEN Institut für Massivbau www.massivbau.tu-dresden.de



28. DRESDNER BRÜCKENBAUSYMPOSIUM

PLANUNG, BAUAUSFÜHRUNG, INSTANDSETZUNG UND ERTÜCHTIGUNG VON BRÜCKEN

12./13. MÄRZ 2018

© 2018 Technische Universität Dresden
Alle Rechte vorbehalten.
Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers.
Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen Kennzeichnungen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese von jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie als solche nicht eigens markiert sind.

Herausgeber:	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach Technische Universität Dresden Institut für Massivbau 01062 Dresden
Redaktion:	Silke Scheerer, Angela Heller
Layout:	Ulrich van Stipriaan
Anzeigen:	Harald Michler
Titelbild:	Plougastel Bridge, entnommen aus: Fernández Ordóñez, J. A.: Eugène Freyssinet. Barcelona: 2C Ediciones, 1978.
Druck:	addprint AG, Am Spitzberg 8a, 01728 Bannewitz / Possendorf

ISSN 1613-1169
ISBN 978-3-86780-544-5

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

Institut für Massivbau http://massivbau.tu-dresden.de

Tagungsband
28. Dresdner Brückenbausymposium

Institut für Massivbau
Freunde des Bauingenieurwesens e.V.
TUDIAS GmbH

12. und 13. März 2018

Inhalt

Herzlich willkommen zum 28. Dresdner Brückenbausymposium **9**
Prof. Dr.-Ing. habil. DEng/Auckland Hans Müller-Steinhagen

Vorwort zum 28. Dresdner Brückenbausymposium **13**
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Bauwerksentwürfe nach RE-ING – Was ist neu? **17**
TRDir Prof. Dr.-Ing. Gero Marzahn, TORR'in Yvonne-Christine Gunreben

Development of cable-stayed bridges in China
Entwicklung von Schrägkabelbrücken in China **25**
Yaojun Ge, Professor and PhD

Vom Rechnen und Wissen – Monitoring an den Talbrücken der Neubaustrecke Erfurt–Leipzig/Halle **41**
Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx, Dipl.-Ing. Marc Wenner, Dipl.-Ing. Max Käding, Frederik Wedel M. Sc.

Nachrechnung und Ertüchtigung der Siegtalbrücke – größte Spannbetonbrücke der Sauerlandlinie (A45) **59**
Dr.-Ing. Karlheinz Haveresch

Der Rückbau der Lahntalbrücke Limburg (1964) **73**
Dr.-Ing. Stefan Franz, Dipl.-Ing. Frank Ansorge

Einsatz unbemannter Flugsysteme im Brückenbau **87**
Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Jens Otto, Dipl.-Ing. Cornell Weller

Eugène Freyssinet: "I was born a builder" **101**
Dr.-Ing. David Fernández-Ordóñez

Realisierung der Kienlesbergbrücke in Ulm – gestalterische und bauliche Herausforderungen im komplexen Baukontext **129**
Prof. Dr.-Ing. Jan Akkermann, Dipl.-Ing. Bartlomiej Halaczek

Die Taminabrücke in der Schweiz, der Heimat großer Brückenbauingenieure **141**
Dipl.-Ing. Volkhard Angelmaier

100 Jahre Dauerhaftigkeit für Brücken- und Tunnelbauwerke **157**
Dr.-Ing. Angelika Schießl-Pecka, Prof. Dr.-Ing. Uwe Willberg, Dipl.-Ing. Georg Müller, Prof. Dr.-Ing. Christoph Gehlen

Lebenszyklus- und Qualitätsspezifikationen für Ingenieurbauwerke **169**
Assoc. Prof. Dipl.-Ing. Dr. nat. techn. Alfred Strauss, Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Gerhard Lener, Dipl.-Ing. Johannes Schmid, Ass. Prof. Jose Matos, Univ. Prof. Joan R. Casas

Versagenshäufigkeit und Versagenswahrscheinlichkeit von Brücken **189**
Dr.-Ing. habil. Dirk Proske

Brückenvielfalt rund um die Ostsee – Bericht zur Brückenexkursion 2017 ..... **203**
Dipl.-Ing. Oliver Steinbock, Dipl.-Ing. Sebastian May

Chronik des Brückenbaus **215**
Zusammengestellt von Dipl.-Ing. (FH) Sabine Wellner

Inserentenverzeichnis **231**

Einsatz unbemannter Flugsysteme im Brückenbau

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Jens Otto, Dipl.-Ing. Cornell Weller
Institut für Baubetriebswesen, TU Dresden

1 Einleitung

An Brücken und Ingenieurbauwerken sind in allen Lebenszyklusphasen eine Vielzahl von Dokumentations-, Vermessungs- und Überwachungsaufgaben durchzuführen. Bereits in frühen Planungsphasen von Verkehrswegen sind für den Entwurf einer Brücke Trassierungsdaten und Geoinformationen aufzunehmen. Während der Herstellung sind weiterführend Bauwerkskoordinaten, Abmessungen und Höhenprofile einzumessen und der Bauwerksfortschritt zu überwachen. In der Phase der Nutzung sind Brücken kontinuierlich zu prüfen, um den planmäßigen Betrieb und den Substanzerhalt zu gewährleisten. Für die benannten Aufgaben sind jedoch oft kostenintensive Zugangstechnik, Verkehrssicherungsmaßnahmen und Fachpersonal erforderlich. Um diese Kosten- und Zeitaufwendungen zu reduzieren, ist es vorstellbar, unbemannte Flugsysteme, sogenannte „Drohnen", für Transport-, Verrichtungs-, Dokumentations- und Überwachungs- oder Messaufgaben einzusetzen. Diese sind in der Lage, im Vergleich zu herkömmlichen Verfahren einen Großteil der Aufgaben in nahezu gleicher Qualität und mit teilweise erheblicher Kosteneinsparung durchzuführen. Inwieweit die derzeit verfügbaren Flug- und Monitoringsysteme diesem Anspruch aus technischer und wirtschaftlicher Sicht gerecht werden, ist Gegenstand dieses Aufsatzes.

Unbemannte Flugsysteme sind Fluggeräte, die ferngesteuert werden und keinen Piloten an Bord haben. Sie erfreuen sich zunehmend bei privaten und kommerziellen Nutzern großer Beliebtheit, zumal in den vergangenen Jahren die Anschaffungskosten für derartige Systeme stark gesunken sind. Für wenige hundert Euro können Geräte mit integrierter Foto- und Videofunktion, GPS-Empfänger, Navigations- sowie Start- und Landungshilfen erworben werden. Allerdings sind sich viele Nutzer der geltenden Regeln nicht bewusst und betreiben Flugsysteme auch außerhalb zulässiger Anwendungsvorschriften [1]. So wurden beispielsweise 2016 mehr als 60 Sichtungen unbemannter Flugsysteme von Flugzeugpiloten an die deutsche Flugsicherung gemeldet [2]. Die damit einhergehenden Gefährdungen haben das Bundesverkehrsministerium veranlasst, die Regularien für die Benutzung unbemannter Flugsysteme zu verschärfen. Seit Oktober 2017 müssen Betreiber an ihren Flugsystemen bereits ab 250 g Gesamtmasse, also inklusive Sonderausstattung, einen Eigentümernachweis anbringen und dürfen Geräte ab 2 kg nur mit dem Nachweis der Flugbefähigung, dem sogenannten „Drohnenführerschein", betreiben [3].

2 Anforderungen an den Einsatz unbemannter Flugsysteme

2.1 Bauarten und Ausführungsvarianten

Auch wenn die Flugsysteme in zahlreichen Bauarten und Ausführungsvarianten erhältlich sind, können diese nicht alle für die Belange des

Bild 1 Unbemannte Flugsysteme – Unterscheidung nach der Auftriebserzeugung; von links nach rechts: Starrflügler „IAI Heron", Drehflügler „DJI Inspire" mit 4 Rotoren, Drehflügler „DJI Spreading Wings" mit 8 Rotoren
Fotos: links, Mitte und rechts [4]

Brückenbaus eingesetzt werden. In den nachfolgenden Ausführungen werden Flugsysteme nach wesentlichen Unterscheidungsmerkmalen kategorisiert und nach ihrer Verwendungsfähigkeit für ortsgebundene Aufgaben analysiert. Das wesentlichste Unterscheidungsmerkmal ist die Art, wie der Auftrieb für den Flug erzeugt wird. Man unterscheidet in Starrflügler und Drehflügler (Bild 1).

Der Auftrieb wird bei Starrflüglern durch eine vorwärts gerichtete, vom Typ abhängige Minimalgeschwindigkeit erzeugt. Diese Geschwindigkeit muss vom Flugsystem beim Startvorgang erreicht und beim Landen bis zum Stillstand reduziert werden. Starrflügler sind daher für ortsgebundene Untersuchungen an Brückenbauwerken ungeeignet, da sie Aufgaben nur im Vorbeiflug durchführen können und immer eine ebene Start- und Landebahn benötigen. Bei Drehflüglern wird der Auftrieb durch Rotoren um eine vertikale Achse erzeugt. Dadurch können sie fest an einem Punkt in der Luft schweben und gezielt Untersuchungsobjekte nacheinander abfliegen. Sie starten und landen vertikal von einer kleinflächigen Start- und Landezone.

Weitere Unterscheidungsmerkmale sind die Anzahl der Rotoren, die Gesamtmasse des Fluggeräts, der Preis des Grundsystems, die Zuladungsmasse und die Art der Flugsteuerung. Tabelle 1 fasst dazu die wesentlichen Unterscheidungsmerkmale für im Brückenbau anwendbare Flugsysteme zusammen.

Tabelle 1 Unterscheidungsmerkmale von unbemannten Flugsystemen

<table>
<tr><th colspan="5">Drehflügler</th><th>Starrflügler</th></tr>
<tr><th>Anzahl der Rotoren</th><th>Gesamtmasse [ca.]</th><th>Anschaffungskosten</th><th>Steuerung</th><td rowspan="9">keine Anwendung im Brückenbau möglich</td></tr>
<tr><td>1</td><td>< 0,25 kg</td><td rowspan="4">Flugsysteme für Sport und Freizeit</td><td rowspan="3">manuell</td></tr>
<tr><td>2</td><td rowspan="2">0,25 kg bis < 2 kg</td></tr>
<tr><td>4</td></tr>
<tr><td>6</td><td rowspan="2">2 kg bis < 5 kg</td><td rowspan="2">teilautonom</td></tr>
<tr><td>8</td></tr>
<tr><td>10</td><td rowspan="2">5 kg bis 25 kg</td><td rowspan="3">Professionelle Flugsysteme</td><td rowspan="3">autonom</td></tr>
<tr><td>…</td></tr>
<tr><td></td><td>> 25 kg</td></tr>
</table>

Die Anzahl der Rotoren ist abhängig von der Bauart des Flugsystems. Konventionelle Hubschrauber besitzen einen vertikal ausgerichteten Hubrotor und einen Heckrotor. Diese traditionellen Vertreter der Drehflügler können durch ihren asymmetrischen Aufbau und den zentralen Rotor nur eingeschränkt mit Aufnahmegeräten (z. B. Kameras, Scanner) ausgerüstet werden [5]. Darüber hinaus erschwert dieser Aufbau die Manövrierfähigkeit in der Nähe von baulichen Anlagen. Unbemannte Hubschrauber können zwar für Aufgaben mit ausreichendem Abstand zum Untersuchungsobjekt eingesetzt werden, sind aber der Leistungsfähigkeit von symmetrischen Drehflüglern mit vier und mehr Rotoren unterlegen. Diese symmetrischen Flugsysteme erzeugen Vortrieb und Rotation durch die Drehzahländerung einzelner Rotoren. Durch integrierte Steuerkomponenten (z. B. Bordrechner, Flugregler, Software zur Lageorientierung und -stabilisierung) sind sie in der Lage, Positionen schnell anzusteuern und Windböen bis 15 km/h problemlos zu kompensieren [5].

Die Unterscheidung nach der Gesamtmasse ausgerüsteter Flugsysteme orientiert sich an den rechtlichen Anforderungen nach Luftverkehrsordnung (LuftVO) [6] und der Verordnung zur Regelung des Betriebs [3] von unbemannten Flugsystemen, s. Abschn. 2.2.

Die Anschaffungskosten sind abhängig von Modell und Ausstattung. Sehr einfache Flugsysteme für Sport- und Freizeitaktivitäten, die zumeist nur mit manueller Steuerung ausgerüstet sind, beginnen bei unter 100 Euro. Große professionelle Flugsysteme mit hoher Tragfähigkeit, teilautonomen oder autonomen Steuerungskomponenten und spezifischen Ausrüstungsvarianten können mehrere zehntausend Euro kosten.

2.2 Rechtliche Grundlagen

Unbemannte Flugsysteme sind nach Luftverkehrsgesetz (LuftVG) [7] Luftfahrzeuge, wenn sie *„[…] mehr als dreißig Meter über Grund oder Wasser […] und nicht zu Zwecken des Sports oder der Freizeitgestaltung betrieben werden."* Bedingungen und Einschränkungen für den Betrieb von Luftfahrzeugen sind in der Luftverkehrsordnung (LuftVO) [6], der Luftverkehrs-Zulassungs-Ordnung (LuftVZO) [8] und der „Verordnung zur Regelung des Betriebs von unbemannten Fluggeräten" [3] geregelt. Mit letzterer Verordnung wurden zahlreiche Änderungen in die LuftVO und LuftVZO übernommen. Durch die neuen Regeln sollen Gefährdungen, wie einleitend erwähnt, möglichst verhindert werden.

In Tabelle 2 sind die wesentlichen Festlegungen und Nutzungsbeschränkungen zusammengestellt.

Tabelle 2 Pflichten und Regeln beim Betrieb unbemannter Flugsysteme [6], [8]

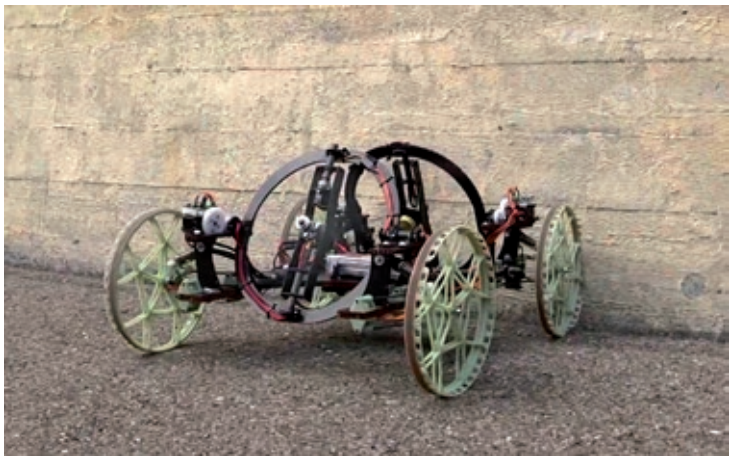
Bestimmung	Beschreibung	geregelt in
Kennzeichnungspflicht	festmontierte Besitzplakette am Flugsystem (Name und Adresse) bei einer Gesamtmasse > 250 g	§ 19 LuftVZO
Kenntnisnachweis	Nachweis besonderer Kenntnis zur Navigation des Flugsystems, luftrechtlicher Grundlagen und örtlicher Luftraumordnung bei einer Gesamtmasse > 2 kg (Mindestalter 16 Jahre)	§ 21 a Abs. 4 LuftVO
Erlaubnispflicht	Erlaubnis durch die zuständige Landesluftfahrtbehörde ❑ ab 5 kg Gesamtmasse ❑ mit Verbrennungsmotor ❑ Flughöhe über 100 m ❑ Betrieb in Gebieten mit erhöhtem Gefährdungspotenzial ❑ Nachtflüge ❑ innerhalb von 1,5 km zu Flugplätzen ❑ Ausnahmegenehmigungen zu den Flugverboten ❑ Betrieb außerhalb der Sichtweite des Steuerers	§ 21 a LuftVO
Flugverbote	über Menschansammlungen (+ 100 m seitlicher Abstand), Unglücksorten, Katastrophengebieten, militärischen Anlagen, Justizvollzugsanstalten, Industrieanlagen, Einsatzorten von Behörden, Anlagen der Energieerzeugung und -verteilung, Bundesfernstraßen, Bundeswasserstraßen, Bahnanlagen, Bundesnaturschutzgebieten, Grundstücken der Verfassungsorgane, Krankenhäusern, Wohngebieten und einige mehr	§ 21 b LuftVO
Betriebsverbot	Flugsysteme mit einer Gesamtmasse > 25 kg	§ 21 b LuftVO

Die Vorschriften werden durch Nebenbestimmungen und Hinweise (z. B. in den Nachrichten für Luftfahrer) ergänzt, die regelmäßig von der Deutschen Flugsicherung herausgegeben werden. Diese beinhalten weiterführende Verhaltensregeln, die beim Betrieb von Flugsystemen zu beachten sind [9]. Darin werden beispielsweise Vorgaben zur Absicherung von Start- und Landeplätzen oder zu Notfallverfahren bei Funkausfall formuliert.

2.3 Systemanforderungen

Flugsysteme lassen sich nach ihrer Verwendung in universelle und spezialisierte Geräte unterscheiden. Die Anforderungen an die Flugsysteme sind vergleichsweise sehr unterschiedlich. Während Spezialgeräte so konstruiert werden, dass sie eine Aufgabe sehr präzise durchführen können, sind universelle Flugsysteme für eine Vielzahl von Anwendungen einsetzbar. Bild 2 zeigt zwei spezialisierte Geräte. Das linke Bild zeigt den von der ETH Zürich und Disney entwickelten „Rollroboter VertiGo". Dieser kann rollend an Wänden entlanggeführt werden und dabei punktgenaue Aufnahmen oder Untersuchungen am Bauwerk durchführen [10]. Das rechte Bild zeigt die „Ball-Drohne R2D2" des Fraunhofer Institutes für Materialfluss und Logistik. Dieses spezialisierte Flugsystem wurde für Transportaufgaben entwickelt, es kann zwar fliegen, bewegt sich aber überwiegend rollend fort [11].

Für einen universellen Einsatz von Flugsystemen im Lebenszyklus von Bauwerken, insbesondere im Brückenbau, eignen sich robuste Geräte, die individuell ausgerüstet und unter den örtlichen Umgebungsbedingungen zuverlässig gesteuert werden können (z. B. Drehflügler im Bild 1).



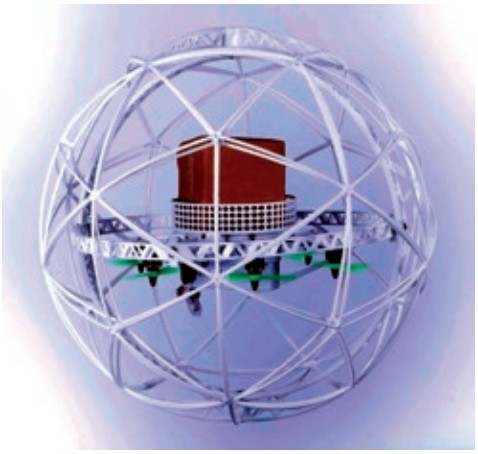


Bild 2 Spezialisierte unbemannte Flugsysteme; links: Spezialgerät „VertiGo“, rechts: Spezialgerät „Ball-Drohne R2D2“ Fotos: links [10], rechts [11]

In der Anschaffungsplanung eines unbemannten Flugsystems sind Aufwendungen und Nutzen nach den folgenden Gesichtspunkten abzuwägen:

- Anschaffungskosten und Kosten für die Steuererausbildung,
- Wirtschaftlichkeit der Datenaufnahme gegenüber konventionellen Verfahren,
- notwendige Datenqualität der Aufnahmegeräte,
- Nutzungskosten (z. B. Versicherung, Reparatur),
- Sicherheitsrisiken.

Der Aufbau universeller Flugsysteme orientiert sich an den Anforderungen des Flugs (s. Abschn. 2.4) und den Einsatzzwecken. Die Konstruktion wird in Standardkomponenten (Fluggerät) und spezifische Komponenten (Anbaugerät) unterteilt und ist nach der notwendigen Traglast, den Einsatzbedingungen und den Untersuchungsaufgaben auszuwählen. Die Standardkomponenten bestimmen die Geometrie des Flugsystems, bilden die Grundlage für den sicheren Flug im manuellen Betrieb und ermöglichen die gezielte Ausrichtung des Flugsystems zur Datenerfassung [1]. Die möglichen Flugmanöver im (teil-)autonomen Flug und die Art der Drohnennutzung bestimmen die Ausrüstung mit spezifischen Komponenten (z. B. Kamera, Sensoren). Zur Maximierung der Betriebszeit ist bei der Auswahl der Komponenten

Tabelle 3 Typische Komponenten unbemannter Flugsysteme [5]

Standardkomponenten	Basissystem	Trägerplattform, Motoren, Propeller, Motorregler, Akkus, Sender (Fernbedienung), Propellerschutz
	Zusatzsensorik	Navigationskamera, Sensoren (Beschleunigung, Kompass, Temperatur, Spannung, Ultraschall), Gyroskop, Magnetometer, GPS-Empfänger, Barometer
	Zusatzsteuerung	Bordrechner, Flugregler, Software für Lagestabilisierung, Start- und Landehilfen
spezifische Komponenten	spezifische Sensorik	RGB-Kamera, Laserscanner, Infrarotkamera, Stereokamera, Sensoren (Licht, Feuchte, elektrochemische), Teilchen- und Strahlungsdetektoren
	spezifische Steuerung	Bordelektronik und Software zur Navigation, Hinderniserkennung, Bewegungsführung, Steuerungsmechanismen für spezifische Sensorik
	spezifische Anbauten	Schutz-, Steuerungs- und Haltesysteme für spezifische Sensorik

darauf zu achten, die Zuladungsmasse möglichst gering zu halten, um den Stromverbrauch und damit Akkuwechselzeiten zu reduzieren. In Tabelle 3 werden die typischen Komponenten unbemannter Flugsysteme vorgestellt.

Die Einsatzmöglichkeiten von Flugsystemen im Brückenbau können sehr vielfältig sein. Sie richten sich einerseits nach der derzeit verfügbaren flugsystemtauglichen Gerätetechnik, andererseits nach den für Brücken typischen Aufgaben. Als universelle Grundausstattung wird meist eine hochauflösende RGB-Kamera verwendet, die durch weitere Geräte (z. B. Laserscanner und Sensoren) ergänzt werden kann. Die spezifische Sensorik sollte austauschbar sein und in der Flugplanung an die jeweilige Untersuchungsaufgabe angepasst werden. Im Bild 3 werden ausgewählte professionelle Untersuchungsgeräte für Messaufgaben und zur Beurteilung von Oberflächen vorgestellt. Die Auswahl wurde im Forschungsprojekt „Adaptive föderative 3D-Exploration mit Multi-Roboter-Systemen“ (ADFEX) der Technischen Universität Dresden getestet [12].

Mit einem *Laserscanner* lassen sich Oberflächenstrukturen in einer Punktwolke erfassen. Durch Transformation aller Punkte in ein übergeordnetes Koordinatensystem kann eine dreidimensionale Darstellung des aufgenommenen Objektraumes erzeugt werden. In diesem erzeugten 3D-Modell können alle geometrischen Berechnungen durchgeführt werden [13]. Der Laserscanner Hokuyo UTM-30LX-EW mit Anschaffungskosten von ca. 4.500 Euro (Stand: 10/2017) wiegt 210 g und hat eine Reichweite von 30 m bei einer Genauigkeit von ± 50 mm. Die Abweichung reduziert sich im Nahbereich auf ± 30 mm [14]. Typische Einsatzszenarien sind hierbei der Scan von Geländeoberflächen als digitales Geländemodell (DGM) oder von Bauteilen (z. B. Tragschichten, Fundamente, Pfeiler, Überbauten, Deckschichten) als Aufmaß für die Mengenermittlung/Abrechnung oder Qualitätskontrolle. Bei verfeinerter Scantechnik ist auch ein Oberflächenaufmaß von Deckflächen als Grundlage für die Berechnung der Ausgleichsgradiente denkbar.

Kameras als wahrscheinlich wichtigstes Werkzeug, um Oberflächen und Objekte in Bild und Videosequenzen zu begutachten, gibt es in zahlreichen Qualitäten und Preiskategorien. Sie können fest mit der Trägerplattform verbunden sein oder zum Ausgleich von Bewegungen und Vibrationen und zur optimalen Objektausrichtung auf einer professionellen Kamerahalterung montiert werden (z. B. Walkera G-3D Gimbal zum Preis von ca. 200 Euro, Stand: 10/2017) [15]. Sind handelsübliche hochauflösende Kameras mit 1 kg bis 2 kg zu schwer, sind Industriekameras eine leichtere Alternative. Ein Beispiel dafür ist die 8-Megapixel-RGB-Kamera Prosilica GT3300C von Allied Vision mit Anschaffungskosten von ca. 4.000 Euro (Stand: 10/2017) und einer Masse von 314 g (ohne

Bild 3 Spezifische Untersuchungsgeräte und Kamerahalterung; von oben links nach unten rechts: Laserscanner (hier: Hokuyo UTM-30LX-EW), RGB-Kamera (Prosilica GT3300C), Wärmebildkamera (FLIR A65), Kamerahalterung (Walkera G-3D Gimbal)
Fotos: www.hokuyo-aut.jp | www.alliedvision.com | www.flir.de | www.walkera.com

Objektiv). Sie ist besonders für den Einsatz unter schwierigen Umgebungsbedingungen (Betriebstemperatur -20 °C bis +60 °C) und schwankenden Lichtverhältnissen geeignet [16]. Qualifizierte Bild- und Videoaufnahmen an schwer zugänglichen Orten, teilweise in Ergänzung zum Laserscannen, sind typische Anwendungsbereiche.

Zur Auswertung von Temperaturdifferenzen der Objektoberflächen eignen sich *Wärmebildkameras*. In thermografischen Untersuchungen können organische Objekte (z. B. Bewuchs oder Moos am Bauwerk), Wärmebrücken, Rissen oder Durchfeuchtungen (z. B. wasserführende Bauschäden) detektiert werden. Dafür eignet sich beispielsweise die 200 g leichte Wärmebildkamera FLIR A65 mit Anschaffungskosten von ca. 7.000 Euro (Stand: 10/2017) [17]. Die Kamera erzeugt ein Falschfarbenbild, welches ein Indikator für die Temperatur der Objektoberflächen ist. Bild 4 zeigt eine durchfeuchtete Mauerwerkswand, die mit der Wärmebildkamera FLIR A65 aufgenommen wurde. In dem Falschfarbenbild werden durchfeuchtete Bereiche blau und Abplatzungen hellgrün dargestellt.

In der Anschaffungs- und Einsatzplanung für die spezifischen Komponenten des Flugsystems sind folgende Faktoren zu berücksichtigen:

- ❑ Nutzlast des Flugsystems,
- ❑ Umgebungsbedingungen am Flugort,
- ❑ Untersuchungsaufgaben des Einsatzszenarios,
- ❑ Qualitätsanforderungen an das Gerät und den Output (Bild, Video, Punktwolke),
- ❑ Anschaffungskosten,
- ❑ Kompatibilität mit weiteren spezifischen Komponenten,

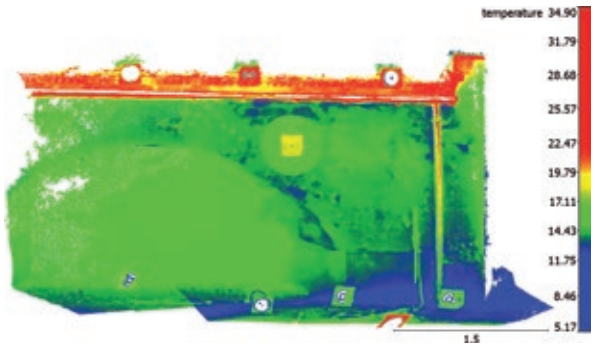


Bild 4: Thermografische Aufnahme einer durchfeuchteten Mauerwerkswand (durchfeuchtete Bereiche: blau, Abplatzungen: hellgrün)
Grafik: aus [18]

- ❑ Robustheit und
- ❑ Wiederverwendungsfähigkeit.

2.4 Anforderungen an den Flug

Außer den rechtlichen Anforderungen bei der Verwendung von Flugsystemen (s. Abschn. 2.2) sind die Einsatz- und Umgebungsbedingungen am Flugort sowie Sicherheitsanforderungen bei der Einsatzplanung zu berücksichtigen.

Einsatz- und Umgebungsbedingungen. Aus dem Forschungsprojekt der TU Dresden konnten Einsatz- und Umgebungsbedingungen für den sicheren Betrieb von universellen Flugsystemen bestimmt werden. Sind Flüge außerhalb der folgenden Einsatz- und Umgebungsbedingungen erforderlich, ist im Einzelfall zu prüfen, ob mit der Erfahrung des Steuerers und den vorhandenen Flugsystemkomponenten der Einsatz durchgeführt werden kann.

- ❑ **Start- und Landeplatz:** Ein ebener Platz von mindestens 5 m × 5 m und maximaler Neigung von ≤ 5 ° gewährleistet sicheres Starten und Landen. Der Platz sollte für den Steuerer gut einsehbar und zugänglich sein. Beim Starten und Landen auf Flächen mit Bewuchs ist auf eine geringe Schnitthöhe der Vegetation zu achten.
- ❑ **Abstand zu Objekten und Topografie:** Zu Objekten (z. B. Gebäude, Bäume, Kräne) sollte zur Vermeidung von Kollisionen ein Mindestabstand von ≥ 3 m eingehalten werden. Dieser Abstand gewährleistet ausreichend Sicherheit zur Lagestabilisierung und Einflüsse durch Ansaug- und Verwirbelungseffekte werden weitgehend ausgeschlossen. Die Menge an Objekten im Untersuchungsgebiet beeinflusst den Flugweg, die Zuwegung und den Untersuchungsaufwand. Für eine detaillierte Flugplanung und zur Vermeidung von Kollisionen oder sogar Abstürzen sind die Umgebungseinflüsse in Vorortbegehungen aufzunehmen.
- ❑ **Niederschlag und Sichtverhältnisse:** Bei Niederschlag sollte zum Schutz der Systemkomponenten nicht geflogen werden. Montierte Abdeckungen schützen nur kurzzeitig und bedingt gegen eindringende Feuchtigkeit. Flugsysteme müssen nach LuftVO [6] § 21b Abs. 1 Nr. 1 auf Sicht geflogen werden. Nur unter bestimmten Voraussetzungen und mit Erlaubnis (s. Abschn. 2.2) sind Flüge außerhalb der Sichtweite des Steuerers und bei Nacht durchführbar. Für eine gute Sicht sind stören-

de Einflüsse, z. B. durch schlechte Lichtverhältnisse in der Dämmerung oder sehr starke Bewölkung, durch Nebel oder bei einer hohen Staubbelastung, zu vermeiden. Außerdem können durch den Abgleich der klimatischen Bedingungen mit den Grenzwerten der Flugsystemkomponenten Flugzeiten im Tagesverlauf und Untersuchungstage im Jahresverlauf ermittelt werden.

- **Windbelastung:** Professionelle Flugsysteme mit mehr als 2 kg Gesamtmasse können Windstärken von 8 km/h und Windböen bis 15 km/h problemlos kompensieren. Bei höheren Windgeschwindigkeiten besteht die Gefahr von Positionsabweichungen, Beschädigungen, Abstürzen und schlechter Datenqualität durch Vibrationen.

- **Temperatur:** Flüge sollten in einem Temperaturbereich von +5 °C bis +30 °C durchgeführt werden. Der Betrieb von Flugsystemen außerhalb dieses Bereiches kann zum Ausfall von Systemkomponenten führen.

Sicherheitsanforderungen. Der Gesetzgeber hat mit der „Verordnung zur Regelung des Betriebs von unbemannten Fluggeräten“ [3] auf die exponentielle Zunahme an Neuerwerbungen und auf die Gefahren aus regelwidrigem Gebrauch reagiert. Die Sicherheit des Steuerers und vor allem unbeteiligter Dritter haben oberste Priorität beim Einsatz unbemannter Flugsysteme. Zur Vermeidung von Abstürzen durch betriebsbedingte Einflüsse (z. B. Funkausfall, Rotorausfall, Energieabfall der Akkus) sollten professionelle Flugsysteme mit einer Failsafe-Funktion ausgestattet sein. Das Flugsystem sollte z. B. bei Ausfall der Funkverbindung selbst landen oder die letzte Position in der Luft halten können, bis die Funkverbindung wiederhergestellt ist. Bei einem Rotorausfall oder Energieabfall sollten Flugsysteme noch sicher manuell gelandet

Tabelle 4 Einsatzmöglichkeiten unbemannter Flugsysteme im Lebenszyklus von Brücken

	Vermessung	Dokumentation und Überwachung	Transport
Planungsphase	❑ Baugrundvermessung (3D-Modell, Urgeländeaufnahme, DGM)	❑ Dokumentation des ursprünglichen Zustandes ❑ Dokumentation der vorhandenen Tier- und Pflanzenwelt ❑ Dokumentation des Verkehrsaufkommens	❑ Keine Anwendung
Bauphase	❑ Massenermittlungen ❑ Erdabtrag, Felsabtrag ❑ Erdauftrag, Verfüllungen ❑ Trassierungsprüfung und Prüfung der Bauwerksgeometrie zu Planvorgaben (Ausgleichsgradiente) spezifische Vermessungsaufgaben (Verformungen, Setzungen, Rissweiten)	❑ Baufortschrittsdokumentation ❑ Überwachung von Vorgängen ❑ Mangel- oder Schadensdokumentation ❑ Erkundung von Bohrungen für Bohrpfähle oder schwer zugänglichen Hohlkästen	❑ Material- und Kleingerätetransport
Nutzungsphase	❑ Veränderungsdokumentation ❑ Bauwerksgeometrie ❑ Erdauftrag (Dämme) ❑ 3D-Modellierung von Bestandsbrücken	❑ Bauwerksinspektionen ❑ Mängel und Schäden (Risse, Korrosion) ❑ Veränderungen (Verformungen, Setzungen) ❑ Verschmutzungen, Durchfeuchtungen, Bewuchs ❑ Überwachung des Verkehrs ❑ Überwachung bei/nach Ereignissen (Hochwasser, Erdbeben) ❑ Zeitrafferaufnahmen von Veränderungen (Erosion, Vegetation)	❑ Material- und Kleingerätetransport ❑ Datentransport
Abbruchphase	❑ Messtechnische Überwachung der Abbrucharbeiten	❑ Bauwerksinspektion zur Abbruchplanung ❑ Dokumentation der Abbrucharbeiten ❑ Dokumentation der Rekultivierungsarbeiten	❑ Material- und Kleingerätetransport

werden können. Um Personenschäden bei unkontrollierbaren Abstürzen (z. B. Kollisionen, Vogelschlag, Systemausfall, Windböen) auszuschließen, sind die genehmigungsrechtlichen Vorschriften (s. Abschn. 2.2) einzuhalten. Zur Eigensicherung und als Signalwirkung für Dritte insbesondere auch auf Baustellen sollte das Steuererteam Schutzausrüstung (Warnweste, Schutzbrille, Arbeitsschutzschuhe, Schutzhelm) tragen und ggf. das Flugfeld mit Warnschildern absichern.

3 Einsatzszenarien im Brückenbau

Verwendungsmöglichkeiten von Flugsystemen im gesamten Lebenszyklus von Brückenbauwerken lassen sich von den allgemeinen zivilen Anwendungen ableiten. Danach können Flugsysteme zu Transport-, Verrichtungs-, Dokumentations-, Überwachungs- und Messaufgaben eingesetzt werden. In Tabelle 4 sind Einsatzmöglichkeiten von Flugsystemen den allgemeinen zivilen Anwendungsfällen und den Lebenszyklusphasen von Brücken zugeordnet.

Vermessung. Für Vermessungsaufgaben müssen Flugsysteme mit Geräten ausgerüstet sein, die mittels Fernerkundungsverfahren räumliche Objekte rekonstruieren können. Dafür eignen sich Radargeräte und Laserscanner. Während Radar vornehmlich zur Hinderniserkennung und Kollisionsvermeidung eingesetzt wird, werden Laserscanner zur Geometrieerfassung von Objekten verwendet. Darüber hinaus können mit photogrammetrischen Aufnahmen die dreidimensionale Form und die räumliche Lage von Objekten bestimmt werden [13].

In Planungs- und Bauphasen (Herstellung, Umbau- und Erweiterungsmaßnahmen) sind Flugsysteme geeignet, um das Urgelände im Baugebiet sowie Erdmassenbewegungen und -einbau zu erfassen. Dazu wird im Postprozess aus einer 3D-Punktwolke des Laserscanners ein 3D-Modell des profilierten Geländes erzeugt. In diesem Modell können Längen, Flächen und Volumen für die Angebotsbearbeitung, als Planungsgrundlage oder die Abrechnung ermittelt werden. Zu beachten ist dabei, dass die Genauigkeit der Datenaufnahme durch die Lagestabilität im Vermessungsflug, die Abweichungen des Laserscanners (s. Abschn. 2.3) und durch Bewuchs beeinflusst wird. Insbesondere im Erdbau und beim Aufmaß schwer zugänglicher Bauteile ist diese Technologie im Vergleich zu herkömmlichen Varianten eine wirtschaftliche Alternativen.

In der Bau- und Nutzungsphase können photogrammetrische Aufnahmen und Vermessungen mit Laserscanner durchgeführt werden, um die Lage des Bauwerks zur geplanten Trassierung zu überprüfen oder Veränderungen (z. B. Hangrutschungen, Bauteilverformungen) zu dokumentieren und zu überwachen.

Dokumentation und Überwachung. In allen Lebenszyklusphasen einer Brücke können zahlreiche Dokumentations- und Überwachungsaufgaben für Flugsysteme lokalisiert werden. In der Planungsphase eignen sich Flugsysteme zur Dokumentation des ursprünglichen Zustandes. Insbesondere dienen Landschafts- und Gebäudeaufnahmen zur Beweissicherung. Zudem können Luftbild- und Videoaufnahmen des vorhandenen Verkehrsaufkommens hilfreich sein, um Staugefahren und Unfallschwerpunkte für die Verkehrswegeplanung zu ermitteln.

Die Dokumentation des Baufortschritts ist zentraler Bestandteil in der Bauabwicklung und erfolgt üblicherweise durch das Führen eines Bautagebuches. Durch Luftbild-, Video- und Zeitrafferaufnahmen mit einem Flugsystem lassen sich die Eintragungen im Bautagebuch untersetzen. Überdies können Flugsysteme zur Überwachung gefährlicher oder spezieller Vorgänge eingesetzt werden.

Das wahrscheinlich breiteste Einsatzfeld für Flugsysteme bietet die Nutzungsphase. Mit ausgerüsteten Flugsystemen (hochauflösende Kameras, Laserscanner) können Bauwerksinspektionen für die Zustandsfeststellung und zur Dokumentation von Veränderungen durchgeführt werden. Außerdem sind Überwachungen von Verkehr, Umweltbedingungen und Einwirkungen auf das Bauwerk mögliche Einsatzszenarien. Auf das Szenario der Bauwerksinspektion wird im Folgenden etwas ausführlicher eingegangen.

Brücken im Zuge von Verkehrswegen sind nach DIN 1076 [19] kontinuierlich zu überwachen und zu prüfen. In der Norm sind Prüfintervalle und Prüfmethoden definiert und Bewertungskriterien (Standsicherheit, Verkehrssicherheit, Dauerhaftigkeit) vorgegeben. Ergänzt wird die Norm durch weitere Erhaltungsvorschriften. Wesentliche Vorschriften sind die Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauwerken (RI-ERH-ING), die Anweisung Straßeninformationsbank (ASB-ING) [20] und die Vorschriften für Ingenieurbauwerke der Deutschen Bahn (Module 804.8001 ff.) [21]. Im Rahmen dieser Regelwerke sind Flugsysteme bei einer Vielzahl von Inspektionen einsetzbar. Universelle Flugsysteme (ohne Spezialsysteme wie beispielsweise Bild 2) sind Distanzdiagnosemittel, mit denen kontaktlos Bauwerksteile besichtigt werden können. Daraus schlussfolgend können

Flugsysteme nur bedingt bei Hauptprüfungen nach DIN 1076, die als „handnahe" Prüfung definiert ist, eingesetzt werden. Einsatzmöglichkeiten ergeben sich damit hauptsächlich bei:

- einfachen Prüfungen, Besichtigungen, laufenden Beobachtungen und Sonderprüfungen nach DIN 1076,
- Vorabinspektionen zu Hauptprüfungen nach DIN 1076,
- Überwachungsflügen und
- einem dauerhaften Bauwerksmonitoring.

Für diese Untersuchungen sind Brücken geeignet, die hindernisfrei angeflogen oder nur mit erheblichem Aufwand von Personen besichtigt werden können. Hindernisse des Inspektionsflugs sind Störungen durch Gelände, Bewuchs oder Nachbarbebauung. Als nur mit erheblichem Aufwand zu inspizieren, gelten Bauwerke oder Bauwerksteile, die sich in einem Gefahrenbereich befinden (z. B. Einsturzgefahr, Gefahr durch elektrischen Strom), schwer zugänglich sind (Bereiche über Flüssen oder in großen Höhen) oder bei denen die Untersuchungen viel Zeit benötigen und hohe Kosten verursachen, z. B. für Befahrungsgeräte und damit zusammenhängende Verkehrssicherungsmaßnahmen auf Brücken.

In der Abbruchphase können Flugsystem zur Unterstützung der Abbruchplanung durch Vorabinspektion des Bauwerkszustandes oder zur Überwachung von Abbrucharbeiten eingesetzt werden. Außerdem können Luftbildaufnahmen des Abbruchgebietes für Rekultivierungsmaßnahmen herangezogen werden.

Transport. Die Verwendung von Flugsystemen zu Transportzwecken ist im Brückenbau eher unbedeutend. Allerdings können im Bauwesen spezielle Transportaufgaben mit Flugsystemen in unzugänglichen Gebieten eine hilfreiche Unterstützung sein, z. B. Transport von Führungsseilen beim Einhub großer Bauteile (Bild 5) [22], ebenso angewendet bei der Errichtung der Xingkang-Brücke in China [23].

Bild 5 Seiltransport mit unbemanntem Flugsystem
Foto: Juliane Kühnemund [22]

Bei der Herstellung von besonders hohen Brücken sind Transportaufgaben mit einem Flugsystem vorstellbar. Leichte Werkzeuge oder Materialien (innerhalb der zulässigen Nutzlast) können zwischen Arbeitsplattform und Grund hin und her geflogen werden. Zu beachten ist dabei, dass das Flugsystem mit einer geeignete Aufnahmeeinrichtung auszurüsten ist. Für die Entscheidung, ein Flugsystem auf Baustellen zu Transportzwecken einzusetzen, sind Aufwendungen für Personal (Steuerer), zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen, Gerätekosten und das Nutzlast-Flugdauer-Verhältnis gegenüber dem Nutzen abzuwägen. Kann z. B. ein Kran alle Arbeitsebenen bedienen, ist der Einsatz eines Flugsystems kaum von Nutzen.

Neben Gegenständen können Flugsysteme auch Daten transportieren. In der Nutzungsphase ist ein mögliches Szenario die „Elektronische Akte im Bauteil". Dafür werden RFID-Sensorsysteme zur sicheren Identifikation von Bauteilen und zur Überwachung von Materialparametern in Bauwerksteile integriert. Das Flugsystem kann durch nahes Heranfliegen an das gekennzeichnete Bauteil Daten an den RFID-Transponder übertragen und gespeicherte Daten des Transponders auslesen [24].

4 Wirtschaftliche Bewertung

Ob Flugsysteme für Aufgaben in der Planung, Errichtung und Nutzung von Brückenbauwerken eingesetzt werden sollten, ist neben qualitativen und zeitlichen Kriterien auch ökonomisch zu beurteilen. Denn nur, wenn die Aufgabenabwicklung mit Flugsystemen gegenüber konventioneller Aufgabenbewältigung wirtschaftlicher, schneller oder in einer besseren Qualität durchgeführt werden kann, ist eine Investition empfehlenswert. In der nachfolgenden Betrachtung wird die Wirtschaftlichkeit von Flugsystemen für Vermessungs-, Dokumentations-, Überwachungs- sowie für Transportaufgaben qualitativ bewertet. Für die Anwendungsfälle aus Tabelle 4 wurden generelle und besondere Kostenfaktoren bestimmt und eine Einschätzung (€ = geringe Kosten, €€ = mittlere Kosten, €€€ = hohe Kosten) auf Grundlage der Analysen im Forschungsprojekt der TU Dresden abgegeben (Tabelle 5).

Tabelle 5 Aufwendungen für Einsatzmöglichkeiten unbemannter Flugsysteme im Brückenbau [5]

Generelle Kosten beim Einsatz von Flugsystemen	❑ Abschreibung, Verzinsung, Wartung und Reparatur für Investitionen in Flugsystem und Ausrüstung (Anbauten, spezifische Sensorik)	€€€
	❑ Akkuaufladung	€
	❑ Einrichtung/Beräumung von Sicherheitsbereichen und Sicherheitshinweisen für Verkehrsteilnehmer (persönliche Schutzausrüstung, Warnhinweise)	€
	❑ Genehmigungen (Aufstiegserlaubnis, Verkehrsrechtliche Anordnung)	€
	❑ Verkehrssicherungsmaßnahmen	€
	❑ Steuererausbildung	€€€
	❑ Versicherungen	€€
Besondere Kosten bei Vermessungsaufgaben	❑ Kalibrierungsaktivitäten (Referenzmarken, Objektiv, Scannerausrichtung)	€
	❑ Durchführung von Vermessungsflügen mit dem Flugsystem (Häufigkeit)	€€
	❑ Datenauswertung (Punktwolke; Herausrechnung von Bewuchs, Bestimmung der Messfehler)	€€
	❑ ggf. Wiederholungsflüge (wegen Verschattungen, Störungen)	€€
	❑ Datenauswertung im Postprozess (Digitales Geländemodell, Massenermittlungen, 3D-Modell)	€€
Besondere Kosten bei Dokumentations- und Überwachungsaufgaben	❑ Durchführung von Flügen mit dem Flugsystem (Häufigkeit)	€€
	❑ Datenauswertung im Post-Prozess	€€
	❑ ggf. personelle Nachprüfung bei Bauwerksinspektionen	€€€
Besondere Kosten bei Transportaufgaben	❑ Durchführung von Flügen mit dem Flugsystem (Häufigkeit)	€€

5 Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass der Einsatz unbemannter Flugsysteme im Brückenbau ein nicht unbedeutendes Innovationspotenzial bietet. Mit dieser neuen Technik sind Einsatzmöglichkeiten identifizierbar, die bisher undenkbar waren und in neuen innovativen Dienstleistungen Anwendung finden werden. Für einen kontinuierlichen Einsatz im Lebenszyklus von Brücken wird es zukünftig entscheidend sein, dass nicht nur die Energiesysteme von Fluggeräten verbessert werden, sondern auch leistungsfähige, fluggerätetaugliche und kostengünstige Komponenten bereitgestellt werden. In Anbetracht der derzeit rasch voranschreitenden Entwicklung auf dem Gebiet der Sensorik, Baurobotik und Digitalisierung kann die Bauwirtschaft auf die zukünftigen Veränderungen gespannt sein. Letztendlich werden auf Baustellen in Zukunft derartige Flugsysteme genauso üblich anzutreffen sein, wie derzeit Nivelliergeräte und Wasserwagen.

Literatur

[1] Schach, R.; Weller, C.: Bauwerksinspektion mit unbemannten Flugsystemen. Bauingenieur 92 (2017), S. 271–279.

[2] DFS – Deutsche Flugsicherung: DFS bringt die bemannte und unbemannte Luftfahrt zusammen. Pressemitteilung, Langen, 15.11.2016 – online unter: https://www.dfs.de/dfs_homepage/de/Presse/Pressemitteilungen/2016/15.11.2016.-%20Kooperation%20auf%20hohem%20Niveau/.

[3] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg.): Verordnung zur Regelung des Betriebs von unbemannten Fluggeräten. Bonn: Bundesanzeiger Verlag, 4/2017.

[4] Homepage Pixabay: https://pixabay.com/de/flugzeug-heron-freigestellt-flug-2775946/; https://pixabay.com/de/drohne-multicopter-dji-inspire-1080844/ und https://pixabay.com/de/drohne-hexacopter-uav-rpas-2168938/.

[5] Schach, R.; Weller, C.: Bauwerksüberwachung mit Flugrobotern. In: Kaliske, M.; Graf, W. (Hrsg.): Tagungsband zum 19. Dresdner Baustatik-Seminar – Herausforderungen und neue Lösungen für die Tragwerksplanung, 23.10.2015 in Dresden, Dresden: Institut für

Statik und Dynamik der Tragwerke der TU Dresden, 2015, S. 91–114.
[6] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz (Hrsg.): LuftVO: Luftverkehrs-Ordnung. Berlin, mit Änderung 3/2017.
[7] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz (Hrsg.): LuftVG: Luftverkehrsgesetz. Berlin, 6/2016.
[8] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz (Hrsg.): LuftVZO: Luftverkehrs-Zulassungs-Ordnung. Berlin, mit Änderung 3/2017.
[9] DFS – Deutsche Flugsicherung (Hrsg.): NFL 1-1163-17 Nachrichten für Luftfahrer. https://www.dfs.de/dfs_homepage/de/Unternehmen/Richtlinien/1-1163-17.pdf. Bonn, 10/2017.
[10] Homepage Disney Research: https://www.disneyresearch.com/publication/vertigo/.
[11] Homepage Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik (IML): https://www.iml.fraunhofer.de/de/presse_medien/pressemitteilungen/ein_r2d2_fuer_die_logistik.html.
[12] Homepage zum Forschungsprojekt ADFEX: http://adfex.wcms-file2.tu-dresden.de/.
[13] Mader, D.; Blaskow, R.; Westfeld, P.; Maas, H.-G.: UAV-based acquisition of 3D point cloud – a comparison of a low-cost Laser Scanner and SFM-tools. ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information, Sciences XL-3/W3 (2015), S. 335–341.
[14] Homepage Hokuyo Autmatic Co., Ltd.: Produktinformation UTM-30LX-EW. https://www.hokuyo-aut.jp/search/single.php?serial=170.
[15] Homepage Walkera Technology Co., Ltd.: Produktinformation Gimbal Walkera G-3D. http://www.walkera.com/index.php/Goods/canshu/id/29.html.
[16] Homepage Allied Vision Technologies GmbH: Produktinformation Prosilica GT 3300C. http://www.walkera.com/index.php/Goods/canshu/id/29.html.
[17] Homepage FLIR Systems, Inc.: Produktinformation FLIR A65. http://www.flir.com/automation/display/?id=56341.
[18] Mader, D.; Blaskow, R.; Westfeld, P.; Weller, C.: Potential of UAV-based Laser Scanner ad Multispectral Camera Data in Building Inspection. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information XLI-B1 (2016) – Proc. of XXIII ISPRS Congress, 12.–19.7.2016 in Prague (Czech Republic), S. 1135–1142 – doi:10.5194/isprsarchives-XLI-B1-1135-2016.
[19] DIN 1076:1999-11: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen.
[20] Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung (BMVBS, Hrsg.): ASB-ING Anweisung Straßeninformationsbank. Berlin, 10/2013.
[21] Deutsche Bahn Netz AG (Hrsg.): Module 804.8001 ff., Ingenieurbauwerke planen, bauen und instand halten. 2/2008.
[22] Kühnemund, J.: Premiere: Drohne hilft bei Arbeiten für 110.000-Volt-Leitung. In: Badische Zeitung (Hrsg.): Achtmal über die Wutach und zurück, 12.5.2017, Freiburg, Homepage Badische Zeitung: http://www.badische-zeitung.de/premiere-drohne-hilft-bei-arbeiten-fuer-110-000-volt-leitung--print.
[23] Informationen und Fotos von der Errichtung der Xingkang-Brücke in China: http://www.dailymail.co.uk/news/article-4387492/China-uses-drone-build-120mn-bridge.html und http://www.highestbridges.com/wiki/index.php?title=Daduhe_Bridge_Xingkang.
[24] Stoppel, M.; Bartholmai, M.: Einsatzfähigkeit von RFID-Tags zur Identifikation und Diagnose von Bauteilen der intelligenten Straßeninfrastruktur. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt, Hrsg.): Tagungsbroschüre zum Symposium Intelligente Brücke – Der Weg in die Praxis, 30.11.2015 in Bergisch Gladbach, 2015, S. 17.

Alle Internetquellen wurden am 2.1.2018 geprüft.

9 Herzlich willkommen zum 28. Dresdner Brückenbausymposium

13 Vorwort zum 28. Dresdner Brückenbausymposium

17 Bauwerksentwürfe nach RE-ING – Was ist neu?

25 Development of cable-stayed bridges in China

41 Vom Rechnen und Wissen –
Monitoring an den Talbrücken der Neubaustrecke Erfurt–Leipzig/Halle

59 Nachrechnung und Ertüchtigung der Siegtalbrücke –
größte Spannbetonbrücke der Sauerlandlinie (A45)

73 Der Rückbau der Lahntalbrücke Limburg (1964)

87 Einsatz unbemannter Flugsysteme im Brückenbau

101 Eugène Freyssinet: "I was born a builder"

129 Realisierung der Kienlesbergbrücke in Ulm –
gestalterische und bauliche Herausforderungen im komplexen Baukontext

141 Die Taminabrücke in der Schweiz, der Heimat großer Brückenbauingenieure

157 100 Jahre Dauerhaftigkeit für Brücken- und Tunnelbauwerke

169 Lebenszyklus- und Qualitätsspezifikationen für Ingenieurbauwerke

189 Versagenshäufigkeit und Versagenswahrscheinlichkeit von Brücken

203 Brückenvielfalt rund um die Ostsee – Bericht zur Brückenexkursion 2017

215 Chronik des Brückenbaus

231 Inserentenverzeichnis

ISSN 1613-1169
ISBN 978-3-86780-544-5