

Unmanned Aerial Vehicles (UAV) – Historische Entwicklung, rechtliche Rahmenbedingungen und Betriebskonzepte

Sebastian SIEBERT, Jörg KLONOWSKI, Frank NEITZEL

Zusammenfassung

Dem Einsatz und Betrieb von unbemannten autonomen Luftfahrzeugen als Träger bildgebender Sensoren kommt in der Datenerfassung aus der Luft eine immer größere Bedeutung zu. Dieser Beitrag gibt einen Überblick über die Entstehungsgeschichte von unbemannten Flugobjekten und beschreibt die rechtlichen Grundlagen für deren Betrieb. Aufbau, Betriebsart und Vielfalt der UAVs werden erläutert. Darüber hinaus wird das in einer Bachelor-Arbeit am i3mainz untersuchte Tachymetertracking von UAVs als alternative Navigationsmethode zu der herkömmlichen Satellitennavigation für den Indoor-Einsatz vorgestellt.

1 Einführung

Die Entwicklung von unbemannten Luftfahrzeugen hat in den letzten Jahren rasante Fortschritte erzielt und das Bild der modernen Luftfahrt stark verändert. Die so genannten Drohnen oder Unmanned Aerial Vehicles (UAV) finden vermehrt Anwendung in militärischen, polizeilichen aber auch zivilen Bereichen. Exemplarische Einsatzbereiche sind:

- Militärische Aufklärungsflüge, Gefechtsfeldbeobachtungen,
- polizeiliche Fahndungsaktionen, Verkehrsüberwachung, Vermisstensuche,
- Katastrophenschutz und -management,
- Erfassung von Geoinformationen, Bauwerksinspektionen,

wobei die Datenerfassung mit digitalen Kameras erfolgt. Die stetige Weiterentwicklung von UAVs wird unter anderem geprägt durch die Konstruktion immer kleinerer, leichter und kostengünstigerer Sensoren zur Überwachung der Position und Lage des Luftfahrzeugs. Hierdurch ist bereits heute ein effizienter und kostengünstiger Einsatz dieser Technologie im Bereich der Erfassung von Geoinformationen in kleinräumigen Gebieten möglich.

Besonders in der Fernerkundung und Photogrammetrie bieten diese leicht zu steuernden und vergleichsweise kostengünstigen Plattformen eine Alternative zu den bisher verwendeten Mitteln, da sie an nahezu jedem Ort der Welt eingesetzt werden können. Zahlreiche Publikationen zeigen sinnvolle Nutzungsmöglichkeiten, z.B. photogrammetrische Anwendungen in der Archäologie (EISENBEISS et al. 2005) und der Forstwirtschaft (JÜTTE 2008).

Nach dem deutschen Luftverkehrsgesetz (LuftVG) sind UAV-Systeme allgemein als Modellflugzeuge anzusehen und müssen daher nach Sichtflugregeln betrieben werden. National wie international mangelt es an rechtlichen Bestimmungen, die den voll autonomen Einsatz von UAVs ermöglichen, was zu wesentlich vereinfachten Betriebsabläufen und erweiterten Einsatzgebieten führen würde.

2 Historische Entwicklung unbemannter Flugobjekte

Die motorisierte Luftfahrt erlebte im frühen 20. Jahrhundert, zur Zeit des ersten Weltkriegs, eine rasche Entwicklung. Fast alle Kriegsparteien setzten verstärkt auf den Einsatz von Flugzeugen. Die Konstruktionen der Flugzeughersteller erreichten immer neue Rekorde in Bezug auf die Geschwindigkeit, die Flugzeit, die Flughöhe, die Größe, die Nutzlast sowie die Zuverlässigkeit. Die steigende Reichweite und die daraus resultierende längere Flugzeit von mehreren Stunden, veranlasste erstmals die Entwicklung von Autopiloten, um eine Entlastung des Flugzeugführers zu erreichen. Die Weiterentwicklung der Funktechnologie und die ersten Kreiselssysteme führten in den 40er und 50er Jahren des vergangenen Jahrhunderts dazu, dass man Luftfahrzeuge nun auch ohne Personen an Bord völlig autonom fliegen lassen konnte. Die treibende Kraft für diese Entwicklungen war das Militär. Ferngelenkte Luftfahrzeuge kamen damals ebenfalls in der Weltraumfahrt zum Einsatz. Alle bemannten und unbemannten Weltraumflüge werden heute autonom durchgeführt. Nur in seltenen Fällen ist dabei ein manueller Eingriff nötig.

Mit der Einführung von Satellitennavigationssystemen wurden neue Möglichkeiten für die automatisierte Luftfahrt eröffnet. Unabhängig von anderen Navigationssensoren, wie sie in der Funknavigation nötig sind, können seitdem mit einer für die Luftfahrt ausreichenden Genauigkeit die Position, gegebenenfalls die Geschwindigkeit und (theoretisch) bei Einsatz von drei Antennen auf dem Flugobjekt auch die Orientierung an nahezu jedem Ort der Welt bestimmt werden. Hierdurch wurde unter anderem die Entwicklung von Drohnen für militärische Einsätze in der Fernerkundung beschleunigt. Allerdings waren die eingesetzten Technologien und Plattformen viel zu kostenintensiv und kompliziert, um sie wirtschaftlich für zivile Anwendungen zu nutzen.

3 Rechtliche Rahmenbedingungen für den Betrieb von UAVs

Die Grundlage für das Luftrecht der Bundesrepublik Deutschland bildet das Luftverkehrsgesetz (LuftVG). Grundsätzlich ist die Nutzung des Luftraums über der BRD für alle Luftfahrzeuge und jede Person frei, sofern sie nicht durch andere Gesetze oder Rechtsvorschriften eingeschränkt wird. Gegenstände, die nicht als Luftfahrzeuge identifiziert werden (zum Beispiel ein Papierflugzeug), unterliegen nicht dem Luftverkehrsgesetz. Somit ist für eine Beurteilung der Gesetzeslage zunächst erforderlich, ein Flugobjekt eindeutig als Luftfahrzeug zu identifizieren.

§ 1 Absatz 2 des LuftVG legt fest, bei welchen Objekten es sich um ein Luftfahrzeug handelt. Unter anderem gelten auch „*Flugmodelle*“ und „*sonstige für die Benutzung des Luftraums bestimmte Geräte, sofern sie in Höhen von mehr als dreißig Metern über Grund oder Wasser betrieben werden können*“, als Luftfahrzeuge.

Da ein UAV somit grundsätzlich als Luftfahrzeug eingestuft werden muss, unterliegt es den Luftfahrtgesetzen. Derzeit gibt es weder national noch international ein gesondertes Regelwerk, welches sich auf die Eigenarten von autonom fliegenden, führerlosen Luftfahrzeugen bezieht. Somit sind auch hierfür die Regeln der allgemeinen Luftfahrt anzuwenden, was jedoch teilweise zu Einschränkungen im angestrebten Betriebsablauf führen kann.

UAVs sind unter dem aktuellen Recht allgemein als Modellflugzeuge anzusehen und müssen daher nach Sichtflugregeln betrieben werden. Demnach muss der verantwortliche Benutzer jederzeit die Lage und Richtung mit Hilfe von Anhaltspunkten in der Umwelt steuern können. Sichtflüge werden meistens in unkontrollierten, das heißt nicht überwachten Lufträumen durchgeführt. Die Luftfahrzeuge werden somit nicht durch Fluglotsen überwacht und geleitet. Für den sicheren Flugbetrieb gelten daher ähnliche Regeln wie im Straßenverkehr; es gilt das Prinzip „sehen und ausweichen“ (engl. „see and avoid“). Eine Sichtverbindung vom Luftfahrzeugführer zu dem Luftfahrzeug ist daher unabdingbar und deshalb vorgeschrieben. Ein völlig autonomer Flug eines solchen Modellflugzeugs außerhalb des Sichtbereiches ist daher ohne Ausnahmeregelungen nicht zulässig.

Der Betrieb von Modellflugzeugen unterliegt noch vielen weiteren Einschränkungen, die sich beispielsweise am Gewicht oder der Antriebsart des Flugobjekts orientieren. Zu beachten sind hierbei unter anderem:

- Beschränkungen in der Flughöhe,
- Beschränkungen des Flugortes,
- Beschränkungen des Gewichts,
- Beschränkungen der Geräusentwicklung bei Flugbetrieb,
- Notwendigkeit einer Haftpflichtversicherung.

Das Luftfahrtgesetz ist bindend und gilt für jeden Teilnehmer im Luftverkehr. Allerdings ist die zuständige Landesluftfahrtbehörde oder eine andere speziell betraute Stelle dazu berechtigt, in begründeten Fällen Ausnahmeregelungen zu treffen. Dazu darf allerdings keine Gefahr für die Sicherheit des Luftverkehrs und die öffentliche Ordnung ausgehen.

Es gibt viele Bemühungen in enger Zusammenarbeit zwischen den Herstellern und Betreibern von UAVs einerseits und den Behörden andererseits, möglichst zeitnah allgemeine Regelungen und Einzelfallerlaubnisse für den autonomen Betrieb von Luftfahrzeugen zu erreichen. Es ist allerdings zu erwarten, dass weiterhin strenge Auflagen an den Betrieb gebunden werden. Dies könnte unter Umständen sogar dazu führen, dass die Kosten für den Betrieb von UAVs in Zukunft steigen.

Stand der vorgestellten Rechtslage ist der 4. Februar 2009. Es kann keine Gewähr für die Vollständigkeit und Richtigkeit der rechtlichen Rahmenbedingungen für den Betrieb von unbemannten Flugobjekten in der BRD gegeben werden. Das aktuelle Luftrecht ist z.B. unter <http://www.luftrecht-online.de> einzusehen.

4 Gegenwärtiger Entwicklungsstand unbemannter Flugobjekte

4.1 Einsatz und Kombination von Sensoren

Maßgeblich zu dem Erfolg der modernen autonomen Luftfahrt, auch im zivilen Bereich, haben die fortwährenden technologischen Neu- und Weiterentwicklungen im Informationszeitalter beigetragen. Durch die stetige Miniaturisierung von Sensoren wurde die Möglichkeit geschaffen, auch aus kleinen, ferngelenkten Luftfahrzeugen selbstständig agierende UAVs zu entwickeln.

Des Weiteren können die für die Navigation erforderlichen Sensoren heutzutage zu einem erschwinglichen Preis angeboten werden. So befinden sich zum Beispiel in vielen modernen Mobiltelefonen und anderen elektronischen Geräten GPS-Empfänger, Orientierungs- oder Beschleunigungssensoren, die auch für einen autonomen Betrieb eines Luftfahrzeugs verwendet werden.

Für die gezielte Navigation ist es erforderlich, die Position, die Orientierung und Orientierungsänderungen sowie die translatorische Bewegung des UAVs im Raum in Echtzeit zu erfassen. Hierzu kann eine Vielzahl von Sensoren verwendet werden. Die dreidimensionale Position wird mit Hilfe der Satellitennavigation ermittelt, zur Bestimmung der translatorischen Bewegung, Orientierung und Orientierungsänderungen kann beispielsweise eine IMU (Inertial Measurement Unit) Verwendung finden. Sie vereint den Einsatz von Gyroskopen und Beschleunigungssensoren in drei zueinander orthogonalen Richtungen. Zusätzlich ist die horizontale Lage auch über Magnetfeldstärke Sensoren ermittelbar. Mit Hilfe eines Barometers lässt sich die vertikale Position des UAVs über der Erdoberfläche ableiten. Eine Herausforderung in der Navigation stellt die zeitliche Synchronisierung dieser Sensoren und die Integration der unterschiedlichen Sensorsignale dar. Die Zusammenführung der anfallenden Signale erfolgt über eine Kalman-Filterung. Ein Blockschaltbild, das die Sensorintegration am Beispiel des Modells MD4-200 der microdrones GmbH veranschaulicht, wird in (ROTOR 2006) gezeigt.

Für die Datenerfassung aus der Luft werden UAVs zumeist mit einer digitalen Kamera, z.B. Fotokamera, Infrarotkamera, Tageslicht- oder Nachtsicht-Videokamera, ausgestattet. Diese Sensoren können aufgrund ihres geringen Gewichts von kleinen, mit Akkus betriebenen UAVs, wie z.B. dem Modell MD4-200 der microdrones GmbH mit einer Nutzlast von 200 Gramm, getragen werden, siehe (MICRODRONES 2009). UAV-Systeme mit Verbrennungsmotoren, wie z.B. das Modell Scout B2-120 der Aeroscout GmbH mit einer Nutzlast von 20 kg können auch mit einem Laserscanner bestückt werden, siehe (AEROSCOUT 2009).

4.2 Erste Untersuchungen zur Tachymetersteuerung

Soll ein UAV eine zuvor durch Koordinaten festgelegte Trajektorie autonom abfliegen, ist ein störungsfreier Empfang von GPS-Signalen zwingend erforderlich. Partielle oder komplette Abschattungen der Satellitensignale führen zu erheblichen Genauigkeitseinbußen in der Positionsbestimmung oder sogar zu einem vollständigen Verlust der Positionsinformation. Aus diesem Grund gibt es am i3mainz Bestrebungen, den Betrieb von UAV-Systemen im Nahbereich unabhängig von der Satellitennavigation und damit auch für Indoor-Einsätze zu ermöglichen. Die Steuerung des Flugobjektes soll dabei mit Hilfe eines zielverfolgenden Tachymeters erfolgen. Um diese *Tachymetersteuerung* zu realisieren, sind folgende Teilaufgaben zu lösen:

1. *Tachymetertracking*: Bestimmung der 3D-Positionsdaten des UAVs in Echtzeit mit Hilfe eines zielverfolgenden Tachymeters.
2. *Datenkommunikation*: Senden der 3D-Positionsdaten des UAVs vom Tachymeter an einen mobilen Steuerungsrechner, Datenkonvertierung, Berechnung von Steuerungsbefehlen, Senden der Steuerungsbefehle vom Rechner an das Flugobjekt.

Eine Prinzipskizze der angestrebten Tachymetersteuerung zeigt Abb. 1.

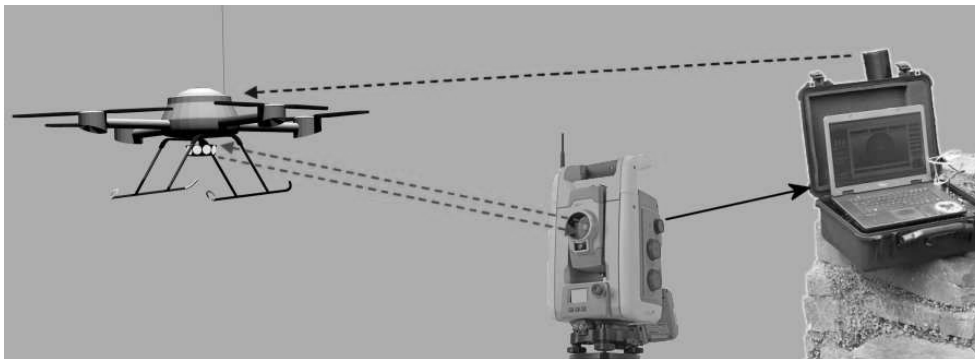


Abb. 1: Tachymetersteuerung für UAV-Systeme (Prinzipiskizze)

Die Teilaufgabe „Tachymetertracking“ wurde am i3mainz im Rahmen einer Bachelor-Arbeit mit freundlicher Unterstützung der microdrones GmbH und der Firma Geosysteme GmbH untersucht. An dem für die Untersuchung bereitgestellten UAV MD4-200 wurde ein Minirundprisma befestigt, siehe Abb. 2, das nach dem Abheben des UAV mit einem zielverfolgenden Tachymeter der Baureihe Trimble S6 im „Tracking-Modus“ angezielt wurde, siehe Abb. 3. In diesem Modus wird das Prisma in der Bewegung verfolgt und es werden fortwährend dessen 3D-Koordinaten im Instrumentensystem berechnet. Der Abdruck der Abb. 2 und 3 erfolgte mit freundlicher Genehmigung der microdrones GmbH.



Abb. 2: MD4-200 mit Minirundprisma



Abb. 3: MD4-200 und Trimble S6

Um die Zuverlässigkeit des Tachymetertrackings beurteilen zu können, wurde ein umfangreicher Testflug durchgeführt, der auch schnelle Änderungen der Flugrichtung und kurzzeitige Unterbrechungen der Sichtverbindung zwischen Tachymeter und UAV enthielt. Als Ergebnis dieser Untersuchung konnte festgestellt werden, dass bei üblichen Flugmanövern und nur kurzzeitiger Unterbrechung der Sichtverbindung ein zuverlässiges Tachymetertracking des Flugobjektes möglich ist. Wenn nun noch die Teilaufgabe „Datenkommunikation“ gelöst wird, kann eine Präzisionsnavigation mittels Tachymetersteuerung realisiert werden, wobei eine Positionsgenauigkeit im Bereich weniger Millimeter zu erwarten ist. Diese Steuerung würde einen autonomen Einsatz von UAVs im Indoor-Bereich (z.B. in Werkshallen) ermöglichen und somit einen weiteren Anwendungsbereich erschließen.

4.3 Betriebskonzepte

Alle UAV-Systeme besitzen, letztlich bedingt durch rechtliche Vorgaben, nach wie vor die Möglichkeit einer manuellen Steuerung. Diese findet in besonders kritischen Phasen, wie bei Starts und Landungen, Anwendung. Für die Steuerung werden üblicherweise Fernbedienungen aus dem Modellbau verwendet. Teilweise werden auch Steuerungen mit einem Joystick angeboten.

Viele UAVs zeichnen sich allerdings dadurch aus, dass sie auch ohne die direkte Steuerung durch den Benutzer gezielt navigieren können. Durch diese Möglichkeit werden der Betrieb und die Handhabung stark vereinfacht und die nötigen Flugkenntnisse bis auf ein Minimum reduziert. Die Realisierung des autonomen Flugbetriebs wird von den meisten Herstellern ähnlich umgesetzt und beginnt mit der Flugplanung am PC. Dabei werden die erforderlichen Parameter zur Umsetzung eines Flugplans, also Koordinaten der Wegpunkte, Flughöhe und sonstige Anweisungen, interaktiv auf einer digitalen Karte gesetzt. Die Route kann dann bei bestehendem Satellitenempfang völlig autonom abgeflogen werden.

Den meisten Systemen mangelt es allerdings noch an der Fähigkeit, auf unerwartet auftretende Hindernisse und Änderungen der Ausgangssituation intelligent reagieren zu können.

4.4 Verschiedene Realisierungen von UAV-Systemen

In den vergangenen Jahren sind viele neue UAV-Systeme auf dem Markt erschienen. Ihnen ist gemein, dass sie auf bestehende Modellflugzeugplattformen aufgebaut wurden. Eine Ausnahme stellen die zumeist vor militärischem Hintergrund entwickelten Drohnen dar. Das derzeit größte eingesetzte UAV, der Global Hawk, ist mit einer Spannweite von 39 Metern und einem Gewicht von bis zu 14 Tonnen eine Fernerkundungsplattform von den Ausmaßen eines kleinen Passagierflugzeuges. Durch den enormen Preis und Betriebsaufwand sind derartige UAVs jedoch kaum für einen wirtschaftlichen zivilen Einsatz geeignet.

Die für zivile Zwecke entwickelten UAV-Systeme bieten allerdings erstmals eine völlig neue Alternative zu den herkömmlich in der Luft eingesetzten Fernerkundungsplattformen. Ihr Anschaffungspreis ist in den letzten Jahren rapide gefallen, wobei preisbestimmender Faktor der UAVs primär deren Größe ist. Aus ihr resultieren weitere spezifische Kenngrößen, wie Tragfähigkeit, Reichweite und Betriebsart.

Grundsätzlich kann man UAV-Systeme, wie auch andere Luftfahrzeuge, nach deren Aufbau und der daraus resultierenden Startart unterscheiden. Horizontal startende Systeme, siehe Abb. 4, die nach dem Prinzip eines Flächenflugzeugs arbeiten, erzeugen ihren Auftrieb durch eine gewisse Mindestgeschwindigkeit relativ zur Umgebungsluft. Daher müssen sie Vortrieb über einen Motor entwickeln. Hierdurch erreichen sie einen hohen Wirkungsgrad, einen großen Einsatzradius, einfache Bedienbarkeit und vergleichsweise geringe Kosten. Allerdings wird eine Start- und Landestrecke benötigt. Als Fernerkundungsplattformen eignen sich diese Systeme besonders für die Befliegung größerer Gebiete.

Senkrecht startende Systeme, siehe Abb. 5, erzeugen ihren Auftrieb über die Drehung von Rotorblättern, die als Tragflächen dienen. Ein Heckrotor kommt dann zum Einsatz, wenn das Drehmoment des Hauptrotors ausgeglichen werden muss. Dadurch verschlechtert sich der Wirkungsgrad. Diese Systeme sind technisch anspruchsvolle Konstruktionen, deren Energieverbrauch vergleichsweise hoch ist.

Werden Verbrennungsmotoren eingesetzt, erreichen diese Systeme ebenfalls lange Flugzeiten und hohe Tragfähigkeiten, wodurch sie sich auch für den Einsatz mit schwereren Nutzlasten, wie beispielsweise Laserscannern, eignen. Charakteristisch für diese Systeme sind die große Flexibilität und die Möglichkeit, nahezu überall starten und landen zu können.

Eine spezielle Form der Drehflügler ist der Quadrocopter mit vier quadratisch angeordneten Rotoren, siehe Abb. 6. Das entstehende Drehmoment wird ohne Energieverlust dadurch aufgefangen, dass jeweils zwei Rotoren in die entgegen gerichtete Richtung drehen. Der Wirkungsgrad eines Hubschraubers konnte zurzeit allerdings noch nicht erreicht werden. Ein Grund dafür ist die Tatsache, dass bisherige Systeme technisch bedingt nur mit Elektromotoren betrieben werden können und dadurch auf Akkus angewiesen sind. Allerdings bestechen sie durch eine sehr hohe Stabilität sowie Beweglichkeit und sind sehr einfach zu steuern. Aktuelle Systeme erreichen eine Nutzlast von bis zu 2 kg und bieten dadurch ausreichend Nutzlast, um z.B. eine digitale Spiegelreflexkamera tragen zu können. Des Weiteren gibt es auch Drehflügler mit drei (Tricopter) oder auch mehr als vier Rotoren (Hexacopter, Oktocopter, usw.). Diese arbeiten nach demselben Prinzip wie die Quadrocopter, haben aber durch den Einsatz von mehr Rotoren einen zusätzlichen Sicherheitsgewinn.

Schon seit längerem sind für die Fernerkundung ferngelenkte Luftfahrzeuge im Einsatz, die leichter als Luft sind, ähnlich einem Zeppelin, siehe Abb. 7. Mit den gegenwärtigen Möglichkeiten zur Überwachung der Lage und der Position lassen sich diese nun auch völlig autonom fliegen. Mit ihnen können sehr lange Flugzeiten und große Flughöhen erreicht werden. Entscheidende Nachteile sind die geringe Flexibilität und die Windanfälligkeit.



Abb. 4: MicroBug, Cyberdefence
(www.cyberdefensesystems.com)



Abb. 5: SR20, Rotomotion
(www.rotomotion.com)



Abb. 6: MD4-200, Microdrones
(www.microdrones.com)



Abb. 7: AEC1000, SkyshipsRemote
(www.skyshipsremote.com)

5 Schlussbetrachtung und Ausblick

Unbemannte Flugobjekte, so genannte Unmanned Aerial Vehicles (UAV) haben sich in den letzten Jahren ein breites Anwendungsspektrum in militärischen, polizeilichen und zivilen Einsatzbereichen erobert. Ausgestattet mit einer digitalen Kamera können diese Systeme im Bereich des Vermessungswesens z.B. für die Erfassung kleinräumiger Gebiete in der Archäologie und die Erstellung von 3D-Gebäudemodellen eingesetzt werden. Größere UAVs mit Verbrennungsmotoren können sogar mit einem Laserscanner bestückt werden.

Eine große Hilfestellung bei der Datenerfassung aus der Luft stellt die Möglichkeit dar, dass viele UAVs eine vorab geplante Trajektorie autonom abfliegen können. Es ist jedoch zu beachten, dass UAVs dem Luftverkehrsgesetz (LuftVG) unterliegen und somit nach Sichtflugregeln zu betreiben sind. Zukünftig kann erwartet werden, dass spezielle rechtliche Rahmenbedingungen für den Einsatz unbemannter Flugobjekte geschaffen werden.

Um das autonome Abfliegen einer Trajektorie ohne die Verfügbarkeit von GPS-Signalen z.B. in Werkshallen zu ermöglichen, bietet sich eine Tachymetersteuerung von UAVs an. Erste Untersuchungen zum Tachymetertracking haben gezeigt, dass das Flugobjekt mit einem zielverfolgenden Tachymeter sicher erfasst und verfolgt werden kann.

Im Bereich der bildgebenden Sensoren bietet sich zukünftig der Einsatz von PMD-Kameras (PMD = Photonic Mixer Device) an. Diese Sensoren ermöglichen die simultane Erfassung von Intensitäts- und Entfernungsbildern. Beträgt die Reichweite dieser Sensoren aktuell ca. 5 bis 7 Meter, so ist bereits eine neue Sensorgeneration angekündigt, die eine Reichweite von mindestens 40 Metern aufweist. Dadurch werden diese Kameras auch für die Bild-datenerfassung mit Hilfe von UAVs interessant.

6 Literatur

- Aeroscout (2009): *Scout B2-120, Autonomous Industrial Unmanned Helicopter*. URL: http://www.aeroscout.ch/downloads/Aeroscout_Scout_B2-120_Brochure.pdf (Abruf am 04.02.2009)
- Eisenbeiss H., M. Sauerbier, L. Zhang, A. Grün (2005): *Mit dem Modellhelikopter über Pinchango Alto*. Fachzeitschrift Geomatik, Schweiz, 09/2005. S. 510-514
- Jütte K. (2008): *Vergleich verschiedener low-cost Luftbildaufnahmesysteme sowie Einsatz von Drohnen*. URL: http://www.lwf.bayern.de/imperia/md/content/lwf-internet/ueber_die_lwf/fernerkundung/vortrag_juette_mv_250108.pdf (Abruf am 17.03.2008)
- LuftVG: Luftverkehrsgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 10. Mai 2007 (BGBl. I S. 698), zuletzt geändert durch Artikel 9 des Gesetzes vom 11. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2418). URL: <http://www.bundesrecht.juris.de/bundesrecht/luftvg/gesamt.pdf> (Abruf am 04.02.2009)
- Microdrones (2009): *microdrone md4-200*. URL: http://www.microdrones.com/documents/flyer_md4-200.pdf (Abruf am 04.02.2009)
- Rotor (2006): *md4-200, Hightec-Microdrohne mit aufwändigem Flugsteuerungssystem und Livebild-Übertragung*. In: Rotor 7/2006, S. 42-48, Modellsport Verlag, Baden-Baden