

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE

Unbemannte Luftfahrtsysteme (UAS)
Erfassen von Immissionen und Emissionen und
weitere Einsatzzwecke
Grundlagen und Anwendungsgebiete
Unmanned Aircraft Systems (UAS)
Detection of air pollutants and other applications
Fundamentals and areas of application

VDI 4290
Blatt 1 / Part 1

Ausg. deutsch/englisch
Issue German/English

Der Entwurf dieser Richtlinie wurde mit Ankündigung im Bundesanzeiger einem öffentlichen Einspruchsverfahren unterworfen.

The draft of this standard has been subject to public scrutiny after announcement in the Bundesanzeiger (Federal Gazette).

Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.

The German version of this standard shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.

| Inhalt | Seite |
|---|-------|
| Vorbemerkung | 3 |
| Einleitung | 3 |
| 1 Anwendungsbereich | 4 |
| 2 Abkürzungen | 4 |
| 3 Unbemannte Luftfahrtsysteme (UAS) | 5 |
| 3.1 Allgemeines | 5 |
| 3.2 Flächenflugzeuge (Starrflügler) | 5 |
| 3.3 Multikopter (Drehflügler) | 6 |
| 3.4 Hybride Systeme | 6 |
| 3.5 Systeme mit aerostatischem Auftrieb | 7 |
| 3.6 Auswahlkriterien | 8 |
| 4 Betrieb von UAS | 9 |
| 4.1 Allgemeines | 9 |
| 4.2 Rechtliche Grundlagen | 9 |
| 4.3 Betriebsgenehmigung | 11 |
| 4.4 Anforderungen an Piloten von UAS | 12 |
| 4.5 Flugvorbereitung | 12 |
| 4.6 Flugdurchführung | 13 |
| 4.7 Flugnachbereitung | 13 |
| 5 Messtechnik für unbemannte Flugsysteme | 14 |
| 5.1 Allgemeines | 14 |
| 5.2 Grundlegende Anforderungen | 14 |
| 5.3 In-situ-Sensorik | 16 |
| 5.4 Anreichernde Probenahme mit anschließender Analytik | 18 |
| 5.5 Optische Detektion | 20 |
| 5.6 Platzierung/Montage auf UAS | 22 |
| 6 Qualitätsanforderungen – Wartung, Kalibrierung, Qualitätskontrolle | 26 |
| 6.1 Allgemeines | 26 |
| 6.2 Dokumentation | 27 |
| 6.3 Kalibrierung und Funktionskontrolle | 27 |
| 6.4 Verfahrenskenngrößen und Messunsicherheit | 27 |

| Contents | Page |
|---|------|
| Preliminary note | 3 |
| Introduction | 3 |
| 1 Scope | 4 |
| 2 Abbreviations | 4 |
| 3 Unmanned aircraft systems (UAS) | 5 |
| 3.1 General information | 5 |
| 3.2 Fixed-wing aircraft | 5 |
| 3.3 Multicopters (rotorcraft) | 6 |
| 3.4 Hybrid systems | 6 |
| 3.5 Systems with aerostatic lift | 7 |
| 3.6 Selection criteria | 8 |
| 4 Operation of UAS | 9 |
| 4.1 General information | 9 |
| 4.2 Legal basis | 9 |
| 4.3 Operating licence | 11 |
| 4.4 Requirements for pilots of UAS | 12 |
| 4.5 Flight preparation | 12 |
| 4.6 Flight execution | 13 |
| 4.7 Flight follow-up | 13 |
| 5 Measurement technology for unmanned aircraft systems | 14 |
| 5.1 General information | 14 |
| 5.2 Basic requirements | 14 |
| 5.3 In-situ sensor technology | 16 |
| 5.4 Enriched sampling with subsequent analysis | 18 |
| 5.5 Optical detection | 20 |
| 5.6 Placement/mounting on UAS | 22 |
| 6 Quality requirements – Maintenance, calibration, quality control | 26 |
| 6.1 General information | 26 |
| 6.2 Documentation | 27 |
| 6.3 Calibration and function check | 27 |
| 6.4 Process parameters and measurement uncertainty | 27 |

VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) – Normenausschuss

Fachbereich Umweltmesstechnik

VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 1b: Umweltmeteorologie
VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 5: Analysen- und Messverfahren II

| Inhalt | Seite |
|--|-------|
| 7 Flugmuster für verschiedene Anwendungen | 29 |
| 7.1 Allgemeines | 29 |
| 7.2 Vertikalprofil..... | 30 |
| 7.3 Flüge in konstanter Höhe | 31 |
| 7.4 Flüge in verschiedenen Höhen | 31 |
| 7.5 Geländefolgende Höhen..... | 32 |
| 7.6 Raumpunktmessungen | 32 |
| 8 Datendarstellung | 32 |
| Anhang A Checklisten | 36 |
| A1 Checkliste UAS-/Drohnen-Einsatz | 36 |
| A2 Checkliste – Experimentalsystem zur Gefahrstoffdetektion | 37 |
| A3 Checklisten – Flight Operation | 41 |
| Anhang B Ausführungsbeispiele | 48 |
| B1 Ausführungsbeispiel – Gefahrstoffdetektion | 48 |
| B2 Ausführungsbeispiel – Methangasdetektion | 50 |
| B3 Ausführungsbeispiel – Probenahme von Bioaerosolen | 52 |
| B4 Ausführungsbeispiel – Detektion von Ultrafeinpartikeln..... | 53 |
| B5 Ausführungsbeispiel – Detektion von gas- und partikelförmigen Schadstoffen (MesSBAR)..... | 55 |
| Schrifttum | 68 |

| Contents | Page |
|---|------|
| 7 Flight patterns for various applications | 29 |
| 7.1 General information..... | 29 |
| 7.2 Vertical profile..... | 30 |
| 7.3 Flights at constant altitude | 31 |
| 7.4 Flights at different heights | 31 |
| 7.5 Terrain heights | 32 |
| 7.6 Room point measurements..... | 32 |
| 8 Data presentation | 32 |
| Annex A Checklists | 42 |
| A1 Checklist for the use of UAS/drones | 42 |
| A2 Checklist – Experimental system for the detection of hazardous substances | 43 |
| A3 Checklists – Flight operation | 47 |
| Annex B Design examples | 58 |
| B1 Design example – Hazardous substance detection | 58 |
| B2 Design example – Methane gas detection..... | 60 |
| B3 Design example – Sampling of bioaerosols | 62 |
| B4 Design example – Detection of ultrafine particles | 63 |
| B5 Design example – Detection of gaseous and particulate pollutants (MesSBAR) | 65 |
| Bibliography | 68 |

Vorbemerkung

Der Inhalt dieser Richtlinie ist entstanden unter Beachtung der Vorgaben und Empfehlungen der Richtlinie VDI 1000.

Alle Rechte, insbesondere die des Nachdrucks, der Fotokopie, der elektronischen Verwendung und der Übersetzung, jeweils auszugsweise oder vollständig, sind vorbehalten.

Die Nutzung dieser Richtlinie ist unter Wahrung des Urheberrechts und unter Beachtung der Lizenzbedingungen (www.vdi.de/richtlinien), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

Allen, die ehrenamtlich an der Erarbeitung dieser Richtlinie mitgewirkt haben, sei gedankt.

Eine Liste der aktuell verfügbaren und in Bearbeitung befindlichen Blätter dieser Richtlinienreihe sowie gegebenenfalls zusätzliche Informationen sind im Internet abrufbar unter www.vdi.de/4290.

Einleitung

Unbemannte Luftfahrtsysteme (UAS), umgangssprachlich auch als Drohnen bezeichnet, werden in vielen Bereichen für kommerzielle oder wissenschaftliche Zwecke eingesetzt. Die Anwendungen umfassen z.B. Kartografie, Transportmittel in der Logistik, Erfassung meteorologischer Daten (VDI 3786 Blatt 22), Sicherheitsaufgaben, Gefahrstoffdetektion, Verkehrsdatenerfassung, Inspektion von Anlagen und Gebäuden (VDI 2879), Überwachung von Pipelines, Infrastruktur, Agrarflächen und Waldgebieten sowie Abwurf von Rettungsmitteln, Sucheinsätze, Untersuchung von Vulkanaktivitäten und Atmosphärenforschung. Zudem werden Grundlagen zum sicheren Betrieb unbemannter Luftfahrzeuge in VDI 5912 Blatt 1 behandelt.

Die Verfügbarkeit kompakter und dabei qualitativ hochwertiger Messtechnik eröffnet die Möglichkeit, UAS auch zur Erfassung von Luftqualitätsparametern einzusetzen. Ein großer Vorteil dabei ist der Einsatz an anderweitig schwer zugänglichen Orten oder in anspruchsvollem Terrain. UAS-Messungen können damit ortsfeste Messtechnik flexibel ergänzen. Sie liefern hochaufgelöste Daten auf kleinen Zeitskalen und typischen räumlichen Skalen von $1 \text{ km} \times 1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$, die mit herkömmlichen Messmethoden nicht in dieser Auflösung abgedeckt werden.

Um eine hohe Qualität und Bewertung von Messdaten zu ermöglichen, bedarf es eines einheitlichen Regelwerks, das Rahmenbedingungen für den Einsatz von UAS definiert. Dazu zählen z.B. die Grundlagen zur Messplanung, die Auswahl der Messplattformen, die standardisierte Probenahme

Preliminary note

The content of this standard has been developed in strict accordance with the requirements and recommendations of the standard VDI 1000.

All rights are reserved, including those of reprinting, reproduction (photocopying, micro copying), storage in data processing systems and translation, either of the full text or of extracts.

The use of this standard without infringement of copyright is permitted subject to the licensing conditions (www.vdi.de/richtlinien) specified in the VDI Notices.

We wish to express our gratitude to all honorary contributors to this standard.

A catalogue of all available parts of this series of standards and those in preparation as well as further information, if applicable, can be accessed on the Internet at www.vdi.de/4290.

Introduction

Unmanned aircraft systems (UAS), also known colloquially as drones, are used in many areas for commercial or scientific purposes. Applications include cartography, means of transport in logistics, recording meteorological data (VDI 3786 Part 22), security tasks, detecting hazardous substances, recording traffic data, inspecting facilities and buildings (VDI 2879), monitoring pipelines, infrastructure, agricultural land and forest areas as well as dropping rescue equipment, search missions, investigating volcanic activity and atmospheric research. In addition, VDI 5912 Part 1 deals with the fundamentals of the safe operation of unmanned aircraft vehicles.

The availability of compact yet high-quality measurement technology opens up the possibility of using UAS to record air quality parameters. A major advantage where this is the case is that it can be used in places that are otherwise difficult to access or in challenging terrain. UAS measurements can therefore flexibly supplement stationary measurement technology. They provide high-resolution data on small time scales and typical spatial scales of $1 \text{ km} \times 1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$, which cannot be covered at this resolution with conventional measurement methods.

In order to enable high quality and evaluation of measurement data, a standardised set of rules is required that defines the framework conditions for the use of UAS. These include, for example, the basic principles for measurement planning, the selection of measurement platforms, standardised sampling

sowie die geeigneten Messgeräte für die jeweiligen Anwendungen. Mit dieser Grundlagenrichtlinie sollen sowohl die Möglichkeiten zur Luftgüteüberwachung aufgezeigt als auch die Randbedingungen für qualitativ abgesicherte und rückführbare Messergebnisse festgelegt werden.

1 Anwendungsbereich

Unbemannte Luftfahrtsysteme (UAS) sind ferngesteuerte oder (teil)automatisierte Fluggeräte. Die Verfügbarkeit kompakter und qualitativ hochwertiger Messtechnik eröffnet die Möglichkeit, UAS auch zur Erfassung von Luftqualitätsparametern einzusetzen. Ziel dieser Richtlinie ist es, ein umfassendes Regelwerk zur Auswahl, Überprüfung und Anwendung von UAS für die Erfassung von Immissionen, Emissionen und weitere Einsatzzwecke zu etablieren.

Diese Richtlinie behandelt nur UAS mit einer Startmasse unter 25 kg.

and suitable measurement devices for the respective applications. The aim of this basic standard is to demonstrate the possibilities for air quality monitoring and to define the boundary conditions for qualitatively reliable and traceable measurement results.

1 Scope

Unmanned aircraft systems (UAS) are remote-controlled or (partially) automated aircraft. The availability of compact and high-quality measurement technology opens up the possibility of using UAS to record air quality parameters. The aim of this standard is to establish a comprehensive set of rules for the selection, verification and use of UAS for the measurement of immissions, emissions and other purposes.

This standard only deals with UAS with a take-off mass of less than 25 kg.