Kosten-Nutzen-Vergleich von UAS in ländlichen Bodenordnungsverfahren zur Effizienzsteigerung

Cost-Benefit Comparison of UAS in Land Consolidation Procedure to Increase Efficiency

Jörg Fehres, Florian Feindt

In ländlichen Bodenordnungsverfahren nach dem FlurbG erfolgt in den meisten Verfahrensarten eine Neuordnung des Verfahrensgebiets und neue Grundstücke werden gebildet. In dem komplexen und daher zeitaufwendigen Verfahrensablauf ist es besonders wichtig, möglichst frühzeitig und kostengünstig die Grenzpunktkoordinaten der neu zu bildenden Grundstücke zu erhalten. Deshalb gab es schon immer innovative Ansätze, dies anzustreben. Mit dem Einsatz von unbemannten fliegenden Systemen (Unmanned Aerial Systems – UAS) im Vermessungsbereich bietet sich eine neue Möglichkeit, dies noch effizienter zu erreichen. Die Erwartungen sind nicht nur, die Kosten zur Erzeugung von Koordinaten zu senken, sondern auch die Verfahrensabläufe maßgeblich zu beschleunigen. Der Beitrag untersucht die Einsatzmöglichkeiten von UAS bei der Durchführung von Bodenordnungsverfahren und ob sich daraus Kostenreduzierungen und Verfahrensbeschleunigungen ergeben.

Schlüsselwörter: UAS, Flurbereinigung, Effizienzsteigerung, Kosten-Nutzen-Analyse

In land consolidation proceedings, in most types of proceedings under the FlurbG, the procedural area is reorganised and new plots of land are formed. In this complex and time-consuming procedure, it is therefore particularly important to obtain the coordinates of the new plots to be formed as early and cost-effectively as possible. That is why there have always been innovative approaches to achieving this goal. The use of unmanned aerial systems (UAS) in the surveying sector offers new opportunities to make processes more effective. The expectations are not only to reduce the costs for generating point coordinates, but also to significantly accelerate the process flows. The article examines the possible applications of UAS in the implementation of land consolidation procedures and whether this results in cost reductions and process accelerations.

Keywords: *UAS, land consolidation, increased efficiency, cost-benefit analysis*

EINFÜHRUNG

UAS (Unmanned Aerial Systems) gewinnen in der Vermessung immer größere Bedeutung, da sie im Vergleich zu den anderen Erhebungs- und Vermessungsverfahren flexibler einsatzbar und auch kostengünstiger sind. Dies betrifft insbesondere sonstige Fernerkundungsmethoden, wie z. B. die Aerophotogrammetrie und das Laserscanning mittels anderer Trägersysteme. Da auch in ländlichen Bodenordnungsverfahren vielfältige Vermessungstätigkeiten im Ablauf eines Bodenordnungsverfahrens durchzuführen sind, lag es nahe zu untersuchen, bei welchen Vermessungsarbeiten sich der Einsatz von UAS besonders lohnt.

Die grundsätzliche Eignung dieser Vermessungsmethode wurde bereits in einem gemeinsamen Pilotprojekt zwischen dem Geodätischen Institut der RWTH Aachen und dem Dezernat Ländliche Entwicklung, Bodenordnung der Bezirksregierung Köln getestet und

im Ergebnis sehr positiv bewertet /Meul et al. 2018/. In erster Linie war dieses Pilotprojekt als Machbarkeitsstudie für einen zukünftigen Einsatz dieses Verfahrens gedacht. Im Ergebnis konnten bereits Aussagen zu der zu erwartenden Effizienzsteigerung gemacht werden, was aber aufgrund fehlender Daten nicht abschließend und genügend belegt werden konnte.

Deshalb wurde im Rahmen einer Masterarbeit am Institut für Städtebau und Bodenordnung der Universität Bonn das Thema neu aufgegriffen. Aufgabe der Masterarbeit war es, den Einsatz von UAS konkreter bei den Vermessungstätigkeiten im Ablauf eines Bodenordnungsverfahrens auch in Abhängigkeit der Verfahrensarten zu untersuchen. Ebenso, welche Objektarten am besten damit zu erfassen sind. In einer zweiten Hauptaufgabe galt es zu untersuchen, welche Sensoren im Equipment des unbemannten Luftfahrzeugs mit den daraus zu generierenden Produkten sich für den Einsatz besonders eignen. Ein besonderer Schwerpunkt der Arbeit lag darin, einen Vergleich mit den bisher eingesetzten Verfahren vorzunehmen, um damit eine Effizienzsteigerung sowohl unter Kostenaspekten als auch beim Zeitgewinn im Ablauf eines Bodenordnungsverfahrens zu belegen.

2 VERMESSUNGSTÄTIGKEITEN IM VERLAUF EINES LÄNDLICHEN BODENORDNUNGSVERFAHRENS

Zur besseren systematischen Einordnung von Einsatzmöglichkeiten von UAS-Messmethoden sei zunächst beschrieben, um welche Arten von Vermessungstätigkeiten es sich handelt und welche Messverfahren bisher in der Regel angewendet werden. Dies kann nicht allumfassend erfolgen, da dies bei den Flurbereinigungsbehörden der Länder unterschiedlich sein kann. Generell werden verschiedene Arten von Vermessungstätigkeiten ausgeübt /Fehres et al. 2020/. Es handelt sich sowohl um Ingenieurvermessungen als auch um hoheitliche Vermessungen, wobei bei den hoheitlichen Vermessungen noch eine Differenzierung zwischen Fortführungsvermessungen und Neuvermessungen vorgenommen werden kann. Eine Neuvermessung in Verbindung mit einer Bodenordnung unterscheidet sich zudem gegenüber einer Neuvermessung im Liegenschaftskataster. Die durch den Flurbereinigungsplan neugebildeten Flurstücke werden erstmalig vermessen, während im Liegenschaftskataster bestehende Grenzen in ihrem örtlichen Verlauf unverändert bleiben, aber zur Qualitätsverbesserung der Koordinatengenauigkeit erneut aufgemessen werden.

Schon kurz nach der Anordnung eines Flurbereinigungsverfahrens ist die Grenze des Flurbereinigungsgebiets zu untersuchen und ggf. neu aufzumessen. Dies ist nur insoweit erforderlich, wenn eine Neuordnung der Grundstücke innerhalb des Verfahrensgebiets erfolgen soll. In den vergangenen Jahrzehnten war dies ein anspruchsvoller und lang andauernder Vermessungsvorgang. Häufig waren diese Grenzverläufe noch im Urkataster entstanden oder aber in Zeiten, in denen noch kein spannungsfreies übergeordnetes Festpunktfeld vorlag und die seinerzeit eingesetzten Messmethoden nur eine geringere Genauigkeit erlaubten. Hier mussten die Grenzverläufe untersucht, ggf. eine erstmalige Feststellung der Grenze herbeigeführt und anschließend diese Grenze qualifiziert aufgemessen werden. Mit der Einführung des amtlichen Liegenschaftskatasterinformationssystems (ALKIS) wurde in der Regel auch eine Qualitätssteigerung des Liegenschaftskatasters durch Einführung des Koordinatenkatasters mit Koordinatengenauigkeiten < 3 cm initiiert. Liegt in der heutigen Zeit ein Koordinatenkataster vor, beschränkt sich die Grenzuntersuchung darauf, den Grenznachweis im Liegenschaftskataster nochmals hinsichtlich von Inplausibilitäten in den Katasternachweisen zu überprüfen und ob der Grenzverlauf mit der Örtlichkeit übereinstimmt und abgemarkt ist. Es handelt sich dem Wesen nach um eine Fortführungsvermessung, bei der in der Regel Tachymeter oder GNSS-Messungen eingesetzt werden.

Bevor ein Koordinatenkataster realisiert war, musste häufig auch das übergeordnete Festpunktfeld erneuert werden. Während dies für die trigonometrischen Festpunkte durch die Landesvermessung erfolgte, war es Aufgabe der Flurbereinigungsbehörden, das Aufnahmepunktfeld mit Haupt- und Polygonpunkten innerhalb des Verfahrensgebiets zu erneuern. Diese Tätigkeit ist heute obsolet geworden.

In verschiedenen Verfahrensarten nach dem FlurbG erfolgt eine umfassende Neuordnung des Gebiets. Straßen, Wege, Gewässer und sonstige Gegebenheiten können entfallen, werden im Grundriss verändert oder neugeplant. Formal rechtlich werden diese Veränderungen im sogenannten „Plan nach § 41 FlurbG“ legitimiert. Diese veränderten Anlagen müssen vermessungstechnisch erfasst werden, damit eine erste Grundrisskarte für die Bildung der neuen Grundstücke entsteht. Bereits für den Ausbau dieser Anlagen musste

LEHREN – FORSCHEN – NEU ENTDECKEN
KOMMEN SIE AN DIE JADE HOCHSCHULE

Die Jade Hochschule in Wilhelmshaven, Oldenburg und Elsfleth zeichnet sich durch innovative Ansätze, kooperative Zusammenarbeit und eine zugewandte Haltung aus. In allen Bereichen fördert die Hochschule Kompetenz und Vielfalt.

Fachbereich Bauwesen Geoinformation Gesundheitstechnologie am Campus Oldenburg:

Professur (m/w/d) für das Gebiet Photogrammetrie

Bes.-Gr. W2 | Kennziffer BGG 54

Bewerbungsschluss: 8. Mai 2022

Weitere Einzelheiten zur Professur werden gerne von dem Dekan des Fachbereichs, Prof. Dr.-Ing. Hans-Hermann Prüser, Tel. +49 441 7708-3207, mitgeteilt.

BEWERBUNGEN AN jade-hs.de

JADE HOCHSCHULE Wilhelmshaven Oldenburg Elsfleth

E-Mail: berufungen@jade-hs.de

Die Stellenausschreibung finden Sie unter **jade-hs.de/professuren**

eine örtliche Absteckung erfolgen und während des Ausbaus die Einhaltung der abgesteckten Grenzen überwacht werden (Ingenieurvermessung). Nach erfolgtem Ausbau wurden die Anlagen abgemarkt und aufgemessen (hoheitliche Vermessung). Dies war kostenintensiv und je nach Umfang der Anlagen war für eine Fläche von ca. 100 ha ein Zeitaufwand bis zu einem Monat für einen Messtrupp einzuplanen. Schon früh gab es Bemühungen, diese örtlichen Arbeiten der Absteckung, und zwar sowohl für bestehende als auch den neu geplanten Anlagen, in den Innendienst zu verlagern. Als Beispiele sei hier das sogenannte „Wegepunkt-Verfahren" genannt /Durben & Thomas 2013/, /Thomas 2014/. Dieses Verfahren zur frühzeitigen Erzeugung von Koordinaten wurde weiterentwickelt durch den Einsatz der Aerophotogrammetrie mit anschließender Auswertung im Stereomodell, beispielhaft sei hier das in NRW eingesetzte Verfahren zitiert /Fehres & Tessmer 2000/. Mit diesen Methoden werden sogenannte „Sollkoordinaten" erzeugt, also Koordinaten, die nicht durch örtliche Aufmessungen entstehen, sondern in grafischen Systemen. Ein neues integrales, objektorientiertes, grafisches Bearbeitungssystem wurde mit dem LandEntwicklungsFachInformations-System (LEFIS) in vielen Bundesländern eingeführt /Fehres 2017/. In LEFIS werden Sollkoordinaten bei der Einrechnung der neu zu bildenden Flurstücke in Bodenordnungsverfahren erzeugt. Diese Sollkoordinaten werden dann später bei der Umsetzung des Flurbereinigungsplans in die Örtlichkeit übertragen, vermarkt und einmalig aufgemessen. Das Aufmessungsergebnis muss in einem Koordinatenkataster die Genauigkeit des örtlich abgemarkten Punkts gegenüber der Sollkoordinate von kleiner 3 cm bestätigen. Bei der späteren Berichtigung des Liegenschaftskatasters ist diese Sollkoordinate maßgebend.

Um eine Kostenreduzierung in der Vermessung zu erreichen, ist es demnach evident, dass diese Sollkoordinaten mit effizienten Verfahren erzeugt werden. Neben den Kosten ist aber auch der Zeitgewinn im Ablauf eines Verfahrens mindestens genauso bedeutend. Je früher die Sollkoordinaten für die bestehenden und neu geplanten Anlagen erzeugt werden, umso frühzeitiger können die neu zu bildenden Flurstücke eingerechnet werden und der Flurbereinigungsplan, meist im Zusammenhang mit einer vorläufigen Besitzeinweisung (§ 65 FlurbG), realisiert werden. Dies ist gerade in sogenannten „Unternehmensverfahren" (Verfahren nach §§ 87 ff FlurbG) von grundlegender Bedeutung, um die neu geplanten Infrastrukturmaßnahmen, z. B. Straßen und Schienenwege, im Grundriss zu erfassen. Es entspricht einer der Zielsetzungen dieser Verfahrensart, die neu gebildeten Grundstücke schon möglichst gleichzeitig mit dem Beginn des Ausbaus der Infrastrukturanlagen besitzmäßig den Teilnehmern zuzuteilen. Dadurch werden vorübergehende Flächenverluste und auch durch die Infrastrukturanlage bedingte An- und Durchschneideschäden sowie die Erreichbarkeit der Grundstücke vermieden /Fehres 2010/.

3 UNBEMANNT FLIEGENDE SYSTEME (UAS)

Der Bereich der unbemannten Luftfahrtsysteme befindet sich in einem stetigen Wandel und erfreut sich immer größerer Beliebtheit. Im Zuge von technologischen Fortschritten bei der Herstellung leichter, transportfähiger Messsensoriken, wie Kameras oder Laserscanner, haben unbemannte fliegende Systeme den Einstieg in die Geodäsie gefunden. Bei der Betrachtung der Einsatzmöglichkeiten von UAS in einem ländlichen Bodenordnungsverfahren sind vor allem die Trägerplattform und der verwendete Sensor entscheidend. Bei den Trägerplattformen der Systeme ist grundsätzlich zwischen Multirotorsystemen und Flächenflugsystemen zu unterscheiden. Multirotorsysteme zeichnen sich aufgrund von mehreren verwendeten Rotoren durch ihr flexibles Flugverhalten und der Möglichkeit von vertikalen Starts und Landungen aus. Demgegenüber erlaubt ein Flächenflugsystem längere Flugzeiten durch einen geringeren Energieverbrauch und eine in der Regel geringere Datenmenge aufgrund einer größeren Flughöhe. Vergleichend zu Multirotorsystemen besitzen Flächenflugsysteme ein trägeres Flugverhalten und benötigen eine Start- und Landebahn.

Neben der Trägerplattform ist für geodätische Anwendung darüber hinaus die Zuladung (engl. Payload) ein wichtiger Aspekt. Diese umfasst alle Bestandteile eines UAS, die nicht für die Durchführung des Flugs benötigt werden, jedoch für die spezifische Anwendung erforderlich sind. Die Payload mit geodätischen Sensoren unterscheidet sich zu herkömmlichen UAS im Spielzeugsegment dadurch, dass bei vermessungstechnischen Arbeiten hochwertige Zuladungen von objekterfassenden Sensoren notwendig werden. Die gängigsten objekterfassenden Sensoren bilden Kameras und Laserscanner, die je nach Anwendung und Qualität der Trägerplattform um ein GNSS und eine inertiale Messeinheit erweitert werden.

Den aktuell am weit verbreitetsten Sensortyp bei UAS stellt das Kamerasystem dar. Dies resultiert aus der heutzutage kleinen und leichten Form der Sensoren, welche von kostengünstigen „Consumer-Kameras" über teure Hyperspektral- und Thermalkameras für Spezialanwendungen reichen. Mit deren Hilfe lassen sich dreidimensionale Punktwolken, Digitale Geländemodelle und Orthophotos ableiten. Im Laufe der letzten Jahre ist die Entwicklung auf dem

	Kamera	Laserscanner
Vorteile	• Kostengünstig • Farbige Visualisierung der Punktwolke • Integration der Kamerakalibrierung in die örtliche Vermessung und deren Auswertung	• Durchdringung leichter Vegetation • Aufzeichnung der Vegetationsstruktur durch Analyse der empfangenen Signale • Keine Beleuchtungs- und Oberflächentexturabhängigkeit
Nachteile	• Wetterbedingungen (Sonne und Wind) sowie Beleuchtung und Oberflächentextur besitzen Einfluss auf die Güte des Ergebnisses (z. B. Genauigkeit) • Keine Aufzeichnung von Vegetationsstrukturen möglich	• Kostenintensiv • Farblose Punktwolke ohne Verwendung einer zusätzlichen Kamera • Höheres Abfluggewicht • Ggf. Kalibrierung des Systems

Tab. 1 | Vor- und Nachteile der Sensoren „Kamera" und „Laserscanner" in Bezug auf Anwendungen in einem Flurbereinigungsverfahren

Gebiet der Kameras und der UAS weiter fortgeschritten, sodass vielerorts auch Systeme aus dem Hobby- und semi-professionellen Segment für geodätische Anwendungen eingesetzt werden können.

Mithilfe der Miniaturisierung der Sensoren ist auch die Zuladung eines Laserscanners möglich. Der verbaute Profillaserscanner erfasst mittels eines rotierenden Spiegels zweidimensionale Scanpunkte, die durch das kinematische System der Trägerplattform zu einer dreidimensionalen Punktwolke weiterverarbeitet werden. Durch eine Diskretisierung der empfangenen Signale können demnach digitale Oberflächen- und Geländemodelle erzeugt werden. Gängige Komplettsysteme sind eine Kombination aus Laserscanner und Kamera, um den gemessenen Scanpunkten farbige RGB-Werte zuzuweisen.

Der Einsatz der Aerophotogrammetrie sowie die Weiterentwicklung zu photogrammetrischen UAS haben sich in ländlichen Bodenordnungsverfahren zur Gewinnung von Sollkoordinaten bewährt. Dies entspricht der geltenden Vorschriftenlage in NRW. Diese Verfahren sind aber nicht als Messmethoden zur Aufmessung von Grenzen im Liegenschaftskataster bisher benannt. Hierfür müsste erst der Nachweis erbracht werden, dass die geforderte Genauigkeit im Koordinatenkataster erreicht werden kann und wie eine unabhängige Zweitmessung zur Kontrolle und Koordinatenbestimmung erfolgen soll. Ferner sollte bedacht werden, dass bei der Aufmessung von abgemarkten Grenzverläufen die Grenzpunkte luftsichtbar sein müssen, was in der Regel einen hohen Signalisierungsaufwand erfordern würde. Dies könnte die Wirtschaftlichkeit infrage stellen.

Photogrammetrische UAS haben vergleichsweise niedrige Anschaffungskosten, insbesondere auch gegenüber einem UAS-Laserscanner, und bieten die Möglichkeit zur Ableitung aller relevanten Geobasisinformationsprodukten (Oberflächen- und Geländemodelle sowie Digitale Orthophotos (DOP)). Aufgrund bereits langjähriger Erfahrungen mit der Auswertung von Orthophotos in Flurbereinigungsverfahren kommt diesem eine besondere Bedeutung zu. Der systembedingte Vorteil von LiDAR-Systemen (Light Detection and Ranging) zur Aufzeichnung von Vegetationsstrukturen durch die Analyse des empfangenen Lasersignals durch den Laserscanner spielt bei der Verwendung in ländlichen Bodenordnungsverfahren zumeist nur eine untergeordnete Rolle.

4 KOSTEN-NUTZEN-VERGLEICH

Die Einsatzmöglichkeiten von UAS im Rahmen von ländlichen Bodenordnungsverfahren sind vielseitig und gehen von der Erzeugung hochaufgelöster Planungsunterlagen bis zur Erzeugung von dreidimensionalen Modellen zur Visualisierung komplexer Verfahren. Eine vielversprechende Anwendungsmöglichkeit von UAS wird überdies in der Vermessung des geplanten bzw. ausgebauten Wege- und Gewässernetzes, einschließlich der Grundrisserfassung der neuen Infrastrukturanlagen, gesehen. Für eine genauere Betrachtung der entstehenden Kosten, des Zeitaufwands und dem Nutzen einer UAS wurde eine detaillierte Kosten-Nutzen-Analyse durchgeführt. Diese vergleicht die bereits verwendeten Messmethoden von RTK-GNSS und einem Tachymeter mit dem Einsatz einer photogrammetrischen UAS. Als (theoretisches) Untersuchungsgebiet wurden Teilflächen der Unternehmensflurbereinigungen „Selfkant“, „Gangelt I“ und „Gangelt II“ ausgesucht. Diese drei Unternehmensflurbereinigungen

Abb. 1 | Visualisierung des Bundesstraßenausbaus anhand überlagerter Digitaler Orthophotos aus dem Jahr 2007 und 2020 /https://www.tim-online.nrw.de/

[1] Erlass des MKULNV NRW (Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen) vom 17.03.2017 (II B 4 – 851.11.02).

	Zeitaufwand in Arbeitstagen			Kosten in Euro		
	Außendienst	Innendienst	Gesamt	Außendienst	Innendienst	Gesamt
RTK-GNSS	16	16	32	28 000	12 000	40 000
Tachymeter	22	22	44	39 000	16 000	55 000
UAV-Image	9	10	19	7 000	15 000	22 000

Tab. 2 | Ergebnisse des Zeitaufwands und der Kosten für die unterschiedlichen Messtechniken

wurden durchgeführt, um den Neubau der Bundesstraße 56 (B56 N) in einer Länge von 17 km, als Verbindung der Bundesautobahn 46 (A46) von der Stadt Heinsberg bis zur Nationalstraße 297 (N297) in den Niederlanden, durch Begleitung von ländlichen Bodenordnungsverfahren zu realisieren. Der tatsächlich herangezogene Untersuchungsraum erstreckt sich über eine Länge von ungefähr 5 km zwischen den Städten Pütt und Vinteln. Neben der eigentlichen Trasse der B56 N wurden zusätzlich ungefähr zwei Kilometer vorhandene und geplante Wirtschaftswege, sieben Brückenbauwerke mit Zuwegungen und Auf- und Abfahrten der Bundesstraße hinzugezogen. *Abb.1* visualisiert das Verfahrensgebiet und zeigt eindrucksvoll die Notwendigkeit von ländlichen Bodenordnungsverfahren zur Behebung der Schäden, die durch eine derartige Infrastrukturanlage entstehen. Hierbei wurde das DOP aus dem Jahr 2007 mit dem DOP aus dem Jahr 2020 überlagert, sodass die ausgebaute Bundesstraßentrasse verblasst abgebildet wird.

Die Grundlage für die Betrachtung der Kosten und des Zeitaufwands von Tachymeter und RTK-GNSS bildet der „Vergabeerlass von vermessungstechnischen Leistungen zur Durchführung von Verfahren nach dem Flurbereinigungsgesetz“[1] für das Land NRW, welcher die Honorare für vermessungstechnische Arbeiten in einem Flurbereinigungsverfahren festlegt.

Der benötigte Zeitaufwand lässt sich aus den festgesetzten Honoraren ableiten, da diese auf einer Annahme für den Personaleinsatz pro Zeiteinheit basieren. Die Honorare für die Aufmessung der gemeinschaftlichen und öffentlichen Anlagen beziehen sich auf je angefangene 50 Meter einer Anlage, welche als Strecke zwischen den Knotenpunkten abgehender oder sich kreuzender Anlagen definiert ist. Die Kalkulation des Zeitaufwands für die Verwendung einer photogrammetrischen UAS resultieren aus einer umfangreichen Literaturrecherche und Auswertung von veröffentlichten Forschungsergebnissen. Mithilfe der Kostensätze aus der Kostenordnung für das amtliche Vermessungswesen und der amtlichen Grundstückswertermittlung in NRW[2] ergeben sich demnach die Kosten für eine Vermessung mittels photogrammetrischer UAS. Diese orientieren sich an den Richtwerten für die Berücksichtigung des Verwaltungsaufwands bei der Festlegung der nach dem Gebührengesetz für das Land NRW zu erhebenden Verwaltungsgebühren[3].

Die Ergebnisse für den Zeitaufwand und die entstehenden Kosten der unterschiedlichen Messtechniken sind in *Tab. 2* dargestellt. Anhand der Ergebnisse des Zeitaufwands ist ersichtlich, dass die Kalkulation anhand des Vergabeerlasses von einem identischen Zeitaufwand für den Innen- sowie Außendienst für die terrestrischen Messtechniken ausgeht. Vergleichend zu der Verwendung einer photogrammetrischen UAS, welche insgesamt einen Zeitaufwand von ungefähr 19 Arbeitstagen aufweist, ergibt sich mit ungefähr 32 und 44 Arbeitstagen ein deutlich gesteigerter Zeitaufwand. Der enorme Zeitaufwand der terrestrischen Messtechniken resultiert aus der punktuellen Absteckung und dem Aufmaß der Anlagengrenzen in der Örtlichkeit, welche durch die enorme Größe des Untersuchungsgebiets und die Topographie des Geländes erschwert wird. Für den Vermessungstrupp im Außendienst ist eine einfache Überquerung der Bundesstraße, beispielsweise aufgrund von Leitplanken, nicht möglich, sodass die Anlagengrenze nur einseitig, und demnach kostenintensiv, bestimmt werden kann. Eine beidseitige Aufnahme der Anlagengrenzen kann nur bei den vorhandenen Wirtschaftswegen und Auf- und Zufahrten durchgeführt werden, da dort eine Überquerung der Anlage möglich ist. Ein Mehraufwand wird bei der photogrammetrischen UAS dem Innendienst mit der Auswertung und Signalisierung der Anlagengrenzen in einem DOP zugerechnet. Der Prozess der Datenprozessierung kann mittels einer Auswertesoftware nahezu vollautomatisiert durchgeführt werden, sodass ein erhöhter Personaleinsatz lediglich bei der Festlegung der Anlagengrenzen besteht. In Anbetracht einer vollständigen Vermessung des Untersuchungsgebiets und deren Auswertung können die Ergebnisse bereits nach 19 Arbeitstagen vorliegen. Vergleichend zu einer Vermessung mittels RTK-GNSS stellt dies eine Verfahrensbeschleunigung von 13 Tagen und somit eine Reduktion von ungefähr 40 % dar. Im Vergleich mit einer reinen tachymetrischen Aufnahme lässt sich eine Reduktion des gesamten Zeitaufwands auf ungefähr 60 % feststellen.

Vergleichend aus den Ergebnissen des Zeitaufwands ergeben sich die Ergebnisse der verursachten Kosten, da der Zeitaufwand und die Kosten in einem linearen Verhältnis stehen (*Tab. 2*). Es zeigt sich demnach auch eine deutliche Reduzierung der Kosten bei der Verwendung einer photogrammetrischen UAV im Vergleich zu einem Tachymeter oder RTK-GNSS. Die Vermessung mit einer photogrammetrischen UAS kann sehr schnell und kostengünstig durchgeführt werden und wird lediglich von der Anzahl der Passpunkte in ihrer Effizienz limitiert. Die Anzahl der Passpunkte bietet demgemäß eine gute Möglichkeit für Kosteneinsparungen,

[2] VermWertKostO NRW (Vermessungs- und Wertermittlungskostenordnung des Landes Nordrhein-Westfalen) vom 12. Dezember 2019 (GV. NRW. 2019 S. 966), geändert durch Verordnung vom 16. September 2020 (GV. NRW. S. 907).
[3] Runderlass des IM NRW (Ministeriums des Innern des Landes Nordrhein-Westfalen) vom 17. April 2018 (MBl. NRW. 2018 S. 192 – 14-36.08.06 –)

wobei jedoch die benötigte Genauigkeit und Zuverlässigkeit des Bildverbands und dessen abgeleiteten Geoinformationsprodukte für jede Anwendung von fachkundigem Personal neu geprüft werden muss. Zusammenfassend ergeben sich Personalkosten in Höhe von etwa 22 000 Euro für die Festlegung vorhandener Anlagen mit einer Länge von ungefähr sieben Kilometern. Vergleichend mit den Messverfahren RTK-GNSS und Tachymetrie stellt dies eine Kostenreduzierung von 45 % bzw. 60 % dar, welche auf die enorme Reduzierung des Zeitaufwands im Außendienst zurückzuführen ist.

Innerhalb der Untersuchung zeigte sich neben der deutlichen Reduzierung des Zeitaufwands und der entstehenden Kosten weitere Vorteile im Nutzen bei der Verwendung einer photogrammetrischen UAS bei dem Aufmaß der Anlagengrenzen des Untersuchungsgebiets.

Neben dem erhöhten Maß an Arbeitssicherung bei abschüssigem Gelände oder aber bei öffentlichen Verkehrsräumen zeigte sich darüber hinaus eine starke Resistenz gegenüber topographischen Hindernissen (z. B. Leitplanken), sodass eine Vermessung ohne erhöhten Zeitaufwand möglich ist. Durch die nahezu vollautomatisierte Ableitung von Digitalen Orthophotos ist eine eindeutigere Festlegung der Anlagengrenzen mithilfe eines weiträumigeren Überblicks möglich. Vergleichend zu den terrestrischen Messtechniken erfolgt die Festlegung der Anlagengrenzen nicht direkt vor Ort, was zwangsläufig zu Generalisierungen führt, sondern mittels Orthophoto im Innendienst. Die Auswertung im Innendienst ermöglicht überdies eine engere und bessere Abstimmung innerhalb des mit dem Projekt betrauten Teams und steigert somit die Qualität der eindeutigen Festlegung der Anlagengrenzen. Eine photogrammetrische UAS erzeugt bei der Vermessung einen vollumfänglichen Datensatz der Bundesstraße, sodass bei Korrekturen kein weiterer Außendiensteinsatz nötig wird. Des Weiteren bietet sie die Möglichkeit, durch die Ableitung aller relevanter Geoinformationsprodukte, wie Digitaler Gelände- und Oberflächenmodelle und Digitale Orthophotos, die amtlichen Geoinformationsprodukte in dem Aufnahmegebiet mit hochaufgelösten Daten zu ergänzen und demnach die amtlichen Daten zu verbessern und zu aktualisieren.

FAZIT

Zusammenfassend lässt sich als Ergebnis nennen, dass UAS sich in einem hohen Maß für den Einsatz in ländlichen Bodenordnungsverfahren eignen. Die maßgeblichen Gründe hierfür sind: die Ableitung von allen relevanten Vermessungsprodukten, wie Digitalen Gelände- und Oberflächenmodelle, Digitalen Orthophotos sowie dreidimensionalen Punktwolken. Durch den Einsatz von UAS erfolgt zudem eine beweissichernde Dokumentation des Flurbereinigungsgebiets. Das Gebiet kann visualisiert werden, was für die Planungsprozesse im Flurbereinigungsverfahren mit Beteiligung anderer öffentlicher Stellen, aber insbesondere auch der Flurbereinigungsteilnehmer von Bedeutung ist. Die Ergebnisse von Planungen werden transparent und steigern die Akzeptanz.

Vergleicht man die Vermessungsarbeiten für die neue Bundesstraße mit UAS gegenüber den bisher eingesetzten Messverfahren, zeigen sich eine deutliche Beschleunigung der Ausführungszeiten und eine Kostenreduzierung. Durch die frühzeitigere Gewinnung von Koordinaten kann der Verfahrensablauf so beschleunigt werden, dass die Flurbereinigungsteilnehmer wesentlich früher in den Besitz der neuen Grundstücke eingewiesen werden können. Dadurch werden längerfristige Nachteile für die Teilnehmer, die gerade in Unternehmensverfahren durch die Infrastrukturanlage entstehen, vermieden und die dafür sonst notwendigen Entschädigungszahlungen können eingespart werden.

Der Einsatz von UAS kann den Flurbereinigungsbehörden besonders dann empfohlen werden, wenn umfangreiche Vermessungen an bestehenden und neu geplanten Anlagen erforderlich werden, was insbesondere für Unternehmensflurbereinigungen zutrifft.

LITERATUR

Durben, H.; Thomas, J. (2013): Vermessungstechnik und Geoinformation in der Flurbereinigung. In: Kummer, K; Frankenberger, J. (Hrsg.): Das deutsche Vermessungs- und Geoinformationswesen 2013. Wichmann, Berlin/Offenbach, 523 – 571.

Fehres, J. (2010): Die Unternehmensflurbereinigung – Beispiel für ein erfolgreiches Instrument zur Umsetzung von Infrastrukturanlagen. In: Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement (zfv) 135(2010)4, 275 – 279.

Fehres, J. (2017): Effizienzsteigerungen und Mehrwerte bei der Verfahrensbearbeitung durch das neue Landentwicklungsfachinformationssystem (LEFIS). In: allgemeine vermessungs-nachrichten (avn) 124(2017)10, 325 – 333.

Fehres, J.; Kötter, T.; Voss, W.; Thomas, J. (2020): Vermessungstechnik und Geoinformation in der Flurbereinigung. In: Kummer, K.; Kötter, T.; Kutter, H.; Ostrau, S. (Hrsg.): Das deutsche Vermessungs- und Geoinformationswesen Jahrbuch 2020. Wichmann, Berlin/Offenbach, 563 – 637.

Meul, F.; Fehres, J.; Effkemann, C.; Blankenbach, J. (2018): Einsatz der UAS-Photogrammetrie für Vermessungsaufgaben in Flurbereinigungsverfahren – Eine Pilotstudie im Rahmen eines Straßenbauprojekts. In: allgemeine vermessungs-nachrichten (avn) 125 (2018)1-2, 23 – 30.

Thomas, J. (2014): Bedeutung von Technik und Automation für die Landentwicklung in Deutschland – Entwicklungslinien. In: Technikumbau in Deutschland. Sonderheft 7/2014 in der Schriftenreihe Deutsche Landeskulturgesellschaft (DLKG). Müncheberg, 36 – 59.

Dipl. Ing. Jörg Fehres

INSTITUT FÜR GEODÄSIE UND GEOINFORMATION UNIVERSITÄT BONN

Sebastianstraße 156 | 53 115 Bonn
joerg.fehres@web.de

M. Sc. Florian Feindt

INSTITUT FÜR GEODÄSIE UND GEOINFORMATION UNIVERSITÄT BONN

Kastanienstraße 2D | 53721 Siegburg
f.feindt@outlook.de