



**Univ.-Prof. Dr. Wolfgang Göpfert**

Universitätsprofessor im Fachbereich Vermessungswesen der Technischen Hochschule Darmstadt. Lehrveranstaltungen auf den Gebieten Kartographie, Geodätische Datenverarbeitung und Geoinformatik.

**Dieses Buch informiert** umfassend und praxisbezogen über raumbezogene Informationsverarbeitungen. Hierbei werden die Informationen aus einer Vielzahl von Datenquellen wie z. B. Feldarbeiten, Fernerkundungsaufnahmen, Karten, statistischen Erhebungen in einer der geeigneten Datenformen Punkt, Vektor bzw. Raster verwaltet. Durch die Integration dieser Daten zu einem raumbezogenen Informationssystem wird das thematische Potential voll erschlossen.

**Geboten werden** Entscheidungshilfen im Bereich der thematischen Analysen in Kartenform, Statistiken und Tabellen. Diese sind durch Prognose- und Simulationsberechnungen in mehreren Alternativen rasch erstellbar. Hierdurch eröffnen sich neue Perspektiven für die vielfältigen Aufgaben der

- Bewertung und Analyse von Landoberflächen sowie die
- räumliche Planung als Mittel zur Gestaltung unserer Umwelt

**Das Buch bietet** den Einstieg in diese neue Technik und umfaßt eine systematische Einführung in diese komplexe Materie, zahlreiche in den Lehrtext eingearbeitete numerische Beispiele, sowie zukunftsweisende umweltrelevante Anwendungsbeispiele wie z. B.

- Standort- und Landschaftsanalysen,
- EDV-gerechte Aufbereitungen von Biotopkartierungen,
- Defizitkartierungen und Biotopvernetzungen sowie
- thematische-statistische Umweltverträglichkeitsprüfungen wie Trassenanalysen und/oder Landschaftsbewertungen



# Inhalt

- 1. Grundlagen . . . . . 1
  - 1.1 Raumbezogene Informationsgewinnung . . . . . 1
    - 1.1.1 Einführung . . . . . 1
    - 1.1.2 Rechnergestützte Informationsverarbeitung . . . . . 1
    - 1.1.3 Thematisches Potential raumbezogener Informationen . . . . . 3
  - 1.2 Vektordaten . . . . . 4
    - 1.2.1 Allgemeines . . . . . 4
    - 1.2.2 Erfassung von Vektordaten . . . . . 5
      - Manuelle Digitalisierung . . . . . 5
      - Automatische Digitalisierung . . . . . 6
    - 1.2.3 Speicherung von Vektordaten . . . . . 6
    - 1.2.4 Eigenschaften von Vektordaten . . . . . 6
      - Linienlänge . . . . . 6
      - Flächeninhalt und -schwerpunkt . . . . . 7
    - 1.2.5 Verarbeitung von Vektordaten . . . . . 7
      - Glättungen . . . . . 7
      - Schnittpunkte . . . . . 8
      - Schnittflächen (Verschneidungen) . . . . . 9
      - Punkt-in-Fläche-Test . . . . . 9
      - Abstandslinien und -zonen . . . . . 10
    - 1.2.6 Ausgabe von Vektordaten . . . . . 10
  - 1.3 Rasterdaten . . . . . 11
    - 1.3.1 Allgemeines . . . . . 11
    - 1.3.2 Erfassung von Rasterdaten . . . . . 12
      - Primäre Aufzeichnungssysteme . . . . . 13
      - Sekundäre Aufzeichnungssysteme . . . . . 15
    - 1.3.3 Speicherung von Rasterdaten . . . . . 18
    - 1.3.4 Eigenschaften von Rasterdaten . . . . . 22
      - Histogramm, Mittelwert und Standardabweichung . . . . . 22
      - Informationsgehalt . . . . . 24
      - Bitebenen . . . . . 25
      - Rauschen . . . . . 26
      - Bildfrequenzen . . . . . 29
    - 1.3.5 Verarbeitung von Rasterdaten . . . . . 31
    - 1.3.6 Ausgabe von Rasterdaten . . . . . 33
  - 1.4 Vektor- und Rasterdaten in der Gegenüberstellung . . . . . 36
    - 1.4.1 Allgemeines . . . . . 36
    - 1.4.2 Eignung für Datenverarbeitungen . . . . . 36
    - 1.4.3 Integrierte Auswertungen . . . . . 38
    - 1.4.4 Folgerungen . . . . . 39



|   |    |
|---|----|
| <b>2. Grauwertoperationen an Rasterdaten</b>                    | 41 |
| 2.1 Einführung  | 41 |
| 2.2 Punktautonome Grauwertoperationen                           | 42 |
| 2.2.1 Allgemeines   | 42 |
| 2.2.2 Lineare Transfercharakteristika (TC)                      | 42 |
| TC-Generierung durch Grauwertpaare                              | 42 |
| Normalisierung  | 43 |
| 2.2.3 Nichtlineare Transfercharakteristika                      | 44 |
| Histogramm-Verebnung  | 44 |
| Histogramm-Anpassung  | 45 |
| Äquidensitenbildung   | 47 |
| 2.3 Lokale Grauwertoperationen                                  | 49 |
| 2.3.1 Allgemeines   | 49 |
| 2.3.2 Faltungen   | 49 |
| Mittelungen   | 50 |
| Gradienten  | 52 |
| 2.3.3 Abstandstransformationen                                  | 53 |
| 2.3.4 Flächenfüllungen  | 58 |
| 2.4 Grauwertoperationen zwischen mehreren Eingangsbildern       | 60 |
| 2.4.1 Allgemeines   | 60 |
| 2.4.2 Summenbildungen   | 60 |
| 2.4.3 Differenzbildungen  | 62 |
| 2.4.4 Ratiobildungen  | 62 |
| 2.4.5 Produktbildungen  | 63 |
| 2.4.6 Ortsabhängige Grauwertkorrekturen                         | 63 |
| Systembedingte Grauwertkorrekturen                              | 63 |
| Objektbedingte Grauwertkorrekturen                              | 64 |
| 2.4.7 Minimum-Distance Klassifizierung                          | 67 |
| 2.4.8 Farbtransformationen                                      | 70 |
| 2.5 Logische Grauwertoperationen                                | 75 |
| 2.5.1 Allgemeines   | 75 |
| 2.5.2 Logische Operatoren                                       | 76 |
| 2.5.3 Bildannotationen  | 76 |
| 2.5.4 Synthetische Texturen                                     | 77 |
| 2.5.5 Lokale logische Grauwertoperationen                       | 78 |
| Anwendungen in der digitalen Kartographie und der Fernerkundung | 78 |
| 2.5.6 Logische Grauwertoperationen zwischen Eingangsbildern     | 81 |
| Einblendungen   | 81 |
| Logische Verknüpfung thematischer Eingangsbilder                | 82 |
| Bildmaskierungen  | 83 |



|           |   |     |
|-----------|---|-----|
| 2.6       | <i>Grauwertoperationen zu Reproduktionszwecken</i>                      | 86  |
| 2.6.1     | Allgemeines   | 86  |
| 2.6.2     | Digitale Halbtone rasterung   | 87  |
| 2.6.3     | Rasterungen zum Zwecke der Farb reproduktion (Druck)                    | 90  |
| <b>3.</b> | <b>Frequenzoperationen an Rasterdaten</b>                               | 95  |
| 3.1       | <i>Einführung</i>   | 95  |
| 3.2       | <i>Fouriertransformationstheorie</i>                                    | 96  |
| 3.2.1     | Die komplexe Fourierreihe   | 96  |
| 3.2.2     | Die Fouriertransformation als Analogie zur<br>Fourierreihe              | 98  |
| 3.2.3     | Zweidimensionale Fouriertransformationen                                | 100 |
| 3.2.4     | Eigenschaften von Fouriertransformationen                               | 102 |
| 3.2.5     | Diskrete zweidimensionale Signale                                       | 104 |
| 3.2.6     | Diskrete Fouriertransformationen  | 105 |
| 3.2.7     | Die Schnelle Fouriertransformation (FFT)                                | 107 |
| 3.2.8     | Übungen zu Fouriertransformationen                                      | 108 |
|           | Fouriertransformationen durch Integration                               | 108 |
|           | Fouriertransformationen durch Superposition von<br>Elementarfunktionen  | 109 |
|           | Inverse Fouriertransformationen   | 109 |
| 3.3       | <i>Fouriertransformationen von Eingangsbildern</i>                      | 110 |
| 3.3.1     | Rechentchnische Besonderheiten  | 110 |
| 3.3.2     | Synthetische Bildfrequenzspektren                                       | 111 |
| 3.3.3     | Bildfrequenzspektren von Eingangsbildern                                | 114 |
| 3.4       | <i>Lineare Filterungen von Eingangsbildern</i>                          | 119 |
| 3.4.1     | Allgemeines   | 119 |
| 3.4.2     | Lineare Systeme   | 120 |
| 3.4.3     | Prinzip der linearen Filterung mit Hilfe der Fourier-<br>transformation | 121 |
| 3.4.4     | Paßfilter   | 122 |
|           | Tiefpaßfilter   | 122 |
|           | Hochpaßfilter   | 124 |
|           | Bandpaßfilter   | 126 |
|           | RichtungsfILTER   | 126 |
| 3.4.5     | Verstärkungsfilter  | 126 |
|           | Laplace-Filter  | 126 |
|           | Differentiationsfilter  | 127 |
|           | Logarithmische Filter   | 128 |
| 3.4.6     | Inverse Filter  | 128 |
|           | Beseitigung von Frequenzdegradationen                                   | 129 |
|           | Rekonstruktion eines verwischten Bildes                                 | 130 |
|           | Beseitigung von Fokussierfehlern  | 131 |



|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 3.5   | <i>Nichtlineare Filterungen von Eingangsbildern</i>            | 132 |
| 3.5.1 | Allgemeines  | 132 |
| 3.5.2 | Nichtlineare Operatoren  | 133 |
| 3.5.3 | Homomorphe Filterung   | 134 |
| 4.    | <b>Geometrische Operationen an Vektor- und Rasterdaten</b>     | 135 |
| 4.1   | <i>Einführung</i>  | 135 |
| 4.1.1 | Relative Entzerrungen  | 135 |
| 4.1.2 | Kartographische Entzerrungen                                   | 136 |
| 4.2   | <i>Prinzip der geometrischen Entzerrung</i>                    | 138 |
| 4.2.1 | Allgemeines  | 138 |
| 4.2.2 | Nichtparametrischer Entzerrungsansatz                          | 139 |
| 4.2.3 | Parametrischer Entzerrungsansatz                               | 140 |
| 4.3   | <i>Geometrische Trendfunktionen</i>                            | 142 |
| 4.3.1 | Allgemeines  | 142 |
| 4.3.2 | Bivariates Polynom Q-ter Ordnung                               | 142 |
| 4.3.3 | Affin- und Ähnlichkeitstransformation                          | 143 |
| 4.3.4 | Projektive Transformation                                      | 145 |
| 4.3.5 | Transformation mittels Gitterpunkten                           | 146 |
| 4.3.6 | Panorama-Verzerrung des optisch-mechanischen Abtasters         | 146 |
| 4.4   | <i>Modellierung differentieller geometrischer Verzerrungen</i> | 148 |
| 4.4.1 | Allgemeines  | 148 |
| 4.4.2 | Lineare Interpolation in Dreiecken                             | 148 |
| 4.4.3 | Gewichtetes Mittel   | 149 |
| 4.4.4 | Multiquadratische Interpolation                                | 150 |
| 4.4.5 | Sensormodelle  | 152 |
| 4.5   | <i>Quantisierung des Ausgangsbildes (Resampling)</i>           | 155 |
| 4.5.1 | Allgemeines  | 155 |
| 4.5.2 | Nächste Nachbarschaftszuweisung                                | 155 |
| 4.5.3 | Bilineare Interpolation  | 156 |
| 4.5.4 | Kubische Faltung   | 156 |
| 4.6   | <i>Praktische Durchführung der Entzerrung</i>                  | 158 |
| 4.6.1 | Allgemeines  | 158 |
| 4.6.2 | Paßpunktbestimmung   | 159 |
| 4.6.3 | Interpolationsmaschen  | 160 |
| 4.6.4 | Unterteilung in Bildblöcke                                     | 161 |
| 4.6.5 | Mosaikbildungen  | 162 |
| 4.7   | <i>Anwendungen geometrischer Entzerrungen</i>                  | 164 |
| 4.7.1 | Allgemeines  | 164 |
| 4.7.2 | Relative Entzerrungen  | 164 |
| 4.7.3 | Umprojektion kartographischer Vektor- und Rasterdaten          | 164 |
| 4.7.4 | Entzerrung von Fernerkundungsaufnahmen                         | 169 |
| 4.7.5 | Digitale Orthophotos   | 173 |



|   |         |
|---|---------|
| <b>5. Flächenkorrelationen von Rasterdaten</b>  | 175     |
| 5.1 Einführung  | 175     |
| 5.2 Definitionen  | 177     |
| 5.2.1 Korrelation im Ortsbereich  | 177     |
| 5.2.2 Korrelationstheorem   | 177     |
| 5.2.3 Matched Filter Korrelation  | 178     |
| 5.2.4 Normierung der Korrelationsfunktion   | 180     |
| 5.3 Leistungsspektrum und Autokorrelation   | 181     |
| 5.3.1 Einfluß der Bildfrequenzen  | 181     |
| 5.3.2 Wiener-Khinchin-Theorem   | 181     |
| 5.3.3 Radialsymmetrische Leistungsspektren  | 183     |
| 5.3.4 Autokorrelationen von Rasterdaten   | 183     |
| 5.3.5 Modelliereffekt der Bildfrequenzen  | 183     |
| 5.4 Korrelation von Rasterdaten   | 186     |
| 5.4.1 Allgemeines   | 186     |
| 5.4.2 Suchalgorithmus   | 186     |
| 5.4.3 Einfluß der Grauwertauflösung   | 187     |
| 5.4.4 Größe der Mustermatrix  | 188     |
| 5.4.5 Geometrische Einflüsse  | 189     |
| 5.5 Nichtlineare Korrelationsverfahren  | 190     |
| 5.5.1 Allgemeines   | 190     |
| 5.5.2 Phasenkorrelation   | 190     |
| 5.5.3 Korrelation komplex exponierter Daten   | 191     |
| 5.5.4 Zuordnung kleiner Bildflächen durch Ausgleichung  | 191     |
| <br><b>6. Integration von Punkt-, Vektor- und Rasterdaten<br/>zu einem Informationssystem; thematische Auswertungen</b> | <br>195 |
| 6.1 Einleitung  | 195     |
| 6.2 Objektschlüssel und Datenbanken   | 195     |
| 6.2.1 Allgemeines   | 195     |
| 6.2.2 Objektschlüssel   | 196     |
| Objektschlüsselkatalog OSKA   | 196     |
| Objektartenkatalog ATKIS-OK   | 198     |
| Amtliche Schlüsselnummern der Gemeinden<br>und Verwaltungsbezirke   | 199     |
| 6.2.3 Punkt- und Vektordatenbanken  | 200     |
| Datensatztypen  | 201     |
| Verwaltung der Datensätze   | 204     |
| 6.2.4 Rasterdatenbanken   | 207     |
| 6.3 Wandlungen der Datenform  | 210     |
| 6.3.1 Allgemeines   | 210     |
| 6.3.2 Punkt/Raster-Wandlung   | 211     |



|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 6.3.3 | Vektor/Raster-Wandlung . . . . .  | 213 |
| 6.3.4 | Raster/Raster-Wandlung . . . . .  | 214 |
| 6.3.5 | Raster/Vektor-Wandlung . . . . .  | 215 |
| 6.4   | <i>Auswertungen</i> . . . . .   | 218 |
| 6.4.1 | Allgemeines . . . . .   | 218 |
| 6.4.2 | Vorverarbeitungen . . . . .   | 220 |
| 6.4.3 | Selektionen . . . . .   | 220 |
|       | Geometrische Selektionen . . . . .  | 220 |
|       | Thematische Selektionen . . . . .   | 221 |
|       | Hierarchische Selektionen . . . . .   | 221 |
|       | Zusammengesetzte Selektionen . . . . .  | 221 |
| 6.4.4 | Bewertungen, Prognosen und Simulationen . . . . .   | 223 |
| 6.4.5 | Statistische Berechnungen . . . . .   | 223 |
| 6.4.6 | Ausgabe von Ergebniskarten . . . . .  | 224 |
| 7.    | <b>Anwendungsmöglichkeiten Raumbezogener Informationssysteme bestehend aus integrierten Bild- und Kartendaten</b> . . . . . | 225 |
| 7.1   | <i>Definitionen</i> . . . . .   | 225 |
| 7.2   | <i>Beispiele Raumbezogener Informationssysteme</i> . . . . .  | 228 |
| 7.2.1 | Allgemeines . . . . .   | 228 |
| 7.2.2 | Informationsverarbeitung am IfAG . . . . .  | 228 |
|       | Primärdatenerfassung durch Photogrammetrie und Fernerkundung . . . . .  | 228 |
|       | Sekundärdatenerfassung durch Automation in der Kartographie . . . . .   | 229 |
|       | Datenintegration, Auswertung und Ausgabe . . . . .  | 234 |
| 7.2.3 | Das Amtliche Topographisch-Kartographische Informationssystem ATKIS . . . . .   | 235 |
| 7.2.4 | Das Integrierte Raumbezogene Informationssystem IntegRIS für Raumordnung, Umweltplanung und Kartographie . . . . .          | 236 |
| 7.3   | <i>Kartographische Anwendungen</i> . . . . .  | 239 |
| 7.3.1 | Allgemeines . . . . .   | 239 |
| 7.3.2 | Kartenfortführung und -kontrolle . . . . .  | 239 |
| 7.3.3 | Verarbeitung von Höhendaten . . . . .   | 242 |
| 7.3.4 | Herstellung von Satellitenbildkarten . . . . .  | 247 |
| 7.4   | <i>Anwendungen für Planungszwecke</i> . . . . .   | 247 |
| 7.4.1 | Allgemeines . . . . .   | 247 |
| 7.4.2 | Kombination von Kartendaten . . . . .   | 247 |
| 7.4.3 | Verkehrs- und Standortanalysen . . . . .  | 248 |
| 7.4.4 | Thematische Planungshilfen . . . . .  | 252 |
| 7.5   | <i>Anwendungen in der quantitativen Landschaftsforschung und -ökologie</i> . . . . .  | 256 |
| 7.5.1 | Allgemeines . . . . .   | 256 |



|  |     |
|--|-----|
| 7.5.2 Thematische Waldkarten . . . . .                                 | 256 |
| 7.5.3 Weitere raumbezogene Landschaftsdaten . . . . .                  | 259 |
| 7.6 <i>Klimatologische Anwendungen</i> . . . . .                       | 264 |
| 7.6.1 Allgemeines . . . . .  | 264 |
| 7.6.2 Nutzung von Thermalinfrarot-Aufnahmen . . . . .                  | 264 |
| 7.6.3 Thematische Auswertung raumbezogener Klima-Daten . . . .         | 269 |
| 7.7 <i>Biotopkartierungen und Umweltplanungen</i> . . . . .            | 275 |
| 7.7.1 Allgemeines . . . . .  | 275 |
| 7.7.2 EDV-gerechte Aufbereitung einer Biotopkartierung . . . . .       | 275 |
| 7.7.3 Statistische Auswertungen . . . . .                              | 281 |
| Einzelstatistiken . . . . .  | 281 |
| Defizitberechnungen und Veränderungsanalysen . . . . .                 | 281 |
| 7.7.4 Thematisch-statistische Umweltverträglichkeitsprüfungen . .      | 285 |
| Thematisch-statistische Flächenbewertungen . . . . .                   | 286 |
| Thematisch-statistische Trassenbewertungen . . . . .                   | 287 |
| 7.7.5 Geometrisch-statistische Biotopvernetzungen . . . . .            | 287 |
| Mehrere unterschiedliche Biotoptypen . . . . .                         | 287 |
| Zeitreihe eines einzelnen Biotoptyps . . . . .                         | 290 |
| 7.7.6 Siedlungsklimatologische Planungsaspekte . . . . .               | 290 |
| 7.8 <i>Ausblick</i> . . . . .  | 292 |
| <b>Anhang A. Fouriertransformationspaare</b> . . . . .                 | 295 |
| <b>B. Definitionen häufig benutzter Funktionen</b> . . . . .           | 296 |
| <b>C. Ausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate</b> . . . . | 297 |
| <i>Glossar</i> . . . . .   | 299 |
| <i>Literaturverzeichnis</i> . . . . .                                  | 303 |
| <i>Stichwortverzeichnis</i> . . . . .                                  | 314 |