

# **Perspektiven für den Einsatz der Photogrammetrie in der Flurbereinigung in Rheinland-Pfalz**

**Masterarbeit**

Studiengang Geoinformatik  
der Fachhochschule Mainz

Standnummer: 131

**Jens Gillmann**

Betreuer: Prof. Axel Lorig

Bearbeitungszeitraum: 15. August 2013 bis 14. Februar 2014

Mainz, Februar 2014

## Kurzfassung

Gegenstand der hier vorgestellten Arbeit ist die Untersuchung eines gewinnbringenden Einsatzes der Photogrammetrie in der Flurbereinigungsverwaltung Rheinland-Pfalz. Der aktuelle Stand der Technik wird anhand ausgewählter Nutzungsbeispiele in den Bereichen „Planung und Vermessung“, „Bautechnik“ und „Landscapepflege“ ausführlich beschrieben. Die daraus resultierenden Erkenntnisse basieren u. a. auf Interviews mit Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Dienstleistungszentrums Ländlicher Raum Rheinhessen-Nahe-Hunsrück (DLR R-N-H). Neue Technologien, u. a. in den Bereichen „Laserscanning“, „Fernerkundung“, „Nahbereichsphotogrammetrie“ und „3D-Visualisierung“, werden aufgezeigt, eventuelle Einsatzmöglichkeiten angedacht. Ziel ist es, die bis dato in der Flurbereinigungsverwaltung genutzte photogrammetrische Produktpalette („digitales Orthophoto“, „Koordinaten von Neupunkten“, „Planungsrelevante Topographie“ und „digitales Geländemodell“) wirkungsvoll zu ergänzen.

Unter Berücksichtigung der zur Verfügung stehenden personellen und finanziellen Ressourcen (persönliche Einschätzung) und eines möglichst effizienten Einsatzes modernster Technik, sollte ein weiterer Schritt in Richtung „moderne Verfahrensabwicklung“ möglich sein.

**Schlagwörter:** Flurbereinigung, Photogrammetrie, Nahbereichsphotogrammetrie, 3D-Visualisierung, Fernerkundung

## Abstract

Subject of the present work is the investigation of a profitable use of photogrammetry in the land consolidation administration of Rhineland-Palatinate. The current state of the technology is described in detail using selected examples in the areas of “planning and surveying”, “civil engineering” and “land conservation”. The resulting findings are based among other things on interviews with employees of the Agricultural Public Service Center Rheinhessen-Nahe-Hunsrück (DLR RNH). New technologies are presented among other things in the areas of laser scanning, remote sensing, close-range photogrammetry and 3D visualization, possible uses considered. The aim is an effective complement to those presently used in the land consolidation management photogrammetric product range (“digital orthophoto”, “coordinates of new points”, “topography relevant to planning” and “digital terrain model”).

Taking into consideration the available human and financial resources (personal opinion) and the most efficient use of the up-to-date technology possible, a further step towards “modern settlement process” should be possible.

**Keywords:** land consolidation, photogrammetry, close-range photogrammetry, 3D visualization, remote sensing

# Inhaltsverzeichnis

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Kurzfassung .....</b>   | <b>2</b>  |
| <b>Abstract .....</b>  | <b>3</b>  |
| <b>Inhaltsverzeichnis .....</b>  | <b>4</b>  |
| <b>Abbildungsverzeichnis .....</b>                                       | <b>7</b>  |
| <b>Tabellenverzeichnis .....</b>   | <b>8</b>  |
| <b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>                                       | <b>9</b>  |
| <b>1 Einführung .....</b>  | <b>11</b> |
| 1.1 Aufgabenstellung .....   | 11        |
| 1.1.1 Sachverhalt.....   | 11        |
| 1.1.2 Aufgabe .....  | 11        |
| 1.2 Photogrammetrie (Grundsätze) .....                                   | 12        |
| <b>2 Photogrammetrische Technik in der Flurbereinigung RLP .....</b>     | <b>14</b> |
| 2.1 Technische Entwicklung in Rheinland-Pfalz.....                       | 14        |
| 2.2 Richtlinien für die Anwendung der Photogrammetrie .....              | 17        |
| 2.3 Prozesskette zur Ermittlung der photogrammetrischen Produkte .....   | 18        |
| 2.3.1 Vermessungskonzept .....   | 18        |
| 2.3.2 Neuvermessung mittels Befliegung.....                              | 18        |
| 2.3.3 Auswertung.....  | 28        |
| 2.4 Photogrammetrische Produkte .....                                    | 33        |
| 2.4.1 Digitales Orthophoto .....   | 33        |
| 2.4.2 Koordinaten von Neupunkten (Neuvermessung) .....                   | 37        |
| 2.4.3 Planungsrelevante Topographie .....                                | 38        |
| 2.4.4 Digitales Geländemodell (DGM) .....                                | 39        |
| <b>3 Photogrammetrische Anwendungen in der Flurbereinigung RLP .....</b> | <b>42</b> |
| 3.1 Planung und Vermessung.....  | 42        |
| 3.1.1 Wertermittlung im Acker- Grünland Verfahren .....                  | 42        |
| 3.1.2 Wertermittlung in Waldverfahren.....                               | 44        |
| 3.1.3 Wege- und Gewässerplan nach § 41 FlurbG .....                      | 45        |
| 3.1.4 Punktfestlegung durch Digitalisierung (PuDig).....                 | 46        |
| 3.2 Bautechnik.....  | 49        |
| 3.2.1 Sichtfeldanalyse.....  | 49        |
| 3.2.2 Artenschutz/Mauerbau/Planierungsanalyse.....                       | 50        |
| 3.2.3 Regenrückhaltebecken/Wirtschaftswegebau .....                      | 52        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 3.3      | Landespflege .....  | 53        |
| 3.3.1    | Ausführungspläne für Bepflanzungsmaßnahmen .....  | 53        |
| 3.3.2    | Bestandsaufnahme .....  | 54        |
| 3.3.3    | Wirtschaftlichkeitsüberlegungen .....   | 57        |
| <b>4</b> | <b>Theoretische Nutzungsmöglichkeiten der Photogrammetrie .....</b>   | <b>58</b> |
| 4.1      | Terrestrische Aufnahmen mittels Leica Nova MS 50 MultiStation .....   | 58        |
| 4.1.1    | Gerätefunktionen .....  | 58        |
| 4.1.2    | Örtliche Messungen .....  | 59        |
| 4.1.3    | Messergebnis .....  | 60        |
| 4.1.4    | Wirtschaftlichkeitsüberlegungen .....   | 61        |
| 4.1.5    | Fazit.....  | 62        |
| 4.2      | Einsatz eines GNSS-Feldrechners .....   | 63        |
| 4.2.1    | Gerätebeschreibung .....  | 64        |
| 4.2.2    | Einsatzmöglichkeiten .....  | 65        |
| 4.2.3    | Wirtschaftlichkeitsbetrachtung .....  | 66        |
| 4.2.4    | Fazit.....  | 66        |
| 4.3      | Fernerkundung .....   | 67        |
| 4.3.1    | Problematik.....  | 67        |
| 4.3.2    | Voraussetzungen.....  | 69        |
| 4.3.3    | Datenerhebung (Auswerterversuch) .....  | 70        |
| 4.3.4    | Auswertedaten der FH-Mainz .....  | 72        |
| 4.3.5    | Wirtschaftlichkeitbetrachtung .....   | 74        |
| 4.3.6    | Fazit.....  | 74        |
| 4.4      | Unbemanntes Luftfahrzeug (UAV) .....  | 75        |
| 4.4.1    | Modellversionen.....  | 76        |
| 4.4.2    | Flugtechnik .....   | 77        |
| 4.4.3    | Bildauswertung .....  | 79        |
| 4.4.4    | Auswerteergebnisse .....  | 80        |
| 4.4.5    | Anwendungen in der Flurbereinigung .....  | 81        |
| 4.4.6    | Einsatzvoraussetzungen rechtlicher Art.....   | 81        |
| 4.4.7    | Fazit.....  | 83        |
| <b>5</b> | <b>Fortentwicklung der photogrammetrischen Technik in der<br/>Flurbereinigung RLP .....</b>                 | <b>85</b> |
| 5.1      | Nahbereichsphotogrammetrie.....   | 85        |
| 5.1.1    | Anwendungsfelder .....  | 86        |
| 5.1.2    | Einsatzmöglichkeiten in der Flurbereinigung.....  | 87        |
| 5.1.3    | Fazit.....  | 87        |
| 5.2      | 3D-Visualisierung.....  | 88        |
| 5.2.1    | Allgemeine Anwendungsbereiche.....  | 88        |
| 5.2.2    | Überlegungen zur Einführung der 3D Visualisierung in der<br>Flurbereinigungsverwaltung Rheinland-Pfalz..... | 91        |
| 5.2.3    | Externe Anbieter .....  | 95        |

---

|   |            |
|---|------------|
| 5.2.4 Fazit.....                                    | 99         |
| <b>6 Zusammenfassung und Ausblick.....</b>          | <b>100</b> |
| <b>Erklärung .....</b>                              | <b>102</b> |
| <b>Dankesworte.....</b>                             | <b>103</b> |
| <b>Anhang A: Auszug RiVerm.....</b>                 | <b>104</b> |
| <b>Anhang B: Anforderungen an den Bildflug.....</b> | <b>107</b> |
| <b>Literaturverzeichnis .....</b>                   | <b>109</b> |
| Bücher, Skripte, Hefte, Flyer .....                 | 109        |
| Internetseiten .....                                | 111        |
| Bild- und Abbildungsnachweise.....                  | 113        |

## Abbildungsverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Abbildung 1: Zeiss Stereoplanigraph C8 .....                              | 15 |
| Abbildung 2: Zeiss Planicomp P2.....                                      | 16 |
| Abbildung 3: Planar Bildschirm.....                                       | 17 |
| Abbildung 4: Skizze zum Antrag auf Befliegung (TK 25) .....               | 18 |
| Abbildung 5: Signalisierungsmuster .....                                  | 20 |
| Abbildung 6: Signalisierungskarte .....                                   | 21 |
| Abbildung 7: Zusammenfassung der Befliegungsgebiete zu „Losen“ .....      | 23 |
| Abbildung 8: Streifenbefliegung.....                                      | 24 |
| Abbildung 9: Abbildung bei Streifenbefliegung (Grundprinzip) .....        | 25 |
| Abbildung 10: Überlappungsverhältnisse .....                              | 26 |
| Abbildung 11: Verknüpfungspunkte.....                                     | 26 |
| Abbildung 12: Kreuzbefliegung.....  | 27 |
| Abbildung 13: Signalisierungskarte für Kreuzbefliegung .....              | 28 |
| Abbildung 14: Parameterdarstellung - Projektionsstrahl.....               | 29 |
| Abbildung 15: Projektionsstrahl .....                                     | 30 |
| Abbildung 16: Aerotriangulation .....                                     | 32 |
| Abbildung 17: Orthophotoherstellung .....                                 | 33 |
| Abbildung 18: Zentralprojektion.....                                      | 34 |
| Abbildung 19: Gitternetze .....   | 34 |
| Abbildung 20: Parallelprojektion.....                                     | 35 |
| Abbildung 21: Lagefehler im Orthophoto.....                               | 36 |
| Abbildung 22: True Orthophoto .....                                       | 37 |
| Abbildung 23: Topographische Auswertungen .....                           | 38 |
| Abbildung 24: Digitales Geländemodell.....                                | 39 |
| Abbildung 25: Digitales Oberflächenmodell.....                            | 40 |
| Abbildung 26: DGM - Übersicht.....  | 40 |
| Abbildung 27: Wertermittlungskarte .....                                  | 43 |
| Abbildung 28: Karte zum Plan nach § 41 FlurbG .....                       | 45 |
| Abbildung 29: Koordinatenberechnung einer Neuzuteilung mittels PuDig..... | 47 |
| Abbildung 30: PuDig - Lagegenauigkeitsnachweis.....                       | 48 |
| Abbildung 31: Sichtfeldanalyse .....                                      | 49 |
| Abbildung 32: DGM - Steigung $\geq 14\%$ .....                            | 50 |
| Abbildung 33: Auf- und Abtragsberechnung.....                             | 51 |
| Abbildung 34: Ergebnis der Baumaßnahme.....                               | 51 |
| Abbildung 35: Gewässerrückhaltebecken/Wirtschaftsweg .....                | 52 |
| Abbildung 36: Ausführungsplan mit geplanter Bepflanzungsmaßnahme.....     | 53 |
| Abbildung 37: Ausführungspläne mit geplanten Bepflanzungsmaßnahmen .....  | 54 |
| Abbildung 38: Örtliche Bestandsaufnahme .....                             | 55 |
| Abbildung 39: Ergebnis der Bestandsaufnahme .....                         | 56 |
| Abbildung 40: Leica - Versuchsobjekte .....                               | 59 |

|   |    |
|---|----|
| Abbildung 41: Leica - Ergebnisse .....                                    | 60 |
| Abbildung 42: Leica - Weinbergmauer .....                                 | 61 |
| Abbildung 43: GPS-Feldrechner; X10gx.....                                 | 64 |
| Abbildung 44: Einsatz mit Lotstabantenne .....                            | 65 |
| Abbildung 45: Fernerkundung - Klassifizierung .....                       | 70 |
| Abbildung 46: Fernerkundung- theoretische Möglichkeiten .....             | 72 |
| Abbildung 47: Fernerkundung – Waldgebiet .....                            | 72 |
| Abbildung 48: Farbinfrarot.....   | 73 |
| Abbildung 49: Trimble UX5 .....   | 76 |
| Abbildung 50: Spy-X6 HexaKopter .....                                     | 76 |
| Abbildung 51: Nahbereichsphotogrammetrie .....                            | 85 |
| Abbildung 52: 3D-Visualisierungen .....                                   | 89 |
| Abbildung 53 1/(3): 3D-Wege und Gewässerplan (Meersburg – Bodensee) ..... | 92 |
| Abbildung 54 2/(3): 3D-Wege und Gewässerplan (Meersburg – Bodensee) ..... | 93 |
| Abbildung 55 3/(3): 3D-Wege und Gewässerplan (Meersburg – Bodensee) ..... | 93 |
| Abbildung 56: Google Earth .....  | 95 |
| Abbildung 57: Open Street Map – Open Web Globe.....                       | 96 |
| Abbildung 58: Leaflet - Map Marker .....                                  | 97 |
| Abbildung 59: D3 - Data Driven Documents.....                             | 98 |

## Tabellenverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| Tabelle 1: Legende .....                           | 19 |
| Tabelle 2: Nutzungsarten der Klassifizierung ..... | 71 |
| Tabelle 3: UAV- Flugplanung .....                  | 77 |

## Abkürzungsverzeichnis

|         |   |
|---------|---|
| PuDig   | Punktfestlegung durch Digitalisierung   |
| LKV     | Landes- Kulturverwaltung  |
| VermKV  | Vermessungs- und Katasterverwaltung   |
| LVerGeo | Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation                                      |
| TZ      | Technische Zentralstelle  |
| DLR RNH | Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum<br>Rheinhessen-Nahe-Hunsrück                   |
| ADD     | Aufsichts- und Dienstleistungsdirektion   |
| TöB     | Träger öffentlicher Belange   |
| FlurbG  | Flurbereinigungsgesetz  |
| RiPhoto | Richtlinie für die Anwendung der Photogrammetrie in ländlichen Bodenordnungsverfahren |
| RiVerm  | Richtlinie für Vermessungsarbeiten in ländlichen Bodenordnungsverfahren               |
| LGVer   | Landesgesetz über das amtliche Vermessungswesen                                       |
| LuftVO  | Luftverkehrs Ordnung  |
| Az.     | Aktenzeichen  |
| TK 25   | Topographische Karte 1: 25 000  |
| ha      | Hektar  |
| DGM     | Digitales Geländemodell   |
| DOM     | Digitales Oberflächenmodell   |
| LGA     | Lagegenauigkeit   |
| LZK     | Lagezuverlässigkeit   |
| GST     | Genauigkeitsstufe   |
| VWL     | Vertrauenswürdigkeit der Lage   |
| z. Zt.  | zur Zeit  |

---

|          |   |
|----------|---|
| ggf.     | gegebenenfalls                                    |
| d. h.    | das heißt   |
| etc.     | et cetera   |
| ca.      | circa   |
| u. U.    | unter Umständen                                   |
| u. a.    | unter anderem                                     |
| m. E.    | meines Erachtens                                  |
| u. v. a. | und vieles andere                                 |
| z. B.    | zum Beispiel                                      |
| bzw.     | beziehungsweise                                   |
| o. g.    | oben genannte(r)                                  |
| i. d. R. | in der Regel                                      |
| bzw.     | beziehungsweise                                   |
| usw.     | und so weiter                                     |
| div.     | diverse   |
| AD       | Außendienst                                       |
| GPS      | Global Positioning System                         |
| RTK      | Real Time Kinematic                               |
| DGPS     | Differential Global Positioning System            |
| GNSS     | Global Navigation Satellite System                |
| INS      | Inertial Navigation System                        |
| GRIBS    | Graphisches Informations- und Bearbeitungs-System |
| LEFIS    | Landentwicklungsfachinformationssystem            |
| RGB      | Rot Grün Blau                                     |
| NIR      | Nahes Infrarot                                    |
| UAV      | Unmanned Aerial Vehicle                           |

# 1 Einführung

## 1.1 Aufgabenstellung

### 1.1.1 Sachverhalt

In der Flurbereinigungsverwaltung Rheinland-Pfalz wird die Photogrammetrie seit 1954 mit großem Erfolg eingesetzt. Begonnen wurde vor allem mit vermessungstechnischen Anwendungen.

Im Laufe der Jahrzehnte wurde den finanziellen Möglichkeiten und den vorhandenen Personalkapazitäten entsprechend die Technik ständig fortentwickelt. Begonnen wurde mit der Auswertung an Analogauswertesystemen. Heute ist der Einsatz digitaler Systeme Standard.

Die Produkte der Photogrammetrie werden bei der Erledigung der komplexen Aufgaben der Flurbereinigung vor allem in den Aufgabenfeldern der Vermessung, Planung, Bautechnik und Landespflege vielfältig genutzt.

### 1.1.2 Aufgabe

Nach sechs Jahrzehnten Nutzung der Photogrammetrie in der Flurbereinigung Rheinland-Pfalz ist der Stand der Technik zu bewerten. Weiterhin sind Strategien zur Fortentwicklung zu entwerfen.

1. Der Stand der photogrammetrischen Technik in der Flurbereinigung Rheinland-Pfalz ist einschließlich deren Produkte und ausgewählter Nutzungsbeispiele in Vermessung, Planung, Landespflege und Bautechnik zu beschreiben.
2. Die theoretischen Nutzungsmöglichkeiten der Photogrammetrie von heute u. a. in der Fernerkundung, durch digitale Techniken, Laserscanner, Visualisierungsmöglichkeiten, moderne Sensorträger oder im Nahbereich sind darzustellen und deren Anwendungsmöglichkeiten für die Flurbereinigung sind jeweils zu untersuchen.
3. Für die Fortentwicklung der photogrammetrischen Technik in der Flurbereinigung Rheinland-Pfalz ist unter Berücksichtigung der heutigen Ressourcen

insbesondere für moderne Visualisierungsmöglichkeiten (z. B. 3D-Visualisierung) und für die Nahbereichsphotogrammetrie eine neue Strategie zu entwickeln, zu begründen, exemplarisch aufzuzeigen und ein Einführungsvorschlag zu entwerfen.

## 1.2 Photogrammetrie (Grundsätze)

### Definition:

*„Photogrammetrie ist die Kunst, Wissenschaft und Technik, zuverlässig Informationen über physische Objekte und die Umgebung zu bekommen, unter Verwendung von Prozessen der Aufzeichnung, Messung und Interpretation photographischer Bilder oder anderer Registrierungen elektromagnetischer Energie“<sup>1</sup>.*

Sie ist ein Messverfahren, mit dem berührungsfrei Informationen über Objekte und Flächen in Form, Lage und Orientierung gewonnen werden können. Die eigentliche Messung erfolgt dabei in Bildern. Das Messverfahren umfasst die Aufnahme der Messbilder, deren Verarbeitung und die Ausgabe der Ergebnisse in analoger oder digitaler Form.

Die Ergebnisse einer photogrammetrischen Auswertung können sein:

- **Maßzahlen**  
2D/3D- Koordinaten einzelner Objektpunkte
- **Analoge Karten und Pläne**  
Grundriss mit Höhenlinien und sonstiger graphischer Darstellungen der Objekte
- **Digitale geometrische Modelle**  
Gelände- und Höhenmodelle
- **Bilder** (analog und/oder digital)  
entzerrte Photos (Orthophotos) und daraus abgeleitete Luftbildkarten, aber auch Photomontagen und dreidimensionale Photomodelle.

Neben der geometrischen Rekonstruktion der aufgenommenen Objekte geht in vielen Fällen auch die Deutung des Bildinhaltes einher. Das Ergebnis einer solchen Photointerpretation ist die Klassifizierung der Objekte nach verschiedenen Merkmalen.

---

<sup>1</sup> Skript zum Modul Datenerfassung und Photogrammetrie, FH-Mainz, Prof. Dr. Frank Boochs

Die Photogrammetrie erlaubt die Rekonstruktion der Objekte und die Darstellung einiger Objektmerkmale ohne direkte Berührung der Gegenstände. Die Art der Informationsgewinnung - über die Erdoberfläche - wird als Fernerkundung bezeichnet. Fernerkundung ist die Gesamtheit aller Verfahren zur Gewinnung von Informationen über die Erdoberfläche durch Messung und Interpretation der von ihr reflektierten oder emittierten elektromagnetischen Strahlung. Diese Definition schließt auch jenen Teil der Photogrammetrie ein, der auf die Erdoberfläche ausgerichtet ist. Wenn die geometrischen Merkmale jedoch im Vordergrund stehen, spricht man nach wie vor von Photogrammetrie und nicht von Fernerkundung.

## 2 Photogrammetrische Technik in der Flurbereinigung RLP

Die Flurbereinigungsverwaltung Rheinland-Pfalz nutzt seit Jahren die Ergebnisse der Photogrammetrie mit großem Erfolg. Deren Produkte „digitales Orthophoto“, „digitales Geländemodell“, „Koordinaten von Neupunkten“ und „planungsrelevante Topographie“ sind Grundlage vieler Arbeitsprozesse in den Sachgebieten „Planung und Vermessung“, „Landespflege“ und „Bautechnik“.

Nachfolgend werden:

1. die sich z. Zt. in der Flurbereinigungsverwaltung im Einsatz befindlichen photogrammetrischen Produkte aufgezeigt (ggf. unter Beleuchtung ihrer Historie).
2. die Anwendungsfelder dieser Produkte in den einzelnen Sachgebieten erläutert. Dabei sollen Anwendungsprobleme beleuchtet und Optimierungsmöglichkeiten aufgezeigt werden, wobei Wirtschaftlichkeit und Anwenderfreundlichkeit besonders im Fokus stehen.
3. neue Einsatzmöglichkeiten u. a. der „Nahbereichsphotogrammetrie“ oder der „3D-Visualisierung“ beschrieben; hier unter Berücksichtigung vorhandener personeller und finanzieller Ressourcen.

### 2.1 Technische Entwicklung in Rheinland-Pfalz

Die Flurbereinigungsverwaltung hat sich bereits 1951 mit dem Thema Luftbildmessung auseinandergesetzt. Es gab erste Überlegungen, die Photogrammetrie wirksam für die Bearbeitung von Flurbereinigungsverfahren einzusetzen.

Mit der Einrichtung der Luftbild- und Rechenstelle, als Nebenstelle des Katasteramtes Bingen, im Jahre 1954, wurden ersten „Gehversuche“ im Bereich „Analoge Photogrammetrie“ in der Landes- Kulturverwaltung (LKV) unternommen. Als Auswertegerät diente das Zeiss Stereoplanigraph C8, wie es in nachfolgender Abbildung dargestellt ist.

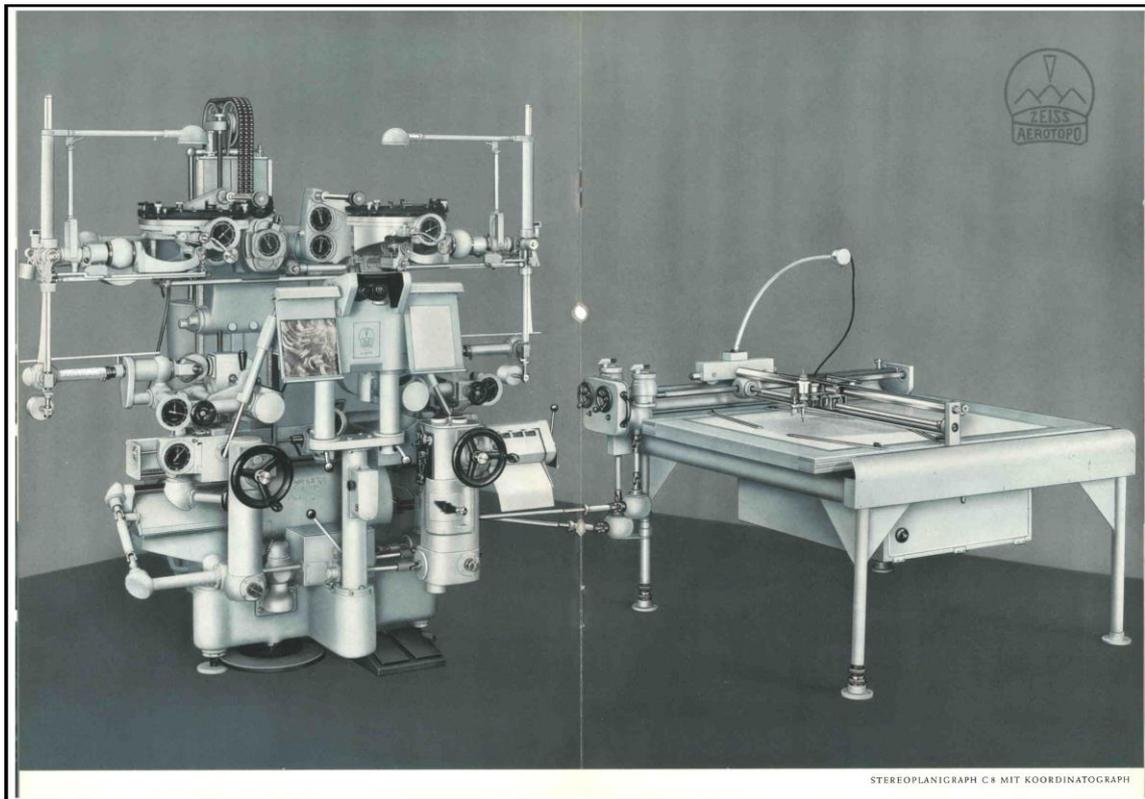


Abbildung 1: Zeiss Stereoplanigraph C8

Zunächst wurden nur einige wenige Punkte koordiniert. Anfang der 60er Jahre, mit der Einführung der Aerotriangulation (Streifentriangulation), konnte man bereits eine Koordinierung aller abgebildeten Punkte, beispielsweise für eine Flächenberechnung, durchführen. Die erste automatisierte Registrierung der Messergebnisse erfolgte 1974 auf Lochstreifen.

Als Folge der rasant fortschreitenden Entwicklung, erfolgte in den 80er Jahren die Umstellung auf die sogenannte „Analytische Photogrammetrie“. Die Auswertung der Messergebnisse hier wurde mittels eines neuen Auswertegerätes, dem „Zeiss Planicomp P2“ (siehe nachstehende Abbildung), vorgenommen.



Abbildung 2: Zeiss Planicomp P2

Mit dieser Weiterentwicklung war eine Punktberechnung mittels Digitalisierung möglich. Der wesentliche Unterschied zur analogen Photogrammetrie bestand darin, dass die photographischen Messbilder durch mechanische Konstruktionen (präzise Hebel etc.) oder durch optische Projektionsverfahren ausgewertet wurden. D. h. was bei der analogen Photogrammetrie durch optisch-mechanische Nachbildung der Aufnahmesituation geschah, erfolgte nun auf rechnerischem und weitestgehend automatisiertem Weg.

1998 wurde die „digitale Photogrammetrie“ eingeführt, was zur Folge hatte, dass alle photogrammetrischen Arbeitsabläufe auf elektronischer Datenverarbeitungsebene ablaufen konnten. In ausgewählten Projekten war jetzt sogar der Einsatz digitaler Farbbilder möglich.

Heute sind die Produkte der Photogrammetrie („digitales Orthophoto“, „Koordinaten von Neupunkten“, „planungsrelevante Topographie“ und „digitales Geländemodell“) die Grundlage eines jeden Flurbereinigungsverfahrens. Mit Hilfe des nachfolgend

dargestellten und heute im Einsatz befindlichen „Planar-Bildschirmes“, sind Messungen/Auswertungen im Stereomodell (3D) möglich.



Abbildung 3: Planar Bildschirm

Durch die dreidimensionale Darstellung in einem georeferenzierten Modell, können Höhenunterschiede sowie topographische Besonderheiten (Böschungen, Mauern etc.) ausgewertet werden.

## 2.2 Richtlinien für die Anwendung der Photogrammetrie

Für die Befliegung, Signalisierung, Passpunktbestimmung sowie die abschließende Auswertung gelten die Richtlinien für die Anwendung der Photogrammetrie in ländlichen Bodenordnungsverfahren (RiPhoto), in der jeweils geltenden Fassung (Az.: 8604 - 5\_210).

Ziel ist es, unter dem Gesichtspunkt der Wirtschaftlichkeit, aktuelle und hochgenaue Planungsunterlagen für die Bearbeitung der Bodenordnungsverfahren zu erhalten (siehe dazu auch Anhang A: Auszug RiVerm).

## 2.3 Prozesskette zur Ermittlung der photogrammetrischen Produkte

### 2.3.1 Vermessungskonzept

Für jedes Flurbereinigungsverfahren ist einleitend ein Vermessungskonzept zu erstellen. Es ist zu entscheiden, ob eine komplette Neuvermessung oder eine Weiterverwendung des bestehenden Katasternachweises in Teilbereichen (Baulandumlegung, Straßenschlussvermessung etc.) erfolgen soll.

### 2.3.2 Neuvermessung mittels Befliegung

Zunächst ist ein Befliegungsantrag bei der Technischen Zentralstelle zu stellen. Diesem Antrag ist ein Auszug aus der TK 25 beizufügen, der das Befliegungsgebiet abbildet. Geplante Verfahrensgrenze und Abgrenzung des Befliegungsgebietes müssen nicht zwingend identisch sein (siehe nachstehende Abbildung, nebst Erläuterungen).

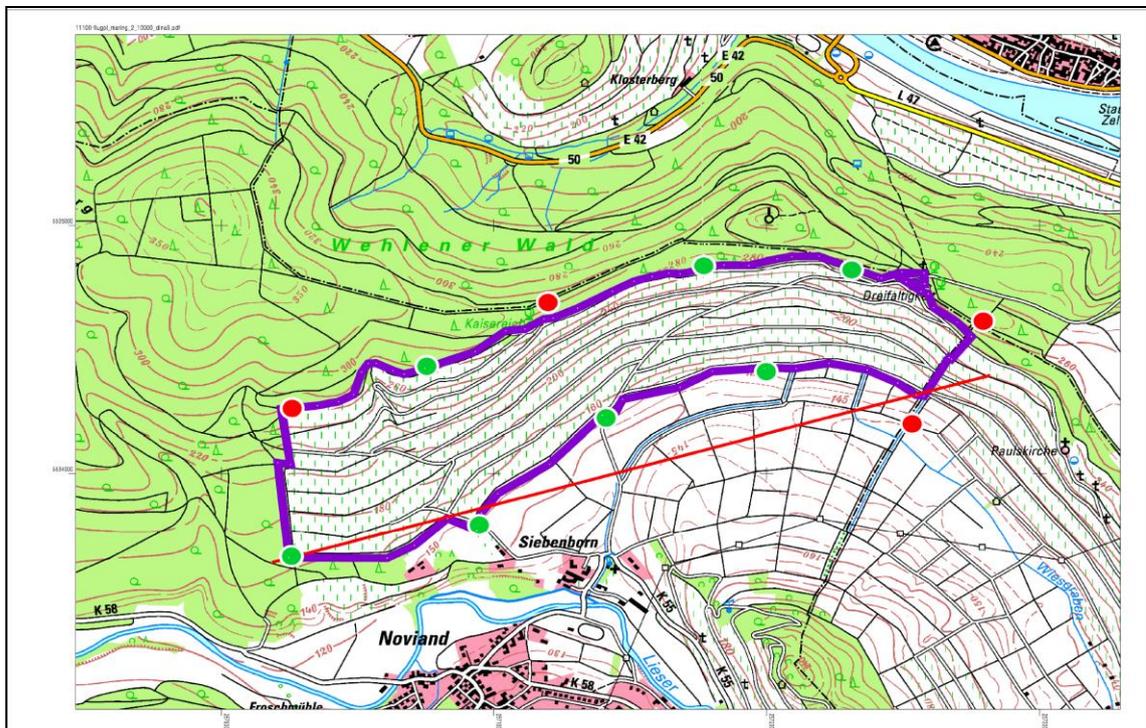


Abbildung 4: Skizze zum Antrag auf Befliegung (TK 25)

Tabelle 1: Legende

|   |                                     |
|---|-------------------------------------|
|  | Terrestrisch vorhandene Passpunkte  |
|  | Zusätzlich benötigte Passpunkte     |
|  | Festlegung des ersten Flugstreifens |

Aus Wirtschaftlichkeitsgründen werden mehrere Verfahrensgebiete zu einem Befliegungsauftrag (sogenannte „Lose“) zusammengefasst. Die abschließende Befliegungsgenehmigung und somit auch die grundsätzliche Entscheidung über den Verfahrensablauf, obliegt der Aufsichts- und Dienstleistungsdirektion (ADD).

### 2.3.2.1 Bedingungen

Der erfolgreiche Einsatz der Luftbildmessung ist von verschiedenen Bedingungen abhängig.

So ist der Befliegungszeitraum vegetationsbedingt auf einen bestimmten Jahresabschnitt begrenzt (Waldgebiete, Hecken und Obstbäume verdecken vor dem Laubfall u. U. einen großen Teil der örtlich auszubringenden Signale). Dies trifft besonders für Herbstbefliegungen zu, da der Bildflug wegen des niedrigen Sonnenstandes nicht bis nach dem Laubfall verschoben werden kann. Das gleiche gilt für eine Frühjahrsbefliegung, wenn der Bildflug infolge ungünstiger Wetterlage in den Beginn der Wachstumsperiode verschoben werden müsste. Beste Ergebnisse werden im Frühjahr (Ende Februar bis Mai) bei klarem, wolkenlosem Himmel erzielt. Zu diesem Zeitpunkt bereitet i. d. R. nur der Nadelwald, der die Signale verdecken könnte, Probleme. Nur gesichert luft sichtbare Punkte sollten daher signalisiert werden.

### 2.3.2.2 Vorarbeiten

#### 2.3.2.2.1 Signalisierung

Garant für die Qualität der photogrammetrischen Aufnahmen ist die örtliche Signalisierung. Hierbei ist die Sichtbarkeit der Bodensignale im Luftbild von besonderer Bedeutung. Sichtbarkeit bedeutet nicht nur, dass die Signale richtig abgebildet werden, sondern auch, dass sie richtig identifiziert werden können.

Der nachfolgenden Übersicht sind die üblichen Signalisierungsmuster zu entnehmen:

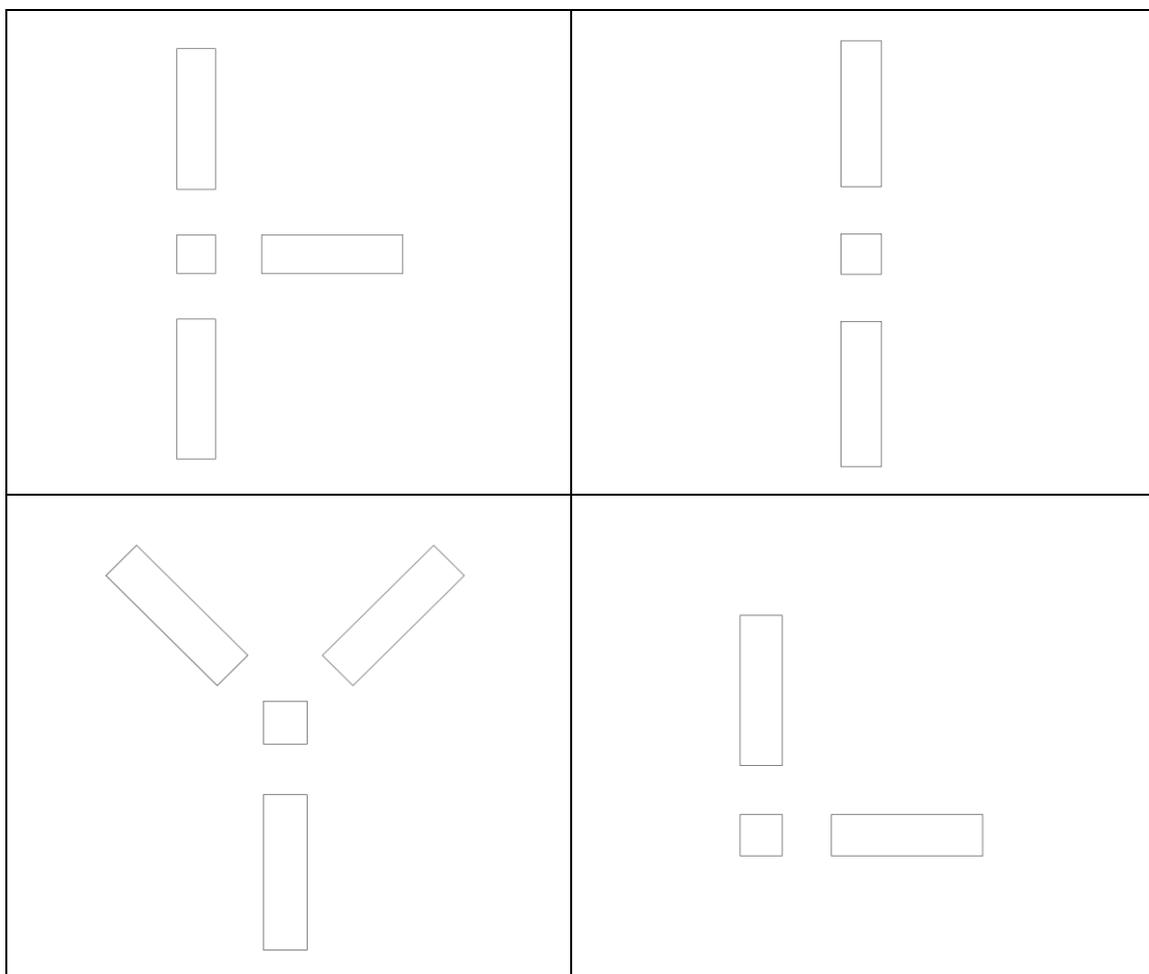


Abbildung 5: Signalisierungsmuster

Die Punkt-Signalisierung besteht aus einer weißen Kunststoffplatte (15 x 15 cm) und mindestens zwei Hilfsstreifen (80 x 6 cm). Diese Streifen werden abwechselnd in verschiedenen Mustern ausgelegt. Das jeweilige Muster wird in der Signalisierungskarte vermerkt. Um die abzubildenden Punkte eindeutig identifizieren zu kön-

nen, müssen mindestens zwei Kontrollpunkte signalisiert und eingemessen werden. Diese Messergebnisse werden ebenfalls in die Signalisierungskarte eingetragen.

Die nachfolgende Abbildung zeigt einen Ausschnitt aus einer Signalisierungskarte (Orthophoto), ergänzt um:

- die Verfahrensgebietsgrenze,
- die Passpunkte mit roter Flächenfärbung,
- die auszuwertenden topographischen Gegenstände und
- die Koordinatengitter/-angaben.



Abbildung 6: Signalisierungskarte

Grundsätzlich ist bei den Signalisierungsarbeiten darauf zu achten, dass ein guter Kontrast zwischen Signal und umgebender Bodenfläche vorhanden ist. Bei hellen befestigten Wegen soll beispielsweise um das Signal herum, mit schwarzer Farbe, eine Kontraststeigerung erzeugt werden. Durch diesen Effekt kann das Signal bei der abschließenden Auswertung sicher angesteuert werden.

Nach Abschluss der Signalisierungsarbeiten gilt es, die Signale zunächst bis zur Überfliegung zu schützen und ihre Tauglichkeit im Sinne der Photogrammetrie zu gewährleisten. Diese Überwachung ist solange aufrecht zu erhalten, bis die Technische Zentralstelle die Überfliegungsergebnisse überprüft hat und ein Wiederholungsflug nicht notwendig ist. Erst danach werden die Signale abgeräumt, bzw. wieder eingesammelt.

#### 2.3.2.2.2 Passpunkte

Ein Passpunkt wird in der Photogrammetrie als Punkt bezeichnet, dessen Koordinaten bekannt sind.

Man unterscheidet drei Arten von Passpunkten:

- **Lagepasspunkte**, bei denen nur die Lagekoordinaten X und Y bekannt sind,
- **Höhenpasspunkte**, bei denen nur die Höhenkoordinate Z bekannt ist und
- **Vollpasspunkte**, bei denen die Raumkoordinaten X, Y und Z bekannt sind.

Bei der Luftbildauswertung werden die Passpunkte für den Anschluss an den Raumbezug benötigt. D. h. sie werden für die Bestimmung der Orientierungselemente eines Messbildes verwendet.

In Abbildung 4 (TK 25 - Antrag auf Befliegung) wurde bereits gezeigt, wie ein homogenes Feld an Passpunkten aussehen kann. Die in rot dargestellten vorhandenen Passpunkte wurden durch die grünen Neupunkte ergänzt. Es ist Aufgabe der Technischen Zentralstelle die Punktlage auszuwählen, die Punkte zu vermarken, zu signalisieren und mittels GPS zu bestimmen.

### 2.3.2.3 Ausschreibung

Die Flurbereinigungsverwaltung Rheinland-Pfalz verfügt aus Wirtschaftlichkeitsgründen über keine eigenen Bildflugzeuge. Insofern muss die Befliegung von externen Anbietern vorgenommen werden.

Die Vergabe der Befliegungsaufträge ist ebenfalls Aufgabe der Technischen Zentralstelle. Sie fertigt vorbereitend u. a. eine Zusammenfassung mehrerer Verfahrensgebiete zu einem Befliegungsauftrag. In sogenannten „Losen“ (Zusammenfassung von Einzelgebieten) werden Art der Befliegung (z. B. Kreuzbefliegung) und die Größe der zu befliegenden Gebiete genannt (siehe hierzu nachfolgende Abbildung).

| <b>Befliegung 2013</b>                        |                 |               |                                     |
|---|-----------------|---------------|-------------------------------------|
| <b>Technische Zentralstelle Bad Kreuznach</b> |                 |               |                                     |
| <b>Nr.</b>                                    | <b>Gebiet</b>   | <b>ha ca.</b> | <b>Bemerkung</b>                    |
| 1   | A-Dorf          | 1536          | Kreuzbefliegung Wald                |
| 2   | B-Dorf          | 1562          |                                     |
| 3   | C-Dorf          | 770           | Kreuzbefliegung westl. Waldteil     |
| 4   | D-Dorf          | 301           | erster Streifen vorgegeben, LÜ 80 % |
| 5   | E-Dorf          | 20            | erster Streifen vorgegeben          |
| 6   | F-Dorf          | 13            | erster Streifen vorgegeben          |
| 7   | G-Dorf          | 110           | erster Streifen vorgegeben          |
| 8   | H-Dorf          | 70            | Kreuzbefliegung                     |
| 9   | I-Dorf          | 1000          | Kreuzbefliegung westl. Waldteil     |
|   | Los 1 (Nr. 1-2) | 3098          |                                     |
|   | Los 2 (Nr. 3-9) | 2284          |                                     |
|   |                 | <u>5382</u>   |                                     |

Abbildung 7: Zusammenfassung der Befliegungsgebiete zu „Losen“

Die Ausschreibungskriterien für einen Befliegungsauftrag sind dem Anhang B zu entnehmen.

Die Kosten einer Befliegung liegen i. d. R. zwischen 3,00 und 5,00 €/ha.

### 2.3.2.4 Bildflugplanung

#### Definition:

„Als Bildflug wird in der Geodäsie und Photogrammetrie das **streifenförmige** Abfliegen von Gebieten zur Herstellung von Geländemodellen oder Landkarten bezeichnet. Auf der Unterseite des Flugzeuges ist eine spezielle Messkamera montiert, die in festgelegten Abständen senkrechte Luftbilder aufnimmt.“<sup>2</sup>

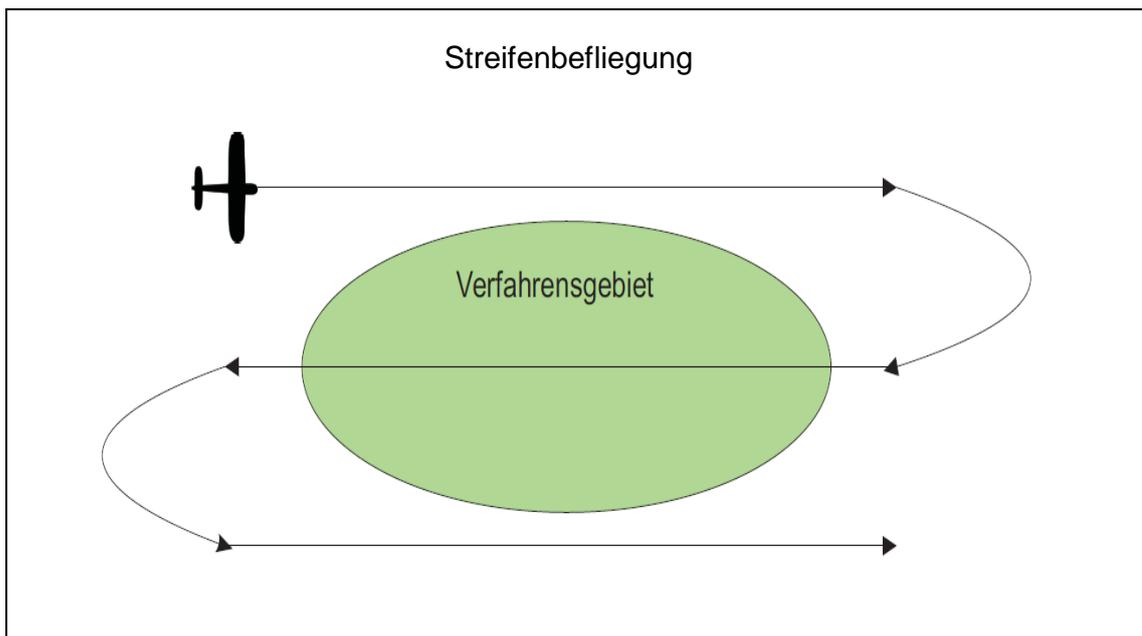


Abbildung 8: Streifenbefliegung

Vom Bildflug, der Grundlage der Luftbildmessung, hängt letzten Endes die Genauigkeit und Wirtschaftlichkeit des gesamten Verfahrens ab. Zudem ist er das schwächste Glied in der Kette der photogrammetrischen Arbeitsschritte, da die Aufnahmezeiten auf wenige Tage im Jahr beschränkt sind und alle Vorarbeiten sorgfältig auf den Flugtermin abgestimmt werden müssen.

Im Kapitel „2.3.2.3 Ausschreibung“ wurden die Rahmenbedingungen für eine Bildflugplanung bereits aufgezeigt.

---

<sup>2</sup> Internetseite Wikipedia: <http://www.wikipedia.de/bildflug>

### 2.3.2.4.1 Streifenbefliegung

Hauptaufgabe der Luftbildmessung ist die dreidimensionale Erfassung der natürlichen Landschaft und der darauf errichteten künstlichen Gegenstände. Voraussetzung dafür ist, dass die Objektpunkte der Geländeoberfläche in mindestens zwei Bildern erfasst werden. Um diese Bedingung erfüllen zu können, müssen sich die Messbilder um mindestens 50% in Längsrichtung überdecken. Die überlappenden Bildhälften im Streifen sollten dem Normalfall der Zweibildauswertung entsprechen, d. h. sie haben eine parallele Aufnahmerichtung senkrecht zur Basis.

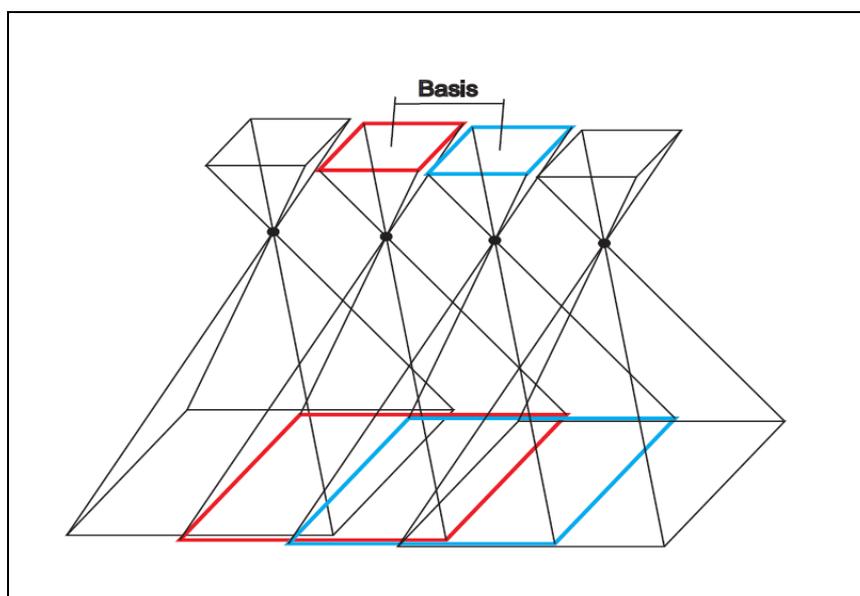


Abbildung 9: Abbildung bei Streifenbefliegung (Grundprinzip)

In der Praxis lässt sich o. g. Normalfall nicht streng einhalten, so dass lediglich Aufnahmen im genäherten Normalfall (genäherte Senkrechtaufnahme) entstehen. Die Überlappungsverhältnisse müssen daher entsprechend angepasst werden.

- Längsüberdeckung: 60 %
- Querüberdeckung: 40 %

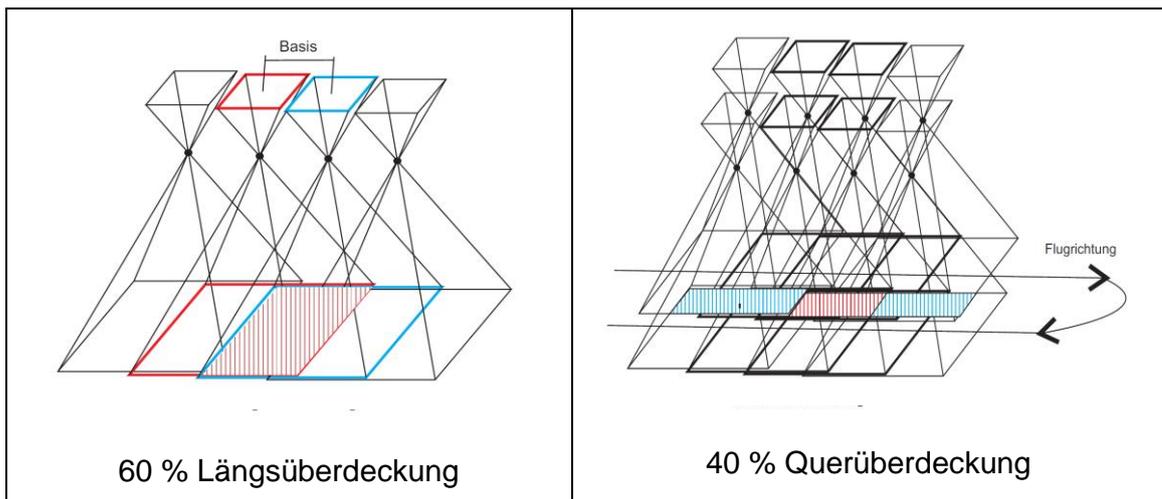


Abbildung 10: Überlappungsverhältnisse

Im Zuge der Bildtriangulation wird anhand koordinierter Verknüpfungs- und Passpunkte (in nachfolgender Abbildung in rot dargestellt) die äußere Orientierung aller in einem Verbund vorliegenden Messbilder erreicht. D. h. die Lage der einzelnen Bilder zueinander kann rechnerisch ermittelt werden. Nur dadurch sind bestmögliche Ergebnisse mittels Stereoauswertung zu erzielen.



Abbildung 11: Verknüpfungspunkte

### 2.3.2.4.2 Kreuzbefliegung

In Regionen mit starken Luftsichteinschränkungen, wie sie z. B. in Waldregionen auftreten, kommt es häufig vor, dass signalisierte Punkte nicht eindeutig identifiziert und bestimmt werden können. Dies hat zur Folge, dass alle ausfallenden Punkte nachträglich terrestrisch bestimmt werden müssen.

Um dieses Problem möglichst gering zu halten, beantragt die Technische Zentralstelle in solchen Gebieten eine Kreuzbefliegung. Das bedeutet, dass das Verfahrensgebiet aus vier Richtungen befliegen wird (siehe Abbildung 12: Kreuzbefliegung). Somit werden alle signalisierten Punkte mehrfach aufgenommen. Die Punktidentifizierungsquote steigt dadurch deutlich, der Anteil der nicht verwendbaren Punkte liegt oftmals unter 10 %.

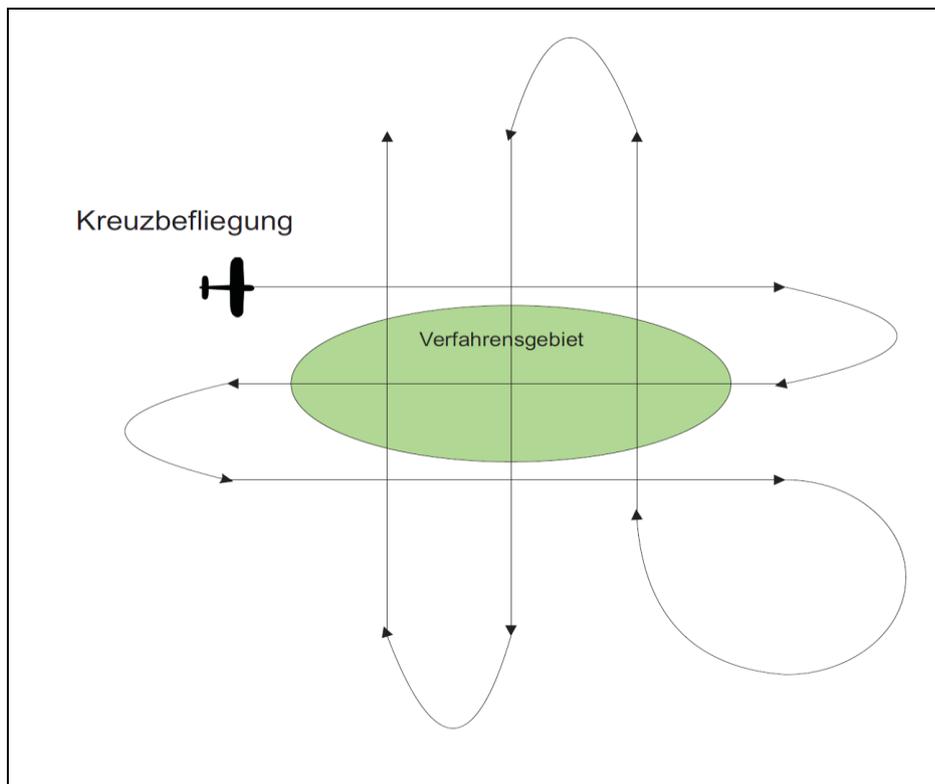


Abbildung 12: Kreuzbefliegung



|                |  |
|----------------|--|
| Objektpunkt    | $\bar{X}_P = \begin{pmatrix} X_P \\ Y_P \\ Z_P \end{pmatrix}$  |
| Objektsystem   | $\bar{X}_O = \begin{pmatrix} X_O \\ Y_O \\ Z_O \end{pmatrix}$  |
| Maßstabsfaktor | $\lambda$  |
| Drehwinkel     | $\overline{R(\varphi, \omega, \kappa)} = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{21} & r_{31} \\ r_{12} & r_{22} & r_{32} \\ r_{13} & r_{23} & r_{33} \end{pmatrix}$ <p><math>\varphi, \omega, \kappa =</math> Drehwinkel (bzgl. y, x, z-Achse)<br/>Drehung der Koordinaten zueinander</p> |
| Bildpunkt      | $\bar{x}'_P = \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ -c' \end{pmatrix}$ <p><math>c =</math> Kamerakonstante der inneren Orientierung</p>  |

Abbildung 14: Parameterdarstellung - Projektionsstrahl

Geometrisch kann die Umformung eines Messstrahls durch drei Komponenten ausgedrückt werden.

1. Drehung des Bildsystems parallel um das Objektsystem
2. Vergrößerung des Bildstrahls auf die Länge des Projektionsstrahls
3. Verschiebung des Koordinatenursprungs vom Projektionszentrum in das Zentrum im Objektraum

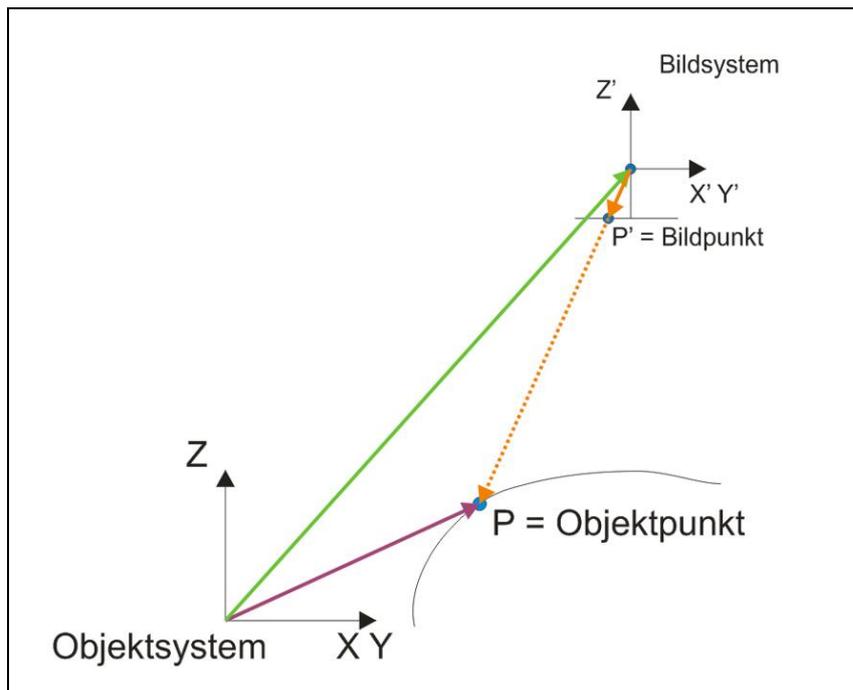


Abbildung 15: Projektionsstrahl

$$\bar{X}_P = \bar{X}_0 + \Lambda * \bar{R} * \bar{x}'_P$$

Die hierfür benötigten Orientierungsdaten werden wie folgt beschrieben:

#### Innere Orientierung:

Die Innere Orientierung ist ein fester Parametersatz, der an die verwendete Messkammer gebunden ist. Sie darf sich für eine Aufnahmeserie nicht ändern, da auf ihrer Stabilität das geometrische Grundkonzept beruht.

Parameter:

- $c$  = Kamerakonstante
- $X_H, Y_H$  = Hauptpunktlage
- $\Delta r'$  = Verzeichnung

### Äußere Orientierung:

Die Äußere Orientierung beschreibt die Lage der Messkammer im Raum, wie sie zum Zeitpunkt der Aufnahme gegeben war. Sie erlaubt die Umrechnung der mit den gemessenen Bildpunkten festgelegten Bildstrahlen die im Raum definiert sind. Dadurch wird die Bildmessung auf den Objektraum übertragen. Es gibt für jedes Bild einen eigenen solchen Parametersatz. Die Bestimmung dieser Parameter geschieht im Rahmen von Bündeltriangulationen, d. h. simultaner Berechnung der Orientierung aller an einem Block beteiligter Bilder.

Parameter:

- $X_0, Y_0, Z_0$  = Verschiebung
- $\varphi, \omega, \kappa$  = Drehung

#### 2.3.3.2 Bestimmung der äußeren Orientierung durch Triangulation

Die Verfahren der Bildtriangulation ermitteln die äußere Orientierung aller Bilder. Voraussetzung ist, dass die Messbilder in einem Verband aufgenommen sind. Im Rahmen der Luftbildmessung spricht man hier von Aerotriangulation.

Im Zuge dieser Aerotriangulation wird anhand koordinatenmäßig bestimmter Verknüpfungs- und Passpunkte die Orientierung aller in einem Verband vorliegenden Messbilder bzw. Modelle „in einem Guss“ erreicht. Die simultane Verwendung aller Messungen erlaubt bestmögliche Resultate.

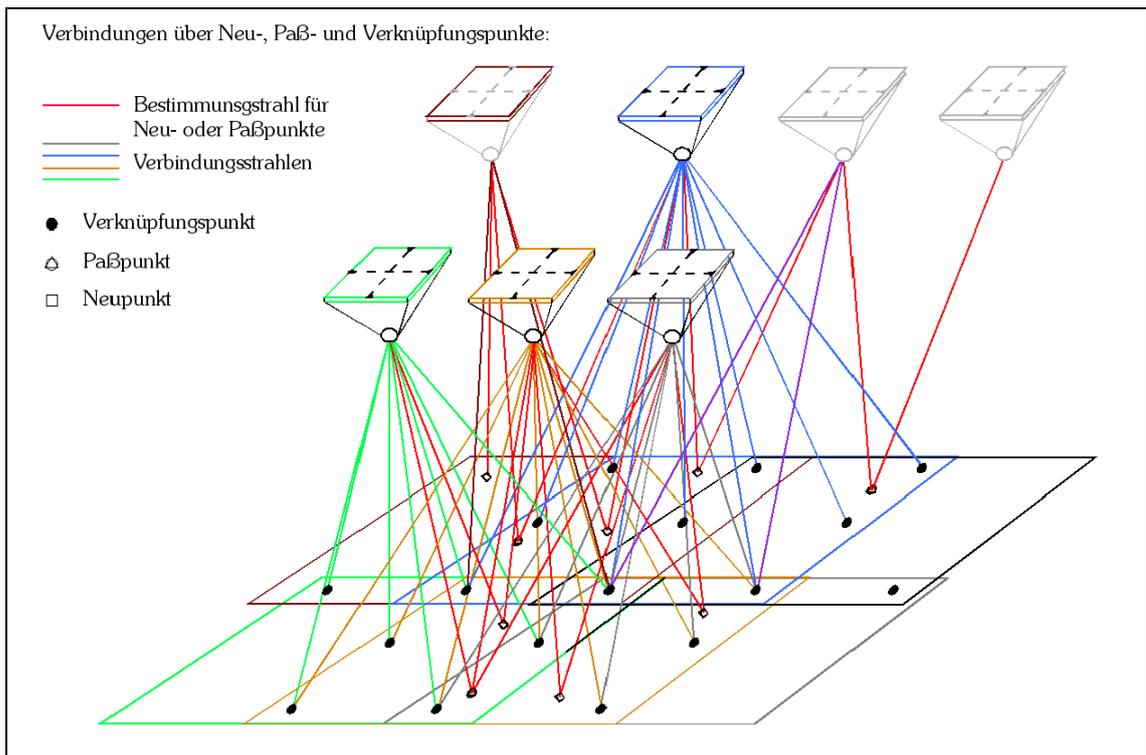


Abbildung 16: Aero- und Stereotriangulation

Die Ergebnisse der Aero- und Stereotriangulation sind Grundlage für die Stereoauswertung.

### 2.3.3.3 Auswertesysteme

Die Flurbereinigungsverwaltung Rheinland-Pfalz bedient sich zur Auswertung der Befliegungsergebnisse (Photos) zweier Planar-Bildschirme bei der Technischen Zentralstelle (siehe Abbildung 3: Planar Bildschirm).

## 2.4 Photogrammetrische Produkte

Durch Auswertung der Bilddaten können folgende photogrammetrische Produkte abgeleitet werden:

### 2.4.1 Digitales Orthophoto

#### Definition:

„Ein digitales Orthophoto ist ein digitales Bild, das geometrisch einer orthogonalen Projektion abgebildeter Objekte auf eine Bezugsfläche entspricht (DIN 18740-3).“

Orthophotos sind demnach verzerrungsfreie, maßstabsgetreue Abbildungen der Erdoberfläche. Sie werden durch photogrammetrische Verfahren mit Hilfe der Orientierungsparameter und eines digitalen Geländemodells aus Luftbildern hergestellt.

#### 2.4.1.1 Differentielle Entzerrung

In nachfolgendem Schaubild wird der Weg vom Luftbild zum Orthophoto aufgezeigt:

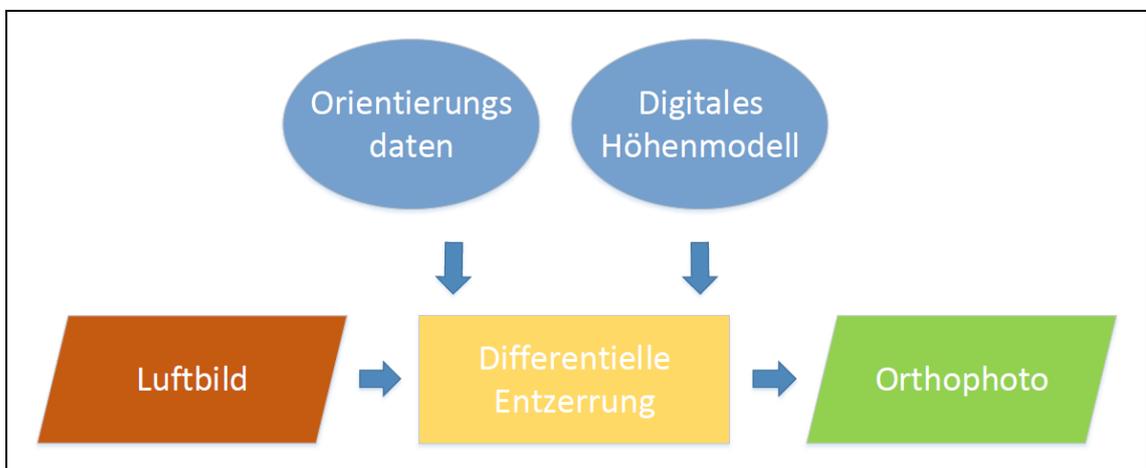


Abbildung 17: Orthophotoherstellung

Das Luftbild ist eine zentralperspektivische Abbildung der Geländeoberfläche. Die Zentralprojektion weist aufgrund von Neigungen im Objekt, Neigungen im Bild und der unterschiedlichen Geländehöhe keine einheitlichen geometrischen Abbildungsverhältnisse (Maßstäbe) auf.

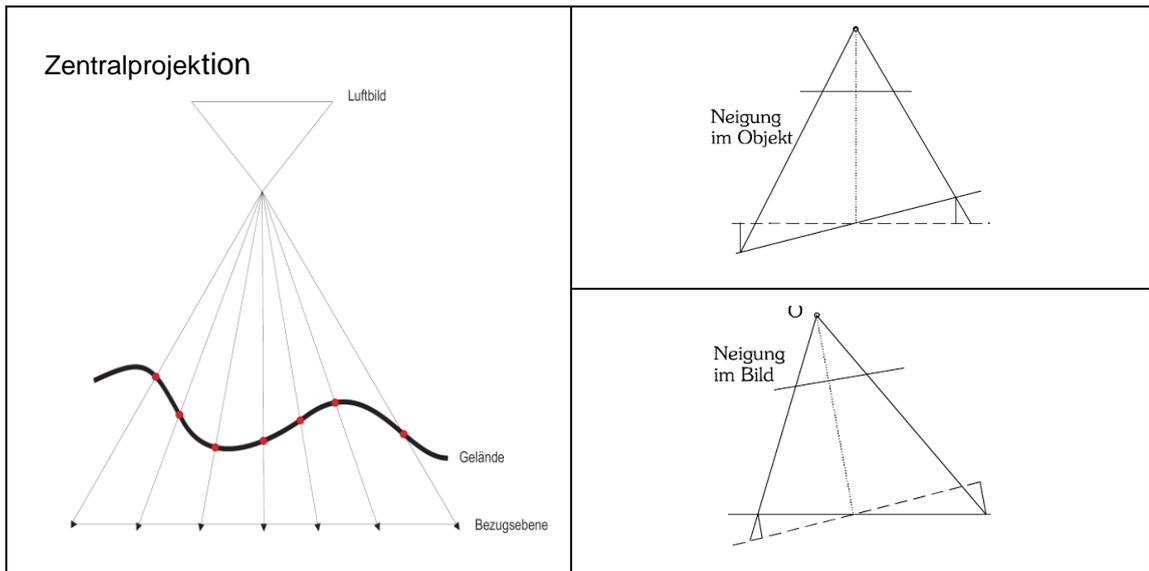


Abbildung 18: Zentralprojektion

Daher ist das Luftbild als metrische Vorlage ungeeignet. Abgegriffene Längen, Winkel und Flächen sind verfälscht.

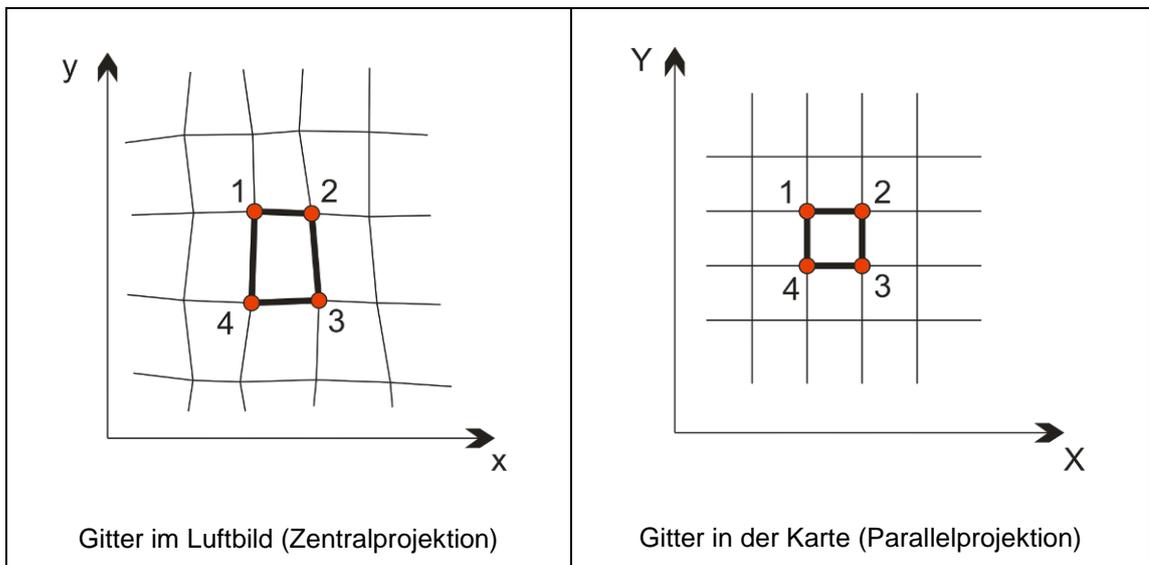


Abbildung 19: Gitternetze

Damit das Luftbild für präzise Messungen verwendet werden kann, muss es differentiell entzerrt werden. Hierfür wird das digitale Geländemodell sowie div. Orientierungsdaten benötigt. Die Orientierungsgrößen der inneren und äußeren Orientierung werden im Zuge der Aerotriangulation gewonnen. Mit Hilfe dieser Elemente kann die Sollage von Punkten berechnet und das Originalbild als Orthophoto abgebildet werden.

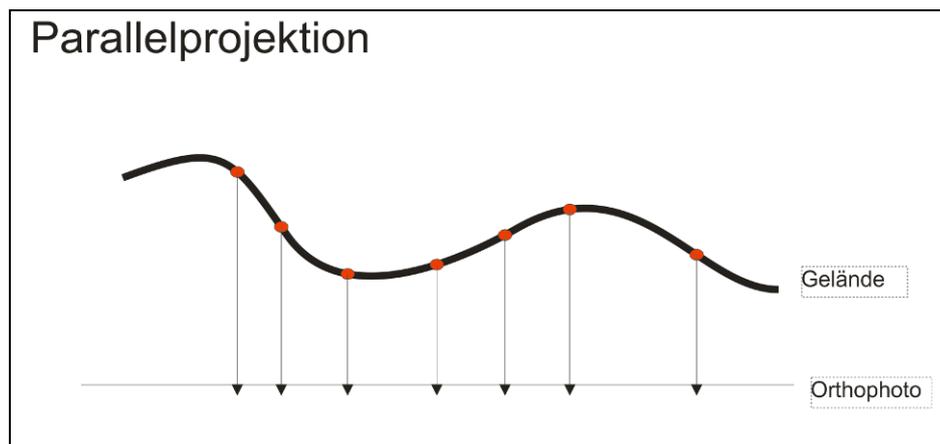


Abbildung 20: Parallelprojektion

### Orthophotos

- bergen eine hohe Aktualität und Informationsdichte
- können weitestgehend automatisiert, schnell und preiswert hergestellt werden.

#### 2.4.1.2 Qualität des Orthophotos

Die Qualität des Orthophotos hängt in hohem Maße von der Qualität des digitalen Geländemodells ab. Auf Grund der Zentralperspektive der Aufnahme und der Höhenunterschiede im Gelände, entstehen Lagefehler im Bild. Orthophotos können daher nie exakt lagerichtig dargestellt werden. Speziell im Wald, an Waldrändern und in Ortslagen ist ihre Genauigkeit sehr eingeschränkt und reicht i. d. R. für die Digitalisierung von Sollkoordinaten nicht aus. Hier sollte eine Punktfestlegung im Stereomodell erfolgen.

In nachfolgender Abbildung ist der Lagefehler im digitalen Orthophoto gut zu erkennen. I. d. R. sind solche radialen Versetzungen jedoch nicht erkennbar.



Abbildung 21: Lagefehler im Orthophoto

Weitere Fehlerquellen für Lageabweichungen im Orthophoto können sein:

- Einpassungsfehler (Auswertung, Umbildung)
- Fehler in der Erfassung der Oberflächenpunkte
- Interpolationsfehler bei der Erzeugung eines regelmäßigen Punktrasters
- Fehlerhafte Beschreibung des Geländes durch das Raster

Bei künstlichen Objekten kann der Lagefehler im Orthophoto mittels „True Orthophoto“ korrigiert werden. Das True Orthophoto ist auch auf dem künstlichen Objekt lagerichtig und die sichttoten Räume eines Orthophotos werden mit Bildinhalten angrenzender Orthophotos aufgefüllt.

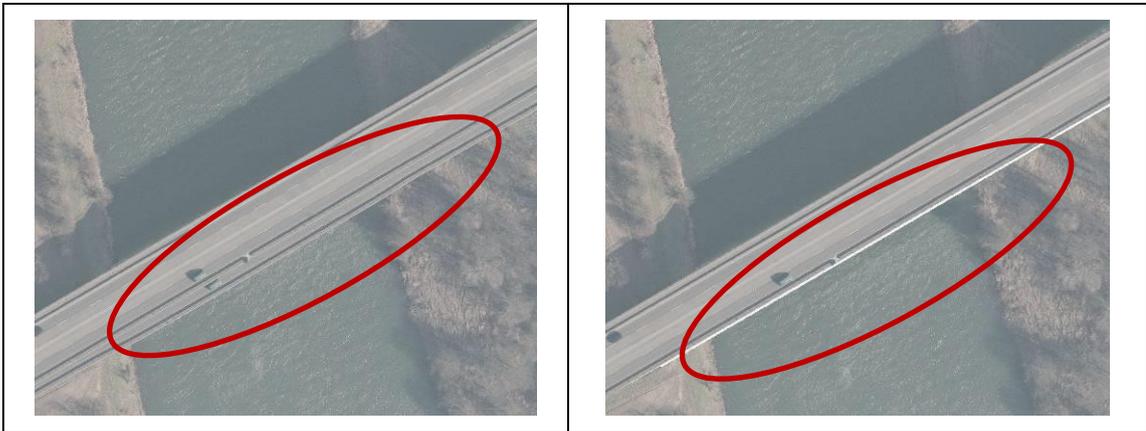


Abbildung 22: True Orthophoto

Die Bodenauflösung (Pixelgröße) der digitalen Orthophotos ist für die Anwendung von PuDig (Punktfestlegung durch Digitalisierung) mit 7 cm berechnet.

Zur abschließenden Bearbeitung der Verfahren werden die einzelnen Orthophotos zu einem georeferenzierten Orthophotomosaik zusammengefügt und den bearbeitenden Dienstleistungszentren zur Verfügung gestellt.

#### 2.4.2 Koordinaten von Neupunkten (Neuvermessung)

In Luftbildern können durch Präzisionsmessung dreidimensionale Koordinaten von Geländepunkten mit einer Lagegenauigkeit von +/- 1,5 cm ermittelt werden. Dabei werden folgende Punktarten unterschieden:

- temporäre Aufnahmepunkte
- Grenzpunkte
- topographische Punkte

Der wesentliche Unterschied liegt in der Signalisierung. Sobald ein Punkt in der Örtlichkeit signalisiert wurde, kann er im Luftbild angesteuert und digitalisiert wer-

den. Bei unvermarkten Punkten muss die Örtlichkeit vor der Digitalisierung interpretiert werden. Dabei ist die Erkennbarkeit der Topographie für eine lagerichtige Auswertung besonders entscheidend. Die Auswertung im 3D-Stereomodell bietet eine bessere Erkennbarkeit und Interpretationsmöglichkeit als das 2D-Orthophoto. Höhenunterschiede und topographische Besonderheiten (Böschungen, Mauern usw.) sollten erkannt werden.

Voraussetzung für eine hohe Lagegenauigkeit ist, dass die gemessenen Bildkoordinaten in einem Bündelblock ausgeglichen sind, und dass es einen Anschluss an den vermessungstechnischen Raumbezug gibt.

### 2.4.3 Planungsrelevante Topographie

Die Luftbildauswertung (bei der Technischen Zentralstelle) bietet die Möglichkeit, topographische Objekte, z. B. Maste, Fahrbahnabgrenzungen, Gewässerränder, Böschungen usw. im Stereomodell zu deuten. Dazu sind die auszuwertenden Objekte in ungefährender Lage in der Signalisierungskarte (siehe Abbildung 6: Signalisierungskarte) nachzuweisen. Die nachfolgende Abbildung zeigt ein Beispiel ausgewerteter Topographie.



Abbildung 23: Topographische Auswertungen

### 2.4.4 Digitales Geländemodell (DGM)

#### Definition:

„Ein digitales Geländemodell ist die Menge der digital gespeicherten Höhenwerte von Punkten, die die Höhenstruktur des Objektes hinreichend repräsentieren (DIN 18740-3).“

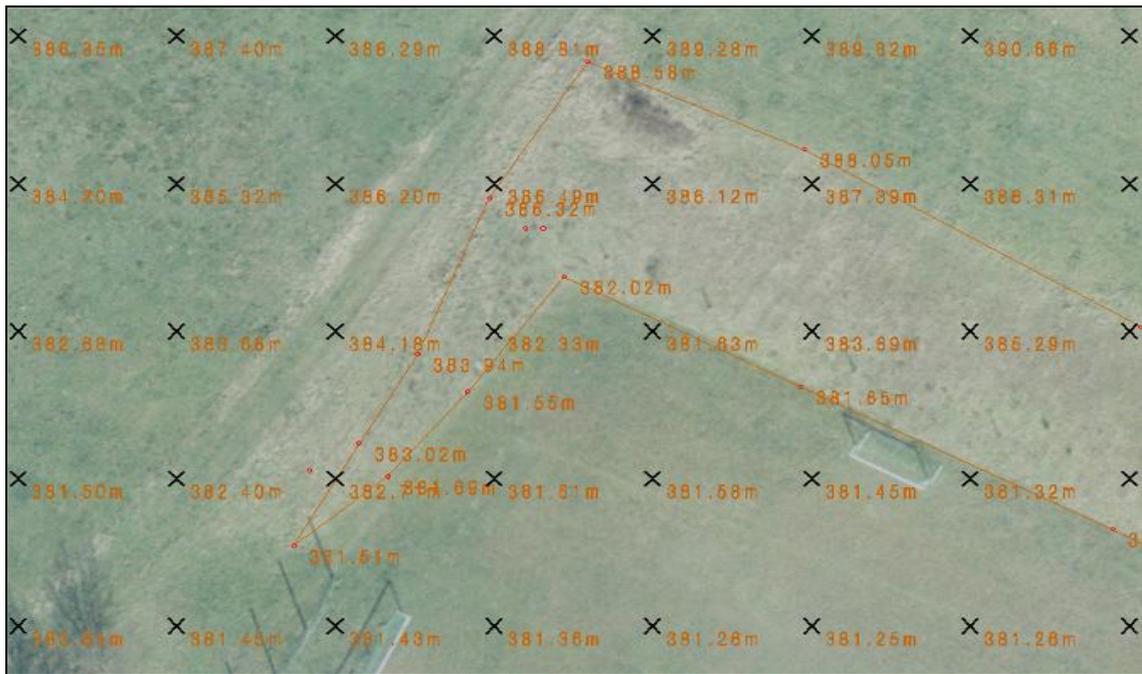


Abbildung 24: Digitales Geländemodell

Durch Abtastung der Erdoberfläche mit einem Laserstrahl (aktiver Laserimpuls) können, mittels Laufzeitmessungen, Entfernungen vom Sensor zur Erdoberfläche, ermittelt werden. Die genaue Bestimmung des Sensors im Raum wird durch GPS und INS ermöglicht. Mit diesem Verfahren können folgende Genauigkeiten erzielt werden:

- Lagegenauigkeit: ca. 3 dm
- Höhengenaugigkeit: ca. 1-2 dm

Auf die gleiche Art und Weise lassen sich Bebauung, Vegetation etc. erfassen, so dass daraus ein **digitales Oberflächenmodell (DOM)** abgeleitet werden kann.

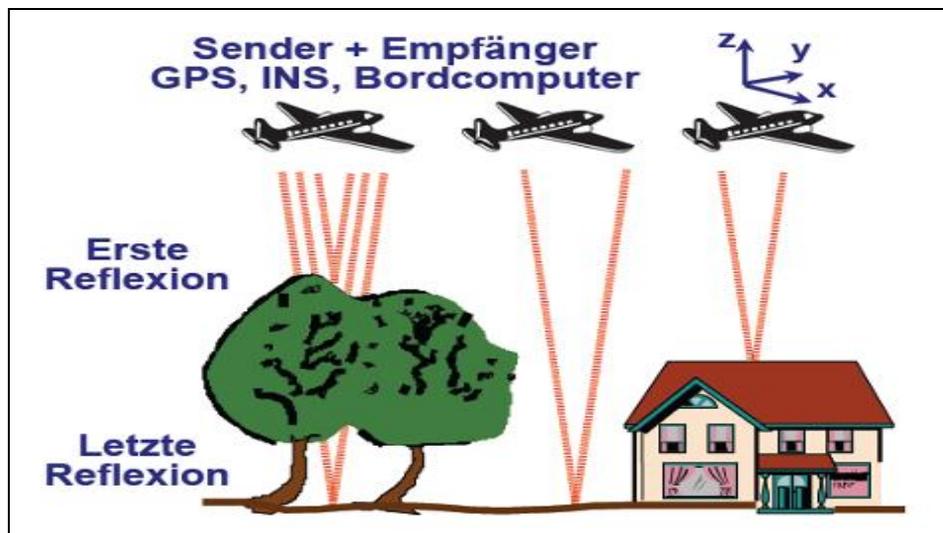


Abbildung 25: Digitales Oberflächenmodell

Seit 2012 liegen flächendeckend digitale Geländemodelle für die gesamte rheinland-pfälzische Landesfläche vor. Sie sind Grundlage für die differentielle Entzerrung der Orthophotos.

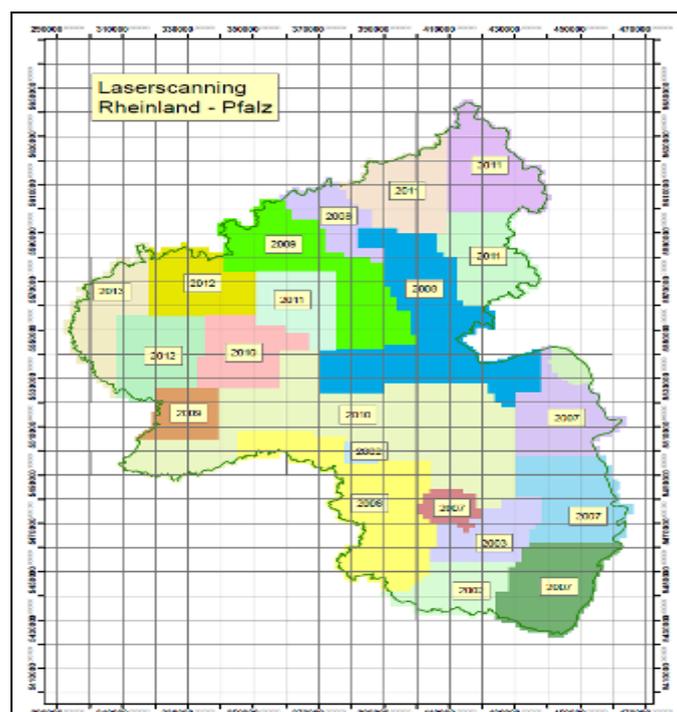


Abbildung 26: DGM - Übersicht

DGMs werden der Flurbereinigungsverwaltung durch die Vermessungs- und Katasterverwaltung Rheinland-Pfalz zur Verfügung gestellt.

Die Qualität des DGM bestimmt maßgeblich die Qualität des Orthophotos und muss vor der Entzerrung auf Höhenfehler durch die Technische Zentralstelle überprüft werden.

## 3 Photogrammetrische Anwendungen in der Flurbereinigung RLP

In diesem Kapitel wird der Einsatz der Photogrammetrie in der Flurbereinigungsverwaltung, speziell in den Sachgebieten „Planung und Vermessung“, „Bautechnik“ und „Landespflege“ dargestellt. Die Erkenntnisse basieren vorwiegend auf Mitarbeiterinterviews innerhalb des Dienstleistungszentrums Ländlicher Raum Rheinhesen-Nahe-Hunsrück (DLR RNH).

### 3.1 Planung und Vermessung

Das Sachgebiet „Planung und Vermessung“ bedient sich vorrangig der photogrammetrischen Produkte. Sie sind hier Grundlage jeglicher Vermessungstätigkeit bis zum Abschluss eines Verfahrens.

Dazu einige Anwendungsbeispiele:

#### 3.1.1 Wertermittlung im Acker- Grünland Verfahren

Das digitale Orthophoto ist die ideale Planungs- und Bearbeitungsgrundlage für die Wertermittlung (seitens der Finanzverwaltung). Es liefert die notwendigen Informationen über die Örtlichkeit, somit für die Orientierung im Felde und die Bohrlochkartierungen der zuständigen Sachverständigen. Zusätzlich lässt sich der noch gültige Katasternachweis darin hinterlegen.

Die nachfolgende Abbildung zeigt eine Wertermittlungskarte (mit hinterlegtem Katasternachweis), in der alle Klassifizierungen und deren jeweilige Begrenzung (in grün) eingetragen sind. Sie ist Erläuterungshilfe bei der Offenlegung der Wertermittlungsergebnisse und demzufolge Grundlage für spätere Zuteilungsüberlegungen.

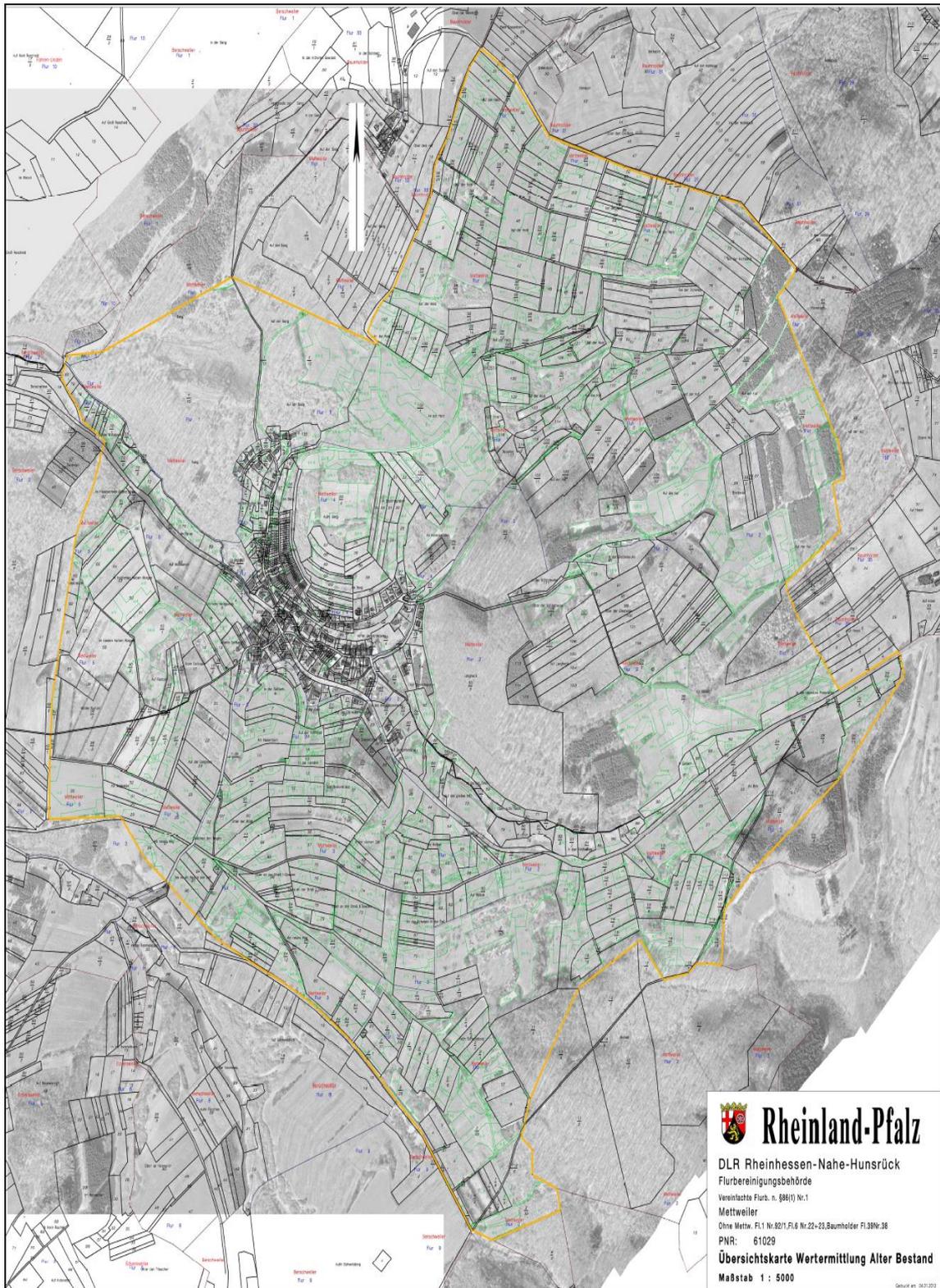


Abbildung 27: Wertermittlungskarte

### 3.1.2 Wertermittlung in Waldverfahren

Hier gibt es einige verfahrenserschwerende Besonderheiten:

1. Waldbodenbewertung:

Der Waldboden wird durch den Ertrag bestimmt, der bei standortgerechter Bestockung nachhaltig zu erzielen ist. Er wird beeinflusst durch die natürlichen Wunschbedingungen, d. h. die Bodenverhältnisse und die Standortfaktoren (z. B. Himmelsrichtung, Hangneigung etc.).

2. Wertermittlung des Holzbestandes:

Ihr kommt insofern eine besondere Bedeutung zu, weil dieser Wert den des Waldbodens meist erheblich übersteigt. Während die Teilnehmer in puncto Waldboden mit Land von gleichem Wert abzufinden sind, müssen für aufstehendes Holz (nach Möglichkeit) Abfindungen (ggf. in Holzwert) gezahlt werden.

Die Wertermittlung hier wird auf die Bestände bzw. Lagen beschränkt, die voraussichtlich den Eigentümer wechseln.

Eine wertvolle Hilfe für die Wertermittlung in Waldverfahren ist die Verwendung des Orthophotos. Es kann zusätzlich mit der sogenannten Blockteilkarte kombiniert werden.

Ein unbestrittenes Problem der Bewertung ist die flurstücksgenaue Erfassung der unterschiedlichen Baumkulturen bzw. Baumbestände. Hier kann nur mit erheblichem Außendienstinsatz Abhilfe geschaffen werden.

Wünschenswert wäre an dieser Stelle eine Möglichkeit, mit der eine Vorabklassifizierung im Innendienst erfolgen könnte (wird an späterer Stelle aufgezeigt!).

### 3.1.3 Wege- und Gewässerplan nach § 41 FlurbG

Der Bildnachweis über die gemeinschaftlichen und öffentlichen Anlagen wird im Flurbereinigungsgesetz als Wege- und Gewässerplan mit landschaftspflegerischem Begleitplan bezeichnet. Seine Kurzbezeichnung lautet "Plan nach § 41 FlurbG". In ihm werden alle Planungsnotwendigkeiten nachgewiesen, die mit den Trägern öffentlicher Belange zu erörtern sind.

Der Plan nach § 41 FlurbG besteht aus vier Teilbereichen, wobei hier nur ein Bereich, die "Karte zum Plan", erläutert werden soll.

Sie ist der maßstäbliche, zeichnerische Nachweis über die gemeinschaftlichen und öffentlichen Anlagen innerhalb eines Flurbereinigungsverfahrens. Grundlage ist auch hier das Orthophoto (mit Katasternachweis). Ihrer farblichen Darstellung wegen, leistet sie Entscheidungsträgern und Beteiligten dankbare Orientierungs- und Interpretationshilfe.

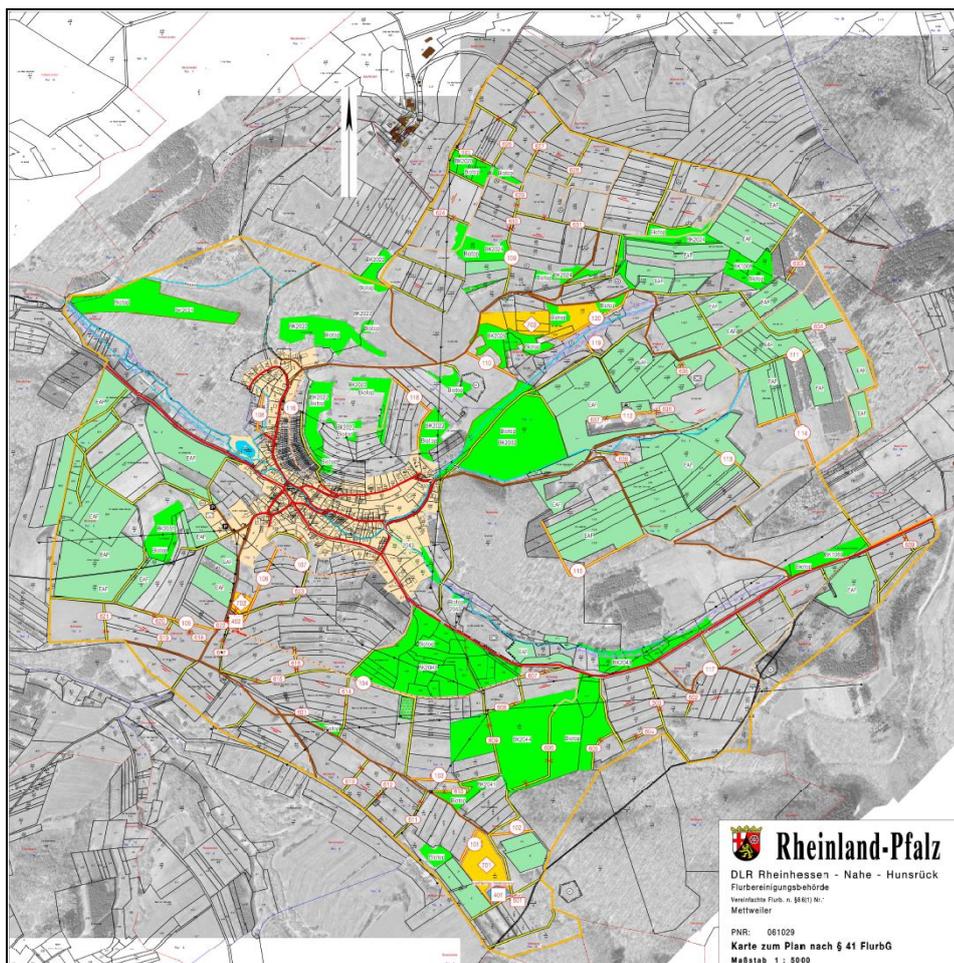


Abbildung 28: Karte zum Plan nach § 41 FlurbG

### 3.1.4 Punktfestlegung durch Digitalisierung (PuDig)

Wichtigstes Bearbeitungsinstrument im Sachgebiet „Planung und Vermessung“ ist die GIS-Programmfunktion **PuDig** („Punktfestlegung durch Digitalisierung“). Mit ihrer Hilfe werden, auf Grundlage des Planes nach § 41 FlurbG, Sollkoordinaten der neuen Wege- und Gewässergrenzen sowie der neuen Flurstücksgrenzen, i. d. R. ohne vorherige Abmarkung, durch Digitalisierung oder Berechnung parallel bestimmt.

Die **Digitalisierung** kann dabei auf unterschiedliche Art und Weise erfolgen:

- Digitalisierung im Orthophoto

Die Sollkoordinaten werden hier, unter Berücksichtigung der Lageungenauigkeiten innerhalb des Photos, in den Dienstleistungszentren (am GRIBS-Arbeitsplatz) bestimmt. Voraussetzung sind vorhandene, im Orthophoto erkennbare Anlagen und topographische Strukturen.

- Digitalisierung im Stereomodell

Die Sollkoordinaten werden dabei in der Technischen Zentralstelle (am Stereo-Arbeitsplatz) bestimmt. Hier können die Punkte mit einer hohen geometrischen Genauigkeit an die vorhandene Topographie angepasst werden.

- Digitalisierung in Plänen Dritter

Liegen für bestimmte Verfahrensbereiche Fremdplanungen Dritter vor (Pläne mit ausreichender Genauigkeit), können Sollkoordinaten ggf. direkt auf diesen Kartenunterlagen bestimmt werden.

- Digitalisierung in der Örtlichkeit

Die Sollkoordinaten werden durch terrestrische Aufnahmen in der Örtlichkeit bestimmt. Durch Verwendung von GPS-Empfängern können Absteckungen sehr schnell erfolgen und Neukoordinaten mit hoher Lagegenauigkeit ermittelt werden.

Ist die Digitalisierung der Sollkoordinaten, wie vorgenannt, nicht möglich oder unwirtschaftlich, kann in begründeten Ausnahmefällen eine Bestimmung (Digitalisierung) der Sollkoordinaten auch in der Örtlichkeit auf einfache Weise (in geeigneten Fällen sogar durch Schrittmaß) erfolgen.

Die **Berechnung** von Sollkoordinaten bedient sich vermessungstechnischer Grundsätze und kann beispielsweise für die Bestimmung paralleler Wegeseiten Anwendung finden.

Die nachfolgende Abbildung zeigt das Ergebnis einer PuDig-Anwendung:



Abbildung 29: Koordinatenberechnung einer Neuzuteilung mittels PuDig

Der (auch wirtschaftliche) Vorteil dieser Anwendung liegt darin, dass die Festlegung der neuen Grenzen jahreszeitunabhängig und mit minimalem Außendienstaufwand erfolgen kann. Die Arbeitszeiterparnis durch zeitgleiche Absteckung der Wege- und Gewässerpunkte und der Eigentumsgrenzen, ist ebenfalls nicht unerheblich und bevorteilt diese Variante gegenüber der klassischen Methode (zunächst Absteckung und Abmarkung der neuen Wege- und Gewässergrenzpunkte mit nachfolgender Einbindung der neuen Flurstücksgrenzen).

Das rheinland-pfälzische Landesgesetz über das amtliche Vermessungswesen (LGVerm) lässt in seinem § 16 (Abmarkung von Grenzpunkten), aus Gründen der Zweckmäßigkeit, einen Abmarkungsverzicht zu. Diese Möglichkeit findet (verfahrensbeschleunigend) zunehmend Anwendung, da einerseits moderne Landmaschinen vermehrt mit GPS-Unterstützung im Einsatz sind, die Flächenbewirtschaft-

ter nicht mehr zwingend die örtliche Grenzmarke benötigen, und andererseits verwaltungsseitig, erhebliche Außendienstaktivitäten entfallen. Hinzu kommt, dass die digitalisierten Sollkoordinaten aus PuDig zur unmittelbaren Katasterübernahme geeignet sind.

Einschränkend ist zu erwähnen, dass Sollkoordinaten am GRIBS-Arbeitsplatz, auf Grund der Lageungenauigkeit innerhalb eines Orthophotos, nur in der freien Feldlage (Acker, Wiesen etc.) digitalisiert werden dürfen.

Die Topographie ist im Orthophoto u. U. nur schwerlich zu deuten. Insbesondere Mauerkanten/-versprünge etc. unterliegen oftmals der Vermutung, bzw. der Annahme, „dass es so sein könnte“. Hier (unzulässiger Weise) digitalisierte Punkte erhielten ebenfalls die Lagegenauigkeit 1 ( $Zs^3 = 0,04m$ )!

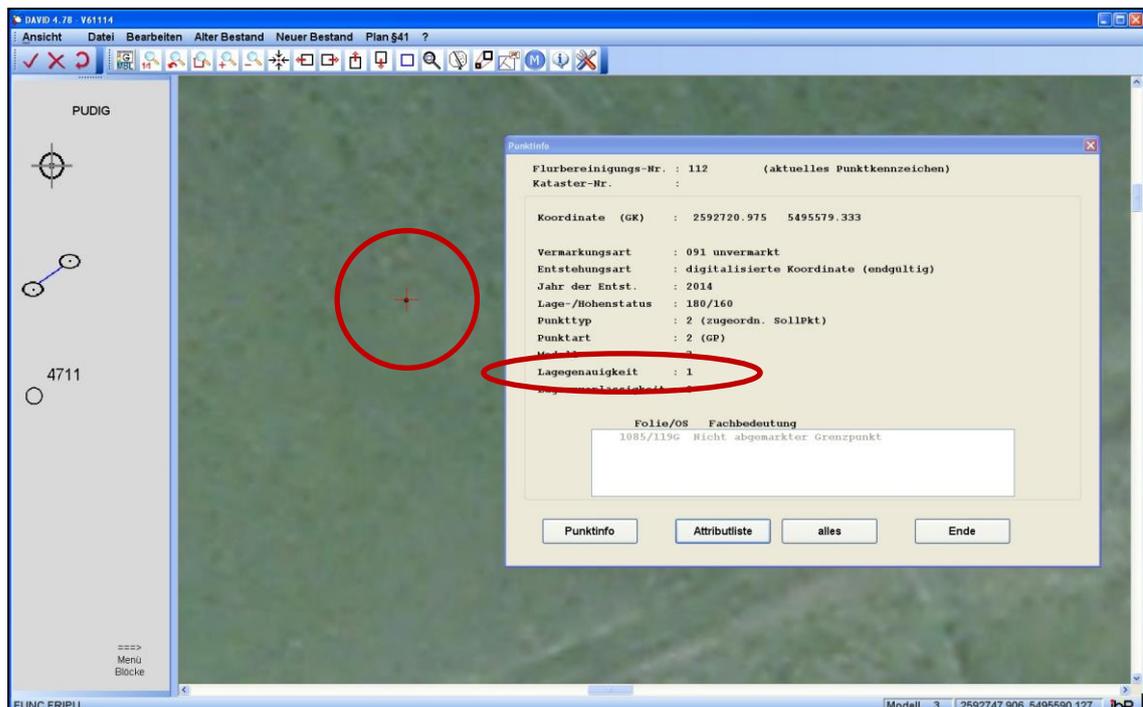


Abbildung 30: PuDig - Lagegenauigkeitsnachweis

Abhilfe kann nur die Auswertung im Stereomodell schaffen.

<sup>3</sup>  $Zs$  = Zulässige Streckenabweichung

Mit der Umstellung auf ALKIS ist die „Lagegenauigkeit (LGA)“ in „Genauigkeitsstufe“ umgewandelt worden. Auch die „Lagezuverlässigkeit (LZK)“ wurde durch die „Vertrauenswürdigkeit der Lage (VWL)“ ersetzt.

Wie bereits erwähnt, werden die höchsten Lagegenauigkeitsanforderungen nur bei eindeutig signalisierten Punkten erreicht. Nur hier kann gesichert festgestellt werden, dass die örtliche Punktlage mit dem Bildpunkt übereinstimmt.

## 3.2 Bautechnik

Innerhalb des Sachgebietes „Bautechnik“ dienen die photogrammetrischen Produkte vorrangig als Planungsgrundlage. Sowohl das Orthophoto, als auch das digitale Geländemodell sind hier Planungswerkzeuge für Baumaßnahmen (Wege, Brücken, Stützmauern, Trassierungen etc.).

Nachfolgend exemplarisch einige Anwendungsbeispiele:

### 3.2.1 Sichtfeldanalyse

Nachstehende Abbildungen zeigen die Möglichkeit, mittels Orthophoto, Sichtweiten an einer Wirtschaftswege-Einmündung zu ermitteln. Hierfür wurde das Orthophoto (rechte Darstellung) mit dem aktuellen Katasternachweis kombiniert. Mit Hilfe des digitalen Geländemodells und der sich im Einsatz befindlichen Software „AutoCAD“, waren die notwendigen Daten leicht zu ermitteln und für die weiteren Verfahrensschritte zu dokumentieren.

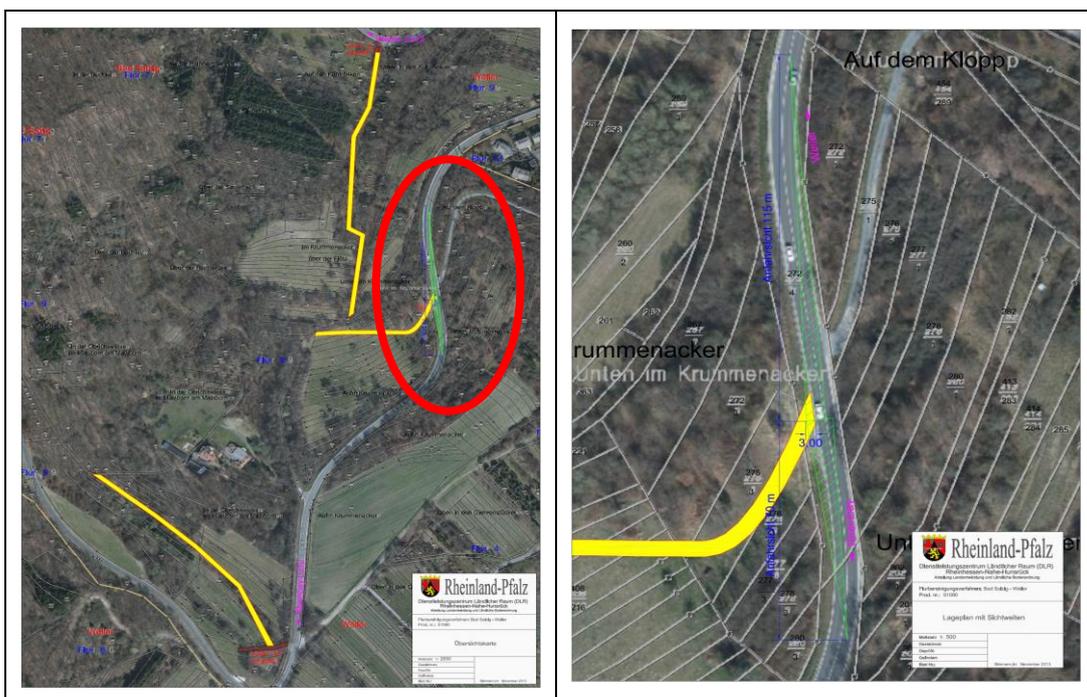


Abbildung 31: Sichtfeldanalyse

### 3.2.2 Artenschutz/Mauerbau/Planierungsanalyse

In diesem Beispiel geht es darum, vorhandene Trockenmauern, als wichtigen Lebensraum geschützter Arten, wie z. B. den Steinmätzer oder die Zauneidechse, zu erhalten, instand zu setzen und zu erweitern.

Zusätzlich sollten größere Bewirtschaftungseinheiten zur effizienteren, maschinellen Bewirtschaftung entstehen.

Mit Hilfe des digitalen Geländemodells und des Orthophotos wurde in einem ersten Arbeitsschritt das Landschaftsgefälle analysiert.

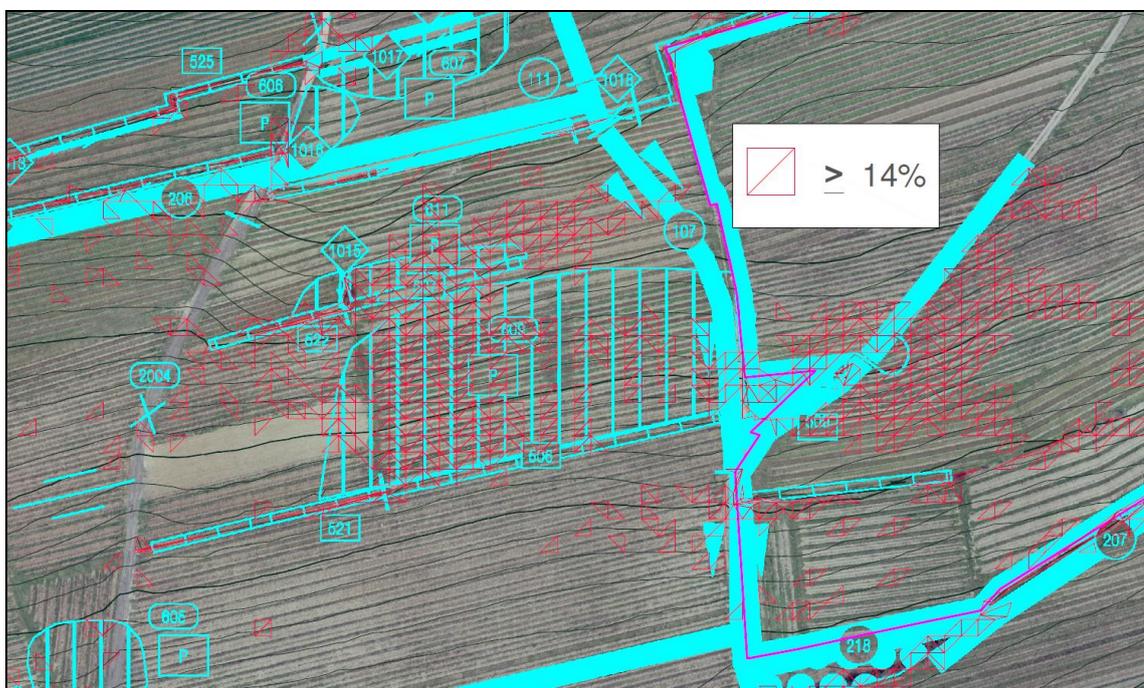


Abbildung 32: DGM - Steigung  $\geq 14\%$

Alle Steigungen  $\geq 14\%$  wurden herausgefiltert und markiert. Die größte Querneigung lag bei ermittelten 17%. Mit diesem Ergebnis wurde verdeutlicht, dass Planierungsarbeiten sowie Stützmauer-Neubauten für eine bessere Bewirtschaftung notwendig waren.

In einem nächsten Arbeitsschritt wurden Querprofile abgeleitet, aus denen der Auf- und Abtrag für die notwendigen Planierungsarbeiten berechnet werden konnte.

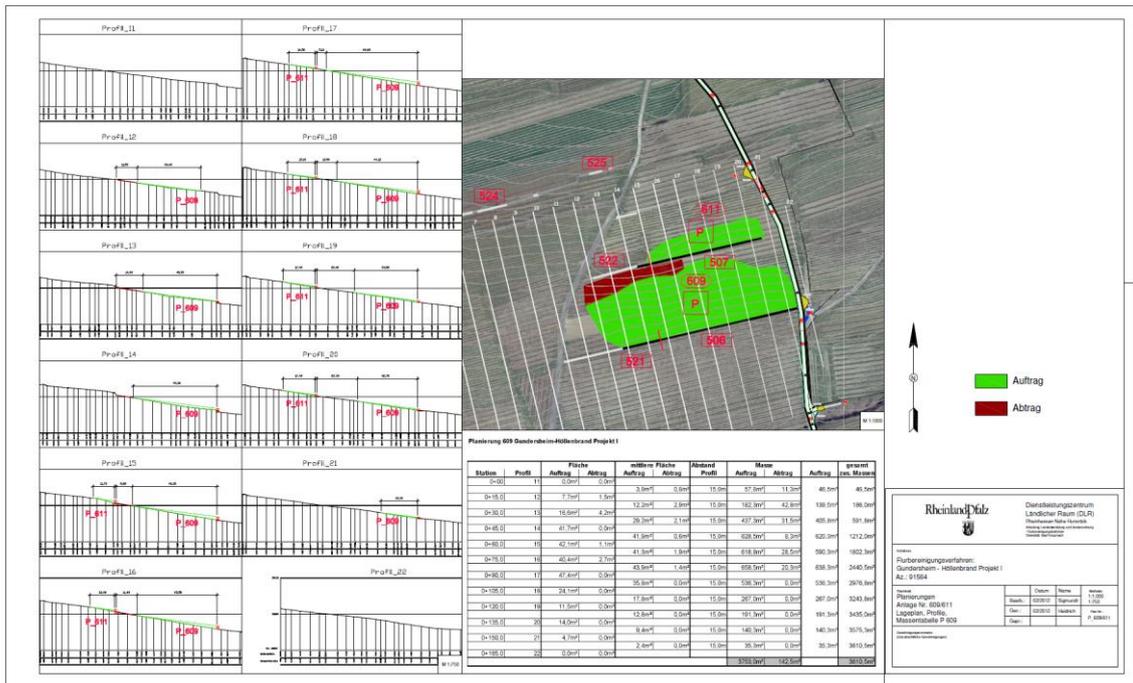


Abbildung 33: Auf- und Abtragsberechnung

Diese Ergebnisse waren Grundlage der sich anschließenden Baumaßnahme. Um auch den landespflegerischen Rahmenbedingungen Rechnung zu tragen, baute man in die neuen Stützmauern Nisthilfen für den Steinmätzer ein.

Das Endergebnis zeigt die nachfolgende Abbildung; eine neustrukturierte Weinbergslage, deren durchgeführte bautechnische Maßnahmen sich größtenteils den Produkten der Photogrammetrie bedienen.



Abbildung 34: Ergebnis der Baumaßnahme



(Höhenpunkten) des DGMs liegen. Auch hier stößt die Auswertung/Datengewinnung an ihre Grenzen.

Abhilfe könnte hier ein dichteres DGM-Raster im Bereich der geplanten Maßnahme leisten.

### 3.3 Landespflege

Die Aufgaben im Arbeitsbereich „Landespflege“, haben in den letzten Jahren, aufgrund umfangreicher Fortschreibungen der Naturschutzgesetzgebung (Erhaltung und Entwicklung von Natur und Landschaft), spürbar zugenommen. Auf Basis umfassender ökologischer Bestandsaufnahmen und Bewertungen sowie anderer raumbedeutsamer Planungen, z. B. Landschaftsplanung, werden hier Ziele und Maßnahmenvorschläge für Natur und Landschaft entwickelt. Grundlage dafür bildet auch hier das Orthophoto.

Nachfolgend exemplarisch auch dazu einige Anwendungsbeispiele:

#### 3.3.1 Ausführungspläne für Bepflanzungsmaßnahmen

Ausführungspläne sind eine Kombination aus Orthophoto und Katasternachweis. In ihnen werden die in einem Verfahren geplanten Bepflanzungsmaßnahmen nachgewiesen.

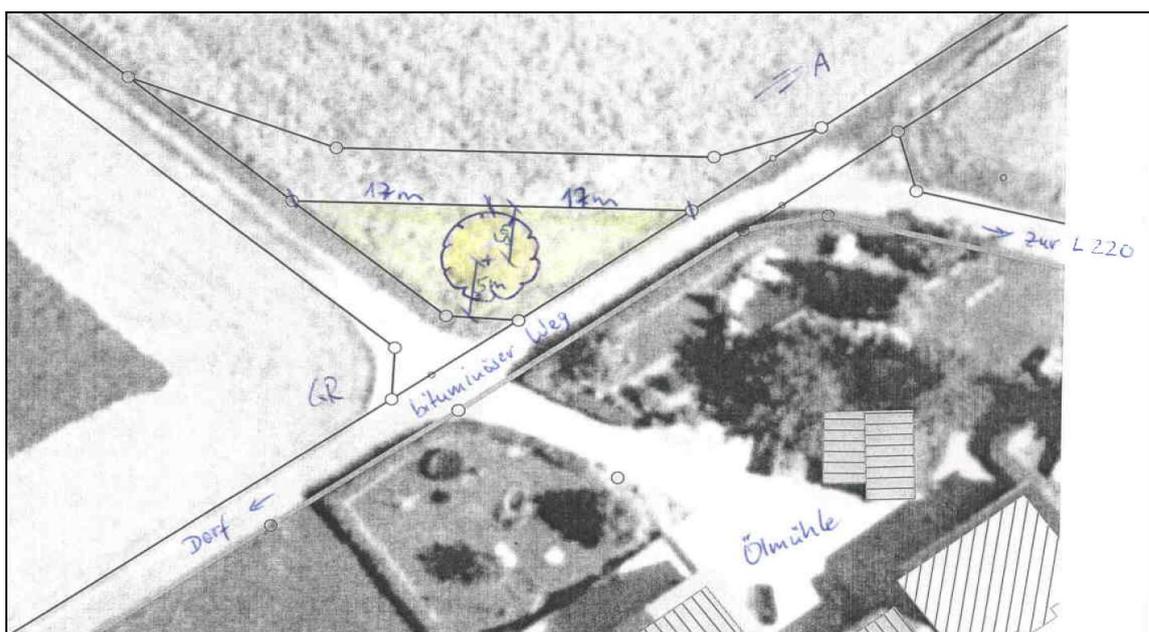


Abbildung 36: Ausführungsplan mit geplanter Bepflanzungsmaßnahme



Abbildung 37: Ausführungspläne mit geplanten Bepflanzungsmaßnahmen

### 3.3.2 Bestandsaufnahme

Durch eine ökologische Bestandsaufnahme werden zunächst die natürlichen Lebensgrundlagen von Tieren und Pflanzen (Boden, Gewässer, und Biotope) im jeweiligen Planungsgebiet erfasst.

Basis für diese Erhebung ist das Orthophoto. In ihm wird der Vor-Ort-Ist-Bestand nachgewiesen (farblich unterschiedlich gekennzeichnet). Als Orientierungshilfe dient neben dem hinterlegten Katasternachweis, auch der Plan nach § 41 FlurbG.

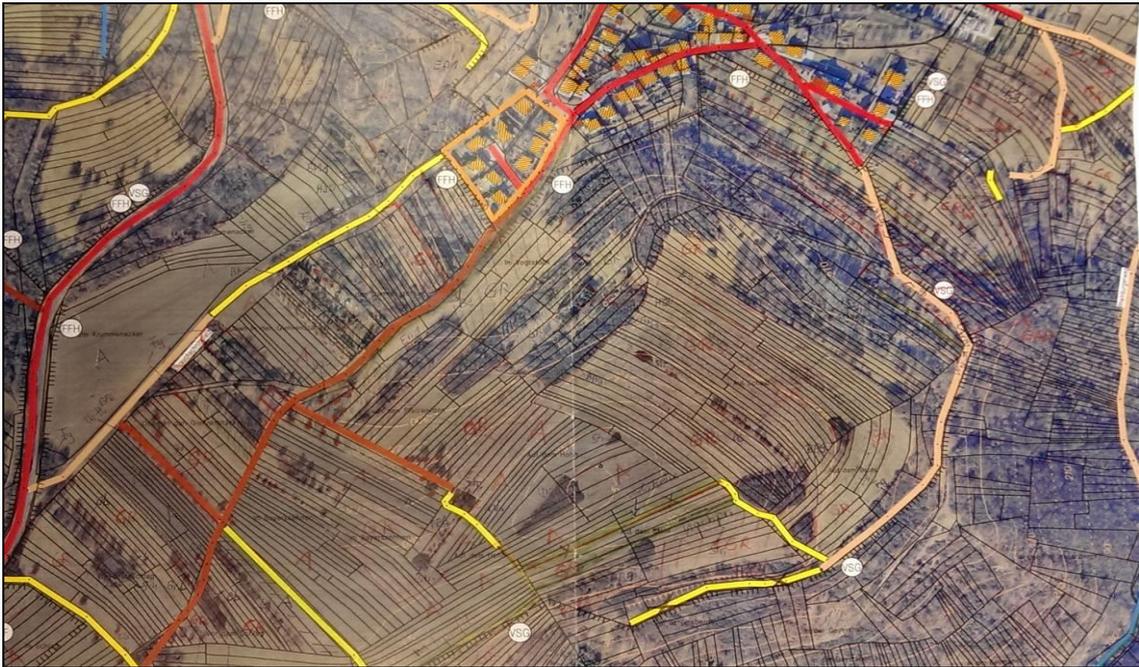


Abbildung 38: Örtliche Bestandsaufnahme

Alle vor Ort erhobenen Daten werden abschließend, mit Hilfe eines Geoinformationssystems, z. Zt. GRIBS, für die weitere Verfahrensverwendung digitalisiert.

Das Ergebnis einer ökologischen Bestandsaufnahme ist nachfolgend dargestellt. Die unterschiedlich farblichen Schattierungen sind in der dazu gehörenden Legende gedeutet.

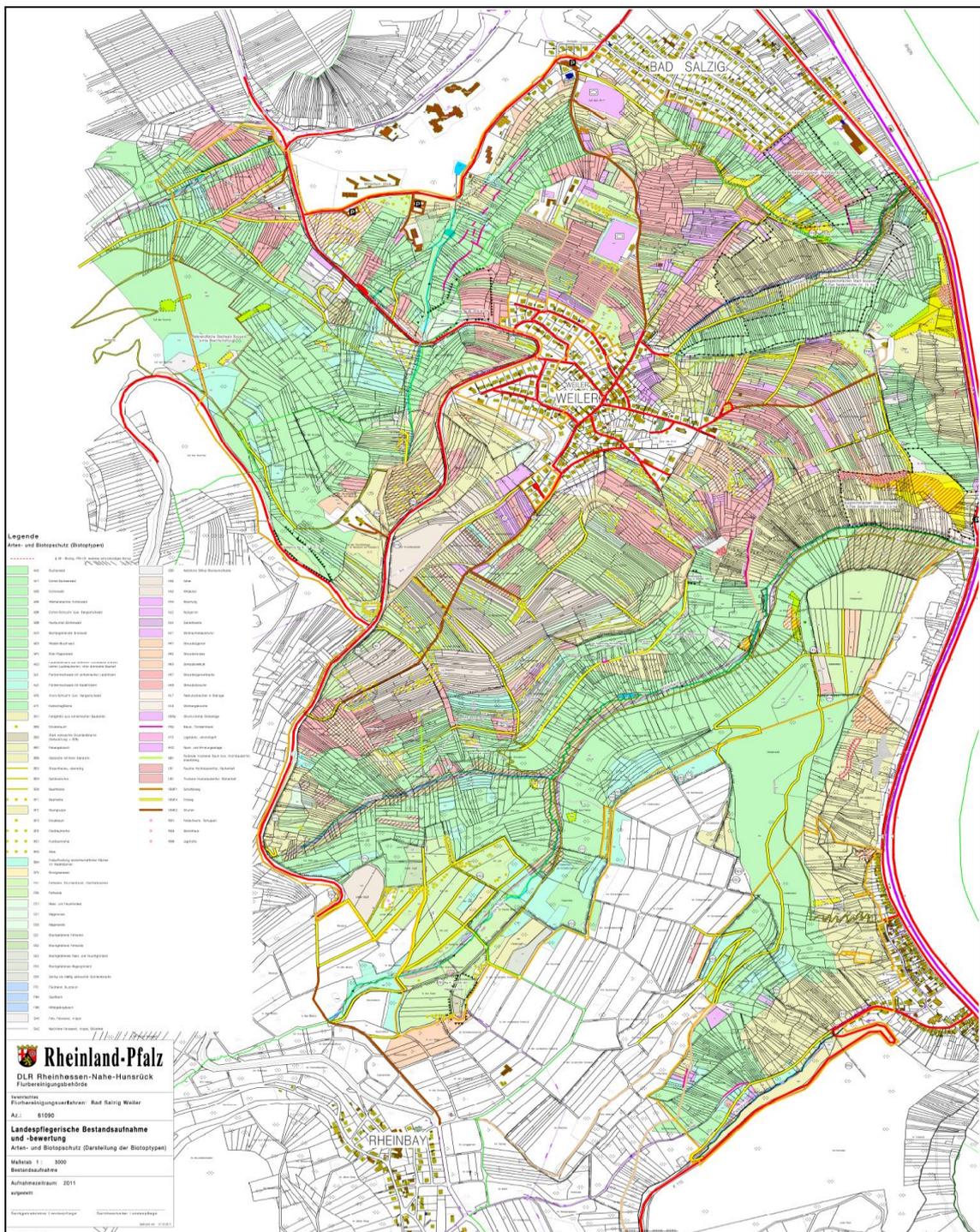


Abbildung 39: Ergebnis der Bestandsaufnahme

### **3.3.3 Wirtschaftlichkeitsüberlegungen**

Viele, z. Zt. noch zu viele, Bearbeitungsschritte werden örtlich händig in der analogen Karte (Plott) ausgeführt. Dies hat zur Folge, dass häuslich ein hohes Maß an Nacharbeiten, bis hin zur abschließenden Digitalisierung der Ergebnisse, notwendig ist.

Der Einsatz eines Feldrechners und die damit verbundene Möglichkeit, planungswichtige Daten vor Ort digital zu erheben (unter Verwendung der Orthophotogrundlage), kann hier wenig Abhilfe leisten. Unbefriedigende Orientierungsmöglichkeit, auch in Folge eines zu kleinen Bildausschnittes, schränken die Einsatzmöglichkeiten des Rechners erheblich ein.

Abhilfe könnte eine hier digitale Orientierungshilfe leisten, die den aktuellen Standort im Orthophoto abbildet und somit Kartierungen bzw. Digitalisierungen im Feld erleichtert.

## **4 Theoretische Nutzungsmöglichkeiten der Photogrammetrie**

Die Photogrammetrie wird in der Flurbereinigungsverwaltung sehr effizient eingesetzt. Trotzdem gilt es, in Kenntnis der bekannten (und aufgezeigten) Vor- und Nachteile, ständig nach Optimierungsmöglichkeiten zu suchen. Hierbei ist dem derzeitigen Stand der Technik größte Aufmerksamkeit zu widmen. Ständige Neu- oder Weiterentwicklungen unterstreichen den Ruf nach neuen bzw. erweiterten Einsatzmöglichkeiten.

Schließlich ist der Forderung nach sparsamen Umgang mit personellen Ressourcen Rechnung zu tragen.

### **4.1 Terrestrische Aufnahmen mittels Leica Nova MS 50 MultiStation**

Die Firma Leica Geosystems hat im Sommer 2013 eine MultiStation vorgestellt, die alle Technologien zum Erfassen und Verwalten detailreicher 3D-Daten vereint. Die Nova MS50 MultiStation ist das weltweit erste Instrument, das die Technologie modernster Totalstationen mit Imaging, GNSS-Positionierung und sogar 3D-Laserscanning in einem Gerät kombiniert.

Für die Untersuchungen, zunächst theoretischer Nutzungsmöglichkeiten in der Flurbereinigung, hat die Firma Leica Geosystems freundlicherweise die Nova MS50 MultiStation zur Verfügung gestellt. An dieser Stelle sei stellvertretend den Herren Lothar Assenmacher und Thorsten Werner für ihre Hilfsbereitschaft und Unterstützung gedankt.

#### **4.1.1 Gerätefunktionen**

Die hochpräzise Totalstation integriert 3D-Punktwolken in den Messalltag. Sie ermöglicht das Sammeln und Visualisieren der Messdaten zusammen mit detaillierten Präzisions-Scans. Das Prüfen der Datenkonsistenz und -relevanz kann direkt im Feld erfolgen und zusätzliche Nachmessungen ersparen. Weitere Größen wie Volumen, minimale und maximale Entfernungen sowie räumliche Orientierungen können nahezu in Echtzeit für schnellere und effiziente Entscheidungen vor Ort

ermittelt werden. Zusätzlich stellt die Nova MS50 MultiStation eine Weitwinkel- und eine Koaxial-Kamera bereit, um Vermessungsarbeiten visuell zu unterstützen. Mit dieser Funktion können Arbeitsabläufe auch bildlich dokumentiert werden. Kombiniert mit der GNSS-Positionierung liefert die MS50 Multistation eine hohe Vielseitigkeit mit höchster Zuverlässigkeit.

#### 4.1.2 Örtliche Messungen

Im Sachgebiet „Bautechnik“ werden für spezielle Baumaßnahmen digitale Geländemodelle mit sehr kleinem/engem Raster benötigt. Mit Hilfe des integrierten Scanners in o. g. Gerät, können auf einfache Art und Weise terrestrische DGMs mit dem erwünschten Punktraster erzeugt werden.

Um die Funktion des Scanners aufzuzeigen, wurde ein Teil einer Querterrassierung sowie eine erhaltenswerte Weinbergsmauer aufgemessen/gescannt.



Abbildung 40: Leica - Versuchsobjekte

Um den vermessungstechnischen Raumbezug des Scans zu erzeugen, wurde vor Beginn der Messung mit Hilfe bekannter Aufnahmepunkte die Multistation frei stationiert. Alternativ wäre eine Positionierung mit Hilfe der GNSS-Antenne möglich gewesen.

Das Messergebnis war, um es vorweg zu nehmen, mehr als überzeugend.

#### 4.1.3 Messergebnis

Die Nova MS50 MultiStation hat aus ca. 180 m Entfernung die o. g. Querterrassierung sowie die vorhandene Weinbergsmauer mit etwa 1000 Punkten/Sekunde eigenständig gescannt. Nach dem Auslösen der Messung war ein manueller Eingriff nicht mehr notwendig.

Um durch den Messstrahl fahrende Fahrzeuge nicht zu erfassen (Straße unmittelbar vor dem Instrumentenstandpunkt), konnte ein Filter eingestellt werden, der nur Punktaufnahmen ab einer bestimmten Entfernung zulässt.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen das erstaunliche Ergebnis der Aufnahme:

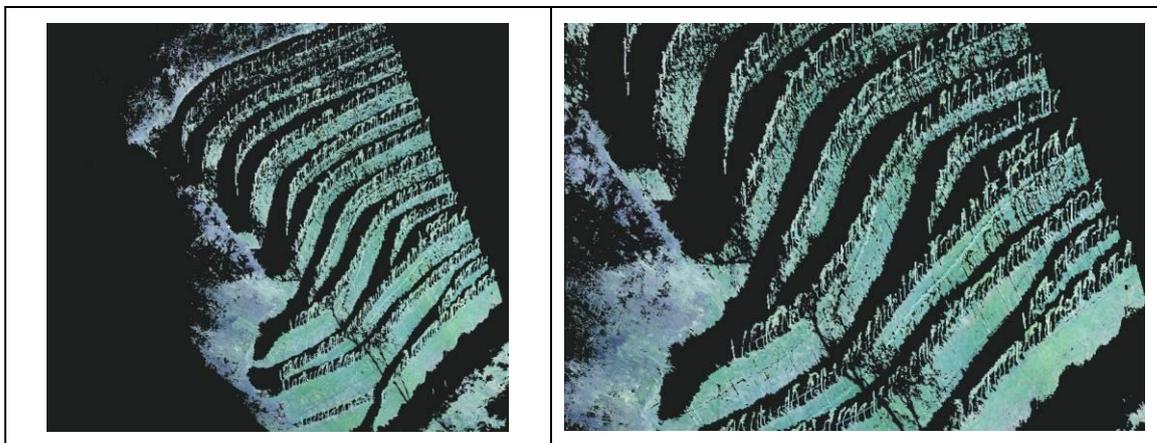


Abbildung 41: Leica - Ergebnisse

Die graphische Abbildung der bereits erwähnten 3D-Punktwolke zeigt sehr deutlich die vorhandene Topographie. Speziell die Trassierungs-Vorderkanten bzw. die Fahrgassen lassen sich mit Hilfe der Punktwolke leicht ermitteln. Präzise Berechnungen (Auf- und Abtragsberechnungen) sowie detaillierte Planungen sind mit diesen Geländemodellen problemlos zu realisieren (hoher Wirtschaftlichkeitsgrad!).

Ähnliches bei der gescannten Weinbergsmauer. Hier lässt sich die Detailtreue sowie die dreidimensional terrestrisch bestimmte Topographie ebenfalls äußerst gut deuten.



Abbildung 42: Leica - Weinbergsmauer

Die Genauigkeiten (z. B. Kanten der aufgemessenen Weinbergsmauer), liegen erstaunlicherweise im cm-Bereich.

#### 4.1.4 Wirtschaftlichkeitsüberlegungen

Der Einsatz einer Leica Nova MS50 MultiStation in einem Flurbereinigungsverfahren könnte fraglos viele Arbeitsabläufe optimieren. Nicht nur im Sachgebiet „Bau-technik“, auch im Sachgebiet „Planung und Vermessung“, könnte sie vorteilsbringend eingesetzt werden. Genaue Erfassung der Topographie ohne Stereomodell, so könnte die Kurzformel lauten. Anhand einer terrestrisch erzeugten 3D-Punkt wolke ließen sich Trassierungen, Wasserführungen u. v. a. mehr, präzise planen und berechnen. Eine optimierte Datengewinnung ließe, ergänzend dazu, auch eine detailliertere Finanzplanung der vorgesehenen baulichen Maßnahmen zu.

In den Dienstleistungszentren sind bereits Tachymeter der Firma Leica Geosystems im Einsatz. Die Außendienst-Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sind mit dem Handling der Geräte vertraut. Ein eventueller Einsatz der Station würde demnach keine Schulungsnotwendigkeiten nach sich ziehen. Mittels „learning by doing“ sind die neuen Funktionen der Station leicht zu erlernen. Die Bedienung (allerdings ohne Kombination mit einem Feldrechner) ist einfach und überwiegend selbsterklärend.

Ein weiterer, gewichtiger Vorteil dieses Vermessungsgerätes ist, dass es drei wichtige Funktionen (Satellitenpositionierung, Scanning mit Bildunterstützung und die bekannten Vermessungstechnologien) in einem Gerät vereint. Mit dem ergänzenden Einsatz einer GNSS-Antenne, können hochgenaue Positionierungen durchgeführt werden. Sichteinschränkungen zu vorhanden Anschlusspunkten, insbesondere in Verfahrensgebieten mit sehr großen Höhenunterschieden, können durch die MultiStation eliminiert werden.

Die vielen Testmessungen haben aber auch gezeigt, dass qualitativ hochwertige RGB-Scans nur mit hinreichender Belichtung erzielt werden können. Probleme könnten sich demnach in dunklen Waldgebieten und ggf. bei trüben Witterungsverhältnissen einstellen.

Die o. g. hohe Datengenauigkeit gründet auf einer sehr großen Punktzahl, die einen nicht unerheblichen Zeitfaktor in sich birgt. Es soll daher nicht unerwähnt bleiben, dass das oben gezeigte Beispiel (Scan), einschließlich einer gemessenen freien Stationierung, einen kompletten Außendiensttag verschlang.

Aktuell kostet die Nova MS50 Multistation der Firma Leica Geosystems (ohne GNSS-Antenne) ca. 62.000 €. Es stellt sich die Frage, ob und wann sich die hohen Anschaffungskosten amortisieren könnten. Die Leistungsfähigkeit des Gerätes kann in einem Standard-Flurbereinigungsverfahren nicht ausgeschöpft werden. Die Scan-Funktion, in Kombination mit der Bildunterstützung, ist in Regionen interessant, in denen es große Höhenunterschiede in den Verfahrensgebieten gibt; in Rheinland-Pfalz evtl. am Rhein und an der Mosel.

#### **4.1.5 Fazit**

Der Einsatz einer Nova MS50 MultiStation könnte die im Einsatz befindliche photogrammetrische Produktpalette wie folgt optimieren:

1. Erzeugung eines sehr dichten terrestrisch digitalen Geländemodells, dadurch genauere Berechnungen in puncto Baumaßnahmen möglich. Das georeferenzierte DGM böte die Möglichkeit, Baumaßnahmen finanziell besser kalkulieren zu können.
2. Exakte Deutung der Topographie durch den Einsatz des Scanners mit Bildunterstützung. Eine Auswertung im 3D-Modell könnte an normalen Arbeitsstationen ohne Planar-Bildschirm, somit ohne Stereoauswertung, erfolgen.

Kürzere Bearbeitungszeiten bei örtlichen Standard-Vermessungsarbeiten (z. B. freier Stationierung) sind in Kombination mit der GNSS-Antenne möglich.

Investitionsentscheidend ist letztendlich, wie bereits oben angedeutet, die Frage nach einem wirtschaftlichen Einsatz des Gerätes (Kosten/Nutzenrechnung) und nicht zuletzt der angespannten Haushaltssituation des Landes Rheinland-Pfalz.

Ein wo möglicher Zusammenschluss der Bereiche Flurbereinigung und Dorferneuerung könnte zusätzliche Impulse pro Einsatz eines solchen Vermessungsgerätes liefern. So könnten beispielsweise, mit Hilfe der Scanfunktion, 3D Modelle erzeugt werden, um Maßnahmen der Dorffinnenentwicklung zu veranschaulichen und detaillierte Planungen durchzuführen.

## 4.2 Einsatz eines GNSS-Feldrechners

Das digitale Orthophoto bildet die Grundlage für viele Arbeitsschritte in einem Flurbereinigungsverfahren. Insbesondere in den Sachgebieten „Planung und Vermessung“ sowie in der „Landespflege“, kommt es, auch im Außendienst, sehr häufig zum Einsatz. Durch die Verwendung des Feldrechners vor Ort kann allerdings nur ein kleiner Ausschnitt des digitalen Orthophotos auf dem Display maßstabsgerecht angezeigt werden. Aufgrund dieser Sichteinschränkung ist eine schnelle Orientierung in der Örtlichkeit nur schwerlich möglich.

Um diesem Problem wirksam begegnen zu können, hat die Fa. Mettenmeier ihre Produktpalette um ein sogenanntes Outdoor-Tablet erweitert. Es ist mit einem DGPS-Empfänger (**D**ifferential **G**lobal **P**ositioning **S**ystem) ausgestattet, und kann somit eine schnellere Orientierung vor Ort garantieren.

### 4.2.1 Gerätebeschreibung

Mit der Weiterentwicklung des Modells „colibri X7 protect“, der Fa. Mettenmeier, hin zum Outdoor-Tablet „X10gx“, kam auch die DGNSS-Technik (GNSS-Nutzung in Kombination mit Korrekturdaten) zum Einsatz. Das bedeutet, dass nun Positionsgenauigkeiten im 0,5-Meter-Bereich erzielt werden können.



Abbildung 43: GPS-Feldrechner; X10gx<sup>4</sup>

Optionell ist der Feldrechner mit einer externen Lotstabantenne kombinierbar, so dass auch RTK-Messungen (real-time-kinematic) mit Zentimetergenauigkeit möglich sind.

---

<sup>4</sup> Quelle: [http://www.mettenmeier.de/mobile-solutions/pdf/Datenblatt\\_GNSS-Integration\\_de.pdf](http://www.mettenmeier.de/mobile-solutions/pdf/Datenblatt_GNSS-Integration_de.pdf)



Abbildung 44: Einsatz mit Lotstabantenne<sup>5</sup>

#### 4.2.2 Einsatzmöglichkeiten

Insbesondere im Sachgebiet „Landespflege“, in dem flächendeckend Bestandsaufnahmen erforderlich sind, ist diese Orientierungshilfe von großer Bedeutung. Die präzise Positionsbestimmung im digital georeferenzierten Orthophoto, unterstützt eine schnellere Datenerhebung vor Ort.

Auch im Arbeitsgebiet „Planung und Vermessung“ wäre das Tablet wirtschaftlich und arbeitserleichternd einzusetzen. Spätestens in steilem, stark bebuschten und unübersichtlichem Gelände, ist die Orientierungsmöglichkeit mittels „X10gx“ dankbare Hilfe (z. B. für Trassierungen). Durch den Einsatz des GPS-Feldrechners könnte die genaue Positionierung während der Trassierung im digitalen Orthophoto überwacht werden.

---

<sup>5</sup> Quelle: [http://www.mettenmeier.de/mobile-solutions/pdf/Datenblatt\\_GNSS-Integration\\_de.pdf](http://www.mettenmeier.de/mobile-solutions/pdf/Datenblatt_GNSS-Integration_de.pdf)

### 4.2.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Der „X10gx“ Feldrechner (mit GPS-Funktion) könnte im Außendienst zweifelsohne o. g. Arbeitsabläufe optimieren.

Fakten für einen wirtschaftlichen Einsatz sind darüber hinaus die Tatsache, dass das z. Zt. im Einsatz befindliche GIS System (GRIBS) den AD-Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bekannt ist, somit keine aufwendigen Schulungsmaßnahmen zu erwarten wären.

Die Basisversion des Gerätes kostet ca. 4.000 €. In Anbetracht der Tatsache, dass in den Dienstleistungszentren ältere Feldrechner, als das hier vorgestellte Modell im Einsatz sind, wird man spätestens bei der Einführung des neuen GIS-Systems (LEFIS) über ein Hardware-Update nachdenken müssen.

Denkbar wäre auch, in Anbetracht der fortwährend angespannten Haushaltssituation, ein kostengünstigerer Einsatz sogenannter GPS-Dongles (externe Navigationsmöglichkeiten), in Kombination mit den vorhandenen Altgeräten.

### 4.2.4 Fazit

Durch den Einsatz des GNSS-Feldrechners ließe sich die photogrammetrische Produktpalette innerhalb der Flurbereinigungsverwaltung wie folgt optimieren:

1. Genauere Vor-Ort-Positionierung innerhalb des digitalen Orthophotos, dadurch erleichterte Datenerhebung in der „Landespflege“. Zusätzliche Überwachungs- und Kontrollmöglichkeiten, z. B. bei Trassierungsarbeiten.
2. Punktbestimmungen vor Ort unter Zuhilfenahme der Stablotantenne (RTK Messungen), dadurch Genauigkeiten im Zentimeterbereich möglich.
3. Einfachere Erfassung örtlich relevanter Topographien im Zusammenhang mit anderen Außendiensttätigkeiten, dadurch u. U. deutliche Kostenreduzierung.

Unter Berücksichtigung dessen, und unter Beachtung wirtschaftlicher Überlegungen, sollte mit der Einführung des neuen Geoinformationssystems LEFIS, auch die Hardware den geforderten Bedürfnissen angepasst werden.

## 4.3 Fernerkundung

### Definition:

*„Die Fernerkundung ist die Gesamtheit der Verfahren zur Gewinnung von Informationen über die Erdoberfläche durch Messung und Interpretation der von ihr ausgehenden (Energie-) Felder. Als Informationsträger dient dabei die von der Erde reflektierte oder emittierte elektromagnetische Strahlung (DIN 18716/3).“*

Fernerkundung ist somit die berührungslose Wahrnehmung eines physikalischen Zustandes der Umwelt. Dies kann von nahen bis sehr weit entfernten Beobachtungspositionen aus erfolgen.

Anwendungsbereiche finden sich in der:

- Landnutzung
- Landwirtschaft
- Forstwirtschaftliche Zwecke
- Umweltüberwachung
- Ingenieuraufgaben

Alle genannten Bereiche sind Bausteine eines jeden Flurbereinigungsverfahrens. Insofern ist zu untersuchen, in wie weit die Fernerkundung für moderne Verfahrensbearbeitung angewendet werden kann.

### 4.3.1 Problematik

Da mittels Fernerkundung lediglich der physikalische Zustand der Erdoberfläche zum Zeitpunkt der Aufnahme erfasst und interpretiert werden kann, gibt es für deren Einsatz innerhalb eines Flurbereinigungsverfahrens nur den Arbeitsbereich „Wertermittlung“.

Hier ist zwischen Acker-Grünland-, Dorf- und Wald-Verfahren zu unterscheiden.

Die Ergebnisse der Wertermittlung basieren auf den amtlichen Bodenrichtwerten. Im Acker-Grünland-Verfahren ist die Bodengüte für die Einstufung bzw. Bewertung der Flurstücke entscheidend. Im Wald-Verfahren ist der Baumbestand Grundlage der Klassifizierung und somit der Wertermittlung.

Trifft, in der praktischen Anwendung der Fernerkundung, eine elektromagnetische Strahlung auf Materie, so wird sie entweder reflektiert, absorbiert oder ein Teil derer durchdringt sie.

Im **Acker-Grünland-Verfahren** können mit Hilfe der Reflexionseigenschaften folgende Bodenfaktoren untersucht werden:

- Bodenfeuchtigkeit
- Mineralzusammensetzung
- Humusgehalt
- Bodenart (Ton, Schluff, Sand)

Trockener Boden lässt sich gut von feuchtem unterscheiden. Die Eindringtiefe liegt jedoch bei nur wenigen  $\mu\text{m}$ , sodass hier keine eindeutige Aussage in puncto Bodengüte getätigt werden kann. Die Anforderungen der Flurbereinigung können somit in diesen Verfahren (Acker-Grünland) nicht hinreichend erfüllt werden.

Hinsichtlich der Vegetation in **Waldverfahren** lassen sich, insbesondere im sichtbaren und im nahen Infrarot-Bereich, bessere Ergebnisse erzielen. Das Reflexionsspektrum hängt unabhängig von der Pflanzenart von folgenden Hauptkomponenten ab:

- Blattpigmente  
0,5 - 0,75  $\mu\text{m}$ : Absorption durch Blattpigmente (z. B. Chlorophyll)
- Zellstruktur  
0,75 - 1,35  $\mu\text{m}$ : Kaum Absorption, hohe Reflexion durch Volumenreflexion im Blattinneren
- Wassergehalt der Pflanze  
1,35 - 2,5  $\mu\text{m}$ : Hauptsächlich Absorption durch Wasser

Mit Hilfe dieser Eigenschaften können verschiedene Pflanzenarten unterschieden werden.

Somit sind die Voraussetzungen für den Einsatz der Fernerkundung, hinsichtlich der Wertermittlung in Waldgebieten, gegeben.

### 4.3.2 Voraussetzungen

Voraussetzung für einen nutzbringenden Einsatz der Fernerkundung ist das Vorhandensein multispektraler Bilddaten und entsprechender Auswertesoftware.

#### 1. Multispektrale Bilddaten

Dies sind Datensätze, die aus mehreren Spektralkanälen zusammengesetzt sind, was bedeutet, dass nicht nur der sichtbare Bereich (RGB = rot grün blau) aufgezeichnet wird, sondern zusätzliche Infrarotkanäle registriert werden.

#### 2. Auswertesoftware

Um die multispektralen Bilddaten auswerten zu können, wird eine spezielle Software benötigt, welche die Spektralbänder getrennt voneinander betrachten und kombinieren kann.

Die von der Flurbereinigungsverwaltung zur Herstellung von digitalen Orthophotos verwendeten Luftbilder, sind für eine solche Auswertung aus zweierlei Gründen nicht geeignet:

1. Es werden lediglich RGB-Kanäle aufgezeichnet, sodass die Vegetation im Infrarotkanal nicht untersucht werden kann.
2. Die zur Verfügung stehenden Luftbilder werden zu einem Zeitpunkt erzeugt (Frühjahr), in dem noch keine Belaubung vorhanden ist.

Die zusätzlich benötigten Bilddaten müssten demzufolge im Sommer (bei voller Belaubung) erfasst werden.

Eine spezielle Auswertesoftware ist in der Flurbereinigungsverwaltung (noch) nicht im Einsatz.

### 4.3.3 Datenerhebung (Auswerterversuch)

Die Homepage „USGS science for a changing world“<sup>6</sup> bietet aktuelle, multispektrale Satellitenbilder zum kostenlosen download an. Die Bearbeitung dieser Bilder sollte Gegenstand des aufgezeigten Versuchs sein und konnte, mangels vorhandener Voraussetzungen bei der TZ, nur an der Fachhochschule Mainz erfolgen. Die dazu benötigte Software (Erdas imagine) stand erwartungsgemäß nicht kostenfrei zur Verfügung. Ein weiteres Problem war der nicht ausreichend zur Verfügung stehende Arbeitsspeicher des Studentenaccounts auf dem FH-Server (max. 10 GB; Größe eines Satellitenbildes = ca. 7 GB).

Insgesamt konnten trotzdem fünf aktuelle Satellitenbilder über sehr große Komprimierungsprozesse bearbeitet werden. Keines dieser Bilder kann jedoch die hohen Ergebnisanforderungen erfüllen.

Das beste Ergebnis ist nachfolgend (drittes Bild) dargestellt.

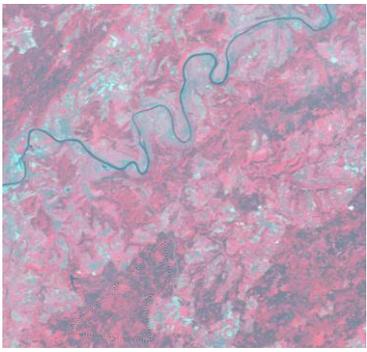
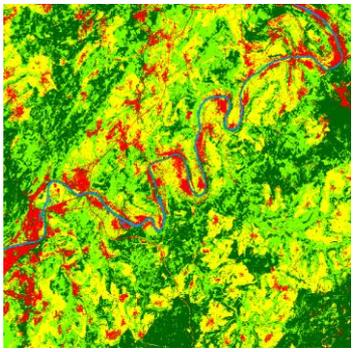
|   |  |   |
|---|--|---|
|  |  |  |
| Satellitenbild RGB  | Satellitenbild Infrarot  | Ergebnis des Klassifizierung  |

Abbildung 45: Fernerkundung - Klassifizierung

Die Vorgehensweise bei der Untersuchung erfolgte nach der sogenannten „Überwachten Klassifizierung“, was bedeutet, dass bekannte Signaturen erfasst

<sup>6</sup> <http://www.glovis.usgs.gov>

und den entsprechenden Nutzungsarten zugeordnet werden. Dieser Arbeitsschritt wird als Bestimmung von „Trainingsgebieten“ bezeichnet.

Die unbefriedigende Bildqualität (Bodenauflösung = 30 x 30 m) ließ im bearbeiteten Ausschnitt lediglich eine grobe Deutung der Nutzungsarten zu (siehe nachfolgende Tabelle):

Tabelle 2: Nutzungsarten der Klassifizierung

| Nutzungsart    | Farbe    |
|----------------|----------|
| Nadelwald      | Grün     |
| Laubwald       | Hellgrün |
| Wasser         | Blau     |
| Acker/Grünland | Gelb     |
| Bebauung       | Rot      |

Qualitätsverbesserungen sind, so die Erkenntnis, nur in Abhängigkeit von höherer Bildqualität zu erzielen. Folglich können die kostenfrei zur Verfügung stehenden Satellitenbilder für eine detaillierte Datengewinnung nicht verwendet werden.

#### 4.3.4 Auswertedaten der FH-Mainz

Die Qualität der Bilddaten ist maßgebend entscheidend für die Qualität der Ergebnisse. In nachfolgendem Beispiel wird eine Klassifizierung aufgezeigt, die wesentlich detaillierter und genauer die einzelnen Kriterien erfüllt.

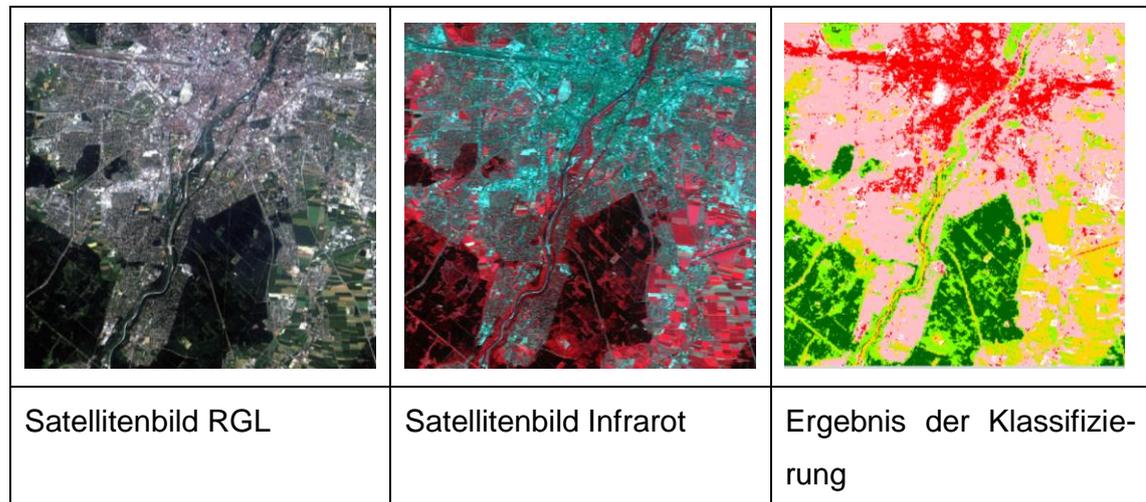


Abbildung 46: Fernerkundung- theoretische Möglichkeiten

In gezeigten Abbildungen ist gut zu erkennen, dass durch die bessere Qualität des Originalbildes, genauere Klassifizierungsergebnisse erreicht werden können.

Speziell im NIR-Kanal sind die verschiedenen Vegetationsarten gut zu erkennen. Die unterschiedlichen Rottöne zeigen die unterschiedlichen Vegetationskulturen. Leider wurde in diesem Beispiel nur zwischen Nadel- und Laubwald selektiert.

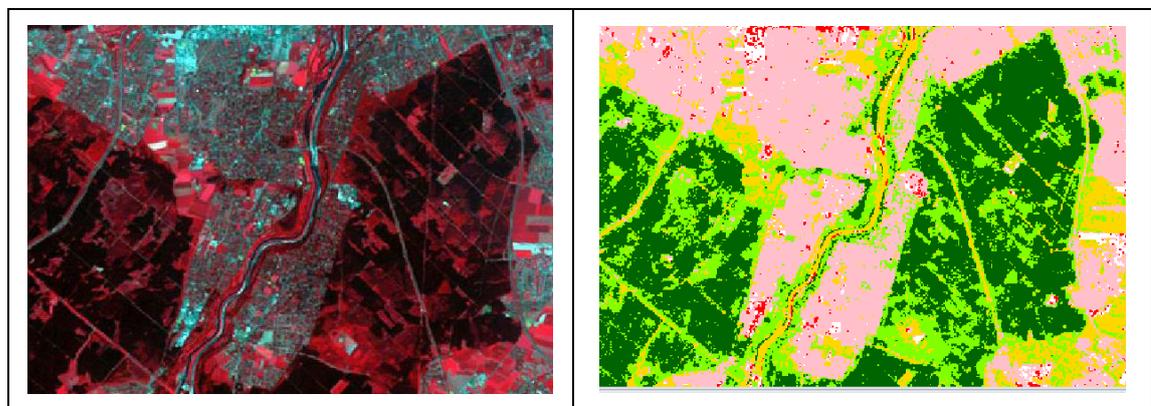


Abbildung 47: Fernerkundung – Waldgebiet

Wie genau bereits verschiedene Baumkulturen mittels Luftbildauswertung bestimmt werden können, zeigt folgende Abbildung:



Abbildung 48: Farbinfrarot<sup>7</sup>

- |                             |                   |
|-----------------------------|-------------------|
| 1 = Eiche/Buche (Jungwuchs) | 4 = vorw. Buche;  |
| 2 = Eiche/Buche             | 5 = Fichtengruppe |
| 3 = vorw. Eiche             | 6 = Pappel/Erle   |

Mit Hilfe dieser Bewertung könnten auch hier Trainingsgebiete in einem Luftbild bestimmt und klassifiziert werden. Somit wären grobe Waldbewertungen bereits im Innendienst zu jeder Jahreszeit möglich. Abschließend müssten die ermittelten Daten lediglich in der Örtlichkeit überprüft und angepasst werden. Die Schwierigkeit bei dieser Bewertung ist es, die Baumhöhen richtig abzuschätzen. Hierbei spielt die Erfahrung des Bearbeiters eine besonders große Rolle, der lediglich anhand des Bildmaßstabes die Baumkronengröße (Durchmesser) abschätzen kann.

---

<sup>7</sup> Quelle: Jörg Albertz, Einführung in die Fernerkundung

Alternativ könnten die Baumhöhen auch über ein georeferenziertes digitales Oberflächenmodell bestimmt werden. Dies müsste in die Bewertung mit eingearbeitet werden, um zuverlässigere Ergebnisse zu erzielen.

#### **4.3.5 Wirtschaftlichkeitbetrachtung**

Die aufgezeigte Vorgehensweise zur Bewertung eines Waldbestandes mit Hilfe der Fernerkundung, kann die im Einsatz befindliche Produktpalette der Photogrammetrie erweitern. Außendienstarbeiten ließen sich deutlich reduzieren, da vor Ort lediglich eine Überprüfung bzw. eine Anpassung der ermittelten Daten erfolgen müsste.

Um plausible Ergebnisse zu erzielen, werden jedoch qualitativ hochwertige Bilddaten, sowie ein digitales Oberflächenmodell benötigt. Beides könnte von der Vermessungs- und Katasterverwaltung Rheinland-Pfalz (VermKV) kostenfrei zur Verfügung gestellt werden. Der wesentliche Unterschied derer Bilddaten gegenüber denen der Flurbereinigungsverwaltung ist, dass diese Bilder in der Sommerzeit (bei voller Vegetation) entstehen und ein Infrarotkanal zusätzlich erfasst wird. Auch das digitale Oberflächenmodell ist ein Produkt der VermKV, das durch spezielle Rechenalgorithmen bei der Entstehung des digitalen Geländemodells abgeleitet wird. Somit entstünden lediglich Kosten bei der Anschaffung neuer Software sowie der Schulung der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter.

#### **4.3.6 Fazit**

Das vorgestellte Fernerkundungsmodell kann große Arbeitserleichterungen im Ablauf eines Waldflurbereinigungsverfahrens erbringen. Die Bewertung lässt sich häuslich zu jeder Jahreszeit durchführen, was die Anzahl der Außendiensttage für das Fachpersonal reduziert. Eine Beschleunigung bzw. Verkürzung der Verfahrenszeit wäre die Folge. Die Kosten blieben überschaubar.

Im Rahmen eines praktischen Einsatzes sollten die aufgezeigten Möglichkeiten mit realen Bilddaten, sowie realen Oberflächenmodellen in einem Pilotprojekt umgesetzt werden. Hierbei wäre es wichtig, geschultes Fachpersonal bei der Auswahl der Trainingsgebiete einzusetzen, damit sichergestellt ist, dass bei der Digitalisierung im Luftbild keine Fehler entstehen. Somit könnte die Grundlage für eine photogrammetrische Produkterweiterung im Flurbereinigungseinsatz geschaffen werden.

## 4.4 Unbemanntes Luftfahrzeug (UAV)

Ein UAV (unmanned aerial vehicle) ist ein Luftfahrzeug, das ohne an Bord befindliche Besatzung fliegen und navigiert werden kann. Im deutschen Sprachgebrauch wird für das UAV häufig auch das Synonym „Drohne“ verwendet.

Drohnen werden mit Sensoren ausgestattet um Aufnahmen gewünschter Objekte aus den verschiedensten Positionen zu fertigen. Im Vermessungsbereich ist der hierfür verwendete Standardsensor eine hochauflösende digitale Kamera.

Mit Hilfe von UAVs werden mittlerweile Aufnahmen in den verschiedensten Bereichen gefertigt:

- Hochspannungstrassen  
*Netzsicherheit insbesondere bei Isolatoren, Blitzableiter, Tierschutz*
- Türme, Schornsteine und Windkraftanlagen  
*Überwachungen bzw. Inspektion turmartiger Bauwerke*
- Historische- und Industriegebäude  
*Innen- und Außeninspektion aus der Luft (Dachflächen, Fassaden, Sanierungsüberprüfung)*
- Brückenbauwerke  
*Fliegende Alternative zum Gerüst*
- Land- und Forstwirtschaft  
*Alternative zur herkömmlichen Luftbildtechnik*
- Vermessung  
*Luftgestützte Datengewinnung (Bestandsaufnahme, 3D-Oberflächenmodell)*

Es ist unschwer zu erkennen, dass die mittels UAV gewonnen Daten auch für die Flurbereinigungsverwaltung von Nutzen sein könnten. Speziell in den Bereichen Vermessungstechnik, sowie Land- und Forstwirtschaft ist sein Einsatz unter dem Gesichtspunkt moderner Verfahrensbearbeitung durchaus denkbar.

#### 4.4.1 Modellversionen

Man unterscheidet zwei Arten von UAVs:

1. Das Flächenflugzeug, das einem „normalen“ Flugzeug ähnlich ist.



Abbildung 49: Trimble UX5<sup>8</sup>

2. Den Kopter, einem hubschrauberähnlichen Fluggerät mit einem und bis zu zwölf Rotoren.



Abbildung 50: Spy-X6 HexaKopter<sup>9</sup>

---

<sup>8</sup> Quelle: [www.trimble.com/Survey/ux5.aspx](http://www.trimble.com/Survey/ux5.aspx)

<sup>9</sup> Quelle: [www.multikopter.cc/nexakopter/spy-x6.php](http://www.multikopter.cc/nexakopter/spy-x6.php)

Im professionellen Einsatz sind bereits UAVs mit einer Nutzlast von 1 bis 2,5 kg. Flächenflugzeuge benötigen dazu eine Spannweite von etwa 1,5 m, praxistaugliche Kopter vier bis acht Rotoren. Letztgenannte sind etwas kleiner, somit beweglicher.

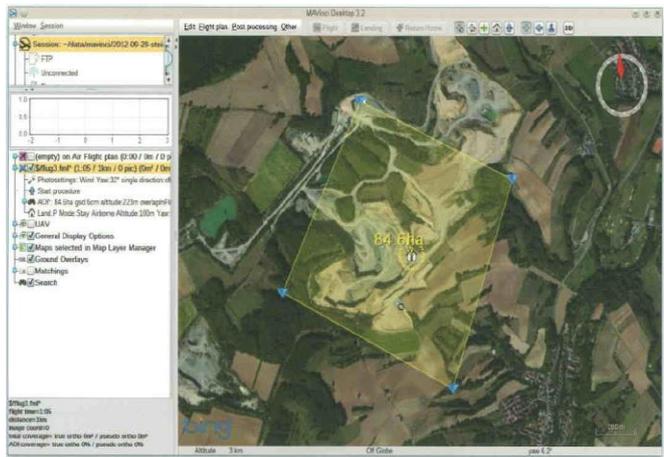
Während die Kopter auf engstem Raum fliegen, auf der Stelle stehen und präzise navigiert bzw. ausgerichtet werden können, verfügen Flugzeuge über deutlich längere Flugzeiten und höhere Fluggeschwindigkeiten. Die Wahl des UAV ist somit abhängig vom jeweiligen Anwendungsfall. Flugzeuge sind für Aufnahmen großflächiger Bereiche besonders geeignet, Kopter hingegen für die Erfassung von Einzelobjekten und deren Details.

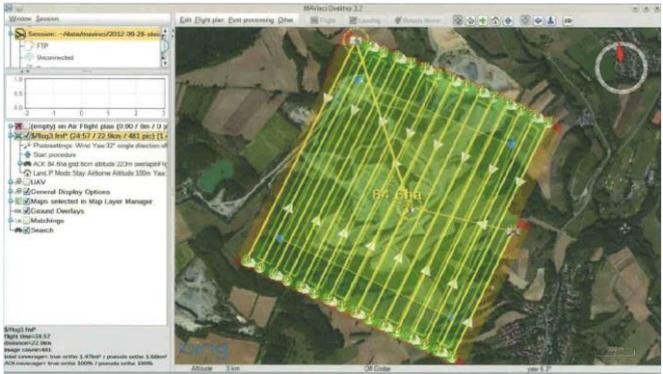
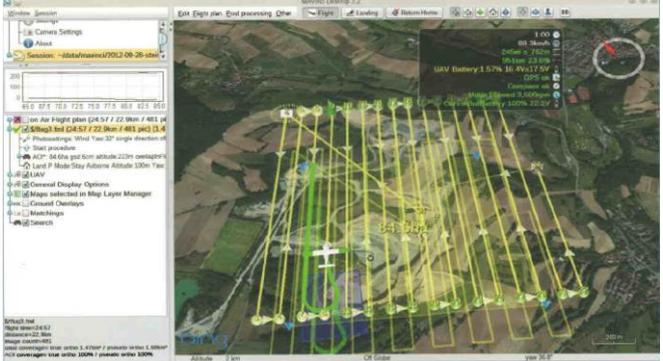
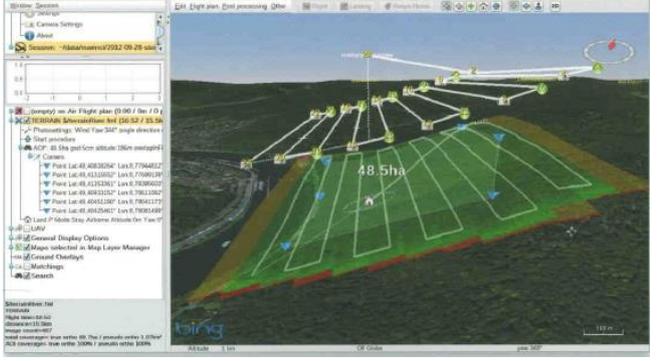
#### 4.4.2 Flugtechnik

Die UAVs sind nach derzeitigem Stand der Technik in der Lage, mittels eingebauter Controller vollkommen autonom zu fliegen. Zur Flugstabilisierung dienen, je nach Anwendung, eine Vielzahl von Sensoren, beispielsweise GPS, Inertialkreisel, Beschleunigungssensoren, Luftdrucksensoren oder Kompass. Weitere Sensoren, wie Abstandsmesser mit Ultraschallsensoren, können ergänzt werden. Durch diese Technik ist das Luftfahrzeug in der Lage, abgespeicherte Wegepunkte sicher abzufliegen und programmierte Ereignisse auszulösen; meistens das Ausrichten und Auslösen der Kamera an bestimmten Punkten. Der „Pilot“ assistiert lediglich noch bei Start und Landung vom Boden aus.

Nachfolgend ist ein Beispiel moderner Flugplanung dargestellt. Hierbei wurde die Software MAVINIC DESKTOP zur Anwendung gebracht.

Tabelle 3: UAV- Flugplanung

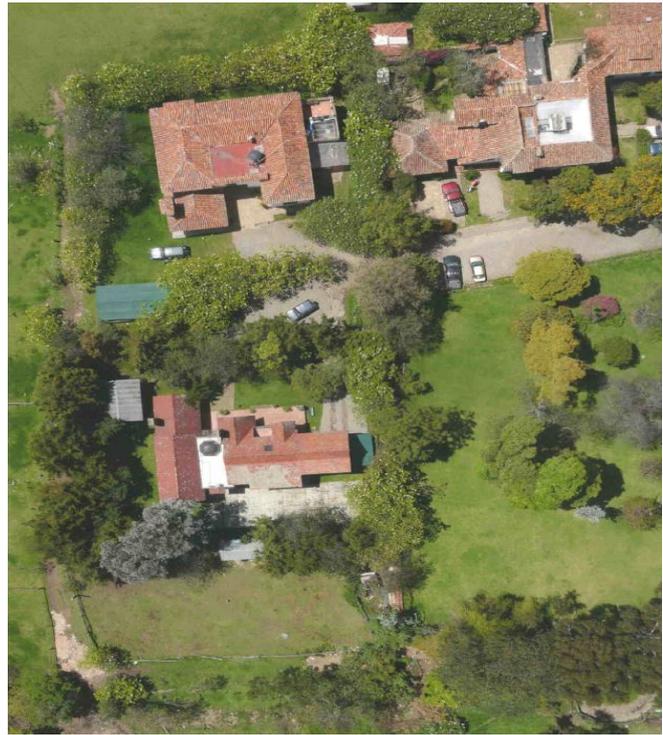
|  |  |
|--|--|
| <p>1. Schritt:<br/>Auswahl des Befliegungsgebietes</p> |  |
|--|--|

|  |  |
|--|--|
| <p>2. Schritt:</p> <p>Programmgesteuerte Flugplanung unter Berücksichtigung geforderter Parameter.</p> <p>i. d. R. lediglich Kontrolle der Randgebiete notwendig.</p>      |    |
| <p>3. Schritt:</p> <p>Bildflug: Die Drohne befliegt das geplante Gebiet. Es besteht die Möglichkeit der Flugbeobachtung in Echtzeit.</p>                                   |   |
| <p>4. Schritt:</p> <p>Qualitätskontrolle: Überprüfung der Daten vor Ort auf Vollständigkeit.</p> <p>Der grüne Bereich zeigt den erfolgreich erfassten Aufnahmebereich.</p> |  |
| <p>5. Schritt:</p> <p>Häusliche Anpassung und Darstellung der ermittelten Daten an das digitale Geländemodell.</p>   |  |

6. Schritt:

Ergebnis:

u. a. hochauflösendes Ortho-  
photo oder digitales Gelände-  
modell



Im 3. Schritt wurde erwähnt, dass die Befliegung in Echtzeit überwacht werden kann. Das Bodensegment ist in dieser Zeit über eine Daten-Funkverbindung mit dem UAV verbunden. Hierdurch können sämtliche Flugdaten (Höhe, Geschwindigkeit, Position, ggf. Tankanzeige) empfangen und kontrolliert werden; Flugbahnkorrekturen sind möglich. Aktueller Entwicklungsstand ist die Implementierung differentieller GPS-Verfahren, mit denen die UAV-Position mit Zentimetergenauigkeit berechnet werden kann.

#### 4.4.3 Bildauswertung

Die Auswertung der UAV-Luftbilder erfolgt nach den bekannten photogrammetrischen Mustern. Es ändern sich lediglich einige Randbedingungen für die die verwendeten Kameras, Bildmaßstäbe, Auflösung und die erhobenen Datenmengen ursächlich sind.

Beispiel:*vorgegebene Parameter:*

- Kamera mit 21 x 16 mm großem Mittelformatfenster, einer räumlichen Auflösung von 12,2 Millionen Pixel und einer Brennweite von 18 mm.
- geforderte Bodenauflösung = 20 mm
- Fluggebiet: 500 m Breite und 1000 m Länge

*Ergebnis:*

Durch die geforderte Bodenauflösung ergibt sich eine Flughöhe von 75 m. Dies führt zu einem Bildfenster am Boden von 65 x 86 m. Somit ergäben sich 90 Bilder bei 0 % Überlappung.

Die Überlappungsbereiche sind bei der UAV-Befliegung von großer Bedeutung. Wird beispielsweise bei einer Flughöhe von 75 m die vorgesehene Aufnahmeposition nur um 7,5 m in der Höhe oder Lage verfehlt, entspricht dies bereits 10 % des Bildmaßstabes bzw. der Bildgröße. Durch die Positionsungenauigkeit der GPS-Empfänger (ca. 5 m) muss der Überlappungsbereich erhöht werden, damit die Aerotriangulation brauchbare Ergebnisse liefern kann. Übliche Längs- und Querüberdeckungen bei UAV-Flügen liegen bei 85 % bzw. 70 %, was dazu führt, dass anstelle der o. g. 90 Bildern etwa 2.100 Bilder aufgenommen werden müssen.

**4.4.4 Auswerteergebnisse**

Aus o. g. Gründen ist der Auswerteaufwand, trotz modernster Rechnersysteme, enorm. Die Ergebnisse rechtfertigen dies durch ihre außerordentliche Qualität. Die errechneten digitalen Geländemodelle, die u. a. auch zur Projektion der Orthophotos benutzt werden, haben eine Maschenweite von wenigen Dezimetern. Die Orthophotos selbst haben somit nicht nur eine besonders hohe Auflösung (ca. 2 cm), sondern auch eine besonders hohe geometrische Genauigkeit.

#### 4.4.5 Anwendungen in der Flurbereinigung

Durch die qualitativ hochwertigeren Orthophotos, bzw. digitalen Geländemodelle, erfahren viele Arbeitsschritte in Planung und Vermessung, Landespflege sowie Bautechnik eine Optimierung:

- Daten externer Dienstleister werden für die Erzeugung digitaler Orthophotos nicht mehr benötigt.
- Punktbestimmungen durch Digitalisierung (Methode PuDig) erfahren in puncto Lagegenauigkeit eine Aufwertung.
- Volumenberechnungen bei Baumaßnahmen (Auf- und Abtragsberechnungen) können exakter kalkuliert werden.
- Wegeführungen fallen definitiv nicht mehr zwischen zwei Bild-Stützpunkte.
- Wasserführungen, Gewässerrückhaltebecken können ohne zusätzlichen Außendienstaufwand häuslich geplant werden.
- Waldbewertungen lassen sich mit Hilfe des Infrarotkanals und der sehr hohen Bodenauflösung des Orthophotos, effektiver durchführen.

Die Größe eines Acker/Grünland- bzw. Waldverfahrens liegt i. d. R. zwischen 300 und 1000 ha. Für seine Bearbeitung werden zunächst flächendeckend Daten erhoben. Es böte sich somit vorrangig ein UAV-Einsatz in Flugzeugform an.

#### 4.4.6 Einsatzvoraussetzungen rechtlicher Art

Der Einsatz eines UAVs ist diversen Bedingungen unterlegen. Einerseits hat er die hohen Ergebnisansprüche zu erfüllen (technische Seite). Dazu dient u. a. seine hochwertige technische Ausrüstung. Andererseits ist sein Einsatz diversen rechtlichen Forderungen unterlegen. So muss eine nachgewiesene Versicherung eventuell verursachte Schäden übernehmen und, wie bei jedem Einsatz eines Fluggerätes, ist eine gültige Fluggenehmigung Grundvoraussetzung.

#### 4.4.6.1 Versicherung

Das gewerbliche Fliegen mit einem UAV bedarf einer speziellen Luftfahrthaftpflichtversicherung. Es ist gesetzlich vorgeschrieben, dass Sachschäden bzw. Personenschäden die durch den Einsatz von UAVs entstehen, in einer Versicherung abgesichert sein müssen.

#### 4.4.6.2 Fluggenehmigung

Die Erteilung von Fluggenehmigungen ist Ländersache. In der Folge gibt es von Bundesland zu Bundesland unterschiedliche Genehmigungs-Regularien. In Rheinland-Pfalz ist der Landesbetrieb Mobilität für die Erteilung zuständig. Er entscheidet auf Grundlage der derzeit gültigen Luftverkehrs-Ordnung (LuftVO).

Nachfolgend einige wichtige Kriterien:

*„Es kann sowohl eine Einzelaufstiegs- als auch eine Allgemeinerlaubnis für den Aufstieg eines unbemannten Luftfahrtsystems beantragt werden. Während die Einzelaufstiegserlaubnis nur für bestimmte einzelne zeitlich begrenzte Vorhaben gilt, wird die Allgemeinerlaubnis generell für das Gebiet des Bundeslandes Rheinland-Pfalz zumeist mit einer zeitlichen Befristung von zwei Jahren und nur für Luftfahrtgeräte ohne Verbrennungsmotor mit einer Gesamtmasse inkl. Nutzlast bis max. 5 Kilogramm und einer max. Flughöhe von 100 Metern über Grund erteilt.*

*Der Aufstieg von unbemannten Luftfahrtsystemen darf nur in Sichtweite des verantwortlichen Steuerers erfolgen. Verboten ist gemäß § 15a Abs. 3 Satz 1 LuftVO der Aufstieg außerhalb der Sichtweite des Steuerers. Außerhalb der Sichtweite des Steuerers ist das unbemannte Luftfahrtgerät dann, wenn dieses durch den verantwortlichen Steuerer ohne besondere optische Hilfsmittel (z. B. Fernglas) nicht mehr zu sehen oder eindeutig zu erkennen ist.*

*Daher ist das Steuern des unbemannten Luftfahrtsystems durch den verantwortlichen Steuerer unter Zuhilfenahme einer Videobrille nicht erlaubt, da jener bei Verwendung der Videobrille nicht in der Lage ist, das unbemannte Luftfahrtsystem und seine Lage im Luftraum zu beobachten und hier ohne das optische Hilfsmittel schon nicht erkennen kann, an welcher Stelle sich das Luftfahrtgerät befindet. Dies gilt vor allem dann, wenn das Luftfahrtgerät in einer solchen Entfernung fliegt, dass der Steuerer mit bloßem Auge keinen Sichtkontakt mehr hat.*

*Gemäß § 15a Abs. 3 Satz 1 LuftVO ist der Aufstieg eines unbemannten Luftfahrt-systems auch dann nicht erlaubt, wenn dieses eine Gesamtmasse von mehr als 25 Kilogramm hat.*

*Die zuständige Luftfahrtbehörde kann in Gebieten mit Flugbeschränkung nach § 11 LuftVO (sog. Flugbeschränkungsgebiete) und für den Fall des Betriebs, der nicht über den Flugplatzverkehr eines Landeplatzes hinaus erfolgt, Ausnahmen von dem Verbot nach § 15a Abs. 3 Satz 1 LuftVO zulassen, wenn von der beantragten Nutzung des Luftraums keine Gefahren für die öffentliche Sicherheit und Ordnung ausgehen (§ 15a Abs. 3 Satz 3 LuftVO). Dies ist durch die zuständige Luftfahrtbe-hörde jedoch immer im Einzelfall zu prüfen.“<sup>10</sup>*

#### **4.4.7 Fazit**

Die rasante technische Entwicklung der unbemannten Luftfahrzeuge sollte den Gedanken an einen Einsatz in der Flurbereinigungsverwaltung Rheinland-Pfalz rechtfertigen. Es gibt, wie an anderer Stelle bereits erwähnt, eine Vielzahl von An-wendungsbereichen, die durch einen UAV-Einsatz optimiert werden könnten. Bei-spielsweise sei an die Wertermittlung (Klassifizierung) in Waldgebieten erinnert.

Andererseits kann ein Drohnen-Einsatz die klassische Luftbildvermessung nicht ersetzen. So wäre z. B. die Befliegung eines ca. 1000 ha großen Verfahrensgebietes mit Drohne zwar technisch realisierbar, würde jedoch den zeitlichen Rahmen eines klassischen Bildfluges um ein Vielfaches überschreiten. Zudem wäre die da-bei entstehende Bilddatenmenge, im Hinblick auf den nachfolgenden Auswerte-aufwand, zu groß.

Die rechtlichen Voraussetzungen, die es in Rheinland-Pfalz zu erfüllen gilt, schrän-ken einen UAV-Einsatz zusätzlich ein (Fluggenehmigung, Versicherung etc.). So darf eine Drohne nur im Sichtfeld des Steuerers eingesetzt werden, was bei einem 1000 ha großen Waldverfahren flächendeckend nicht realisierbar ist.

Zum jetzigen Zeitpunkt könnte die Drohne m. E. gewinnbringend lediglich als Er-gänzung für bestimmte Arbeitsschritte in Flurbereinigungsverfahren eingesetzt werden.

---

<sup>10</sup> Quelle: [http:// www.lbm.rlp.de/Aufgaben/Luftverkehr/Drohnen-UAS/](http://www.lbm.rlp.de/Aufgaben/Luftverkehr/Drohnen-UAS/)

In naher Zukunft sollten die Rechtsnormen den technischen Entwicklungen angepasst werden, sodass eine erneute Untersuchung pro UAV-Einsatz in der Flurberreinigungsverwaltung erfolgen könnte.

## 5 Fortentwicklung der photogrammetrischen Technik in der Flurbereinigung RLP

In diesem Kapitel soll untersucht werden, in welchem Arbeitsprozess (innerhalb der Flurbereinigung) die Photogrammetrie, über das aufgezeigte Maß hinaus, gewinnbringend eingesetzt werden kann. Die technische Entwicklung ist mittlerweile soweit fortgeschritten, dass sich Einsatzüberlegungen rechtfertigen lassen. Insbesondere werden die Einsatzbereiche „Nahbereichsphotogrammetrie“ und „3D-Visualisierung“ beleuchtet.

### 5.1 Nahbereichsphotogrammetrie

Die Nahbereichsphotogrammetrie beschäftigt sich mit Objekten (z. B. Gebäuden) in Größenordnungen (Volumen) von wenigen Zentimetern bis zu 100 Metern. Sie wird auch als Gegenstück zur klassischen Luftbildphotogrammetrie bzw. Luftbildvermessung bezeichnet, da die Aufnahmen hier (i. d. R.) terrestrisch erfolgen. Ein weiterer, wesentlicher Unterschied besteht darin, dass es keine Einschränkungen bei der Aufnahmeanordnung gibt. Es können, je nach Aufgabenstellung, beliebige Aufnahmepositionen ausgewählt werden (siehe nachstehendes Beispiel).

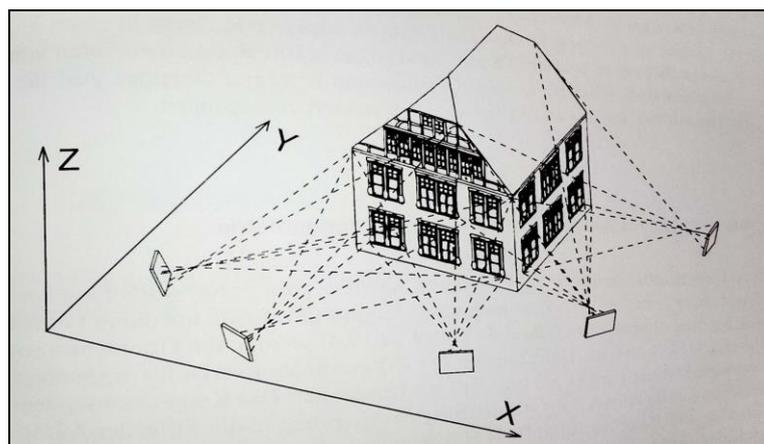


Abbildung 51: Nahbereichsphotogrammetrie<sup>11</sup>

---

<sup>11</sup> Quelle: Vermessungskunde und Grundlagen der Statistik für das Bauwesen, Witte/Schmidt, 6. überarbeitete Auflage

Dank der fortschreitenden Entwicklung hat sich die Nahbereichsphotogrammetrie in den letzten Jahren als anerkanntes und leistungsfähiges 3D-Messverfahren etabliert. Ihre Ergebnisse (i. d. R. entzerrte Photographien), werden u. a., um bei obiger Abbildung zu bleiben, für Fassadentexturen in 3D-Modellen benötigt.

### 5.1.1 Anwendungsfelder

Die häufigsten Anwendungsfelder der Nahbereichsphotogrammetrie sind:

- **Architektur**  
Fassadenaufmaße, Dokumentation von Alt- und Neubauten, vereinfachte Deformationsmessungen, Innenraumvermessungen, digitale Stadtmodelle
- **Bauingenieurwesen**  
Tunnel- und Anlagenvermessung, einfache Deformationsmessungen, Bergbau, Beweissicherungsmaßnahmen, Erfassung und Überwachung von Großbauwerken
- **Archäologie und Denkmalpflege**  
Bestandsdokumentation, Grabungsdokumentation und Vermessung
- **Geologie**  
Vermessung und Kartierung von Erosion, Erdbebenzonen, Gletscherbewegung
- **Industrie**  
Überprüfung von Fertigungseinrichtungen, Steuerung und Überwachung von Montage- und Fügeprozessen, Aufnahme von Crash-Versuchen, Qualitätskontrollen und Inspektionen
- **Medizin**  
Bestimmung von Fehlstellungen des Skeletts, Vermessung von Narben, Anpassung von Prothesen
- **Kriminaltechnik**  
Beweissicherung, Tatortdokumentation

### 5.1.2 Einsatzmöglichkeiten in der Flurbereinigung

Zu den Hauptaufgaben der Flurbereinigung zählen:

- die Neuordnung des ländlichen Grundbesitzes
- die Verbesserung der Produktions- und Arbeitsbedingungen in der Land- und Forstwirtschaft sowie im Weinbau
- die Förderung der allgemeinen Landeskultur und der Landentwicklung.

Diese Themenfelder befassen sich mit dem „Grund und Boden“ (Flächen/Flurstücke) und den dazu gehörenden Eigentumsverhältnissen.

Die Nahbereichsphotogrammetrie bildet Objekte ab (z. B. die in einem Flurbereinigungsverfahren vorhandenen Gebäude). Sie kann auch zu Orientierungs- und Dokumentationszwecken u. a. im Denkmalschutz gewinnbringend eingesetzt werden.

### 5.1.3 Fazit

Trotz des breiten Anwendungsspektrums der Nahbereichsphotogrammetrie, ist ein flächendeckender Einsatz in einem Standard-Flurbereinigungsverfahren eher unwahrscheinlich.

Andere Möglichkeiten bieten sich in der Dorferneuerung. Hier könnten die terrestrischen Fotografien, insbesondere für Planungszwecke in Ortskernen, sehr gute Ergebnisse liefern. Detailgetreue Abbildungen sind Grundlage der Erhaltung historischer Gebäudebestände, insofern sind Einsatzvarianten bei der Planung und Gestaltung von Dorfplätzen durchaus denkbar.

Die Frage nach einem wirtschaftlichen Einsatz der Nahbereichsphotogrammetrie in der Flurbereinigung lässt sich somit nur dann bejahen, wenn ein Zusammenschluss von Dorferneuerung und Flurbereinigung zukunftsfähig ist. Brauchbare Ergebnisse kann sie zweifelsohne liefern.

## 5.2 3D-Visualisierung

### Definition:

*„Visualisierung (im Sinne der Informatik) ist die zielgerichtete Transformation von Daten in ein sichtbares Bild zur Unterstützung der Exploration (Erkundung), Kognition (Erkennen) und Explanation (Erklärung) von Strukturen und Prozessen.“<sup>12</sup>*

Dies bedeutet, Objekte, Daten und Phänomene in graphischer Form (z. B. in einem Bild) zu veranschaulichen bzw. sichtbar zu machen. Sobald es räumliche Eindrücke zu vermitteln gilt, müssen weitere Parameter ergänzt werden. Erst danach findet der Zusatz „3D“ (drei dimensional) Anwendung.

Mit Hilfe der 3D-Visualisierung können komplexe, räumliche Zusammenhänge leicht verständlich dargestellt werden.

### 5.2.1 Allgemeine Anwendungsbereiche

Die 3D-Visualisierung hat bereits in vielen, sehr unterschiedlichen Anwendungsbereichen Einzug gefunden:

- Medizin
- Stadtplanungen
- Umweltschutz
- Ingenieuraufgaben
- Navigation
- Katastrophenschutz

Auch in der Flurbereinigung hat sie ihren Platz gefunden (Planung von Baumaßnahmen, Bepflanzungen etc.).

Der in Kapitel 3.1.3 beschriebene Wege- und Gewässerplan nach § 41 FlurbG vereinigt alle Einzelmaßnahmen und stellt die Ergebnisse in der „Karte zum Plan“ dar. Als Alternative zu dieser zwei dimensional Darstellung, wäre auch eine drei di-

---

<sup>12</sup> Quelle: geoinformation.net

mensionale Abbildung denkbar. Unter Zuhilfenahme eines interaktiven „Plans nach § 41 FlurbG“ könnten Planungsergebnisse u. a. der Teilnehmergeinschaft verständlicher vermittelt werden.

Nachfolgende Abbildungen zeigen erste 3D-Einsatzbereiche:



Abbildung 52: 3D-Visualisierungen

Die zweifelsohne sehr guten Auswertergebnisse der modellierten Oberflächen bzw. der Gebäude, sind bis dato nur mit sehr großem Arbeitsaufwand zu erzielen.

Zur Verdeutlichung soll der Arbeitsablauf einer Gebäudekonstruktion dargestellt werden:

1. Gebäudehöhenermittlung im Stereomodell
2. Konstruktion der Gebäude unter Zuhilfenahme spezieller Software
3. Photogrammetrische Erfassung der Gebäudeseiten (Nahbereichsphotogrammetrie)
4. Entzerrung der terrestrischen Photos
5. Modellieren entzerrter Gebäudetexturen auf die konstruierten Gebäude
6. Modellieren des Orthophotos auf das DGM
7. Georeferenzieren der konstruierten Gebäude und Einpassung in das Oberflächenmodell

Trotz des hohen Arbeitsaufwandes lassen sich eindeutige Vorteile in einer Verfahrensbearbeitung erkennen:

1. Besseres Verständnis räumlicher Zusammenhänge:  
Die 3D-Beziehungen der Erdoberfläche lassen sich, gegenüber der analogen Kartengrundlage, wesentlich besser und eindeutiger darstellen. Dadurch u. a. Präsentationsvorteile in der Teilnehmergeinschaft.
2. Interaktion:  
Im Gegensatz zur traditionellen Darstellung, ist hier ein „räumliches durchwandern“ der bearbeiteten Region möglich. Zusätzlich können Bau- und Bepflanzungsmaßnahmen real dargestellt und betrachtet werden.
3. Vorher-Nachher-Effekt:  
Es lassen sich zeitlich dynamische Prozesse darstellen. So ist z. B. der „Vorher- Nachher-Effekt“ (Alter Bestand - Neuer Bestand) durch Animation innerhalb des 3D-Modells möglich.

Unbeantwortet muss zunächst die sich daraus ableitende Frage nach einem wirtschaftlichen Einsatz der 3D-Visualisierung in der Flurbereinigungsverwaltung bleiben. Sie ist originär abhängig von dem Vorhandensein sowohl personeller-, als auch finanzieller Ressourcen.

Davon unbeeindruckt, nachfolgend einige strategische Einsatzüberlegungen.

### **5.2.2 Überlegungen zur Einführung der 3D Visualisierung in der Flurbereinigungsverwaltung Rheinland-Pfalz**

Zunächst wertneutral werden im zeitlichen Ablauf eines Verfahrens verschiedene Einsatzmöglichkeiten der 3D-Visualisierung aufgezeigt.

#### **5.2.2.1 Anordnung neuer Bodenordnungsverfahren**

Für die Anordnung neuer Bodenordnungsverfahren müssen verschiedene Kriterien erfüllt werden. Dabei werden, neben den gesetzlich vorgegebenen und durch die Rechtsprechung entwickelten Kriterien, die Ergebnisse des 2011 eingeführten Auswahlverfahrens (Scoring-Wert), die Ergebnisse der Wertschöpfungsanalyse und die Ergebnisse der projektbezogenen Untersuchung ausgewertet und jeweils der Entscheidung in einem Entscheidungstermin zugrunde gelegt. Von besonderer Bedeutung ist dabei die Akzeptanz der Landwirtschaft/des Weinbaus/der Forsten sowie die möglichst breite Akzeptanz bei den Grundstückseigentümern und den nach dem Naturschutzrecht anerkannten Vereinen.

Die Akzeptanz der Grundstückseigentümer vor Einleitung des Bodenordnungsverfahrens wird insbesondere immer dann als gegeben angesehen, wenn die zu einer vorbereitenden Versammlung anwesenden Grundstückseigentümer mit einer Mehrheit von mindestens 2/3 ihrer Stimmen und Fläche für die Durchführung einer Bodenordnung stimmt.

Verfahrenseinleitend sind dann umfangreiche Vorarbeiten (u .a. projektbezogene Untersuchung, Ermittlung der Bewirtschaftungsverhältnisse, Bestandsaufnahme oder vorläufiger Wege- und Gewässerplan) zu leisten.

Es sollte sich ein höheres Maß an Verständnis bei den Beteiligten erzielen lassen, wenn diese Vorarbeiten zusammengefasst und 3D-visualisiert präsentiert werden können. Die räumliche Darstellung des Verfahrensgebietes kann geplante Maßnahmen, Bewirtschaftungseinheiten sowie Konzepte der Innenentwicklung d. h.





Abbildung 54 2/(3): 3D-Wege und Gewässerplan (Meersburg – Bodensee)

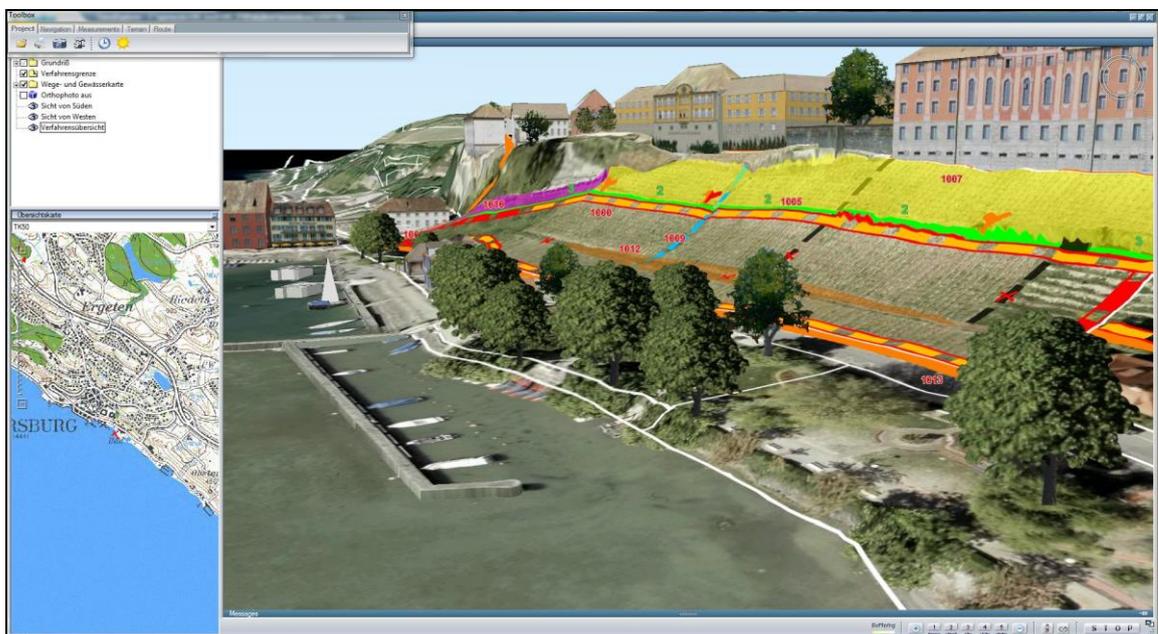


Abbildung 55 3/(3): 3D-Wege und Gewässerplan (Meersburg – Bodensee)

Die Abbildungen zeigen:

- Geplante Querterrassierung (gelbe Darstellung)
- Geplante Wegeführung (orange-, rote Darstellung)
- Geplante Stützmauer (grüne Darstellung)
- Landespflegefläche (lila Darstellung)

Neben den visuellen Vorteilen lassen sich auch wirtschaftliche erkennen. So würde u. a. vorab das aufwendige Zusammentragen analoger Unterlagen entfallen, was sowohl Personal-, als auch Materialkosten-Einsparungen zur Folge hätte.

Summierend könnte der interaktive „Plan“ das komplette Verfahren „begleiten“ und ebenso Grundlage für Verhandlungen sein, wie präsentationsunterstützend eingesetzt werden.

Die Abbildungen 53 - 55 zeigen, dass in anderen Bundesländern ähnliche Konstrukte bereits im Einsatz sind. Hier sollte länderübergreifend und somit vorteilsbringend gehandelt werden.

#### 5.2.2.3 Ausführungsanordnung gem. § 61 FlurbG

*„Ist der Flurbereinigungsplan unanfechtbar geworden, ordnet die Flurbereinigungsbehörde seine Ausführung an (Ausführungsanordnung). Zu dem in der Ausführungsanordnung zu bestimmenden Zeitpunkt tritt der im Flurbereinigungsplan vorgesehene neue Rechtszustand an die Stelle des bisherigen.“*

Die zeitliche Abfolge des Flurbereinigungsverfahrens (Entwicklungsstufen) könnte durch permanente Fortschreibungen des Wege- und Gewässerplanes jetzt abschließend 3D-visualisiert aufgezeigt werden. Neue Wirtschaftseinheiten (Flurstücksstrukturen) ließen sich allgemeinverständlich veranschaulichen, das positive Flurbereinigungsergebnis unterstreichen (Werbung in eigener Sache).

Vorab könnte die Animation auch zu anderen Veranstaltungen (z. B. in einem Abstimmungstermin) präsentiert werden, um bereits in vorangegangenen Verfahren erreichte Ziele der Teilnehmergeinschaft wirksam zu vermitteln.

### 5.2.3 Externe Anbieter

Wie erwähnt, fordert die 3D-Visualisierung ein hohes Maß an personellen-, technischen und somit finanzieller Ressourcen. Es gilt die Frage zu beantworten, ob die Flurbereinigungsverwaltung dieser Forderung gerecht werden kann.

Externe Dienstleister könnten zielführend eingesetzt werden. Sie verfügen mittlerweile über hervorragende Visualisierungsmöglichkeiten und sind in der Lage, schnell und somit effizient hervorragende Ergebnisse zu liefern.

Nachfolgend exemplarisch Produkte einiger Anbieter:

#### 5.2.3.1 Kartendienste

##### Google Earth



Abbildung 56: Google Earth

Google Earth bietet bereits in der kostenfreien Basisversion eine Navigation auf dem virtuellen Globus an. In dieser Version ist auch die Darstellung von Texturen auf 3D-Modellen möglich.

In der kostenpflichtigen Erweiterung können zusätzliche Funktionen (z. B. Erstellung von Gebäuden, Fertigung von Filmen, Unterstützung div. Importformate (z. B. ESRI shapefiles) sowie höhere Druckauflösungen) erworben werden.

### OpenStreetMap in OpenWebGlobe



Abbildung 57: Open Street Map – Open Web Globe<sup>14</sup>

Open Street Map ist ein freies Projekt, das Geodaten kostenlos zur Verfügung stellt. Durch diese geografischen Daten sind unterschiedliche Anwendungsmöglichkeiten (Weltkarten, Spezialkarten oder Navigation) möglich. In Verbindung mit Open Web Globe (Visualisierungstechnologie für Geodaten) können räumliche Eindrücke schnell und einfach präsentiert werden.

Der große Vorteil hierbei ist, dass sämtliche Funktionen kostenfrei (Open-Source-Projekt) zur Verfügung gestellt werden. Durch die Bereitstellung des Quellcodes können die gewünschten Änderungen leicht eingearbeitet werden.

---

<sup>14</sup> Quelle: <http://www.openwebglobe.org/3d-buildings-from-openstreetmap-in-openwebglobe/>

### 5.2.3.2 Webbasierte Anwendungen

#### Leaflet

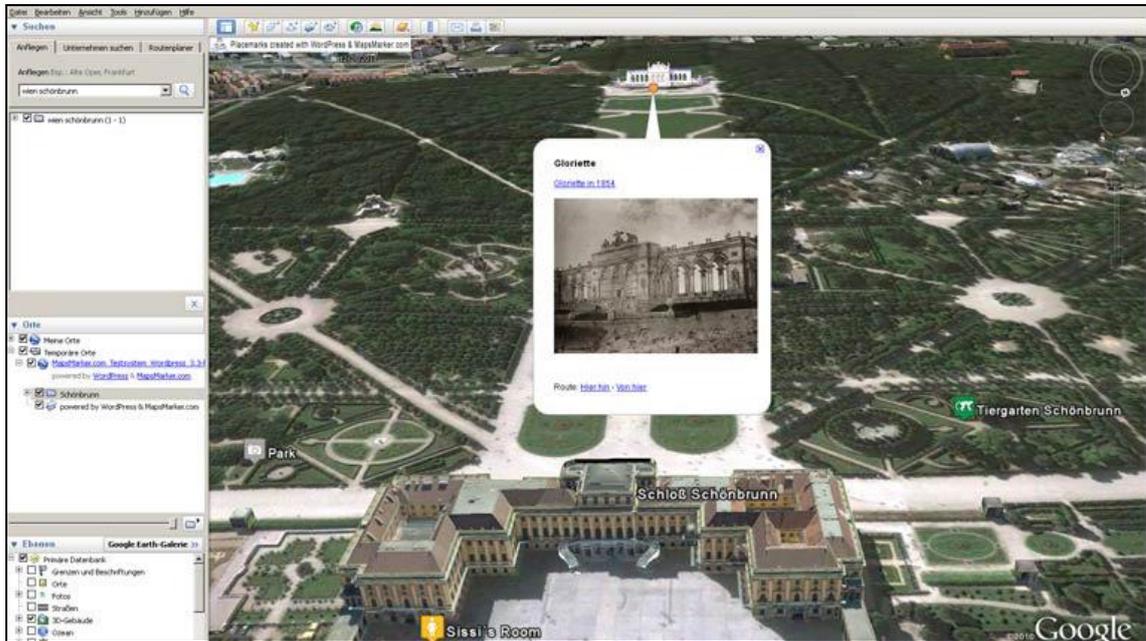


Abbildung 58: Leaflet - Map Marker<sup>15</sup>

Leaflet ist eine JavaScript Library und bietet u. a. die zusätzliche Möglichkeit, sogenannte „Map Marker“ zu erstellen, in denen Maßnahmen ausführlich beschrieben und erläutert werden können.

Die Erläuterungen von geplanten Bau- und Bepflanzungsmaßnahmen in Flurbereinigungsverfahren könnten hiermit leicht realisiert werden.

<sup>15</sup> <http://images05.futurezone.at/mapsmarkergoogle.jpg/fuzo-slideshow-slide/24.522.630>

### D3 - Data Driven Documents

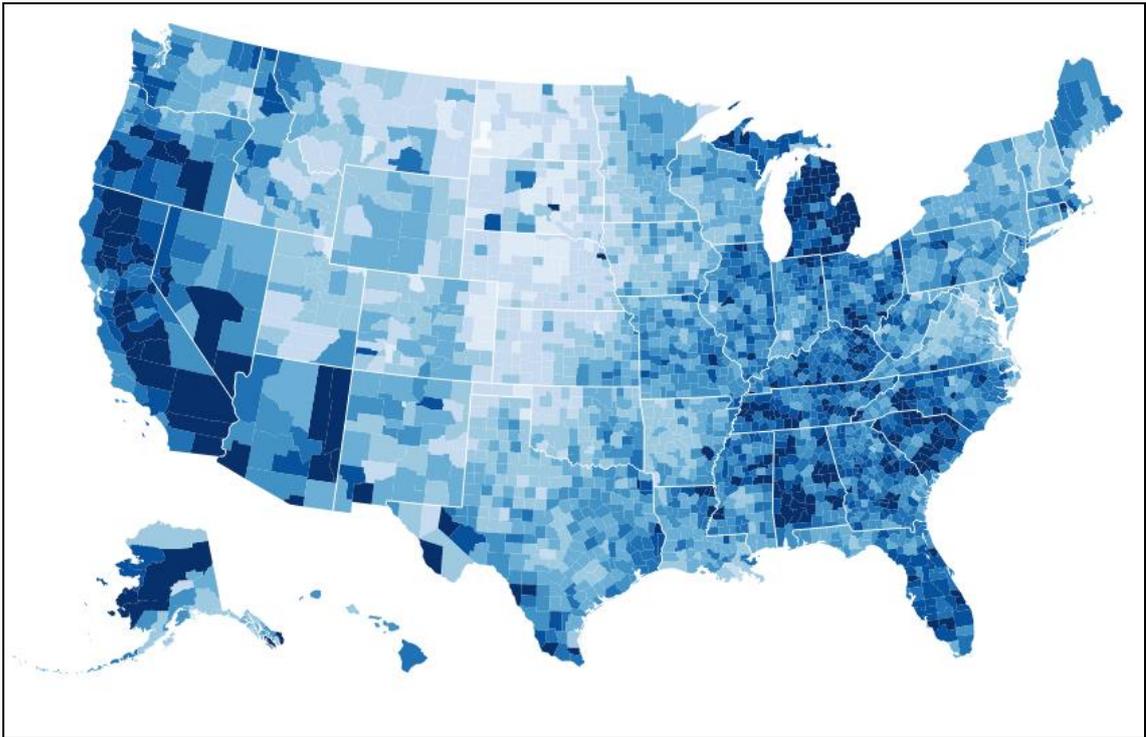


Abbildung 59: D3 - Data Driven Documents<sup>16</sup>

D3 - Data Driven Documents ist ebenfalls eine JavaScript Library, die es u. a. ermöglicht vorhandene Daten bzw. Geodaten zu visualisieren. Eine Datenbankanbindung ist zusätzlich möglich.

Das voranstehende Beispiel zeigt unterschiedliche Klassifizierungen der Vereinigten Staaten von Amerika.

Denkbare Einsatzmöglichkeiten in der Flurbereinigungsverwaltung sind hier die Wertermittlung bzw. die Abbildung von Besitzständen (interaktive Karten).

---

<sup>16</sup> Quelle: <http://d3js.org/>

### 5.2.4 Fazit

Die 3D-Visualisierung ist eine Möglichkeit komplexe Zusammenhänge für jedermann leichtverständlich abzubilden.

In der Flurbereinigung könnte sie vorteilsbringend wie folgt (zusammengefasst) eingesetzt werden:

1. Besseres Verständnis räumlicher Zusammenhänge (vorrangig bei den Beteiligten).
2. Arbeitserleichterung bei Abstimmungen mit den Trägern öffentlicher Belange und Genehmigung der ADD (Interaktion).
3. Veranschaulichung der Flurbereinigungsergebnisse (u. a. Werbewirksamkeit).

Welche Vorteile sich letztendlich in der Praxis ergeben, ist nur mittels Pilotierung in einem realen Verfahren zu eruieren.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Der Einsatz der Photogrammetrie in der Flurbereinigungsverwaltung wird seit vielen Jahren mit großem Erfolg betrieben. In den verschiedensten Aufgabenbereichen bilden die photogrammetrischen Produkte die Basis vieler Arbeitsschritte.

Insbesondere im Bereich der Luftbildmessung, hier speziell durch die Art der Befliegung (Streifenbefliegung – Kreuzbefliegung), können sehr gute Ergebnisse erzielt werden. Der Punktausfall in vegetationsreichen Gebieten reduziert sich auf ein Minimum, sodass nur vereinzelt terrestrische Nacharbeiten erforderlich sind.

Das digitale Orthophoto bzw. das digitale Orthophotomosaik kann durch o. g. Befliegungsmethoden mit einer Bodenauflösung von etwa 7 cm errechnet werden. Diese genauen Bilddaten ziehen zahlreiche Arbeitserleichterungen nach sich. Speziell im Vermessungsbereich können mittels der GIS-Funktion „PuDig“ Sollkoordinaten erzeugt werden, die die Genauigkeitsanforderungen einer Katasterübernahme erfüllen.

Als weiteren Vorteil genannter Anwendung ist zu werten, dass Punkt-Koordinaten des Wege- und Gewässerplans zeitgleich mit den Koordinaten der neuen Flurstücksgrenzen (Neuer Bestand) erzeugt werden können. Somit reduziert sich die Außendiensttätigkeit auf ein Minimum. Das Landesgesetz über das amtliche Vermessungswesen (LGVerm) §16, Abmarkung von Grenzpunkten, lässt aus Gründen der Zweckmäßigkeit einen Abmarkungsverzicht ausdrücklich zu. Auch unter diesem Gesichtspunkt ist das Verfahren „Punktfeststellung durch Digitalisierung (PuDig)“ dem klassischen terrestrischen Aufnahmeverfahren, durch seine hohe Flexibilität, wirtschaftlich deutlich überlegen.

Um künftig noch effizienter mit den Produkten der Photogrammetrie arbeiten zu können, bieten sich folgende Optionen an:

- Verdichtung des DGM,
- Einsatz neuer Technik zur Bilddatengewinnung,
- Orientierungsmöglichkeit mittels moderner GPS-Empfänger.

Mit den Möglichkeiten der Fernerkundung (Wertermittlung in Waldgebieten) und der 3D-Visualisierung, ließe sich die im Einsatz befindliche photogrammetrische Produktpalette darüber hinaus sinnvoll ergänzen. Eine Verfahrensbeschleunigung wäre die Folge.

Abschließend ist zu erwähnen, dass sich die Photogrammetrie sehr schnell weiterentwickelt. In der Folge gilt es, Neuerungen ständig, im Hinblick auf einen Einsatz in der Flurbereinigungsverwaltung Rheinland-Pfalz, zu beobachten und einen möglichen Einsatz auszuloten. Die fortwährende Weiterentwicklung wird die Qualität der photogrammetrischen Produkte verbessern und die überaus positiven Einsatzerfahrungen unterstreichen.

## Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Masterarbeit selbständig angefertigt habe. Es wurden nur die in der Arbeit ausdrücklich benannten Quellen und Hilfsmittel benutzt. Wörtlich oder sinngemäß übernommenes Gedankengut habe ich als solches kenntlich gemacht.

---

Mainz, 14.02.2014

---

Jens Gillmann

## Dankesworte

Die Fertigung meiner Masterarbeit machte es notwendig, Arbeitsbereiche der Sachgebiete „Planung und Vermessung“, „Bautechnik“ und „Landespflege“ des Dienstleistungszentrums Ländlicher Raum Rheinhessen-Nahe-Hunsrück, kennen zu lernen. Hierbei durfte ich stets die Unterstützung sehr hilfsbereiter und freundlicher Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter erfahren. Stellvertretend möchte ich dafür dem Abteilungsleiter „Landentwicklung“, Herrn Dipl. Ing. Werner Nick, sehr herzlich danken.

Ein besonderer Dank gilt auch den Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der „Technischen Zentralstelle“ in Bad Kreuznach, speziell im Arbeitsbereich „Photogrammetrie“. Hier sei stellvertretend dem ehem. Abteilungsleiter, Herrn Dipl. Ing. Harald Durben sowie dem Gruppenleiter der Abteilung „Fachanwendungen“, Herrn Dipl. Ing. Thomas Mitschang, herzlichst gedankt.

Für meine Untersuchungen in puncto Bereitstellung digitaler Geländedaten, stellte mir die Firma Leica Geosystems, für die terrestrische Datenerhebung, freundlicherweise eine Nova MS50 MultiStation zur Verfügung. Auch dafür sei stellvertretend den Herren Lothar Assenmacher (Leitung Vertrieb) und Thorsten Werner gedankt.

Abschließend gilt mein Dank den aufmerksamen Korrekturlesern meiner Arbeit.

.....

Jens Gillmann

## Anhang A: Auszug RiVerm

### 4.1.2 Punktfestlegung durch Digitalisierung (PuDig)

Voraussetzung für das Vorgehen nach PuDig ist, daß ein verdichtetes, genaues und insbesondere homogenes Vermessungspunktfeld (TP; AP; PP) für die spätere terrestrische Bestimmung der erforderlichen Grenzpunkte der gemeinschaftlichen und öffentlichen Anlagen sowie der neuen Flurstücksgrenzen vorliegt bzw. geschaffen wird.

Wenn ein homogenes Festpunktfeld nicht vorliegt und eine terrestrische Bestimmung durch die Vermessungs- und Katasterverwaltung nicht vorgenommen wird, ist das erforderliche Festpunktfeld in der Regel sehr wirtschaftlich bei der photogrammetrischen Herstellung der Planungsgrundlagen für PuDig (**RiPhoto** Nr. 10.3) mitzubestimmen.

Bei PuDig werden auf der Grundlage des Planes nach **§ 41 FlurbG** die Koordinaten der Wege- und Gewässergrenzen sowie der neuen Flurstücksgrenzen, in der Regel ohne vorherige Abmarkung im Gelände in ihrer jeweiligen Sollage bestimmt (Bestimmung von Sollkoordinaten)

Die Bestimmung der Sollkoordinaten kann vorgenommen werden

- durch Digitalisierung
  - in Orthophotos - in der Regel im Maßstab 1:1000 - (Nr. 4.1.2.1.1)
  - in Plänen Dritter (Nr. 4.1.2.1.2)
  - im Stereomodell (Nr. 4.1.2.1.3)
  - in der Örtlichkeit (Nr. 4.1.2.1.4),
- durch Berechnung (Nr. 4.1.2.2)
  - Jede Kombination der o. g. Bestimmungsarten ist möglich. (siehe die **Anlage**)

Die durch Digitalisierung und/oder Berechnung entstandenen Sollkoordinaten werden in die Punktdatensatz übernommen. Diese Sollkoordinaten werden verwendet für:

- die automatische Zeichnung von Karten und Rissen
- die Berechnung von Absteckungselementen
- die Zuteilungs- und Breitenberechnung und
- die Absteckung.

Für die PuDig-Befliegung, Signalisierung, Paßpunktbestimmung sowie die Orthophotoherstellung gelten die Richtlinien für die Anwendung der Luftbildmessung bei Bodenordnungsverfahren nach dem FlurbG (**RiPhoto**) in der jeweils gültigen Fassung.

Nach der Aufstellung des Flurbereinigungsplanes und der Zuteilungs- und Breitenberechnung sind die ermittelten Sollkoordinaten aller Grenzpunkte, für die eine örtliche Grenzanzeige (s. Nr. 6.2) oder Abmarkung (s. Nr. 6.3) erforderlich ist, in einem Guß in die Örtlichkeit zu übertragen.

#### **4.1.2.1 Digitalisierung der Sollkoordinaten**

##### *4.1.2.1.1 Digitalisierung der Sollkoordinaten im Orthophoto*

Die Sollkoordinaten werden beim Kulturamt durch Digitalisierung der Punkte am Digitalisierertisch mit dem Programm "Koordinatenregistrierung" (RiDezDV Teil III.2, Nr. 12) bestimmt. Die Digitalisierervorlagen sind Orthophotos im Maßstab 1:1000, die auf der Grundlage einer PuDig-Befliegung erstellt sind (**RiPhoto** Nr. 2.1.9.2).

Voraussetzung für die Digitalisierung von Sollkoordinaten im Orthophoto sind vorhandene, im Orthophoto erkennbare Anlagen und topographische Strukturen.

Digitalisiert werden:

- geplante Grenzpunkte der gemeinschaftlichen und öffentlichen Anlagen (i. d. R. ohne vorherige Abmarkung)
- geplante Grenzpunkte bedingter Grenzen
- topographische Punkte wie z. B. Zäune, Einzelbäume, Obstreihen, Leitungsträger, Nutzungsartengrenzen, Böschungen, Gehölzgruppen und -streifen.

Punkte deren Sollkoordinaten durch "Digitalisierung im Stereomodell" (Nr. 4.1.2.1.3) bestimmt werden, sind ebenfalls zu digitalisieren und zunächst vorläufig mit der Punktart "V" zu speichern.

##### *4.1.2.1.2 Digitalisierung der Sollkoordinaten in Plänen Dritter*

Sind für Gebietsteile, die Fremdplanungen Dritter enthalten (z. B. Umgehungsstraße) Pläne des Maßnahmenträgers mit ausreichender Genauigkeit vorhanden, können die Sollkoordinaten direkt auf diesen Kartenunterlagen am Digitalisierertisch beim Kulturamt mit dem Programm "Koordinatenregistrierung" (RiDezDV Teil III.2 Nr. 12) digitalisiert werden. Eine Einarbeitung der Planung in die Orthophotos erübrigt sich dann bzw. kann in einfacher Weise erfolgen. Ggf. sind vorhandene Koordinaten des Planungsträgers für eine Übernahme als Sollkoordinaten zu bewerten und einzupassen.

##### *4.1.2.1.3 Digitalisierung der Sollkoordinaten im Stereomodell*

Ist die Digitalisierung der Sollkoordinaten in den Orthophotos (Nr. 4.1.2.1.1) oder in Plänen Dritter (Nr. 4.1.2.1.2) am Digitalisierertisch beim Kulturamt nicht mit der erforderlichen Genauigkeit aus-

föhrbar oder müssen Punkte mit hoher geometrischer Genauigkeit an die vorhandene Topographie angepaßt werden (z. B. Punkte im Bereich von Böschungen und von vorhandenen Grenzanlagen oder bei abgemarkten Grenzpunkten), wird die Digitalisierung der Sollkoordinaten im photogrammetrischen Stereomodell durchgeführt.

Die Digitalisierung der Sollkoordinaten im Stereomodell der bereits vorläufig bestimmten Punkte (Nr. 4.1.2.1., letzter Absatz) wird auf Antrag des Kulturamtes (**RiPhoto** Nr. 9.3.2) auf der Grundlage der ausgearbeiteten Orthophotos (**RiPhoto** Nr. 10.4) bei der LUREST durchgeführt.

#### *4.1.2.1.4 Digitalisierung der Sollkoordinaten in der Örtlichkeit*

Ist die Digitalisierung der Sollkoordinaten entsprechend Nr. 4.1.2.1.1 bis 4.1.2.1.3 nicht möglich oder unwirtschaftlich, kann in begründeten Ausnahmefällen eine Bestimmung (Digitalisierung) der Sollkoordinaten auch in der Örtlichkeit auf einfache Weise (in geeigneten Fällen sogar durch Schrittmaß) erfolgen.

#### *4.1.2.2 Berechnungen*

Während und nach der Bestimmung der Sollkoordinaten der Grenzen der gemeinschaftlichen und öffentlichen Anlagen und bedingter Grenzen durch Digitalisierung (Nr. 4.1.1.1 bis 4.1.1.4) können die Sollkoordinaten auch durch Berechnung bestimmt werden (z. B. Bestimmung einer Wegeseite mit Digitalisierung, Berechnung der zweiten Wegeseite über geometrische Elemente).

Im Anschluß an die Gestaltung der Landabfindungen bei der Aufstellung des Flurbereinigungsplanes werden durch die Zuteilungsberechnung (s. RiDezDV III.3 Nr. 9 ) die Flächen der neuen Flurstücke und durch die Breitenberechnung die Koordinaten der Grenzpunkte der neuen Flurstücke ermittelt und in die Punktdatensatz übernommen.

#### *4.1.2.3 Aufstellung der Flächenpolygone*

Die Flächenpolygone sind gemäß RiDezDV Teil III Nr. 3.6 aufzustellen.

#### *4.1.2.4 Plausibilitätskontrolle*

Zum Aufdecken grober Digitalisier- und Rechenfehler der bestimmten Sollkoordinaten sind bei der LUREST nach der Aufstellung der Flächenpolygone Kontrollzeichnungen im Maßstab der Digitalisierunterlagen zu beantragen. Diese Kontrollzeichnungen sind als Deckfolien über den ausgearbeiteten Orthophotos bzw. Plänen Dritter für eine Plausibilitätskontrolle zu nutzen.

## **Anhang B: Anforderungen an den Bildflug**

### **Spezifikation Bildflug und digitale Luftbilder**

#### **DLR-RNH Technische Zentralstelle Bad Kreuznach**

|                      |   |
|----------------------|---|
| Projekt:             | LOSE 1,2 (Gebiete 1-9)                                    |
| Bildflugzeitraum:    | ab 2.3.2013 unverzüglich nach Freigabe der Signalisierung |
| Zweck des Bildflugs: | Orthophoto, Koordinatenbestimmung von AP                  |

#### **Kamerasystem und Bildflug**

|                          |  |
|--------------------------|--|
| Kameratyp:               | digital  |
| Bevorzugte Kameras:      | DMC, DMC II, Ultracam XP oder Eagle  |
| Farbkanäle:              | RGB, je 8 bit  |
| Bodenauflösung:          | 5 - 7 cm   |
| Format:                  | TIF  |
| Bildwanderungsausgleich: | zwingend   |
| Stabilisierte Plattform: | erwünscht  |
| Überdeckung:             | stereoskopisch (Längs 60 %; Quer 40 %)<br>(soweit in Einzelprojekten nicht anders angegeben) |

#### **Satellitengestützte Positionsbestimmung**

|             |                    |    |
|-------------|--------------------|----|
| Einsatz für | Navigation:        | ja |
|             | Aerotriangulation: | ja |

#### **Lieferumfang**

|                      |  |
|----------------------|--|
| digitale Bilddaten:  | auf vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Festplatten<br>(Datenformat ist abzustimmen) |
| Footprints:          | möglichst per Mail   |
| Flugprotokoll:       | Ausdruck   |
| Bildmittenübersicht: | Rasterbild-Datei (tif, jpg oder pdf)   |

Positionsdaten Kamera: DGPS-bestimmte Bildmittenkoordinaten in Gauß-Krüger (entsprechend TK 25 und DXF)

Kalibrierungszertifikat: nicht älter als 2 Jahre

nicht aufgeführte Angaben entsprechend DIN 18740-4

## **Literaturverzeichnis**

### **Bücher, Skripte, Hefte, Flyer**

#### **Photogrammetrie (Karl Kraus)**

Band 1, Geometrische Informationen aus Photographien und Laserscanneraufnahmen

#### **Einführung in die Fernerkundung (Jörg Albertz)**

Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern

#### **Vermessungskunde und Grundlagen der Statistik für das Bauwesen (Witte/Schmidt)**

6. überarbeitete Auflage

#### **Nahbereichsphotogrammetrie (Thomas Luhmann)**

Grundlagen, Methoden und Anwendungen

#### **Forum (39. Auflage 2013)**

Zeitschrift des Bundes der Öffentlich bestellten Vermessungsingenieure e.V.

#### **Leica Nova MS50**

White paper

#### **Height Tech**

Technische Anwendungen mit Height-Tech Flugrobotern in die Zukunft

#### **Unbemannte Trimble-Fluggeräte**

Für Vermessung und Kartierung

**MavInci**

Unmanned Aerial Systems

**Richtlinie für die Anwendung der Photogrammetrie in ländlichen Bodenordnungsverfahren (RiPhoto)**

vom 31.05.2005 (Az.: 8604 - 5\_210)

**Richtlinien für das Verfahren bei Liegenschaftsvermessungen in Rheinland-Pfalz (RiLiV)**

Stand: Oktober 2013

**Skript Fernerkundung (Prof. Dr. Ing. Fredie Kern)**

Geoinformatik und Vermessung - FH Mainz

**Skript Photogrammetrie (Prof. Dr. Ing. Frank Boochs)**

Geoinformatik und Vermessung - FH Mainz

**Merkblatt zur PUDIG-Befliegung**

Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum - Technische Zentralstelle

**Landespflege in der Flurneuordnung**

Ministerium für ländlichen Raum, Ernährung und Verbraucherschutz, Baden-Württemberg

**Die Anwendung der Luftbildmessung in der Flurbereinigung (Rudolf Kersting)**

Heft 26 - Schriftenreihe für Flurbereinigung

**Ländliche Entwicklung in Bayern**

Berichte Hefte 72/1997

**Landentwicklung und Ländliche Bodenordnung**

Nachrichtenblatt Heft 45/2006

**Internetseiten****Technische Universität München**

<http://www.gug.bgu.tum.de/geo/dis/photogrammetrie/>

**Leibniz Universität Hannover - Institut für Photogrammetrie und Geoinformation**

<http://www.ipi.uni-hannover.de/63.html>

**Geodätisches Institut der RWTH Aachen**

[http://mata.gia.rwth-aachen.de/Vortraege/Bjoern\\_Michels/Photogrammetrie/Folien.pdf](http://mata.gia.rwth-aachen.de/Vortraege/Bjoern_Michels/Photogrammetrie/Folien.pdf)

**Hochschule Bochum - Bochum University of Applied Sciences**

<http://www.hochschule-bochum.de/fbv/photo/downloads/skripte/3-sem-5sem.html>

**Leica Geosystems**

[http://www.leica-geosystems.de/de/Pressemitteilungen\\_19120.htm?id=4574](http://www.leica-geosystems.de/de/Pressemitteilungen_19120.htm?id=4574)

**Landesvermessung Sachsen**

<http://www.landesvermessung.sachsen.de/inhalt/produkte/luftbild/luft/luft.html>

**USGS - science for a changing world**

<http://glovis.usgs.gov/>

**Mettenmeier**

<http://www.mettenmeier.de/mobile-solutions/produkte-dgnss.html>

[http://www.mettenmeier.de/mobile-solutions/pdf/Datenblatt\\_GNSS-Integration\\_de.pdf](http://www.mettenmeier.de/mobile-solutions/pdf/Datenblatt_GNSS-Integration_de.pdf)

**Enzyklopädie Wikipedia**

<http://de.wikipedia.org/wiki/Photogrammetrie>

<http://de.wikipedia.org/wiki/Passpunkt>

**GeoLexikon**

<http://www.geodz.com/deu/d/Bildflug>

**Landesbetrieb Mobilität**

<http://www.lbm.rlp.de/Aufgaben/Luftverkehr/Drohnen-UAS/>

**geoinformation.net**

<http://ifgivor.uni->

[muenster.de/vorlesungen/3D\\_geovisualisierung/NeueMedien1\\_08.htm](http://muenster.de/vorlesungen/3D_geovisualisierung/NeueMedien1_08.htm)

**OpenWebGlobe**

<http://www.openwebglobe.org/>

**D3 - Data Driven Documents**

<http://d3js.org/>

**Leaflet**

<http://leafletjs.com/>

## **Bild- und Abbildungsnachweise**

### **Technische Zentralstelle**

Abbildungen: 1 – 4, 7, 11, 13, 21 – 26, 52 – 55

### **Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinhessen-Nahe-Hunsrück (DLR RNH)**

Abbildungen: 6, 27 – 29, 31 – 39

### **Jens Gillmann**

Abbildungen: 5, 8 – 10, 12, 14, 15, 17 – 20, 30, 40 – 42, 45

### **Fachhochschule Mainz**

Abbildungen: 16, 18, 46, 47

### **Mettenmeier**

Abbildungen: 43, 44

### **Trimble**

Abbildungen: 49

### **Einführung in die Fernerkundung (Jörg Albertz)**

Abbildungen: 48

### **Vermessungskunde und Grundlagen der Statistik für das Bauwesen (Witte/Schmidt)**

Abbildungen: 51

### **Multikopter**

Abbildungen: 50

**Google Earth**

Abbildung: 56

**Open Street Map – Open Web Globe**

Abbildung: 57

**Leaflet**

Abbildung: 58

**D3 - Data Driven Documents**

Abbildung: 59

**MavInci**

Abbildungen: Tabelle 3