

# Inhaltsverzeichnis

|                      |          |
|----------------------|----------|
| <b>Bezeichnungen</b> | <b>x</b> |
|----------------------|----------|

## **1 Einführung**

|     |   |   |
|-----|---|---|
| 1.1 | Moderne Flugführungsinstrumente und verbleibende Probleme bei schlechter Sicht .....              | 1 |
| 1.2 | Konzept der computergenerierten 3D-Geländedarstellung mit integrierten Flugführungsanzeigen ..... | 3 |
| 1.3 | Vor- und Nachteile der Automatisierung im Cockpit .....   | 4 |
| 1.4 | Literaturbetrachtung .....  | 6 |
| 1.5 | Zielsetzung .....   | 8 |
| 1.6 | Übersicht .....   | 9 |

## **2 Systemkomponenten**

|       |                                  |    |
|-------|----------------------------------|----|
| 2.1   | Systemübersicht .....            | 11 |
| 2.2   | Graphikcomputer .....            | 12 |
| 2.3   | Navigationssystem .....          | 13 |
| 2.4   | Displaysysteme .....             | 14 |
| 2.5   | Sensorsysteme                    |    |
| 2.5.1 | Einsatzbereich .....             | 17 |
| 2.5.2 | Gegenwärtige Sensorsysteme ..... | 18 |
| 2.5.3 | Sensorfusion .....               | 21 |

## **3 Koordinatensysteme**

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 3.1   | Das Erdellipsoid .....                                    | 23 |
| 3.2   | Abbildungsfehler bei sphärischer und ebener Erde .....    | 23 |
| 3.3   | Geodätische Koordinaten .....                             | 26 |
| 3.4   | Horizontalverzerrungen bei ebener Erde                    |    |
| 3.4.1 | Modifizierte Rechteckige Platkarte .....                  | 26 |
| 3.4.2 | Die Verformungsgeschwindigkeit der adaptiven Abbildung .. | 28 |
| 3.4.3 | Abbildungen mit azimutalen Koordinaten .....              | 30 |
| 3.4.4 | Gauß-Krüger Abbildung mit unterschiedlicher Reihenlänge   | 31 |

|          |   |    |
|----------|---|----|
| <b>4</b> | <b>Digitale Geländedaten</b>  |    |
| 4.1      | Höhenmodelle und Meßmethoden  |    |
| 4.1.1    | Luftbildphotogrammetrie   | 34 |
| 4.1.2    | Laserabstandsmessung  | 35 |
| 4.1.3    | Radar mit synthetischer Apertur                                       | 36 |
| 4.2      | Datenstruktur des Höhenmodells  |    |
| 4.2.1    | Numerische Eigenschaften  | 36 |
| 4.2.2    | Flächenelement–Interpolation  | 37 |
| 4.2.3    | Verfahren zur Datenkompression und Reduktion                          | 38 |
| 4.3      | Oberflächenstrukturdaten  |    |
| 4.3.1    | Vektordaten   | 39 |
| 4.3.2    | Datenstruktur der DFAD (Digital Feature Analysis Data)                | 40 |
| 4.3.3    | Rasterdaten   | 41 |
| <b>5</b> | <b>Datenbasisingenerierung</b>  |    |
| 5.1      | Kombination der Höhendaten mit den Oberflächenstrukturdaten           | 45 |
| 5.2      | Linienobjekte   | 46 |
| 5.3      | Flächenobjekte  | 47 |
| 5.4      | Punktobjekte  | 49 |
| <b>6</b> | <b>Beleuchtungsmodell.</b>  | 50 |
| <b>7</b> | <b>Abbildung in die zweidimensionale Bildebene</b>                    |    |
| 7.1      | Zentralperspektive  | 53 |
| 7.2      | Transformation von Flugzeugkoordinaten in geodätische Koordinaten     | 54 |
| 7.3      | Transformation der Blickrichtungswinkel                               | 55 |
| <b>8</b> | <b>Berechnung des Sichtfeldausschnittes</b>                           |    |
| 8.1      | Auswahl der im Sichtfeld liegenden Flächenelemente durch Blockbildung |    |
| 8.1.1    | Die optimale Blockgröße   | 57 |
| 8.1.2    | Zeitbedarf des Bildaufbaus  | 60 |
| 8.2      | Schneiden der Sichtpyramide mit der Geländeoberfläche                 | 61 |
| 8.3      | Füllen des Sichtfeldes  | 65 |
| 8.4      | Aufteilung in mehrere Level of Detail (LOD)                           | 66 |
| 8.4.1    | Abgrenzung der LOD–Bereiche mit Clippingebenen                        | 67 |
| 8.4.2    | Andere Abgrenzungsmethoden  | 70 |
| 8.5      | Strahlenverfolgung für entfernte LOD–Bereiche                         | 71 |
| <b>9</b> | <b>Darstellung der Flugführungsinformation</b>                        |    |
| 9.1      | Darstellung in der Art eines PFD oder HUD                             | 74 |
| 9.2      | Anzeige des Sollflugweges   | 77 |
| 9.3      | Flugführung mit Phantomflugzeug                                       | 77 |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| <b>10</b> | <b>Verwendung eines Head-Up-Displays</b>                  | <b>78</b>  |
| 10.1      | Berechnung von Konturlinien                               | 79         |
| 10.2      | Navigationskorrektur durch Bildvergleich                  | 81         |
| <b>11</b> | <b>Hinderniswarnung</b>                                   |            |
| 11.1      | Darstellung der Flugleistungsfläche                       | 84         |
| 11.2      | Ergänzende akustische Warnung                             | 87         |
| <b>12</b> | <b>Flugversuche</b>                                       |            |
| 12.1      | Vorbereitung der Datenbasis                               |            |
| 12.1.1    | Flugplatzmodellierung                                     | 88         |
| 12.1.2    | Gestaltung der Landebahn                                  | 90         |
| 12.2      | Aufbau und Installtionsarbeiten                           |            |
| 12.2.1    | Vorbereitende Bodenrollversuche                           | 92         |
| 12.2.2    | Das Forschungsflugzeug Do 128                             | 94         |
| 12.2.3    | Auswahl des Displays                                      | 94         |
| 12.2.4    | Virtuelles Cockpit  | 96         |
| 12.2.5    | Technische Ausführung des Headtrackers                    | 99         |
| 12.2.6    | Simulationsversuche                                       | 100        |
| 12.3      | Flug Versuchsergebnisse der Landeanflüge<br>und Landungen | 102        |
| 12.4      | Tiefflugveruche im Altmühltal                             |            |
| 12.4.1    | Vorbereitung der Datenbasis                               | 110        |
| 12.4.2    | Flugwegplanung  | 110        |
| 12.4.3    | Simulationsversuche                                       | 114        |
| 12.4.4    | Flug Versuchsergebnisse                                   | 115        |
|           | <b>Zusammenfassung</b>                                    | <b>130</b> |
|           | <b>Ausblick</b>   | <b>131</b> |
|           | <b>Literaturverzeichnis</b>                               | <b>132</b> |