



# *UFZ-Bericht*

UFZ-Bericht • UFZ-Bericht • UFZ-Bericht • UFZ-Bericht

UFZ - Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH

Nr. 7/1999

Dissertation

---

Erkundung von  
Urbanisierungsprozessen  
und ihrer ökologischen Folgen  
mit Fernerkundungsmethoden  
am Beispiel der Stadtregion Leipzig

---

Vera Heinz

ISSN 0948-9452

# Erkundung von Urbanisierungsprozessen und ihrer ökologischen Folgen mit Fernerkundungsmethoden am Beispiel der Stadtregion Leipzig

vorgelegt von  
Diplom-Geographin  
Vera Heinz

Vom Fachbereich 07 - Umwelt und Gesellschaft  
der Technischen Universität Berlin  
zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Naturwissenschaften  
- Dr. rer. nat. -

genehmigte Dissertation

Promotionsausschuß:

Vorsitzender: Prof. Dr. rer. nat. K. Haserodt (Technische Universität Berlin)  
Berichter: Prof. Dr. rer. nat. F. Voss (Technische Universität Berlin)  
Berichter: Prof. Dr. sc. R. Krönert (Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH)

Tag der wissenschaftlichen Aussprache: 05. Februar 1999

Berlin, 1999

D 83



## Vorwort

Herrn Prof. Dr. R. Krönert, Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, danke ich herzlich für die Betreuung der gesamten Arbeit. Seine stete Diskussionsbereitschaft und wissenschaftlichen Anregungen waren eine wesentliche Voraussetzung für einen erfolgreichen Abschluß dieser Arbeit.

Gleichermaßen herzlich möchte ich Herrn Prof. F. Voss, Technische Universität Berlin, für die konstruktive Zusammenarbeit, seine Aufgeschlossenheit und die Bereitschaft, das Promotionsverfahren zu übernehmen, danken.

Mein Dank gilt auch Herrn Prof. G. Menz, Universität Bonn, für sein großes Interesse und die wissenschaftlichen Gespräche.

Frau C. Burkhardt (Universität Gießen), Herrn H. Hoffmann (Universität Gießen), Frau S. Kaap (Universität Leipzig), Frau E. Kneisel (Universität Regensburg), Frau Dr. U. Maurer (Universität Gießen), Herrn Dipl.-Geogr. F. Spitzer (Universität Regensburg) und Herrn Dr. H. Weichelt (UVE Potsdam GmbH) sei an dieser Stelle für die hilfreiche Unterstützung bei der Erarbeitung von Teilergebnissen ebenso herzlich gedankt wie Frau Ch. Geyer und Frau U. Haedrich (beide UFZ Leipzig-Halle GmbH) für die ständige Betreuung in Hard- und Softwarefragen.

Bedanken möchte ich mich auch bei Herrn Dr. B. Meyer und Herrn Dr. M. Volk (beide UFZ Leipzig-Halle GmbH) für die gewissenhafte Durchsicht der Arbeit und bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Sektion Angewandte Landschaftsökologie (UFZ Leipzig-Halle GmbH) für ihre zahlreichen Hilfestellungen, die anregenden Diskussionen und die gute Atmosphäre. In diesem Zusammenhang sind besonders die Kolleginnen und Kollegen der Arbeitsgruppe Geoinformation mit Frau Dr. E. Banzhaf sowie Frau Dipl.-Biol. A. Lausch zu erwähnen.

Ebenso bin ich der Stadt Leipzig, Amt für Umweltschutz und Amt für Naturschutz, für die Überlassung von Datenmaterialien sowie für die Ermöglichung der Dateneinsicht zu Dank verpflichtet.

Ein besonderer Dank gilt meinen Eltern, die durch die Ermöglichung des Studiums mein geographisches und insbesondere fernerkundliches sowie stadtökologisches Interesse geweckt haben.

Ganz besonders herzlich danke ich meinem Ehemann, Peter Heinz, der mir jederzeit tatkräftig zur Seite stand und mir den nötigen persönlichen Rückhalt gab. Ohne seine liebevolle Hilfe und sein großes Verständnis wäre diese Arbeit wohl nicht in diesem Umfang zum Abschluß gebracht worden. Und nicht zuletzt möchte ich mich bei unserem Sohn Jochen bedanken, der besonders in der Endphase der Promotion häufig auf seine Mama verzichten mußte.

# INHALTSVERZEICHNIS:

|                                                                                     | Seite     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. Einleitung</b>                                                                | <b>1</b>  |
| 1.1 Allgemeine Problemstellung und Zielsetzung                                      | 2         |
| 1.2 Definitionen                                                                    | 4         |
| 1.3 Das Untersuchungsgebiet                                                         | 6         |
| 1.4 Hard- und Software                                                              | 10        |
| 1.5 Datenmaterial                                                                   | 10        |
| 1.6 Methodische Vorgehensweise                                                      | 13        |
| <b>2. Einordnung des Themas in den Stand der Forschungen</b>                        | <b>17</b> |
| <b>3. Untersuchung der städtischen Oberflächenbedeckung mit Fernerkundungsdaten</b> | <b>23</b> |
| 3.1 Ziele                                                                           | 23        |
| 3.2 Methodiken                                                                      | 24        |
| 3.3 Untersuchung von Landsat-TM-Daten                                               | 33        |
| 3.4 Untersuchung von SPOT-XS-Daten                                                  | 35        |
| 3.4.1 Visuelle Interpretation                                                       | 35        |
| 3.4.2 Digital aufbereitete SPOT-XS-Szene                                            | 38        |
| 3.4.3 Hierarchische Klassifikation                                                  | 48        |
| 3.4.4 Klassifikation mit EBIS                                                       | 55        |
| 3.4.5 Zusammenfassung der Ergebnisse von SPOT-XS und Vergleich mit Landsat-TM       | 59        |
| 3.5 Untersuchung von Datenverschnidungen/-verknüpfungen                             | 62        |
| 3.5.1 Anwendung und Vergleich verschiedener Methoden zur Datenverschnidung          | 62        |
| 3.5.2 RGB-IHS-RGB-Transformation von verschiedenen Datensätzen                      | 67        |
| 3.6 Zusammenfassung                                                                 | 84        |
| <b>4. Untersuchungen der Ökologie im urbanen Raum mit Fernerkundungsdaten</b>       | <b>87</b> |
| 4.1 Ziele                                                                           | 88        |
| 4.2 Methodiken                                                                      | 90        |
| 4.3 Untersuchung der Oberflächenstrahlungstemperatur                                | 96        |
| 4.3.1 Visuelle Interpretation von Landsat-TM, Kanal 6                               | 97        |
| 4.3.2 Digitale Auswertung von Landsat-TM, Kanal 6                                   | 101       |
| 4.3.3 Visuelle Interpretation der Thermalscannerbefliegung                          | 117       |
| 4.4 Untersuchung des Durchgrünungsgrades                                            | 119       |
| 4.4.1 Visuelle Interpretation von Landsat-TM, NDVI                                  | 119       |
| 4.4.2 Digitale Auswertung von Landsat-TM, NDVI                                      | 122       |
| 4.4.3 Visuelle Interpretation von SPOT-XS, NDVI                                     | 126       |
| 4.4.4 Digitale Auswertung von SPOT-XS, NDVI                                         | 128       |
| 4.5 Zusammenfassung                                                                 | 131       |

|                                                                                                                                        |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>5. Spezielle Untersuchungen der Ökologie im urbanen Raum mit Fernerkundungsdaten</b>                                                | <b>135</b> |
| 5.1 Ziele                                                                                                                              | 136        |
| 5.2 Methodiken                                                                                                                         | 138        |
| 5.2.1 Überbauungsdichte nach SPITZER (1996)                                                                                            | 138        |
| 5.2.2 Kantenanalyse nach WEICHEL (1997)                                                                                                | 140        |
| 5.2.3 Wohnumgebung nach HEINZ et al. (1997a)                                                                                           | 141        |
| 5.3 Untersuchung der Überbauungsdichte                                                                                                 | 143        |
| 5.3.1 Überbauungsdichte in Leipzig                                                                                                     | 143        |
| 5.3.2 Überbauungsdichte der Strukturtypen                                                                                              | 149        |
| 5.3.3 Lokalisierung von Urbanisierungsprozessen                                                                                        | 158        |
| 5.3.4 Zusammenfassung                                                                                                                  | 162        |
| 5.4 Kantenanalyse                                                                                                                      | 167        |
| 5.4.1 Kantenanalyse für SPOT-PAN                                                                                                       | 167        |
| 5.4.2 Multitemporaler Vergleich von SPOT-PAN                                                                                           | 169        |
| 5.4.3 Vergleich der Kantenanalyse mit der Überbauungsdichte für SPOT-XS                                                                | 171        |
| 5.4.4 Kantenanalyse für KVR-1000                                                                                                       | 176        |
| 5.4.5 Zusammenfassung                                                                                                                  | 178        |
| 5.5 Untersuchung der Wohnumgebung                                                                                                      | 179        |
| 5.5.1 Vegetationspotential                                                                                                             | 179        |
| 5.5.2 Bevölkerungspotential                                                                                                            | 181        |
| 5.5.3 Wohnumgebungspotential                                                                                                           | 186        |
| 5.5.4 Zusammenfassung                                                                                                                  | 200        |
| 5.6 Schlußfolgerungen                                                                                                                  | 202        |
| <b>6. Ausblick (neue Sensoren und Erwartungen)</b>                                                                                     | <b>205</b> |
| <b>7. Ableitung von Methodiken und Planungshilfen für die Analyse der Urbanisierung mit Fernerkundungsmethoden</b>                     | <b>209</b> |
| <b>8. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen</b>                                                                                        | <b>215</b> |
| <b>9. Literaturverzeichnis</b>                                                                                                         | <b>219</b> |
| <b>10. Anhang</b>                                                                                                                      | <b>227</b> |
| 10.1 Kartenserie: Abbildungsverhalten der Oberflächenbedeckung der Strukturtypen in ausgewählten Fernerkundungsdatenprodukten          | 227        |
| 10.2 Flußdiagramm: Planungshilfe für die Anwendung der Fernerkundung bei der Untersuchung von Flächennutzungskategorien                | 229        |
| 10.3 Flußdiagramm: Planungshilfe für die Anwendung der Fernerkundung bei der Untersuchung von stadträumlichen Merkmalen                | 231        |
| 10.4 Flußdiagramm: Planungshilfe für die Anwendung der Fernerkundung bei der Untersuchung ökologisch relevanter Oberflächen            | 233        |
| 10.5 Flußdiagramm: Planungshilfe für die Anwendung der Fernerkundung bei der Untersuchung ökologisch relevanter Oberflächeninformation | 235        |



# ABBILDUNGSVERZEICHNIS:

Seite

|                                                                                                                                                                                               |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Abb. 1: Das Untersuchungsgebiet - die Stadtregion Leipzig                                                                                                                                     | 7   |
| Abb. 2: Methode der hierarchischen Klassifikation                                                                                                                                             | 29  |
| Abb. 3: SPOT-XS-Szene von Leipzig (Juni 1994)                                                                                                                                                 | 36  |
| Abb. 4: Tiefpaß- und Hochpaßfilterung der SPOT-XS-Szene                                                                                                                                       | 39  |
| Abb. 5: Varianzgefiltertes Ratiobild der SPOT-XS-Szene der Stadtregion Leipzig                                                                                                                | 41  |
| Abb. 6: Hauptkomponentenbild der SPOT-XS-Szene von Leipzig                                                                                                                                    | 43  |
| Abb. 7: Hauptkomponentenbild der SPOT-XS-Szene von Leipzig in der Einzelkanaldarstellung                                                                                                      | 45  |
| Abb. 8: Vegetationsindices für das SPOT-XS-Bild von Leipzig                                                                                                                                   | 47  |
| Abb. 9: Hierarchische Klassifikation der SPOT-XS-Szene für die Stadtregion Leipzig                                                                                                            | 49  |
| Abb. 10: Vergleich der Hierarchischen Klassifikation mit der um einen Ratiokanal erweiterten Klassifikation                                                                                   | 51  |
| Abb. 11: Hierarchische Klassifikation der SPOT-XS-Szene, ergänzt um einen Ratiokanal für die Stadtregion Leipzig                                                                              | 52  |
| Abb. 12: Flächennutzung in Leipzig 1994 - Ergebnis der SPOT-XS-Klassifikation                                                                                                                 | 55  |
| Abb. 13: Anwendung des EBIS-Klassifikators auf einen städtisch geprägten Ausschnitt der SPOT-XS-Szene von Leipzig                                                                             | 56  |
| Abb. 14: Anwendung des EBIS-Klassifikators auf einen agrarisch geprägten Ausschnitt der SPOT-XS-Szene von Leipzig                                                                             | 58  |
| Abb. 15: Vergleich unterschiedlicher Methoden der Datenverschneidung                                                                                                                          | 63  |
| Abb. 16: SPOT-PAN-Bild nicht gefiltert und gefiltert                                                                                                                                          | 65  |
| Abb. 17: Verschneidungsprodukt Landsat-TM und SPOT-PAN 1992 - Gesamtbild                                                                                                                      | 68  |
| Abb. 18: Verschneidungsprodukt Landsat-TM und SPOT-PAN 1994 - Gesamtbild                                                                                                                      | 69  |
| Abb. 19: Verschneidungsprodukt Landsat-TM und SPOT-PAN - Ausschnitte                                                                                                                          | 71  |
| Abb. 20: Klassifikation des Verschneidungsproduktes Landsat-TM mit SPOT-PAN 1994                                                                                                              | 73  |
| Abb. 21: Verschneidungsprodukt SPOT-XS mit SPOT-PAN - Gesamtansicht                                                                                                                           | 75  |
| Abb. 22: Verschneidungsprodukt SPOT-XS mit SPOT-PAN - Ausschnitte                                                                                                                             | 77  |
| Abb. 23: Verschneidungsprodukt Landsat-TM mit KVR-1000 - Ausschnitte                                                                                                                          | 79  |
| Abb. 24: Verschneidungsprodukt SPOT-XS mit KVR-1000 - Ausschnitte                                                                                                                             | 81  |
| Abb. 25: Verschneidungsprodukt KVR-1000 mit KFA-1000 - Ausschnitte                                                                                                                            | 83  |
| Abb. 26: Leipzig im Landsat-TM-Bild, Kanal 6                                                                                                                                                  | 98  |
| Abb. 27: Veränderung des Abbildungsverhaltens im Landsat-TM-Bild, Kanal 6 beim Neubau von Gewerbegebieten                                                                                     | 100 |
| Abb. 28: Mean- und Majoritywerte der Oberflächenstrahlungstemperatur innerhalb der Flächen der Funktionalen Strukturtypen                                                                     | 102 |
| Abb. 29: Vergleich der Klassendifferenzen in den Flächen der Funktionalen Strukturtypen für die gemessene Lufttemperatur (Klimameßfahrt) und die Oberflächenstrahlungstemperatur (Landsat-TM) | 105 |
| Abb. 30: Versiegelungsgrade der Funktionalen Strukturtypen und der Stadtstrukturtypen                                                                                                         | 109 |
| Abb. 31: Mean- und Majoritywerte der Oberflächenstrahlungstemperatur innerhalb der Flächen der Strukturtypen                                                                                  | 111 |
| Abb. 32: Versiegelungsgrad und Klassen der Oberflächenstrahlungstemperatur der Stadtstrukturtypen                                                                                             | 113 |
| Abb. 33: Hierarchie der Versiegelungsgrade und Klassen der Oberflächenstrahlungstemperatur für die Stadtstrukturtypen                                                                         | 114 |
| Abb. 34: Verteilung der Klassendifferenzen zwischen Versiegelungs- und Thermalwerten (Mean und Majority) innerhalb der Flächen der Strukturtypen                                              | 115 |
| Abb. 35: Anteile der Oberflächenstrahlungstemperatur je Strukturtyp                                                                                                                           | 115 |
| Abb. 36: Hierarchie der Oberflächenstrahlungstemperatur verschiedener Stadtstrukturtypen                                                                                                      | 116 |
| Abb. 37: Gegenüberstellung von Landsat-TM, Kanal 6 und DAEDALUS - Beispiele Mockau-Süd und Schönefeld-Abtnaundorf                                                                             | 118 |
| Abb. 38: NDVI des Stadtgebietes von Leipzig - Basis Landsat-TM                                                                                                                                | 120 |

|                                                                                                                                                                                                                                   |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Abb. 39: Mean- und Majoritywerte des NDVI innerhalb der Flächen der Strukturtypen - Basis Landsat-TM                                                                                                                              | 125 |
| Abb. 40: NDVI des Stadtgebietes von Leipzig - Basis SPOT-XS                                                                                                                                                                       | 127 |
| Abb. 41: Mean- und Majoritywerte des NDVI innerhalb der Flächen der Strukturtypen - Basis SPOT-XS                                                                                                                                 | 129 |
| Abb. 42: Flußdiagramm zur Erstellung der Karte des Wohnumgebungspotentials                                                                                                                                                        | 142 |
| Abb. 43: Die Überbauungsdichte der Stadt Leipzig                                                                                                                                                                                  | 144 |
| Abb. 44: Darstellung der Überbauungsdichte für drei Beispiele                                                                                                                                                                     | 149 |
| Abb. 45: Hierarchie der durchschnittlichen Überbauungsdichte der Strukturtypen                                                                                                                                                    | 151 |
| Abb. 46: Überbauungsdichte der Strukturtypen Wohnflächen und Flächen mit gemischter Nutzung                                                                                                                                       | 153 |
| Abb. 47: Überbauungsdichte der Strukturtypen Ein- und Zweifamilienhausbebauung, Villen, Ehemalige Dorfkerne, Kleingartenanlagen                                                                                                   | 153 |
| Abb. 48: Überbauungsdichte der Strukturtypen Sonderflächen, Verkehrsflächen, Industrie- und Gewerbeflächen, Landwirtschaftlich genutzte Flächen, Brach- und Umwidmungsflächen, Aufschüttungs-, Abgrabungs- und Entsorgungsflächen | 154 |
| Abb. 49: Überbauungsdichte der Strukturtypen Freizeit- und Erholungsflächen, Waldflächen und Wasserflächen                                                                                                                        | 154 |
| Abb. 50: Mittlere Überbauungsdichte innerhalb der Flächenabgrenzungen der Strukturtypen                                                                                                                                           | 156 |
| Abb. 51: Häufigste Überbauungsdichte innerhalb der Flächenabgrenzungen der Strukturtypen                                                                                                                                          | 157 |
| Abb. 52: Verteilung der Überbauungsdichte in ausgewählten Flächen mit keiner, signifikanter und stark signifikanter Veränderung                                                                                                   | 159 |
| Abb. 53: Berechnung der Überbauungsdichte möglicher Veränderungsflächen innerhalb ausgewählter Strukturtypen                                                                                                                      | 160 |
| Abb. 54: Karte der signifikanten Veränderungsflächen der Strukturtypen Landwirtschaftlich genutzte Flächen                                                                                                                        | 163 |
| Abb. 55: Karte der signifikanten Veränderungsflächen der Strukturtypen Brach- und Umwidmungsflächen                                                                                                                               | 165 |
| Abb. 56: Kantenanalyse nach WEICHELT (1997) - Basis SPOT-PAN 1994                                                                                                                                                                 | 168 |
| Abb. 57: Kantenanalyse nach WEICHELT (1997) - Basis SPOT-PAN 1992                                                                                                                                                                 | 170 |
| Abb. 58: Vergleich der Methoden der Kantenanalyse (WEICHELT 1997) und der Berechnung der Überbauungsdichte (SPITZER 1996)                                                                                                         | 172 |
| Abb. 59: Darstellung der Ergebnisse der Kantenanalyse (WEICHELT 1997) für vier Klassen der Überbauungsdichte (SPITZER 1996)                                                                                                       | 174 |
| Abb. 60: Kantenanalyse nach WEICHELT (1997) - Basis KVR-1000                                                                                                                                                                      | 177 |
| Abb. 61: Vegetationspotential der Stadt Leipzig - Landsat-TM Juli 1994                                                                                                                                                            | 180 |
| Abb. 62: Vegetationspotential der Stadt Leipzig - SPOT-XS Juni 1994                                                                                                                                                               | 182 |
| Abb. 63: Bevölkerungspotential der Stadt Leipzig - Landsat-TM Juli 1994                                                                                                                                                           | 183 |
| Abb. 64: Bevölkerungspotential der Stadt Leipzig - SPOT-XS Juni 1994                                                                                                                                                              | 185 |
| Abb. 65: Wohnumgebung der Stadt Leipzig - Landsat-TM Juli 1994                                                                                                                                                                    | 187 |
| Abb. 66: Flächenanteil des Wohnumgebungspotentials Leipzig - Basis Landsat-TM                                                                                                                                                     | 195 |
| Abb. 67: Wohnumgebung der Stadt Leipzig - SPOT-XS Juni 1994                                                                                                                                                                       | 197 |
| Abb. 68: Flächenanteil des Wohnumgebungspotentials Leipzig - Basis SPOT-XS                                                                                                                                                        | 198 |



## TABELLENVERZEICHNIS:

Seite

|          |                                                                                                                                                       |     |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tab. 1:  | Gründe für die Industrie- und Gewerbeansiedlung im Umland                                                                                             | 2   |
| Tab. 2:  | Bevölkerungs- und Flächenentwicklung der Region Leipzig von 1992 bis 1995                                                                             | 8   |
| Tab. 3:  | Flächennutzungsplanung in der Stadtregion Leipzig, Stand 30. 06. 1992                                                                                 | 9   |
| Tab. 4:  | Geplante Baufläche 1994 im Umland von Leipzig                                                                                                         | 9   |
| Tab. 5:  | Entwicklungssachsen und -räume der Leipziger Stadtregion                                                                                              | 10  |
| Tab. 6:  | Übersicht über die verwendeten Fernerkundungsdaten                                                                                                    | 11  |
| Tab. 7:  | Referenzdatenmaterial                                                                                                                                 | 12  |
| Tab. 8:  | Publikationen zum Thema 'Untersuchung von Urbanisierungsprozessen mit Landsat-TM-Daten'                                                               | 35  |
| Tab. 9:  | Genauigkeitsüberprüfung der Klassifikation von SPOT-XS                                                                                                | 50  |
| Tab. 10: | Klassifikationsergebnis für verschiedene Strukturtypen                                                                                                | 53  |
| Tab. 11: | Genauigkeitsüberprüfung der Klassifikation von SPOT-XS, ergänzt um einen Ratiokanal                                                                   | 54  |
| Tab. 12: | Ausgewählte Auswirkungen von Verstädterungen                                                                                                          | 87  |
| Tab. 13: | Kennzeichnung der Funktionalen Strukturtypen                                                                                                          | 91  |
| Tab. 14: | Kennzeichnung der Strukturtypen und deren Versiegelungsgrade                                                                                          | 93  |
| Tab. 15: | Aufnahmeparameter von Landsat-TM und DAEDALUS                                                                                                         | 95  |
| Tab. 16: | Oberflächenstrahlungstemperatur innerhalb der Flächen der Funktionalen Strukturtypen                                                                  | 104 |
| Tab. 17: | Differenzen zwischen den Versiegelungsgraden und den Klassen der Oberflächenstrahlungstemperatur innerhalb der Flächen der Funktionalen Strukturtypen | 106 |
| Tab. 18: | Häufigste Klasse des NDVI innerhalb der Strukturtypen von Leipzig - Basis Landsat-TM                                                                  | 123 |
| Tab. 19: | Mögliche Veränderungen der Klassenzuweisungen des NDVI in definierten Raumeinheiten                                                                   | 126 |
| Tab. 20: | Häufigste Klasse des NDVI innerhalb der Strukturtypen von Leipzig - Basis SPOT-XS                                                                     | 130 |
| Tab. 21: | Abgleich der Klasseneinteilungen für den Vergleich der Methodiken nach WEICHELT (1997) und SPITZER (1996)                                             | 140 |
| Tab. 22: | Verteilung der Überbauungsdichte in Leipzig                                                                                                           | 145 |
| Tab. 23: | Gegenüberstellung des Versiegelungsgrades und der Überbauungsdichte für die Ortsteile von Leipzig                                                     | 146 |
| Tab. 24: | Überbauungsdichte innerhalb der Flächen der Strukturtypen von Leipzig                                                                                 | 150 |
| Tab. 25: | Gegenüberstellung der Versiegelungsgrade und Überbauungsdichten für verschiedene Strukturtypen                                                        | 158 |
| Tab. 26: | Ergebnisse der Berechnung der signifikanten Veränderungsflächen innerhalb der Strukturtypen                                                           | 162 |
| Tab. 27: | Anwendungsmöglichkeiten und Einsatzbereiche der Methodik von SPITZER (1996) zur Berechnung der Überbauungsdichte aus Fernerkundungsdaten              | 162 |
| Tab. 28: | Gegenüberstellung der prozentualen Klassenzuweisungen der Kantenganalyse für SPOT-PAN 1994 und 1992                                                   | 171 |
| Tab. 29: | Gegenüberstellung der Ergebnisse der Kantenganalyse und der Berechnung der Überbauungsdichte für das Stadtgebiet von Leipzig                          | 175 |
| Tab. 30: | Kombinationen des Wohnumgebungspotentials                                                                                                             | 188 |
| Tab. 31: | Wohnumgebungspotential der Strukturtypen - Basis Landsat-TM                                                                                           | 191 |
| Tab. 32: | Häufigste Klasse der Wohnumgebung innerhalb der Statistischen Bezirke - Basis Landsat-TM und SPOT-XS                                                  | 194 |
| Tab. 33: | Wohnumgebungspotential der Strukturtypen - Basis SPOT-XS                                                                                              | 199 |
| Tab. 34: | Wohnumgebungspotential Leipzig - Vergleich der Flächenanteile auf Basis Landsat-TM und SPOT-XS                                                        | 200 |
| Tab. 35: | Häufige Veränderungen der Klassenzuweisung des Wohnumgebungspotentials bei Urbanisierungsprozessen                                                    | 201 |
| Tab. 36: | Ausgewählte Parameter künftiger hochauflösender Erdbeobachtungssatelliten                                                                             | 206 |
| Tab. 37: | Datengröße in Abhängigkeit von der geometrischen Auflösung                                                                                            | 206 |
| Tab. 38: | Aufnahmeparameter von MOMS-2P und IRS-1C                                                                                                              | 207 |
| Tab. 39: | Numerierung der Fernerkundungsdatenprodukte für die Tab. 40 bis Tab. 43                                                                               | 209 |

|          |                                                                                                                                                     |     |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tab. 40: | Erkennbarkeit ausgewählter Oberflächenstrukturen in unterschiedlichen Fernerkundungsdatenprodukten - Oberflächen der Strukturtypen                  | 210 |
| Tab. 41: | Erkennbarkeit ausgewählter Oberflächenstrukturen in unterschiedlichen Fernerkundungsdatenprodukten - Oberflächen der Funktionalen Strukturtypen     | 210 |
| Tab. 42: | Erkennbarkeit ausgewählter ökologischer Faktoren in unterschiedlichen Fernerkundungsdatenprodukten - Klima, Vegetation und weitere                  | 211 |
| Tab. 43: | Erkennbarkeit ausgewählter Urbanisierungsprozesse in unterschiedlichen Fernerkundungsdatenprodukten - Urbanisierungsprozesse und ökologische Folgen | 211 |
| Tab. 44: | Kartennumerierung für die Kartenserie 'Abbildungsverhalten der Oberflächenbedeckung der Strukturtypen in ausgewählten Fernerkundungsdatenprodukten' | 212 |
| Tab. 45: | Problembereiche und Grenzen bei der Anwendung der Fernerkundung                                                                                     | 213 |

## 1. Einleitung

Die von der Deutschen Agentur für Raumfahrtangelegenheiten (DARA) GmbH (nun DLR) finanzierte Projektarbeit 'Erkundung von Urbanisierungsprozessen und ihrer ökologischen Folgen mit Fernerkundungsmethoden am Beispiel der Stadtregion Leipzig' (FKZ 50 EE 9407) stand vor dem aktuellen Hintergrund der seit 1990 im Zuge der Wiedervereinigung der Bundesrepublik Deutschland zahlreichen, rasant ablaufenden Urbanisierungsprozesse in den Neuen Bundesländern. Die damit verbundenen Umstrukturierungen der Infrastruktur waren für den Aufbau eines neuen Wirtschaftsstandortes im Osten unerlässlich. Innerhalb der Städte konnten zahlreiche Standorte für Neuansiedlungen von Industrie und Gewerbe zum Beispiel wegen ungeklärter Besitzverhältnisse, fehlender Infrastruktur, Platzmangels und zahlreicher Altlasten nicht genutzt werden. In anderen Bereichen kam es zu einer Funktionsveränderung der Flächen, da zum Beispiel die vorhandenen Industrieunternehmen zusammenbrachen. Aus diesem Grunde sowie auch bedingt durch das Investitionserleichterungs- und Wohnbaulandgesetz siedelten sich zumeist neue und größere Industrie- und Gewerbebetriebe vorwiegend auf der sogenannten 'Grünen Wiese' im Außenbereich der Städte an (BREUSTE et al. 1996, S. I-1; HEINZ 1996a, S. 1; Stadt Leipzig 1995b, S. 15). Die Hauptgründe hierfür sind in der Tab. 1 (s. S. 2) aufgelistet.

Die Ansiedlung von Wohnbebauung, die ebenfalls einen Schwerpunkt in den Randgebieten der Städte hatte und hat, erfolgte erst gegen Ende dieser Phase. Somit begann die Urbanisierung in den Neuen Bundesländern in umgekehrter Reihenfolge wie in den Alten Bundesländern, wo derzeit bereits eine weitere Phase der Suburbanisierung in den ländlichen Raum hinein und Reurbanisierungsprozesse stattfinden. Der momentan in den Neuen Bundesländern verstärkt ablaufende Prozeß der Suburbanisierung blieb bis 1989 weitgehend aus, da zum Beispiel restriktive Maßnahmen den privaten Wohnungsbau hemmten (HEINZ 1996a, S. 1f.; HERFERT 1994, S. 10). Statt dessen „[...] konzentrierte sich ab Mitte der 50er Jahre [der Wohnungsbau] auf die Plattenbauweise“ (Stadt Leipzig 1995b, S. 14). Für weitere, diesbezügliche Ausführungen sei auf die Literatur - z. B. Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau (1993, S. XX ff.), HERFERT (1994, S. 10ff.), Institut für Ingenieur- und Tiefbau GmbH (1992), MAREK et al. (1994, S. 126ff.), NEUMANN et al. (1994) und USBECK et al. (1995, S. 25) - verwiesen.



**Tab. 1: Gründe für die Industrie- und Gewerbeansiedlung im Umland (HEINZ 1996a, S. 1, verändert nach NEUMANN et al. 1994, S. 14 ff.)**

|                                                                                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Gründe für die Aufgabe des alten Standortes in der Stadt</b>                               |
| - Eigentumsverhältnisse (zu hohe Mieten, ungeklärte Eigentumsfragen, etc.)                    |
| - keine Erweiterungsflächen                                                                   |
| - umweltbezogene Gründe (Altlasten, Nähe zu Wohngebieten, etc.)                               |
| - hoher Immobilienwert                                                                        |
| - schlechte Infrastruktur in der Stadt                                                        |
| <b>Gründe für die Ansiedlung im Umland der Stadt</b>                                          |
| - günstige Förderbedingungen bei Neubau                                                       |
| - günstige Verkehrsanbindung                                                                  |
| - schnelles, unbürokratisches Verwaltungshandeln                                              |
| - angemessener Bodenpreis                                                                     |
| - fortgeschrittene Erschließung (z. B. Telefon- und Abwasseranschlüsse)                       |
| - voraussichtliche Branchenstruktur im Gewerbegebiet (Kooperationsmöglichkeit und Kundschaft) |
| - günstige Lage zum Markt                                                                     |
| - Nähe zur Stadt                                                                              |

### 1.1 Allgemeine Problemstellung und Zielsetzung

Wie beschrieben (s. Kap. 1) laufen die Urbanisierungsprozesse in den Neuen Bundesländern innerhalb kürzester Zeitspannen ab, so daß sich hier eine Erforschung der Anwendbarkeit der Fernerkundung für die Untersuchung von Urbanisierungsprozessen anbietet. Diese ist auch vor dem Hintergrund wichtig, daß die Beibehaltung eines Überblickes über diese zahlreichen Veränderungen zunehmend schwerer wird. Für Planungen liegen häufig veraltete Datengrundlagen vor. Urbanisierungsprozesse wurden bisher lediglich anhand von Statistiken dokumentiert, die einen räumlichen Zusammenhang nur schwer erkennen lassen. Insbesondere für die heutzutage vermehrt in den Vordergrund tretende Stadtökologie, die nicht unwesentlich durch die ablaufenden Urbanisierungsprozesse beeinflußt wird, ist aber der Raumbezug eine wichtige Grundlage. Somit sind aktuelle Flächennutzungsanalysen für eine gerichtete Raumplanung wesentlich, die im Zuge der heutigen Wirtschaftslage möglichst kostengünstig sein sollte (HEINZ 1996a, S. 2).

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, inwieweit satellitengestützte Fernerkundungsmethoden für die Untersuchung von Urbanisierungsprozessen eingesetzt werden können. Dabei wird nicht der Anspruch erhoben, mit der Fernerkundung herkömmliche Methoden - wie zum Beispiel Luftbildbefliegungen für Flächennutzungsanalysen - zu ersetzen. Vielmehr steht deren Einsatzmöglichkeit als kostengünstige Variante zur Überbrückung langer Zeitspannen zwischen zwei teuren Datenerhebungen und als Möglichkeit zur Erhebung aktueller, digitaler und raumüber-

greifender Daten im Zuge der rasanten Entwicklungen zur Diskussion. Zudem soll mit der Arbeit der satellitenbildgestützte (Zeit-) Vergleich als praktikables Instrumentarium zur Erfassung von stadtstrukturellen Veränderungen und als ergänzende Arbeitsgrundlage für die (z. B. Stadt-) Planung getestet werden.

Vor dem skizzierten Hintergrund (s. o.; s. Kap. 1) bietet sich eine Studie über die Erkennbarkeit von Urbanisierungsprozessen und ihrer ökologischen Folgen für den sehr interessanten, weil von starken Umstrukturierungen betroffenen, vielfältigen Raum der Stadtregion Leipzig<sup>1</sup> an. Infolge der heutzutage oft fehlenden Akzeptanz der Fernerkundung in der Praxis besteht dabei vordergründig eine konkrete anwendungsorientierte Zielstellung, bei der folgende **Einzelziele** besondere Beachtung finden sollen:

- **Erkennbarkeit urbaner Oberflächenstrukturen:** Untersuchung, Darstellung und Diskussion der mit Fernerkundungsmethoden erkennbaren urbanen Oberflächenstrukturen für unterschiedliche Fernerkundungsdatenprodukte; Analyse der Erkennbarkeit von Elementen im Satellitenbild, die direkt oder indirekt auf einen Urbanisierungsprozeß hinweisen<sup>2</sup> (s. Kap. 3)
- **Monitoring der Urbanisierungsprozesse:** Untersuchung, Darstellung und Diskussion der mit Fernerkundungsmethoden erkennbaren Urbanisierungsprozesse in Raum und Zeit; multitemporale Datenverscheidungen in Abhängigkeit von den zur Verfügung stehenden Daten; Überprüfung der Einsatzmöglichkeiten von Fernerkundungsdaten für die Raubeobachtung (s. Kap. 3, 4 u. 5)
- **Untersuchung der Ökologie in urbanen Räumen:** Untersuchung der ökologischen, aus den verwendeten Fernerkundungsdaten zu selektierenden Komponenten durch Berechnung von Indizes; Untersuchung, Darstellung und Diskussion des Ist-Zustandes und der mit Urbanisierungsprozessen einhergehenden Veränderung der Ökologie - speziell der Vegetation als Maß für die Versiegelung bzw. Durchgrünung und der Oberflächenstrahlungstemperatur; Ermittlung, Lokalisierung, Charakterisierung, Darstellung und Flächenbestimmung der ökologischen Verhältnisse und - bei entsprechender Datenlage - deren Veränderungen (s. Kap. 4 u. 5)
- **Entwicklung und Anwendung spezieller Methoden:** Entwicklung und / oder Anwendung spezieller Methoden zur Untersuchung der Ökologie in urbanen Räumen; Darstellung und Diskussion der Ergebnisse, der Vor- und Nachteile, der Anwendungsbereiche und der Grenzen und Möglichkeiten; insbesondere Untersuchungen der Flächenverdichtung und der ökologischen Wohnumgebung (Bevölkerungs-, Vegetations- und Wohnumgebungspotential) (s. Kap. 5)
- **Ausblick auf neue Sensoren:** Darstellung der zu erwartenden, neuen Sensoren und Abschätzung ihrer Einsatzmöglichkeiten (s. Kap. 6)
- **Ableitung von Methoden und Planungshilfen:** Zusammenfassung der Ergebnisse zu Methoden für eine Erleichterung der Integration der Fernerkundung in die Praxis z. B. der Planung; Erarbeitung von Planungshilfen für die Auswahl des Datenmaterials für bestimmte, die Urbanisierung betreffende Fragestellungen (s. Kap. 7)

Neben der dargestellten anwendungsorientierten steht eine fernerkundungsmethodische Zielstellung. Sie ist nicht minder wichtig, da nur durch die Entwicklung guter und möglichst einfacher Methoden wesentlich zu einer Verbesserung der Akzeptanz der Fernerkundung in der Praxis beigetragen werden kann. Die Entwicklung der satellitengestützten Fernerkundung schreitet zunehmend voran.

<sup>1</sup> Vgl. Definition im Kap. 1.3.

<sup>2</sup> Vgl. auch GREEN et al. (1994)



Ständig werden Sensoren verbessert oder neu entwickelt und erprobt. Die gewonnenen Daten werden unter verschiedenen Fragestellungen ausgewertet, getestet und bereits bestehende Methoden auf diese angepaßt oder neue Methoden entwickelt. Dabei entstehen interessante und nützliche Ergebnisse für eine Integration in die Praxis. Der potentielle Anwender aber kann häufig die Leistungsfähigkeit neuer Sensoren nicht richtig einschätzen. Zudem besteht oft eine gewisse Hemmschwelle, sich von herkömmlichen Methoden abzuwenden und neue auszuprobieren. Hier bedarf es nach wie vor einer gewissen 'Aufklärungsarbeit' und der direkten Unterstützung durch Fachleute. Die Forschung auf diesem Gebiet unterstützt zudem die wichtige Entwicklung neuer Sensoren, da ihre Schwächen und Stärken untersucht und Defizite aufgezeigt werden. So stehen beide Zielstellungen in einer engen Verknüpfung zueinander. Zu der fernerkundungsmethodischen Zielstellung im Rahmen dieser Arbeit zählen:

- **Methodenentwicklung:** Entwicklung und Erprobung möglichst einfacher, anwendungsfreundlicher Methoden (s. Kap. 3.2, 4.2, 5.2 u. 7)
- **Methodenabgrenzung und -vergleich:** Herausarbeiten der Vor- und Nachteile, der Grenzen und Möglichkeiten sowie Vergleich der unterschiedlichen Methoden der Bildverarbeitung und Interpretation (s. Kap. 3, 4, 5 u. 7)
- **Test verschiedener Sensoren:** Herausarbeiten der Vor- und Nachteile, der Grenzen und Möglichkeiten sowie Vergleich der unterschiedlichen Fernerkundungsdaten (s. Kap. 3, 4, 5 u. 7)

Die im digitalen Datenformat vorliegenden Ergebnisdaten sollen zudem in ein Geographisches Informationssystem integriert werden. So wird der schnelle und einfache Zugriff zu den erarbeiteten Daten ermöglicht und der potentielle Anwender kann über die in dieser Arbeit vorgestellten Abbildungen hinaus die Möglichkeiten der Integration der verschiedenen Methodiken in seinen Arbeitsablauf einschätzen. Dabei stehen ihm die Vorteile der Datenverarbeitung zur Verfügung, indem er selber Raster-Vektor-Überlagerungen, Zoom-Funktionen etc. nachvollziehen kann. Dies ist nicht zuletzt deswegen wichtig, als daß der potentielle Anwender laufend über die umfangreichen Einsatzmöglichkeiten der Satellitenfernerkundung, aber auch über ihre Grenzen und Möglichkeiten, ihre Vor- und Nachteile sowie ihre Neuentwicklungen informiert werden muß.

## 1.2 Definitionen

Die Urbanisierung wird von LESER et al. (1985, S. 327) als

"Verstädterung im Sinne einer Ausbreitung städtischer Verhaltensweisen und Lebensformen der Bevölkerung und der sich daraus ergebenden räumlichen Strukturen und Prozesse."

definiert. Sie bezeichnet neben einem Zustand auch einen Wachstums- und Ausbreitungsprozeß. Durch die Urbanisierung werden wir, die Menschen, und unser Lebensumfeld in vielerlei Hinsicht betroffen, da sie direkte und indirekte Auswirkungen auf das Wasser, den Boden und die Luft sowie auf die Flora, die Fauna und den Menschen hat (HEINZ 1996a, S. 3). Die Suburbanisierung - eine



spezielle Form der allgemeinbegrifflichen Urbanisierung - kann nach HERFERT (1994, S. 10) definiert werden als

"[...] intraregionaler Dekonzentrationsprozeß von Bevölkerung in verdichteten Räumen, der durch inter-regionale Wanderungsprozesse verstärkt werden kann. [...] Es entsteht eine] Bedeutungszunahme der Umlandregion gegenüber der jeweiligen Großstadt in bezug auf die Wohnfunktion [...] Der suburbane Raum erfährt] sowohl positive intra- als auch interregionale Wanderungssalden [...]."

Demnach geht mit der Urbanisierung zumeist eine Veränderung der Flächennutzung einher, die nach KRÖNERT (1981, S. 52) "[...] als Prozeß und Art der Inanspruchnahme (des Gebrauchs) von Flächen ("Grund und Boden") durch die Gesellschaft" bezeichnet wird. Als 'Resultat räumlich wirksamer menschlicher Aktivitäten' wird mit jeder Änderung der Flächennutzung in den Naturhaushalt eingegriffen und zumeist die Erscheinungsform der Erdoberfläche verändert (HEINZ 1996a, S. 3; KRAUSE 1988, S. 69).

Während die Stadtregion (Leipzig) nach dem Institut für Ingenieur- und Tiefbau GmbH (1992, S. 4) als ein

" [...] Raum mit großstädtischem Kern, Siedlungen und anderen Objekten des Umlandes (u. a. Naherholungsgebiete), die durch ein breites Spektrum funktionsräumlicher Beziehungen verbunden sind [...]"

definiert ist und die Stadt Leipzig, den Landkreis Leipzig und einige Gemeinden der benachbarten Landkreise (z. B. Naunhof, Brandis, etc.) umfaßt, wird sie in dieser Arbeit mit dem Arbeitsgebiet gleichgesetzt (vgl. Kap. 1.3; vgl. Abb. 1, S. 7)<sup>3</sup>.

Der Bereich unmittelbar um die Stadt Leipzig herum wird mit dem Begriff 'Stadt-Umland' spezifiziert, womit auch der Übergangsbereich vom Stadtrand, also der Wechsel zwischen bebauter und nicht bebauter Fläche mit einbezogen wird. Es ist zu betonen, daß das Umland in dieser Arbeit nicht unmittelbar an der administrativen Grenze der Stadt ansetzt, sondern einen fließenden Übergang bildet. In diesem Sinne ist das Stadt-Umland nach der Definition von LESER et al. (1985, S. 239) zu verstehen als ein

" unscharf begrenzter Raum um eine größere Stadt, der durch relativ enge sozioökonomische Verflechtungen mit dieser Stadt verbunden ist. Als Stadt-Umland wird insbesondere der Raum von Pendlerverflechtungen mit der Stadt und der zentralörtliche Einzugsbereich auf der unteren und mittleren Stufe bezeichnet. Er ist relativ stark urbanisiert und stellt ein Übergangsgebiet von den Stadtrandgemeinden bis in den die Stadt umgebenden ländlichen Raum dar."

<sup>3</sup> Ebenfalls mit dem Begriff Stadtregion beschäftigt sich GÖDDECKE-STELLMANN (1995) eingehend.

### 1.3 Das Untersuchungsgebiet

Das in der Abb. 1<sup>4</sup> (s. S. 7) dargestellte Untersuchungsgebiet der Stadtregion Leipzig liegt naturräumlich in der Leipziger Tieflandsbucht der großflächigen Naturregion des Norddeutschen Tieflandes. Die stark urban geprägte Landschaft wird von weiträumigen, ebenen Sandlöß-Acker-ebenen Landschaften im Westen, im Norden und im Osten und von Bergbaufolgelandschaften im Süden umgeben. Die Stadt selber wird von einer Auenlandschaft durchzogen. Sie umfaßt nach zahlreichen Eingemeindungen eine Fläche von 158,13 km<sup>2</sup> (01. 07. 1996; Regionaler Planungs-verband Westsachsen 1996, S. 9 - 17).<sup>5</sup> Da die zu untersuchenden Urbanisierungsprozesse nicht nur die Stadtfläche, sondern zudem in großem Maße die Stadtrandbereiche betreffen, ist das Unter-suchungsgebiet nicht an der administrativen Grenze der Stadt festgelegt. Es reicht mit einer Nord-Süd- und West-Ost-Ausdehnung von je ca. 20 km von der Autobahn A 14 (Halle - Dresden) im Norden bis zu den Tagebaugebieten Zwenkau und Espenhain im Süden. Die Landesgrenze zu Sachsen-Anhalt sowie eine gedachte Linie durch Engelsdorf und Baalsdorf bilden die westliche und östliche Begrenzung. Untersucht wird somit ein Ausschnitt aus der Stadtregion, der nicht an administrativen Grenzen festgemacht ist und sowohl die Leipziger Stadt als auch Teile des Landkreises Leipzig umfaßt. Dies ist zudem der Raum, der von den meisten, zur Auswertung vorliegenden Satellitenbildszenen abgedeckt wird. Bei unterschiedlichen Gebietsabdeckungen durch die Fernerkundungsdaten mußte für verschiedene Untersuchungen dieser Ausschnitt zusätzlich verkleinert und aufeinander angepaßt werden (HEINZ 1996a, S. 4 - 7).

Wirtschaftsräumlich ist das Untersuchungsgebiet ein Bestandteil des länderübergreifenden mittel-deutschen Verdichtungsraumes Leipzig-Halle und gehört neben Berlin und Dresden mit zu den wichtigsten Wirtschaftsräumen in den Neuen Bundesländern.

Die Bevölkerungszahl der zum Land Sachsen gehörenden Stadt Leipzig hat in den letzten Jahren mit positiver Bevölkerungsbilanz im Umland abgenommen. In den in der Tab. 2 (s. S. 8) dargestellten Zahlen spiegeln sich die stattgefunden Urbanisierungsprozesse und die Schnelligkeit sowie Stärke dieser wieder. Daß diese Prozesse nach wie vor nicht zum Stillstand gekommen sind, und die Ausmaße der Entwicklungen belegt zum Beispiel die Stadt Leipzig (1995b, S. 20):

<sup>4</sup> Nächste Seite (S. 7) - Abb. 1: Das Untersuchungsgebiet - die Stadtregion Leipzig

<sup>5</sup> Weitere Ausführungen zur physisch-geographischen Struktur des Arbeitsgebietes sind z. B. KRÖNERT et al. (1998), der Projektgruppe unter Leitung des Regierungspräsidiums Leipzig (1993), SCHMIDT (1981) oder STOYE (1990) zu entnehmen.







„Das Territorium des Landkreises Leipzig [und damit auch die Stadt Leipzig] ist der Raum, auf den sich die Investitionstätigkeit im Wohnungsbau und die Ausweisungen von Gewerbegebieten konzentrieren. [... Im Landkreis] wurden seit der Wende 1.050 ha Wohnbauflächen vorbereitet, davon sind ca. 450 ha bereits genehmigt. Bei den Gewerbegebieten wurden ca. 1.500 ha raumordnerisch befürwortet, davon sind ca. 600 ha bereits genehmigt. Werden alle diese Flächen, die für den Wohnungsbau vorgesehen sind, auch bebaut, dann entsteht im unmittelbaren Umland von Leipzig Wohnraum für annähernd 100.000 Menschen.“

Die Kernstadt und das engere Umland (ca. ein Fünftel der Fläche) werden von zwei Dritteln der Einwohner der Stadtregion besiedelt. Es herrscht somit - insbesondere in Leipzig - eine sehr hohe Bevölkerungsdichte vor, die nach München und Berlin auf dem dritten Rang plazierte ist. Dem gegenüber hat Leipzig nur eine Flächengröße, die den 34. Rang der 37 Großstädte der Bundesrepublik Deutschland einnimmt. Die Ballung der Einwohner äußert sich in einem deutlichen Abfall der Bevölkerungsdichte vom Stadtkern zum -rand hin. Da bis zur politischen Wende größere Suburbanisierungen fehlten (s. o.), hat sich die Stadt hauptsächlich innerhalb ihrer administrativen Grenzen entwickelt und dabei stark verdichtet. Nicht zuletzt hat hierzu der Bau der Großwohnsiedlungen beigetragen (Stadt Leipzig 1995b, S. 16ff.; Regionaler Planungsverband Westsachsen 1996, S. 9; Institut für Ingenieur- und Tiefbau GmbH 1992, S. 10 u. 20; HEINZ 1996a, S. 4 - 7).<sup>6</sup>

*Tab. 2: Bevölkerungs- und Flächenentwicklung der Region Leipzig von 1992 bis 1995 (verändert nach HEINZ 1996a, Stadt Leipzig 1995b, Regionaler Planungsverband Westsachsen 1996 u. Institut für Ingenieur- und Tiefbau GmbH 1992)*

| Jahr                     | Leipzig Stadt |                           | Leipzig Land |                           |
|--------------------------|---------------|---------------------------|--------------|---------------------------|
|                          | Einwohner     | Fläche [km <sup>2</sup> ] | Einwohner    | Fläche [km <sup>2</sup> ] |
| 1992 <sup>7</sup>        | 496 647       | 149                       | o. A.        | o. A.                     |
| 1994 <sup>8</sup>        | 488 066       | 153                       | 228 017      | 991                       |
| 1995 (1996) <sup>9</sup> | 471 418       | 158                       | 233 751      | 978                       |

Der Umfang der Umstrukturierungen in der Stadtregion Leipzig, der mit einer großen Dynamik, dem Aus- und Aufbau bzw. der Errichtung von Verkehrswegen, der Infrastruktur und Gewerbegebieten einhergeht, läßt sich anhand der Größe der geplanten Flächennutzungsveränderungen ablesen (MAREK 1994, S. 128). Hierzu sind in der Tab. 3 (s. S. 9) Zahlen aus der Bebauungsplanung der Gemeinden 1992 gegenübergestellt.

Alleine 1994 waren insgesamt 480 ha in der Stadt Leipzig als geplante gewerbliche Baufläche ausgewiesen (1993: 450 ha; NEUMANN, 1994, S. 55; Stadt Leipzig 1995b, Beiplan 3). Das entspricht einer geplanten Zunahme um 50 % der bestehenden Fläche sowie einer weiteren Zunahme in

<sup>6</sup> Weitere Ausführungen zu dieser Thematik sind z. B. FISCHER (1995), GATZWEILER (1995) sowie HERFERT (1995 u. 1996) zu entnehmen.

<sup>7</sup> Entnommen aus Stadt Leipzig 1995b, S. 19

<sup>8</sup> Entnommen aus Stadt Leipzig 1995a, S. 4

<sup>9</sup> Entnommen aus Regionaler Planungsverband Westsachsen 1996, S. 9

der Flächenentwicklung. Im Stadtbezirk Nordost liegen diesbezüglich die Hauptschwerpunkte. Weitere befinden sich in den Stadtbezirken Ost, Südwest und West. Die Bestandsflächen behalten somit nach NEUMANN (1994, S. 55) ihr 'Potential für die gewerbliche Standortentwicklung der Stadt' (HEINZ 1996a, S. 6). Im engeren Umland der Stadt Leipzig hingegen sind die Hauptentwicklungen für den Wohnungsbau im Osten und für die Gewerbeansiedlung im Nordwesten zu erwarten (vgl. Tab. 4, S. 9).<sup>10</sup>

**Tab. 3: Flächennutzungsplanung in der Stadtregion Leipzig, Stand 30. 06. 1992 (HEINZ 1996a, S. 6; verändert nach Institut für Ingenieur- und Tiefbau GmbH 1992, S. 73)**

| Art der vorgesehenen Nutzung    | geplante Fläche [ha] |                   |
|---------------------------------|----------------------|-------------------|
|                                 | Stadt Leipzig        | Landkreis Leipzig |
| Wohngebiet                      | 612                  | 720               |
| Gewerbegebiet                   | 414                  | 1 308             |
| Mischgebiet                     | 169                  | 224               |
| Sondergebiet                    | 424                  | 187               |
| Kerngebiet                      | 58                   | -                 |
| Umnutzung militärischer Flächen | 252                  | -                 |
| <b>Gesamt</b>                   | <b>1 929</b>         | <b>2 439</b>      |

**Tab. 4: Geplante Baufläche 1994 im Umland von Leipzig (verändert nach Stadt Leipzig 1995b, Beiplan 3)**

| Gebiet des Umlandes von Leipzig | Geplante Wohnbaufläche [ha] | Geplante gewerbliche Baufläche [ha] |
|---------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| <b>Nordwest</b>                 | 72                          | 815                                 |
| <b>Nord</b>                     | 158                         | 256                                 |
| <b>Ost</b>                      | 446                         | 476                                 |
| <b>Süd</b>                      | 169                         | 196                                 |
| <b>West</b>                     | 157                         | 251                                 |
| <b>Gesamt</b>                   | <b>1 002</b>                | <b>1 994</b>                        |

Diese Entwicklungsräume für Baugebiete liegen hauptsächlich an den in der Tab. 5 (s. S. 10) kurz charakterisierten sogenannten Entwicklungsachsen.

Die aufgeführten zahlreichen und schnell ablaufenden Entwicklungsprozesse in der Stadtregion Leipzig bestärken die Wahl dieses Raumes als Untersuchungsgebiet. Leipzig eignet sich sehr gut für Analysen bezüglich der Erkennbarkeit von Urbanisierungsprozessen mit Fernerkundungsmethoden, da sich innerhalb kurzer Zeiträume viele, mit Veränderungen der Oberflächenbedeckung einhergehende Entwicklungen vollzogen haben und vollziehen. Zudem setzt sich Leipzig aus einer Viel-

<sup>10</sup> Weitere Ausführungen zur strukturellen Veränderung der Stadtregion Leipzig sind z. B. BREUSTE (1996), GORMSEN (1996), SCHMIDT (1996) und USBECK (1995) zu entnehmen.



zahl von unterschiedlichen Bebauungsstrukturen zusammen, von denen sich die meisten in anderen Städten - auch in den Alten Bundesländern - wiederfinden lassen. Hinzu kommen viele gute Referenzdaten (s. Tab. 7, S. 12), die eine Bearbeitung des Projektes wesentlich unterstützen und beschleunigen.

*Tab. 5: Entwicklungsachsen und -räume der Leipziger Stadtregion (verändert nach HEINZ 1996a, S. 7, verändert nach Institut für Ingenieur- und Tiefbau GmbH 1992, S. 75 - 77)*

| Entwicklungsachse (A) / Entwicklungsraum (R)                                                                                                          | Charakteristika                                                                                                                                                                                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (A) Nord<br>um den Flughafen Leipzig/Halle und das Autobahnkreuz Schkeuditz entlang der A 14 bis Engelsdorf und zwischen A 14 und B 6 (Leipzig-Halle) | größter Entwicklungsraum;<br>Konzentration überregional wirksamer Standorte;<br>hoher Anteil an Sondergebietsfunktionen;<br>umfangreiche geplante Gewerbegebietsstandorte;<br>umfangreiche Wohnungsbaustandorte;<br>gute Verkehrsinfrastruktur |
| (A) Ost<br>vom östlichen Stadtrand entlang der Eisenbahnstrecke und B 6 nach Dresden                                                                  | neue Gewerbegebiete;<br>geplante neue Wohnungsbaustandorte                                                                                                                                                                                     |
| (R) West<br>am westlichen Stadtrand und entlang der Achsen B 181 nach Merseburg und B 87 nach Weißenfels                                              | relativ ausgeglichenes Verhältnis zwischen Gewerbe-, Sonder- und Wohngebieten                                                                                                                                                                  |
| (R) Südost<br>am Stadtrand und entlang der Eisenbahnlinie nach Chemnitz                                                                               | vorerst relativ schwächere Ausbildung mit wenigen, konkreten Planungen                                                                                                                                                                         |

#### 1.4 Hard- und Software

Für die Verarbeitung der Satellitendaten stand eine SUN-Workstation (Solaris; SPARC 10) mit dem digitalen Bildverarbeitungsprogramm ERDAS/IMAGINE und den Zusatzmodulen EBIS und VECTOR zur Verfügung. Die Vektordatensätze lagen im ARC/INFO-Vektor-Format vor und wurden je nach dem Bearbeitungsschritt wahlweise in diesem, im ARC/VIEW oder im ERDAS/IMAGINE weiterverarbeitet. Eigene Digitalisierungen erfolgten hauptsächlich im ERDAS/IMAGINE.

Für die statistischen Auswertungen, die Ergebnisdarstellungen und Präsentationszwecke kamen neben den erwähnten Softwareprodukten die Programmpakete von MICROSOFT-OFFICE zum Einsatz.

#### 1.5 Datenmaterial

Die Datenbasis für diese Arbeit wurde aus bereits vorhandenen Daten zusammengestellt und entsprechend ergänzt, wobei insbesondere auf die Datenqualität, das Aufnahmedatum, die Abdeckung des Untersuchungsraumes und die Datenverknüpfungsmöglichkeiten geachtet wurde.

Entsprechend der Zielstellung des Projektes, Satellitendaten von Sensoren mit unterschiedlichen geometrischen, spektralen und temporalen Auflösungen für ihre Einsatzmöglichkeit zur Analyse von Urbanisierungsprozessen zu testen, wurden die in der Tab. 6 (s. S. 11) aufgelisteten Fernerkundungsdaten ausgewählt. Für eine Erklärung der Sensorsysteme wird auf die zahlreich vorhandene Fachliteratur verwiesen.<sup>11</sup>

Tab. 6: Übersicht über die verwendeten Fernerkundungsdaten (eigener Entwurf)

| Art                 | geometrische Auflösung                  | spektrale Auflösung [µm]                                                                                                   | temporale Auflösung           | Datenverfügbarkeit                            | Kosten                                           | Datum der vorliegenden Szenen |
|---------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------|
| Landsat-TM          | 30 m<br><br><br><br><br><br>120 m       | 1: 0,45 - 0,52<br>2: 0,52 - 0,60<br>3: 0,63 - 0,69<br>4: 0,76 - 0,90<br>5: 1,55 - 1,73<br>7: 2,08 - 2,35<br>6: 10,4 - 12,5 | 16 Tage                       | seit 1984                                     | ca. DM 4 000                                     | 28. 05. 1992<br>21. 07. 1994  |
| SPOT-XS             | 20 m                                    | 1: 0,50 - 0,59<br>2: 0,61 - 0,68<br>3: 0,79 - 0,89                                                                         | 26 Tage                       | seit 1986, derzeit Probleme, Neustart geplant | ca. DM 4 000                                     | 25. 06. 1994                  |
| SPOT-PAN            | 10 m                                    | 0,51 - 0,73                                                                                                                | 26 Tage                       | seit 1986, derzeit Probleme, Neustart geplant | ca. DM 4 000                                     | 23. 05. 1992<br>25. 06. 1994  |
| MOMS-2P (ms)        | 15,9 - 18,0 m                           | 0,45 - 0,51<br>0,53 - 0,58<br>0,65 - 0,68<br>0,78 - 0,82                                                                   | abhängig von der Mission      | derzeit auf der MIR-Station im Einsatz        | nicht bekannt                                    | nicht verfügbar               |
| MOMS-2P (pan)       | 5,3 - 6,0 m<br>15,9 - 18,0 m            | 0,51 - 0,77<br>0,52 - 0,77                                                                                                 | abhängig von der Mission      | derzeit auf der MIR-Station im Einsatz        | nicht bekannt                                    | nicht verfügbar               |
| KFA-1000            | 5 m                                     | 0,57 - 0,67<br>0,67 - 0,80                                                                                                 | abhängig von der Mission      | unregelmäßig                                  | unterschiedlich                                  | 26. 05. 1992                  |
| KVR-1000            | 2 m                                     | 0,40 - 0,70                                                                                                                | abhängig von der Mission      | unregelmäßig                                  | ca. DM 5 000                                     | 16. 05. 1992                  |
| Thermalscanner      | 8 m<br>abhängig von der Flughöhe        | abhängig vom Scanner                                                                                                       | abhängig von der Durchführung | abhängig von der Durchführung                 | ca. 30 - 50 TDM<br>abhängig von der Gebietsgröße | 09. - 10. 09. 1992            |
| CIR-Luftbilder      | abhängig von der Flughöhe <sup>12</sup> | abhängig von der Filmempfindlichkeit <sup>13</sup>                                                                         | abhängig von der Durchführung | abhängig von der Durchführung                 | ca. 30 - 50 TDM<br>abhängig von der Gebietsgröße | 25. 06. 1994                  |
| Echtfarb-Luftbilder | abhängig von der Flughöhe <sup>14</sup> | abhängig von der Filmempfindlichkeit                                                                                       | abhängig von der Durchführung | abhängig von der Durchführung                 | ca. 30 - 50 TDM<br>abhängig von der Gebietsgröße | 26. 06. 1992                  |

Für das Arbeitsgebiet liegen bisher keine Daten von MOMS-2P vor. Die Radardaten des ERS-1 wurden nicht näher bearbeitet, da zum einen ihre Aufnahmetermine außerhalb der Vegetationsperiode liegen und damit die Unterscheidbarkeit von Objekten stark erschwert ist. Zum anderen werden - insbesondere im innerstädtischen Bereich - durch die dem aktiven System eigenen Aufnahmeeigenschaften Objekte durch sogenannte 'Corner Reflectors' und den 'Salt and Pepper-

<sup>11</sup> S. z. B. BÄHR (1985), GOBMAN (1989), KONECNY (1995), LILLESAND et al. (1987), LÖFFLER (1985), MARKWITZ et al. (1989), SCHUBERT (1990), STRATHMANN (1990), WIENEKE (1988)

<sup>12</sup> S. z. B. NETZBAND et al. (1996, S. V-20f.)

<sup>13</sup> S. z. B. NETZBAND et al. (1996, S. V-21)

<sup>14</sup> S. z. B. NETZBAND et al. (1996, S. V-20f.)



Effect' überdeckt (vgl. z. B. FISCHER 1989, S. 42). Lediglich im Randbereich der Städte können somit Veränderungen der Oberflächenbedeckung eventuell erkannt werden. Demgegenüber sind die passiven Datenmaterialien (s. Tab. 6, S. 11) bevorteilt. Die KFA-1000-Aufnahmen kamen nur bei der multisensoralen Bildbearbeitung zum Einsatz, um die Möglichkeiten der Verwendung hoch geometrisch und spektral auflösender Daten zu demonstrieren. Weitere digitale Bearbeitungen wurden unterlassen, da der Datensatz nicht die originalen Grauwerte aller Kanäle, sondern nur die Werte des nachträglichen Scanverfahrens enthält. Die Luftbildbefliegungen und die SPOT-PAN-Szene dienten als Referenzmaterialien zur Verifizierung der Klassifikationen, als Hilfe bei der Interpretation, etc.. Speziell die SPOT-PAN-Szene diente darüber hinaus als Grundlage für alle Bild-zu-Bild-Entzerrungen. Weitere Referenzmaterialien waren thematische und topographische Karten, die die Tab. 7 (s. S. 12) mit ihren jeweiligen Anwendungsbereichen zusammenfaßt.

*Tab. 7: Referenzdatenmaterial (eigener Entwurf, verändert nach HEINZ 1996a, S. 8)*

| Datenmaterial <sup>15</sup>                                             | Anwendungsbereich                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Topographische Karten (1 : 25 000)                                      | Grundlage für die Georeferenzierung, etc.                                       |
| Karte der Strukturtypen der Stadt Leipzig                               | Vergleich mit Ergebnissen der Digitalen Bildverarbeitung                        |
| Karte der Flächennutzung 1992 Leipzig und Umland                        | Vergleich mit Ergebnissen der Digitalen Bildverarbeitung; Trainingsgebietssuche |
| Karte des Landkreises Leipzig 1992                                      | Vergleich mit Ergebnissen der Digitalen Bildverarbeitung                        |
| Karte des Landkreises Leipzig 1994                                      | Vergleich mit Ergebnissen der Digitalen Bildverarbeitung                        |
| Karte der Funktionalen Strukturtypen der Stadt Leipzig                  | Vergleich mit Ergebnissen der Digitalen Bildverarbeitung                        |
| Karte der Versiegelung der Funktionalen Strukturtypen der Stadt Leipzig | Vergleich mit Ergebnissen der Digitalen Bildverarbeitung                        |
| Karte der Stadtbiotopkartierung Leipzig                                 | Trainingsgebietssuche                                                           |
| Flächennutzungsplan der Stadt Leipzig                                   | Trainingsgebietssuche                                                           |
| Diverse Statistiken                                                     | Verschiedene Anwendungsbereiche                                                 |

Wichtig für die Arbeit sind insbesondere die Karte der Stadtstrukturtypen sowie die der Funktionalen Strukturtypen. Die letztere wird im Kap. 4.2 näher erläutert, da sie nur dort benutzt wird. Die Karte der Stadtstrukturtypen (BÖHM et al. 1996) sei bereits an dieser Stelle kurz erklärt, da auf sie häufiger zurückgegriffen wird. In ihr werden die Flächennutzung und die Baustruktur (Alter, Dichte, Anordnung der Gebäude) basierend auf der Auswertung von CIR-Luftbildern, Biotopkarten, Stadtplänen sowie Feldbegehungen differenziert und die sich wiederholenden, durch ein bestimmtes

<sup>15</sup> Die genauen Bezeichnungen der Karten sind dem Literaturverzeichnis (s. Kap. 9) zu entnehmen.

Muster von Teilstrukturen geprägten Strukturen zusammengefaßt (s. HEYN 1996, S. 1; MÜNCHOW et al. 1996, S. IV-3f. u. BÖHM et al. 1996)<sup>16</sup>.

Die den Referenzdaten zugrundeliegenden Kartierungsschlüssel werden bei Bedarf an den entsprechenden Stellen im Text genauer vorgestellt.

## 1.6 Methodische Vorgehensweise

Vor allen Bearbeitungs- und Interpretationsschritten steht die *geometrische Entzerrung* der Satellitenbilder. Hierfür wurden die Rohszenen zunächst auf einen etwas größeren Ausschnitt als den des Arbeitsgebietes verkleinert, da es infolge der Georeferenzierung zu einer Drehung der Szenen kommt. Das Verfahren der Bild-zu-Bild-Entzerrung auf eine zuvor auf Topographische Karten (Maßstab 1 : 25 000) auf das Gauß-Krüger-Koordinatensystem, Spheroid Bessel entzerrte SPOT-PAN-Szene kam bei allen Szenen zur Anwendung, um den Lagefehler zwischen den einzelnen Szenen möglichst gering zu halten. Der 'Root-Mean-Square-Fehler' konnte bei der Bestimmung von durchschnittlich 150 Paßpunkten jeweils auf 0,3 Pixel gesenkt werden. Die hohe Paßpunktanzahl wurde aus den Überlegungen heraus gewählt, daß die Lageabweichungen für die Untersuchung von stark inhomogenen Stadtstrukturen sowie für die Überlagerung verschieden geometrisch auflösender Datensätze möglichst gering sein sollten. Bei einer Entzerrung haben aber nur die Paßpunkte eine relativ korrekte Lage. Der zwischen zwei Paßpunkten verbleibende Fehler wird durch eine höhere Punkteanzahl reduziert. Das bei der Überführung der Daten in ein Koordinatensystem angewandte 'Resampling-Verfahren' wurde nach der 'Nearest-Neighbour-Methode' durchgeführt, die die ursprüngliche Grauwertinformation erhält und keine neuen, synthetischen Grauwerte entstehen läßt.

Auf eine *atmosphärische Korrektur* mußte verzichtet werden, da kein entsprechendes Korrekturprogramm zur Verfügung stand. Dies hätte sich insbesondere für temporale, monosensorale Vergleiche bei Landsat-TM angeboten, wurde aber durch die sowieso stark variierenden phänologischen Zustände zwischen den beiden Jahren relativiert. Auch eine Atmosphärenkorrektur<sup>17</sup> hätte die Datenvergleiche nicht wesentlich verbessert. Weitere Bildverbesserungen - insbesondere Kantenfilterungen - kamen hauptsächlich für eine Erleichterung der visuellen Interpretation zum Einsatz. Für digitale Bildverarbeitungen mit anschließender statistischer Auswertung sind sie nicht anzuraten, da damit die Grundinformation des Datensatzes eine Verfälschung erfährt.

<sup>16</sup> Vgl. auch PAULEIT et al. (1994)

<sup>17</sup> Einen guten Überblick über die Anwendbarkeit von Atmosphärenkorrekturen bietet z. B. RICHTER (1996).



Die weiteren Arbeitsschritte sind jeweils in den Kapiteln der Methodiken (s. Kap. 1.6, 3.2, 4.2 u. 5.2) für die einzelnen Untersuchungen detailliert beschrieben.<sup>18</sup> Dabei stehen die nicht zu vernachlässigenden *visuellen Interpretationen* (s. Kap. 3.4.1, 4.3.1, 4.3.3, 4.4.1 u. 4.4.3) genauso im Vordergrund wie *Klassifikationen* (s. Kap. 3.4.3 u. 3.4.4) und *Raster-Vektor-Verknüpfungen* (s. Kap. 3.4.2, 4.3.2, 4.4.2, 4.4.4, 5.3.2 u. 5.5). Während die visuellen Interpretationen und die Klassifikationen entsprechend der Frage 'Welche urbanen Elemente können im Satellitenbild monotemporal erkannt und wie können Urbanisierungsprozesse in ihm multitemporal identifiziert werden?' angegangen werden, dienen die Raster-Vektor-Verknüpfungen zur Beantwortung der folgenden Fragen:

- Lassen sich vorgegebene urbane Struktureinheiten im Satellitenbild unterscheiden?
- Welche Zusatzinformation erhalten die vorgegebenen Flächeneinheiten durch die Überlagerung mit den Rasterdaten? (ökologische Komponente)
- Können die Raster-Vektor-Verknüpfungen zum Erkennen und zur schnellen Untersuchung von Urbanisierungsprozessen und ihrer ökologischen Folgen eingesetzt werden?

Daß hierbei nicht die *Urbanisierung* alleine im Vordergrund steht, sondern stark auf das Erkennen urbaner Elemente im Bild eingegangen wird, ist mit dem den Satellitenbildern typischen Abbildungsverhalten von Oberflächen zu begründen. Die Urbanisierung kann im Rasterbild nur über die Veränderungen des Spektralverhaltens der Oberflächenbedeckung erkannt werden. Urbanisierungsprozesse, bei denen sich die Funktion der Fläche ohne Veränderung der Oberflächenbedeckung ändert, werden nicht vom Satellitenbild abgebildet. Somit werden insbesondere die Unterscheidungsmöglichkeiten von bebauten und nicht bebauten Flächen geprüft und bei fehlender temporaler Datenlage die Erkennbarkeit diskutiert. Darüber hinaus interessiert, welche verschiedenen Bebauungsstrukturen unterschieden werden können, da dies Rückschlüsse auf das Erkennen der Art der Urbanisierungsprozesse ermöglicht. Hierbei helfen neben den Vektordatensätzen z. B. der Flächennutzung und der Strukturtypen von Leipzig zudem die Referenzdaten (vgl. Tab. 6, S. 11 u. Tab. 7, S. 12).

Für die Untersuchung der *ökologischen Folgen von Urbanisierungsprozessen* werden beispielhaft die Oberflächenstrahlungstemperatur und die Vegetation untersucht (s. Kap. 4). Beide werden in verschiedenen Bebauungsstrukturen überprüft, um so Aussagen ihrer typischen Veränderung bei Urbanisierungsprozessen ableiten zu können. Bei der Oberflächenstrahlungstemperatur können keine absoluten Aussagen zur städtischen Überwärmung bzw. zur absoluten Lufttemperatur gemacht werden. Einerseits handelt es sich um Momentaufnahmen, die stark von den meteorologischen

<sup>18</sup> Für weitere Beschreibungen sei auf die Fachliteratur verwiesen - z. B. BÄHR (1985), BANZHAF (1998), GOBMAN (1989), KONECNY (1995), LILLESAND et al. (1987), LÖFFLER (1985), MARKWITZ et al. (1989), STRATHMANN (1990), WIENEKE (1988)

Bedingungen zum Aufnahmezeitpunkt abhängen. Andererseits lassen sich mit den heutigen Methoden aus der Oberflächenstrahlungstemperatur keine Lufttemperaturen ableiten. Trotzdem ist aber die Oberflächenstrahlungstemperatur ein gutes Maß für die klimatische Einschätzung des betrachteten Gebietes. Die Vegetation, bei der in der Fernerkundung ihr typisches Reflexionsverhalten in Abhängigkeit von der einfallenden Strahlung mit einem starken Anstieg vom sichtbaren Rot zum Nahen Infrarot genutzt wird, wird als Maß für die Verdichtung, für die Versiegelung und für die Durchgrünung eingesetzt. Diese drei Komponenten stehen in einem engen Zusammenhang und bedingen sich gegenseitig. Mit zunehmender Vegetation steigt der Durchgrünungsgrad und nehmen die Versiegelung und die Verdichtung ab. Somit ist sie gut für die Analyse von Urbanisierungsprozessen und deren ökologische Folgen geeignet.

Entsprechend der im Rahmen der Fragestellung zu untersuchenden Komponenten der Oberflächenbedeckung, der Oberflächenstrahlungstemperatur und der Vegetation sowie der Urbanisierungsprozesse an sich und ihrer ökologischen Folgen mit den in der Tab. 6 (s. S. 11) aufgeführten Fernerkundungsdaten behandelt die Arbeit sechs große Themenkomplexe. Nach der Einordnung des Themas in den Stand der Forschungen (s. Kap. 2) werden zunächst die *städtischen Oberflächenbedeckungen* mit verschiedenen Methoden und anhand verschiedener mono- und multisensoraler Fernerkundungsdaten mono- und multitemporal untersucht. Während im Kapitel 4 die *allgemeine Untersuchung der Ökologie* im urbanen Raum anhand der Oberflächenstrahlungstemperatur und des Durchgrünungsgrades erfolgt, werden im darauf folgenden Kapitel 5 *spezielle Untersuchungen der Ökologie* in urbanen Strukturen durchgeführt. Dabei kommen drei unterschiedliche Methoden zur Anwendung - eine Berechnung der *Überbauungsdichte nach SPITZER* (1996a), eine *Kantenanalyse nach WEICHELT* (1997) sowie eine Berechnung der *Wohnumgebung nach HEINZ et al.* (1997a). Da nicht alle Sensoren getestet werden konnten und zudem in naher Zukunft weitere kommerzielle Satelliten hinzukommen, erfolgt im Kapitel 6 ein *Ausblick* mit einer kurzen Vorstellung der zu erwartenden Fernerkundungsdaten und einer Abschätzung ihrer möglichen Einsatzfähigkeit für die zugrundeliegende Fragestellung. Das Kapitel 7 leitet aus den Untersuchungen *Methoden und Planungshilfen* für den Einsatz der Fernerkundung zum Monitoring von Urbanisierungsprozessen ab, wodurch der konkrete Anwenderbezug in der Praxis hergestellt und die Integration der Fernerkundung in bestehende Planungsabläufe vorangetrieben und erleichtert werden soll.





## 2. Einordnung des Themas in den Stand der Forschungen

Der Zugang zur Untersuchung von Urbanisierungsprozessen und ihrer ökologischen Folgen mit Fernerkundungsmethoden wird über die Analyse der Oberflächenbedeckung speziell in verschiedenen urbanen Strukturen, der Vegetation im Sinne des Durchgrünungsgrades sowie der Oberflächenstrahlungstemperatur zur Einschätzung der Veränderung des Klimas erzielt. Diese Komponenten wurden in der Fernerkundung bereits alle für sich untersucht, jedoch fehlte dabei die Verbindung zum Urbanisierungsprozeß. Zudem erfolgten die Untersuchungen zumeist monotemporal und monosensoral, ohne daß eine genaue Herausstellung der Grenzen und Möglichkeiten in der Anwendung der einzelnen Fernerkundungsmethoden sowie der Vor- und Nachteile unterschiedlicher Sensoren gegenübergestellt wurden.<sup>19</sup> Sind es aber doch gerade diese, die für ein Vorantreiben der Integration der Fernerkundung in die Praxis und der Akzeptanz dieser beim potentiellen Anwender unerlässlich sind. Daß ein Bedarf in dieser Richtung besteht, zeigen die in letzter Zeit zunehmenden Forschungen an urbanen Flächen<sup>20</sup> sowie zahlreiche Workshops und Veranstaltungen, bei denen insbesondere die Wissenschaftler mit den potentiellen Anwendern - zum Beispiel aus der Kommune - zusammentreffen und gezielt die Möglichkeiten der Satellitenfernerkundung aus wissenschaftlicher Sicht sowie die gewünschten Einsatzbereiche aus der anwenderbezogenen Sicht gegenübergestellt und diskutiert werden. Beispielhaft seien hierfür die Tagungen anlässlich der Internationalen Luft- und Raumfahrttausstellung (ILA) zum Thema 'Anwendung der Weltraum-Fernerkundung in Wirtschaft und Verwaltung' (15. 05. 1996) sowie die DGPF-Frühjahrstagung des Arbeitskreises 'Interpretation von Fernerkundungsdaten' zum Thema 'Fernerkundung in urbanen Räumen' (17. - 18. 04. 1997; BREUER et al. 1997) genannt.

Viele Untersuchungen befassen sich heute mit hochauflösenden ATM-Flugzeugscannerdaten. Diesbezüglich sind zum Beispiel NETZBAND (1997), HILZ et al. (1997) und STIES (1997) zu nennen. STIES (1997) berichtet über die Auswertung von Flugzeugscanner-Bilddaten für die Kartierung von Oberflächenstrukturen besiedelter Gebiete in einer Gemeinde im Oberbergischen Land, die als 'Basisinformation für die Sanierung bzw. Neuberechnung des Abwasserkanalnetzes (Generalentwässerungsplan)' dient. Die Daten des digitalen Zeilenabtasters DAEDALUS-ATM wurden hierzu nach der überwachten Maximum-Likelihood-Klassifizierung rechnergestützt mit einer Genauigkeit von 90 - 95 % klassifiziert. Neben diesem Ergebnis diskutiert er die möglichen Fehlerquellen.

---

<sup>19</sup> Vgl. Kapitel 3

<sup>20</sup> Z. B. CZERANKA (1993), GOMARASCA et al. (1993), MAUS (1994), RAGHAVSWAMY et al. (1996), SCHMIDT (1993), Senator für Stadt und Umland Berlin (1988), STARK (1994) und WEBER et al. (1992)



Eine ähnliche Untersuchung führten HILZ et al. (1997) durch. Sie untersuchten für das Stadtgebiet von Graz (Steiermark) die Möglichkeit, mit Hilfe der digitalen Bildverarbeitung und der Auswertung von flugzeuggestützten Multispektralscanner-Aufnahmen flächendeckend genaue Versiegelungswerte bei mittlerem Kostenaufwand zu gewinnen. Der Einsatzbereich lag wie bei STIES (1997) bei Planungsvorhaben im städtischen Kanalbau. Insbesondere in der Abflußmodellierung kommen die Ergebnisse als Steuergröße zum Einsatz. Sie wurden mittels eines kombinierten Klassifikationsverfahren pixelbasiert durch individuelle Schwellwertmethoden und Berechnung von Vegetationsindices ermittelt. Zusätzlich haben sie die Daten für die aktuelle, allerdings grobe Klassifikation der kommunalen Flächennutzung der nicht-versiegelten Flächen eingesetzt, die auf spektralen Schwellwertmethoden und interaktiver Nachbearbeitung erfolgte.

Beide Untersuchungsmethoden haben zwar interessante Ergebnisse geliefert, was einen Ausblick auch auf die Möglichkeiten der zu erwartenden neuen, hochauflösenden Fernerkundungsdaten gibt, aber sie basieren auf der nach wie vor relativ teuren Fernerkundungsplattform des Flugzeuges. Zu dem Kostenaspekt kommt die aufwendige Arbeit der Entzerrung und Mosaikierung der Aufnahmen. NETZBAND (1997) und NETZBAND et al. (1996) hingegen vergleichen bei ihren Untersuchungen zur städtischen Versiegelungserhebung Flugzeugscannerdaten mit den herkömmlichen Satellitendaten Landsat-TM und SPOT-XS. Während sie letztere für die Erstellung von mittelmaßstäbigen Übersichtskarten (1 : 25 000) zur Versiegelungsintensität der Städte Dresden und Leipzig einsetzen, werden die Daten der Multispektralscannerbefliegung zur großmaßstäbigen Detailkartierung (1 : 5 000) in der Stadt Dresden herangezogen. Dazu wurde ein 'mehrstufiges, hierarchisches Klassifikationsschema' entwickelt. Interessant an dieser Untersuchung ist die Charakterisierung der Aufnahmesysteme, die für verschiedene Fernerkundungsdaten ihre jeweilige Eignung für Versiegelungserhebungen diskutiert und die Kosten abschätzt (s. NETZBAND et al. 1996, S. V-16 - V-30). Die Untersuchungen der Satellitendaten zur Versiegelung basieren auf der Berechnung des Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), der anhand von Detailkartierungen mit der tatsächlichen Versiegelung in Korrelation gesetzt wird. Die Ergebnisse zeigen einen hoch korrelierten Zusammenhang zwischen dem NDVI und dem Versiegelungsgrad. Sie weisen Versiegelungswerte für unterschiedliche Strukturtypen aus. Beim Vergleich dieser mit den Werten der terrestrischen Erhebung leiten sie Erklärungen für erkennbare Abweichungen der Ergebnisse ab, die sich auch auf Urbanisierungsprozesse übertragen lassen. Da aber unterschiedliche Datensätze wenig vergleichbare Werte ergeben haben, ist eine ähnliche Auswertung auch in der hier vorgestellten Arbeit nicht durchgeführt worden (NETZBAND et al. 1996, S. V-45 - V-46; vgl. Kap. 4.4 u. 5.5.1).<sup>21</sup>

<sup>21</sup> Weitere Arbeiten zu dieser Thematik sind NETZBAND (1996) und NETZBAND et al. (1995)

Anhand von Landsat-TM-Daten der Jahre 1988, 1992 und 1994 ist für den Raum Dresden eine methodische Untersuchung 'zur satellitenbildgestützten Ermittlung von Flächennutzungsänderungen' von KNAPP (1996) durchgeführt worden. Der Test unterschiedlicher Methoden zur 'Change Detection Analysis' sowie deren kritische Bewertung wurde anhand der Nutzungsklassen 'Gewässer', 'Bebauung', 'Ackerland', 'Freifläche', 'Dauergrünland und Acker' durchgeführt. Die kumulative Erfassung der Flächennutzungsänderungen sowie die Flächennutzungsbilanzen grenzen im Gegensatz zur vorliegenden Arbeit keine weiteren Oberflächenbedeckungen der Bebauung aus und testen keine anderen Sensoren.<sup>22</sup>

Eine weitere Arbeit, die sich mit Untersuchungen im urbanen Raum beschäftigt, ist der auf der Basis von interpretativen Auswertungen von Landsat-TM-Daten erhobenen CORINE LAND-COVER-Daten aufbauende Vergleich von Stadtsiedlungsflächen. MEINEL et al. (1997) stellen dabei siedlungsstrukturelle Vergleiche an und beschreiben 'unter Verwendung eines Ringmodells und daraus abgeleiteter Maßzahlen' die Siedlungsräume verschiedener deutscher Städte. Dabei erfaßt die Methode die Siedlungsflächen nur in kreisförmigen Städten hinreichend genau. Eine Übertragung dieser auf linienhaft angeordnete oder - wie zum Beispiel bei der Stadt Leipzig - auf von großen Grünzügen durchzogene Stadtflächen erscheint fraglich. Anwendungsmöglichkeiten für die Analyse der mit Urbanisierungsprozessen einhergegangenen Ausweitung der Siedlungsfläche sieht die Autorin nur in einer unsicheren Angabe einer relativen Flächenzunahme bei kreisrunden Stadtflächen. Genaue Lokalisierungen sind nicht möglich.

Ähnlich wie NETZBAND et al. (1996) listet auch GRENZDÖRFFER (1997) die Kosten für den Einsatz der Fernerkundung bei Untersuchungen in urbanen Räumen auf. Er gibt einen Überblick über die zur Zeit eingesetzten Fernerkundungsplattformen, zu denen Satelliten, flugzeuggestützte Systeme (Luftbilder und Scannersysteme), low-cost Befliegungen für einzelne Baublöcke und Nahbereichsaufnahmen für einzelne Gebäude zählen. Interessant für die der hier vorgestellten Arbeit zugrundeliegenden Thematik sind insbesondere die ersten beiden Plattformen, für die die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten, die Probleme bisheriger Anwendungen, Gliederungen 'urbaner Fernerkundungsanwendungen hinsichtlich verschiedener Maßstabsbereiche und den damit verbundenen Genauigkeiten' und die Möglichkeiten der Verknüpfung von Fernerkundung und GIS vorgestellt und miteinander verglichen werden. Zudem liegt ein Schwerpunkt auf der versuchten Abschätzung der Vor- und Nachteile zukünftiger hochauflösender Satelliten, was eine Ergänzung zum Kapitel 6 über den Ausblick auf neue Sensoren darstellt. Die Betrachtungen - inklusive des Anwendungsbeispiels aus der Hansestadt Rostock mit einer groben satellitenbasierten Analyse der Landnutzungsänderung

---

<sup>22</sup> Weitere Ausführungen sind MEINEL et al. (1995 und 1996) zu entnehmen.



- sind sehr allgemein gehalten. Diesbezüglich eignen sie sich als eine eher theoretische als inhaltliche Unterstützung der hier vorgestellten Arbeit.

JÜRGENS (1997) trennt sich bei seinen Untersuchungen von den Verdichtungsräumen. Er macht darauf aufmerksam, daß die Bestimmung von Siedlungsflächen im ländlichen Raum einen 'problematischen Sonderfall' darstellt. Im Gegensatz zu den verdichteten Bereichen stößt die Fernerkundung hierbei aufgrund der zumeist geringen Bebauungsdichte auf einer relativ kleinen Fläche auf das Problem der hinreichend genauen Trennung dieser von anderen Landnutzungseinheiten. Eine erfolgversprechende Methodik hierfür wird momentan weiter verfeinert.

Ein weiteres interessantes Monitoring ist über die urbane Problematik städtischer Agglomerationen im Mittelmeerraum am Beispiel der Stadt Athen erarbeitet worden (HILL et al. 1997), das jedoch aufgrund der anderen, d. h. vergleichsweise großräumig ablaufenden Urbanisierung nicht auf den hiesigen Untersuchungsraum übertragen werden kann. Die im mediterranen Raum anders gearteten Urbanisierungsprozesse mit einem unkontrollierten Wachstum in die Fläche im Zuge einer überproportionalen Bevölkerungsentwicklung sowie der Ausbildung illegaler Siedlungen entlang der Freiflächen im Stadt- und Stadtrandbereich mit zahlreichen, insbesondere ökologischen Folgen werden mit Hilfe einer spektralen Entmischung von Landsat-TM-Daten nachvollzogen. Damit können verschieden dicht bebaute Bereiche 'semi-natürlicher Oberflächen der städtischen Peripherie' optimal unterschieden werden. Durch die Methode lassen sich nach HILL et al. (1997)

„[...] weitere Informationsebenen mit erhöhter Aussagekraft für detailliertere Untersuchungen einzelner Stadtgestaltelemente ableiten. Dazu zählen u. a. der Schattenanteil als Maß für die Bebauungsdichte und -struktur oder der Anteil photosynthetisch aktiver Vegetation als Quantifizierung der Stadtdurchgrünung.“

HILL et al. (1997) verweisen zudem auf das Forschungsdefizit der Ableitung von Rauigkeitsindizes zur direkten Integration in GIS-gekoppelte Stadtentwicklungsmodelle.

Von den - seit dem 23. 08. 1996 auch für Leipzig verfügbaren - Daten des IRS-1C, die in das Projekt nicht mehr integriert werden konnten, liegen bisher erst wenige Untersuchungsergebnisse vor. Die zugrundeliegende Thematik berührend sind im wesentlichen zwei Arbeiten zu nennen. Die erste befaßt sich mit der Überprüfung der Anwendungsmöglichkeiten der IRS-1C-Daten in der Stadtplanung und -entwicklung. Diesbezüglich untersuchen und beschreiben RAGHAVSWAMY et al. (1996) anhand der indischen Städte Hyderabad, Ahmedabad und Lucknow die visuelle Erkennbarkeit der städtischen Landnutzung und Infrastruktur anhand von Datenverschneidungsprodukten des

IRS-1C LISS-III und PAN<sup>23</sup>. Die Untersuchung gibt einen Überblick über die möglichen und denkbaren Anwendungsbereiche der Daten für urbane Fragestellungen. Hierzu werden als Beispiele

„[...]urban housing, urban utilities and infrastructure, urban transportation and traffic planning, urban water supply and sanitation, urban cadastral and real estates, urban tourism and recreation, urban ecology and hazards, urban census, urban fringe area land use dynamics, urban landscape design besides other areas like urban land use change detection and update, urban base map preparation, urban green belt or open space mapping, urban encroachment of slums onto vacant lands and urban land use zoning (RAGHAVSWAMY et al. 1996, p. 582).“

aufgeführt. Genauere Analysen im urbanen Bereich fehlen jedoch. Zudem ist eine Übertragung der Aussagen auf den Untersuchungsraum der Stadtregion Leipzig zu überprüfen, so daß hier zwei wesentliche Forschungsdefizite verbleiben. Die zweite Arbeit (RADHAKRISHNAN 1996) - ebenfalls aus dem indischen Raum - gibt einen Überblick über die Möglichkeiten der Integration der IRS-1C-Daten beim Aufbau eines Geographischen Informationssystem für städtische Fragestellungen, Kartierungen und Modellierungen. Insgesamt jedoch besteht auf der Basis der IRS-1C-Daten noch ein großer Forschungsbedarf.

Auf die Untersuchungen von SPITZER (1996a) zur Berechnung der Überbauungsdichte aus digitalen Satellitendaten für die Stadt Regensburg, von WEICHELT (1997) zur Kantenanalyse für die Erfassung ökologisch relevanter Zustandsparameter in anthropogen stark beanspruchten Gebieten sowie von Eurostat (1993) wird hier nicht weiter eingegangen, da sie in die Projektbearbeitung integriert worden sind. Hierzu sei auf das Kapitel 5 verwiesen.

Auch bei älteren Arbeiten wird häufig nur die Identifikation von städtischen Oberflächen analysiert. Die Ableitung von Planungshilfen, die Suche nach den besten Methoden und dem für die Fragestellung am besten geeigneten Sensor sowie multisensorale Vergleiche fehlen zumeist. Diesbezüglich sollen beispielhaft die Arbeiten von LEAK et al. (1990) und von WEBER et al. (1992) genannt werden. LEAK et al. (1990) fand eine bessere Unterscheidbarkeit von urbanen Elementen bei zusätzlicher Betrachtung des thermalen Infrarotes des Landsat-TM (Kanal 6) heraus, stellt dieser Vorgehensweise aber nur die Ergebnisse verschiedener monosensoraler Kanalkombinationen für die Klassen 'Unbedeckter Boden', 'Wohnen', 'Industrie', 'Eisenbahnschienen', 'Asphalt' und 'Zentrum' gegenüber. WEBER et al. (1992) zeigen Möglichkeiten, anhand der Verknüpfung von Daten im Raster- und Vektorformat die Landnutzung und die Lebensqualität einzelner, definierter Räume in Straßburg (Frankreich) zu bestimmen. Dabei kommen insbesondere SPOT-Daten für die Analyse der Durchgrünung zum Einsatz. Die Ausgliederung von drei verschiedenen Bebauungsflächen ('Dichte Stadtfläche', 'Hochhausbebauung', 'Ein- und Zweifamilienhausbebauung') ergibt sich aus der Überlagerung des Satellitenbildes mit einer kartographischen und einer thematischen Ebene. Es wird

<sup>23</sup> Weitere Informationen gibt das Kapitel 6.



die Möglichkeit gezeigt, Raster- und Vektordaten - auch unterschiedlicher Aufnahmezeiten - mit Informationen zum urbanen System für eine gemeinsame Interpretation in einem Geographischen Informationssystem zu überlagern.

Insgesamt zeigt dieser Überblick, daß vor dem Beginn des Projektes und während seiner Laufzeit vergleichbare Untersuchungen nicht stattgefunden haben, so daß mit dieser Arbeit ein originärer Forschungsbeitrag geleistet werden soll. Dabei liegen die Besonderheiten in der Untersuchung der Erkennbarkeit von Urbanisierungsprozessen in satellitengestützten Fernerkundungsdaten, der Gegenüberstellung verschiedener Verfahren und Sensoren sowie der Herausarbeitung der Grenzen und Möglichkeiten bei der Anwendung dieser. Zudem wird versucht, zur Integration der Fernerkundung in die Praxis beizutragen.

### 3. Untersuchung der städtischen Oberflächenbedeckung mit Fernerkundungsdaten

Die Verfahren, mit Fernerkundungsdaten unterschiedliche Oberflächenbedeckungen zu analysieren, sind vielfältig und werden schon seit längerer Zeit durchgeführt.<sup>24</sup> Jedoch fehlen bisher Ansätze, die über eine monosensorale Analyse des Ist-Zustandes hinaus Aussagen zur Urbanisierung machen bzw. die diesbezüglichen Möglichkeiten und Grenzen aufzeigen.<sup>25</sup> Insbesondere der Vergleich unterschiedlicher Daten und verschiedener Methoden, sowie das Aufzeigen der Vor- und Nachteile dieser bedürfen einer Erarbeitung. Bei der Analyse unterschiedlicher Oberflächenbedeckungen macht sich der Bildverarbeiter zumeist die hohe spektrale Auflösung eines Sensors zunutze. Die Verwendung des monosensoralen Bildmaterials bietet bereits eine große Vielfalt an Informationen und ist zudem relativ kostengünstig im Vergleich zu einer Luftbildbefliegung. Jedoch haben die herkömmlichen, multispektralen Sensoren (Landsat-TM, SPOT-XS und z. T. KFA-1000) eine vergleichsweise geringe geometrische Auflösung. Hingegen ist diese bei den verfügbaren monospektralen Sensoren (SPOT-PAN, KVR-1000) größer, so daß insbesondere die für die Erkennbarkeit von urbanen Elementen wichtigen Kanten, Linien und Strukturen bei fehlender Farbinformation erkannt werden können. So stehen bei der monosensoralen Bearbeitung die Vorteile hoher spektraler Informationen bei nachteiliger geometrischer Information einerseits die Vorteile hoher geometrischer Auflösung bei fehlender spektraler Information andererseits gegenüber.

#### 3.1 Ziele

Bei der folgenden Verarbeitung von Fernerkundungsdaten der Sensoren Landsat-TM und SPOT-XS soll neben der Betrachtung der mit Veränderungen der Oberflächenbedeckung einhergehenden, mit Fernerkundungsmethoden erkennbaren Urbanisierungsprozesse und der Analyse der Unterscheidbarkeit verschiedener städtischer Oberflächenbedeckungen zudem die Erprobung verschiedener Bildverbesserungsmethoden für die SPOT-XS-Daten erfolgen. Durch das Arbeiten mit verschiedenen Filtermethoden, Texturanalysen, Hauptkomponententransformationen, Ratiobildung und dem EBIS-Klassifikator werden am Beispiel der SPOT-XS-Szene die umfangreichen Möglichkeiten der Digitalen Bildverarbeitung demonstriert und getestet. Da die meisten dieser Verfahren mit Grundkenntnissen 'automatisch', also computergestützt und damit anwenderfreundlich durchführbar sind,

<sup>24</sup> Vgl. z. B. ACHEN 1993 u. 1994; ATKINSON et al. 1985, S. 955 - 961; BAESTLEIN et al. 1988, S. I - X; BLAUROCK et al. 1986; FROTSCHER 1989, S. 75 - 87; HASSENPFUG 1987; HENGELHAUPT 1987; JENSEN 1983, S. 1571 - 1605; KERL 1992; KRÖNERT 1981, 1983, S. 47 - 56, 1986, 1991a u. 1991b; KRÖNERT et al. 1983, S. 181 - 190; MÖLLER-JENSEN 1990, S. 899 - 904; NASR et al. 1992; OLBRICH 1991, S. 50 - 52; QUIEL 1986; SINGH 1989, S. 989 - 1003; STÄTTER et al. 1994, S. 683 - 691; TOM et al. 1984, S. 193 - 207; USBECK 1989, S. 7 - 18.

<sup>25</sup> Vgl. z. B. FORSTER 1983, S. 1693 - 1707; GALEMA et al. 1991, S. 63 - 69; KRESSLER et al. 1995; MARKGRAF et al. 1981, S. 245 - 252; SMIAŁEK 1994, S. 83 - 89.



gilt es zudem zu testen, ob durch sie eine Verbesserung der visuellen Interpretation erzielt werden kann. Dies ist insbesondere dahingehend interessant, als daß diese Form der Auswertung diejenige ist, mit der die Integration der Fernerkundungsdaten in die Praxis eines z. B. Planungsbüros erfolgen kann. Andere Formen der Digitalen Bildverarbeitung setzen ein hohes Maß an Fachkenntnis und somit zumeist den Einsatz eines Spezialisten für die Bearbeitung voraus. Hierzu zählt zum Beispiel die ebenfalls vorzustellende digitale, überwachte Klassifikation. Das Kapitel 3.4.5, in dem die Möglichkeiten der Sensoren Landsat-TM und SPOT-XS verglichen werden, dient der Vervollständigung der Darstellungen.

Für die Untersuchung des Informationsgewinnes aus der multisensoralen Bildverarbeitung wird angestrebt, die Vorteile der monospektralen Sensoren mit hoher geometrischer Auflösung mit den Vorteilen der multispektralen Sensoren mit geringerer geometrischer Auflösung zu verknüpfen. So werden neue, kombinierte Bilder entstehen, die sowohl die Information der hohen geometrischen Auflösung mit Kantenstrukturen als auch die hohe spektrale Information mit der Unterscheidungsmöglichkeit verschiedener Oberflächenbedeckungen enthalten. Dabei sollen verschiedene Methodiken der Datenverschneidung ausprobiert, eine möglichst optimale Filtermethode entwickelt und zu Vergleichszwecken auch eine Klassifikation eines Verschneidungsproduktes durchgeführt werden.

### 3.2 Methodiken

Die Analyse der Erkennbarkeit von Urbanisierungsprozessen aus Landsat-TM-Daten erfolgt nach den bei HEINZ (1996a, S. 9ff.) beschriebenen Methoden. Da in dieser Arbeit hauptsächlich zu Vergleichszwecken kurz auf die Ergebnisse der Untersuchungen von Landsat-TM-Daten eingegangen wird (vgl. Kap. 3.4.5 u. 7), sollen die zugrundeliegenden Methodiken hier nicht näher spezifiziert werden.

Aufbauend auf den im Kapitel 1.6 beschriebenen Vorgehensweisen basieren die im folgenden aufgeführten Verarbeitungsmethoden für die Untersuchungen von *SPOT-XS* (vgl. KONRAD et al. 1996). - wie auch die von *Landsat-TM* (vgl. KONRAD 1995 u. Tab. 8, S. 35) - auf der Herangehensweise, ein Maximum an Information aus den Daten herauszufiltern. Dabei kommen vier Arbeitsschritte zur Anwendung, die im folgenden erklärt werden:

- Visuelle Interpretation (s. Kap. 3.4.1)
- Digitale Aufbereitung<sup>26</sup> (s. Kap.3.4.2 )
- Hierarchische Klassifikation<sup>27</sup> (s. Kap. 3.4.3)
- Klassifikation mit EBIS<sup>28</sup> (s. Kap. 3.4.4)

<sup>26</sup> Durchgeführt von KONRAD, V. und MAURER, U. am UFZ Leipzig-Halle GmbH

<sup>27</sup> Durchgeführt von KONRAD, V. und MAURER, U. am UFZ Leipzig-Halle GmbH

<sup>28</sup> Durchgeführt von KONRAD, V. und MAURER, U. am UFZ Leipzig-Halle GmbH

## Visuelle Interpretation

Die *visuelle Interpretation* erfolgt unmittelbar am Bildschirm, wodurch die Vorteile des digitalen Datenformates durch die zur Verfügung stehenden Möglichkeiten der Vergrößerungen (ZOOM-Funktion), des Ausschneidens (SUBSET-Funktion) oder Ausblendens (MASK-Funktion) der interessierenden Bildausschnitte sowie der geographischen Verknüpfung der Daten mit anderen Datensätzen - wie zum Beispiel Referenzdaten im Vektorformat (LINK-Funktion)<sup>29</sup> - genutzt werden können. Durch sie wird der Interpretationsprozeß stark vereinfacht, verkürzt und verbessert. Für weitere Ausführungen zum Ablauf einer visuellen Interpretation sei auf die Fachliteratur verwiesen - zum Beispiel LILLESAND et al. (1994, S. 471 - 480 u. 492 - 496) und LÖFFLER (1985, S. 188ff.).

Für die visuelle Interpretation der SPOT-XS-Szene wird die Kanalkombination 3, 2, 1 gewählt, die das Nahe Infrarot (Kanal 3) dem Rot, das Rot (Kanal 2) dem Grün und das Grün (Kanal 1) dem Blau zuordnet. Diese Darstellung ist am besten für die Analyse von städtischen Oberflächen geeignet, da sie für den nicht mit Satellitenbildern vertrauten Nutzer ein Bild liefert, das in seiner Farbzueisung dem eines CIR-Luftbildes ähnelt. Zudem hat die vergleichbare Kanalkombination 4, 5, 3 bei Landsat-TM - allerdings mit fehlender Information des Grüns - die beste Erkennbarkeit städtischer Elemente ergeben (vgl. HEINZ 1996a, S. 48ff.).

## Digitale Aufbereitung der SPOT-XS-Szene

Eine *digitale Aufbereitung* von Daten dient im wesentlichen der Vereinfachung einer visuellen Interpretation, verfälscht jedoch die absoluten Grauwerte bzw. die dem Pixel bei einer Klassifikation zuzuordnende Klasse und damit die statistischen Auswertungen. Diese Bearbeitungen, die häufig mit Generalisierungen einhergehen, bieten sich somit für die visuelle Interpretation und Visualisierung der Rohszene, nicht jedoch für die Vorbereitung einer rein auf spektralen Merkmalen basierenden Klassifikation an. Als Aufbereitungsschritte können verschiedene *Filter* und *statistische Berechnungen* durchgeführt werden, die keiner Referenzmaterialien und Ortskenntnisse bedürfen. Die Datenverbesserung erfolgt zumeist interaktiv und relativ schnell unmittelbar am Bildschirm.

Da SPOT-XS gegenüber Landsat-TM eine verbesserte geometrische Auflösung besitzt, bietet bereits die visuelle Interpretation die Möglichkeit, mehr Details zu erkennen als bei der Auswertung der Landsat-TM-Szene. Für eine zusätzliche Vereinfachung und Verbesserung der visuellen Interpretation - insbesondere für die bebauten Gebiete von Leipzig - werden unterschiedliche Filter ausprobiert. Zudem bietet sich bei der Auswertung die Hinzunahme der Textur an, die die Frequenz der Veränderung der Grauwerte im Luft- oder Satellitenbild ausdrückt. Sie wird auch als Klein-

<sup>29</sup> Die Funktionen bezeichnen die zugehörigen Menüs in der Bildverarbeitungssoftware ERDAS/IMAGINE.



musterung oder Feinstruktur bezeichnet und bestimmt die Rauigkeit (coarseness) oder Weichheit (smoothness) der Objekte im Bild (LILLESAND et al. 1994, S. 151 u. LÖFFLER 1994, S. 113). Nach LÖFFLER (1994, S. 113) wird sie "[...] durch unterschiedliche Reflexionsintensitäten von Erscheinungen hervorgerufen, die zu klein sind, um als Einzelobjekte abgebildet zu werden". Bereiche gleichen oder ähnlichen Inhaltes in einem Bild sind oftmals durch 'spektrale Kanten' von anderen Bildinhalten abgegrenzt. Mittels einer Texturanalyse werden diese Kanten hervorgehoben. Die Analyse unterscheidet sich von der Filterung, da nicht über eine Matrix ein Zentralwert aus den umliegenden Pixeln berechnet wird, sondern die Objekte bezüglich ihrer Textur betrachtet und abgegrenzt werden.

In einer Satellitenbildszene können nach LILLESAND et al. (1994, S. 151) durch die Texturanalyse bestimmte Inhalte, beispielsweise botanische Sachverhalte besonders betont werden. An anderer Stelle wird angeführt, daß viele Bereiche in einer Szene über weite Strecken frei von Kanten sind. Diese Bereiche haben oftmals eine einheitliche Struktur. Texturanalysen sollen dazu dienen, diese Bereiche zu segmentieren und sie somit genauer zu klassifizieren (SMITH et al. 1994).

Im vorliegenden Beispiel geht es vordergründig um die Analyse von bebauten, zumeist kleinräumig strukturierten und oftmals deutlich voneinander abgrenzbaren Bereichen, so daß eine Anwendung eines Texturfilters problematisch sein kann. Insbesondere durch die Wahl der Fenstergröße und durch Anwendung verschiedener Filter wird eine Optimierung versucht (s. Kap. 3.4.2). Zur Anwendung kommen eine *Hochpaßfilterung* in unterschiedlichen Pixelumgebungen (3 x 3 und 7 x 7) zur Hervorhebung von Unterschieden sowie - dem gegenübergestellt - eine *Tiefpaßfilterung* in vergleichbaren Pixelumgebungen für eine Glättung bzw. Homogenisierung des Datensatzes. Dabei geht es um den Test der generellen Einsatzmöglichkeit von Texturanalysen für die zugrundeliegende Thematik der Untersuchung von Urbanisierungsprozessen.

Die *Texturanalyse* selbst wird mit Hilfe der im Radarmodul (ERDAS/IMAGINE) integrierten Texturfilter probeweise auf der Basis eines Ratiokanals (s. u.) durchgeführt. Das Ziel einer solchen Filterung ist die Segmentierung unterschiedlicher Bereiche im Bild bzw. die Trennung verschiedener spektraler Bildinhalte. Zur Anwendung kommt ein *Varianzfilter* in unterschiedlichen Fenstergrößen, der Bereiche mit hohen Grauwerten und Grauwertsprüngen nach der nachfolgend aufgeführten Formel (verändert nach Erdas Inc. 1994, S. 215) identifiziert und mit Linien unterschiedlich heller Grauwerte umrandet.

$$\text{Varianz (V)} = \frac{\sum (x_{ij} - M)^2}{n - 1}$$

mit:

|          |   |                                                        |
|----------|---|--------------------------------------------------------|
| $x_{ij}$ | = | Grauwert des Pixels (ij)                               |
| $n$      | = | Anzahl der Pixel in einem Fenster                      |
| $M$      | = | Mittelwert des Fensters mit Mean = $(\sum x_{ij}) / n$ |

Weitere Algorithmen zur Texturanalyse, die ebenfalls mit unterschiedlichen Fenstergrößen erprobt werden, sind die *Mittlere Euklidische Distanz*, *Skewness* und *Kurtosis* (verändert nach Erdas Inc. 1994, S. 215f.):

$$\text{Mittlere Euklidische Distanz} = \frac{\sum [\sum_{\lambda} (x_{c\lambda} - x_{ij\lambda})^2]^{\frac{1}{2}}}{n - 1}$$

mit:

|                 |   |                                                                                 |
|-----------------|---|---------------------------------------------------------------------------------|
| $x_{ij\lambda}$ | = | Grauwert für Spektralband $\lambda$ und Pixel (ij) eines multispektralen Bildes |
| $x_{c\lambda}$  | = | Grauwert für Spektralband $\lambda$ des zentralen Pixels eines Fensters         |
| $n$             | = | Anzahl der Pixel in einem Fenster                                               |

$$\text{Skewness} = \frac{|\sum (x_{ij} - M)^3|}{(n - 1) (V)^{3/2}}$$

mit:

|          |   |                                   |
|----------|---|-----------------------------------|
| $x_{ij}$ | = | Grauwert des Pixels (ij)          |
| $n$      | = | Anzahl der Pixel in einem Fenster |
| $M$      | = | Mittelwert des Fensters (s. o.)   |
| $V$      | = | Varianz (s. o.)                   |

$$\text{Kurtosis} = \frac{\sum (x_{ij} - M)^4}{(n - 1) (V)^2}$$

mit:

|          |   |                                   |
|----------|---|-----------------------------------|
| $x_{ij}$ | = | Grauwert des Pixels (ij)          |
| $n$      | = | Anzahl der Pixel in einem Fenster |
| $M$      | = | Mittelwert des Fensters (s. o.)   |
| $V$      | = | Varianz (s. o.)                   |

Nach JENSEN (1986) ist ein in die Hauptkomponenten transformierter Datensatz den Originaldaten in der Interpretierbarkeit überlegen. Die verschiedenen Kanäle eines Datensatzes enthalten in der Regel zum Teil gleiche Grauwertinformationen. Über die *Hauptkomponententransformation* können diese mehrfach vorhandenen Grauwerte gleichen Inhaltes reduziert werden, so daß nach LÖFFLER (1994, S. 71) "[...] Durch [die] Datenreduktion [...] redundante Informationen eliminiert werden". Das Prinzip der Hauptkomponententransformation besteht darin, daß den Grauwerten ein neues Koordinatennetz zugrunde gelegt wird. Dadurch werden die Varianzen der Originaldaten voneinander unabhängig. Auch diese Anwendung wird anhand der SPOT-XS-Szene für die Analyse von städ-



tischen Bebauungsflächen überprüft, wobei die Erkennbarkeit von Objekten im Vordergrund steht<sup>30</sup>. Auf dieser Grundlage werden zudem probeweise *Filter* angewandt, um zu einer für eine Interpretation optimalen Bilddarstellung zu gelangen (vgl. o.).

Für die Schaffung einer verbesserten Interpretationsgrundlage wird darüber hinaus die Verwendung eines *Ratiobildes* geprüft. Dieses bietet sich an, weil die Stadtgebiete einen engräumigen Wechsel von Grünflächen und Bebauung aufweisen und die Durchgrünung einen Faktor der unterschiedlichen Versiegelungsdichten darstellt. Ein Ratio beachtet die unterschiedlichen Strahlungen der bebauten und unbebauten Flächen und kompensiert zusätzlich unterschiedliche Beleuchtungseffekte auf einem Objekt. Dadurch wird die spektrale Information der Daten hervorgehoben (LÖFFLER 1984, S. 68 u. 190 u. LILLESAND et al. 1994, S. 567f.).

Für das Ratiobild werden der einfache *Vegetationsindex (VI)* sowie der *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)* nach den nachfolgend aufgeführten Formeln berechnet:

$$VI = \frac{x_{ij\lambda 3}}{x_{ij\lambda 2}}$$

mit:  $x_{ij\lambda 2}$  = Grauwert des Pixels (ij) für Spektralband  $\lambda$ , Kanal 2  
 $x_{ij\lambda 3}$  = Grauwert des Pixels (ij) für Spektralband  $\lambda$ , Kanal 3

$$NDVI = \frac{x_{ij\lambda 3} - x_{ij\lambda 2}}{x_{ij\lambda 3} + x_{ij\lambda 2}}$$

mit:  $x_{ij\lambda 2}$  = Grauwert des Pixels (ij) für Spektralband  $\lambda$ , Kanal 2  
 $x_{ij\lambda 3}$  = Grauwert des Pixels (ij) für Spektralband  $\lambda$ , Kanal 3

### Hierarchische Klassifikation

Wie bei der Klassifikation der Landsat-TM-Szenen (s. HEINZ 1996a, S. 12 - 19) wird auch bei der von SPOT-XS nach dem Verfahren herangegangen, nicht vorab definierte Klassen zu extrahieren, sondern zu überprüfen, welche und wieviele Klassen sich trennen lassen. Da die für die Landsat-TM-Szenen erprobte Methode der hierarchischen Klassifikation zu guten Ergebnissen geführt hat, wird nach der selbigen auch bei SPOT-XS vorgegangen. Dabei werden unterschiedliche *überwachte* und *unüberwachte Klassifikationsschritte* sowie das Arbeiten mit *Masken* miteinander verknüpft. (s. Abb. 2, S. 29; vgl. HEINZ 1996a, S. 11). Auf diese Art und Weise wird ein Maximum an Information unterschiedlicher, für das Erkennen von Urbanisierungsprozesse relevanter Oberflächen-

<sup>30</sup> Für weitere Informationen zum Ablauf einer Hauptkomponententransformation sei auf die Literatur verwiesen - z. B. LILLESAND et al. (1994, S. 572ff. u. 596ff.)



bedeckungen bei der Klassifikation aus den Rohdaten extrahiert. Für eine Verbesserung der auftretenden Probleme bei der Zuweisung der Klasse Großblockbebauung wird eine Erweiterung der Klassifikationsmethode versucht. Diese erfolgt durch die Erstellung und visuelle Wertung verschiedener *Zusatzkanäle*, die auf einer *Ratio*-, *Hauptkomponenten*- und *Texturerstellung* basieren (s. o. - Digitale Aufbereitung der SPOT-XS-Szene). Letztendlich wird ein *Ratiokanal* des Vegetationsindices als beste Variante zur Ergänzung des Ausgangsdatensatzes angesehen und als synthetischer vierter Kanal an diesen angehängt. Die in der Abb. 2 (s. S. 29) dargestellten Klassifikationsschritte bleiben von dieser Ergänzung unbeeinträchtigt.

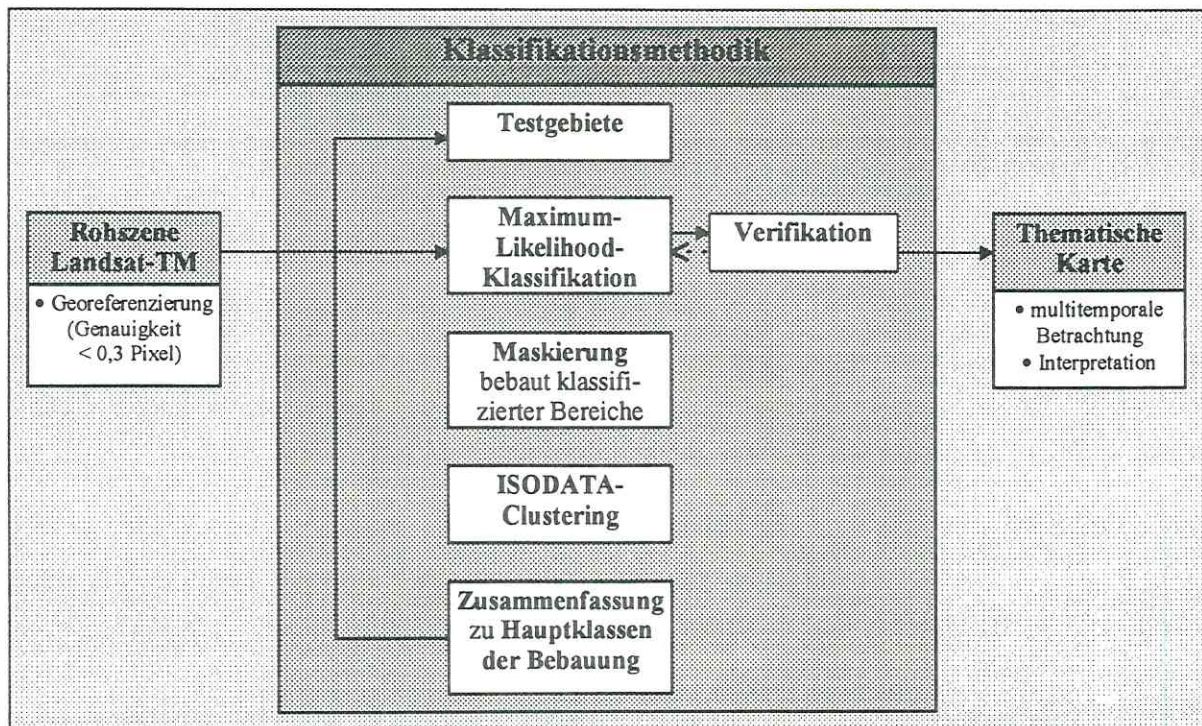


Abb. 2: Methode der hierarchischen Klassifikation (HEINZ 1996a, S. 11)

### Klassifikation mit EBIS

Neben den oben beschriebenen Methoden bietet das Zusatzmodul EBIS (Geosystems GmbH (o. J.)) zur Bildverarbeitungssoftware ERDAS/IMAGINE eine weitere Möglichkeit zur Informationsextraktion. EBIS (= Evidence-based Interpretation of Satellite Images) ist ein von LOHMANN (1991) entwickelter, spezieller Algorithmus zur Klassifikation von Satellitenbildern mit texturbestimmten Klassen. Das Verfahren ist anhand der Kartierung von Waldbeständen in Deutschland überprüft worden, die im Satellitenbild ein hohes Maß an Textur zeigen (LOHMANN 1992, S. 72). Da aber auch Stadtflächen Textur aufweisen, dient die Untersuchung der SPOT-XS-Szene zur Überprüfung einer Übertragbarkeit.



Im Gegensatz zu den herkömmlichen Klassifikationsverfahren, die

" [...] nur einen Merkmalsraum zulassen und voraussetzen, daß die Grauwerte aller zu identifizierenden Objektklassen einer vorgegebenen statistischen Verteilungsfunktion folgen [...]",

bietet EBIS die Möglichkeit, mehrere zu definierende Merkmalsräume - sogenannte 'sources of evidence' (LOHMANN 1992, S. 72) oder 'feature spaces' (Geosystems GmbH (o. J.)) - bei der Klassifikation zu betrachten. Für weitere Ausführungen sei auf die oben genannte Literatur und auf LOHMANN (1994) verwiesen.

Für die Erprobung der Anwendung des EBIS-Klassifikators auf die SPOT-XS-Szene zur Analyse der urbanen Flächen werden die Möglichkeiten, die das Modul bietet, unterschiedlich kombiniert und beispielhaft getestet. Neben der *Fenstergröße* werden auch die *Grauwertanzahl* und die *räumliche Anordnung der Pixel* im betrachteten Bildausschnitt variiert, sowie mit *Masken* gearbeitet. Verschiedene Fenstergrößen werden in Kombination mit verschiedenen Graustufen getestet. Je größer die Fenstergröße und damit die verwendete Matrix, desto höher wird der Generalisierungsgrad der Klassen. Die Graustufen geben die Grauwertspannen an, die durch die Klassifikation zusammengefaßt werden sollen. Mit steigender Anzahl an Grauwerten und größeren Fenstern steigt die Rechenzeit. Es können fünf Methoden zur Bearbeitung der Histogramme der Trainingsgebiete gewählt werden. Davon berücksichtigen vier Histogramme die räumliche Anordnung der Pixelwerte innerhalb der gewählten Fenstergröße (co-occurrence). Da Informationen über die räumliche Verteilung der Pixel berücksichtigt werden, können Klassen getrennt werden, die zwar ein ähnliches Histogramm haben, jedoch eine unterschiedliche Textur. Der Algorithmus scheint damit ideal für die Bearbeitung von durch Textur geprägten Szenen.

Der Input-Datensatz der SPOT-XS-Szene (vgl. Abb. 3, S. 36) wird zunächst auf der Grundlage des hierarchischen Klassifikationsergebnisses (vgl. Abb. 9, S. 49) ausgeschnitten und maskiert. In die weitere Bearbeitung werden nur die Oberflächenbedeckungen der Klassen der Sonstigen Grünflächen und der Flächen der Bebauung einbezogen. Dabei ist nicht so sehr die thematische Zuordnung zu einer Verdichtung der Oberflächenbedeckung ausschlaggebend. Vielmehr interessieren die Abgrenzungen der Bebauung von den Grünflächen sowie die Selektion der Strukturen, zu denen das linienförmige Abbildungsverhalten der Ein- und Zweifamilienhaussiedlungen führt. Da EBIS nur Trainingsgebiete akzeptiert, die im zu klassifizierenden Bereich liegen, werden im zu betrachtenden Bildausschnitt je zwei Trainingsgebiete definiert. Für die Überprüfung der Qualität dieser und für die Schaffung einer Vergleichsbasis wurde eine *Maximum-Likelihood-Klassifikation* durchgeführt.

Bei der Anwendung von EBIS werden dann *unterschiedliche Kombinationen* berechnet, von denen die Fenstergrößen von 5 x 5 Pixeln mit acht Grauwerten und von 7 x 7 Pixeln mit zehn Grauwerten

am besten geeignet sind. Auf dieser Tatsache aufbauend werden zwei unterschiedliche Extreme der Anwendung vorgeführt. Zum einen wird nur ein Feature Space definiert, der einen Kanal mit einem nicht räumlich arbeitenden Histogrammparameter in einer Fenstergröße von 7 x 7 Pixeln sowie zehn verschiedenen Grauwerten bearbeitet. Dem gegenüber wird eine weitere Berechnung mit vier Feature Spaces mit sämtlichen co-occurrence-Histogrammen, allen drei Kanälen in ebenfalls der Fenstergröße von 7 x 7 Pixeln und mit zehn verschiedenen Grauwerten durchgeführt.

Ein weiterer Versuch dient der Klärung, ob die Verwendung mehrerer Trainingsgebiete die Ergebnisse beeinflusst, wozu die gleichen Parametereinstellungen bei EBIS mit einer unterschiedlichen *Anzahl an Trainingsgebieten* im betrachteten Ausschnitt berechnet werden.

Zudem erfolgt eine *Texturfilterung* des Bildes, um die Ergebnisse von EBIS besser interpretieren zu können. Dieser wird zu Vergleichszwecken eine Texturfilterung in einem agrarisch geprägten Gebiet des Umlandes gegenübergestellt.

Für die *Verschneidung von Bilddaten*<sup>31</sup> (s. Kap. 3.5) gibt es neben der RGB-IHS-RGB-Transformation (s. u.) verschiedene softwareseitig zur Verfügung stehende Methoden, die auf ihre Vor- und Nachteile hin überprüft werden. Die beste Methode wird daraufhin für weitere Verknüpfungen benutzt. Dabei werden die verfügbaren Bilddaten unterschiedlicher Sensoren miteinander kombiniert, um so die Aussagekraft in verschiedenen Maßstabsbereichen nachvollziehen zu können. Die Überprüfung der Erkennbarkeit verschiedener Oberflächenstrukturen steht dabei ebenso im Vordergrund wie die Überprüfung der Daten auf die Erkennbarkeit von mit Veränderungen der Oberflächenbedeckung einhergehenden Urbanisierungsprozessen. Als Bearbeitungsausschnitte werden zum einen ein Bereich im Norden der Stadt Leipzig und zum anderen die Kernstadt gewählt, so daß verschiedene, für Leipzig repräsentative Oberflächenbedeckungen erfaßt und miteinander in ihrem Abbildungsverhalten verglichen werden können.

Die *geometrische Entzerrung*, die nach dem Bild-zu-Bild-Verfahren zwecks Fehlerminimierung durchgeführt werden sollte, stellt für alle Datenverknüpfungen die Grundvoraussetzung dar (s. HEINZ 1998a und 1996c). Je genauer sie erarbeitet wird, desto besser ist auch das anschließende Ergebnis der Datenverknüpfung. Danach werden der gewünschte *Bildausschnitt* sowie die beste *Kanalkombination* im multispektralen Bild bestimmt. Beachtet werden muß, daß nicht nur die Ergebnisdateien sehr groß werden, sondern daß auch sehr speicherintensive temporäre Dateien während der Berechnungen entstehen. Ein entsprechender Speicherplatz von mehreren 100 Megabyte muß bereits bei kleinen Bildausschnitten zur Verfügung stehen. Er steigt zudem mit zu-

---

<sup>31</sup> Datensatz A: hohe geometrische und geringe spektrale Auflösung; Datensatz B: geringe geometrische und hohe spektrale Auflösung



nehmender geometrischer Auflösung (vgl. Tab. 37, S. 206). Als beste Kombination für die Fragestellung werden für Landsat-TM die Kanäle 4, 5 und 3 ausgewählt. Der multispektrale Datensatz SPOT-XS besteht von vornherein aus drei Kanälen, die alle in die Bearbeitung einfließen. Es folgt für die interaktiv durchführbare RGB-IHS-RGB-Transformation (s. u.) das *Resampling der Pixel* des multispektralen Bildes auf die Größe der Bildelemente des höher geometrisch auflösenden Bildes. Bei den drei softwareseitig angebotenen Methoden des sogenannten '*Resolution Merge*' wird dies automatisch durchgeführt. Dabei wird als Resampling-Technik das *Nearest-Neighbor-Verfahren* angewandt, da es als einziges die Grauwerte unverändert läßt. Das Entstehen neuer synthetischer Grauwerte wird so verhindert.

Speziell für städtische Fragestellungen lohnt sich eine vorherige *Kantenfilterung* des SPOT-PAN- bzw. des monospektralen Kanals zur Verstärkung seiner geometrischen Information. Die hierfür beste Methode ist mit einer fünf mal fünf *Filtermatrix* sowohl für SPOT-PAN als auch für KVR-1000 zu erzielen, die im zentralen Pixel einen sehr hohen Wert, in den unmittelbaren vier Nachbarn geringere positive, in den diese umgebenden Pixeln unterschiedliche negative und in den Ecken Nullwerte aufweist. Auf diese Weise können insbesondere die Kanten- und Linieninformationen optimal für eine weitere Bildverarbeitung hervorgehoben werden.

Anschließend werden die im ERDAS/IMAGINE-Modul zur Verfügung stehenden Methoden zum '*Resolution Merge*' durchgeführt und miteinander verglichen. Die Möglichkeit der Datenverknüpfung nach der '*Principal Component Method*' arbeitet auf der ersten Hauptkomponente als ein Input-Raster-Bild (s. o. - Hauptkomponententransformation). Hingegen basiert die '*Multiplicative Method*' auf einer einfachen arithmetischen Integration zweier Rasterbasen (Erdas Inc. 1994, S. 174):

$$[ GW_{\text{multispectral\_image}} ] \times [ GW_{\text{high res. image}} ] = GW_{\text{new\_multispectral\_image}}$$

Bei der '*Brovey Transform Method*' werden alle Bänder nach der folgenden Formel bearbeitet (ERDAS/IMAGINE-On-Line-Help):

$$\begin{aligned} [ GW_{B1} / GW_{B1} + GW_{B2} + GW_{Bn} ] \times [ GW_{\text{high res. image}} ] &= GW_{B1\_new} \\ [ GW_{B2} / GW_{B1} + GW_{B2} + GW_{Bn} ] \times [ GW_{\text{high res. image}} ] &= GW_{B2\_new} \end{aligned}$$

etc.

B = Band

Im Gegensatz zu diesen sehr komplexen Methoden können bei der interaktiv durchführbaren *RGB-IHS-RGB-Transformation* die Prozesse kontrolliert und beeinflußt werden. Dazu wird zunächst das multispektrale Bild aus dem RGB- (= Rot, Grün, Blau) in den *IHS-Raum* - in die Farbhelligkeit

(= Intensity), den Farbton (= Hue) und die Farbsättigung (= Saturation) - überführt. Es entsteht ein synthetisches dreikanaliges Bild, in dem das 'I' durch den hoch geometrisch auflösenden, monospektralen und gefilterten Kanal ersetzt wird. Danach erfolgt die Wandlung des Datensatzes zurück in den RGB-Raum (s. HEINZ 1998a und 1996c). Das Ergebnis ist ein dreikanaliges Bild, das in seiner Farbgebung zum Beispiel bei der Verschneidung von Landsat-TM und SPOT-PAN dem eines CIR-Luftbildes ähnelt. Die spektralen Informationen des multispektralen, gering geometrisch auflösenden Ausgangsbildes bleiben weitgehend erhalten und werden durch die Kanten- und Linieninformation von Häuserkomplexen und Straßen des monospektralen, hoch geometrisch auflösenden Bildes ergänzt.

Zwecks Methodenvergleiches erfolgen zusätzlich eine *hierarchische Klassifikation* nach der beschriebenen Methode (s. o.) sowie ein *visueller temporaler Vergleich* der Verschneidungsprodukte Landsat-TM mit SPOT-PAN von 1992 und 1994 zur Überprüfung der Erkennbarkeit von Momentanen Bebauungsgebieten.

Eine *multitemporale Untersuchung*, wie sie beispielhaft auf der Basis von Landsat-TM durchgeführt werden konnte (vgl. HEINZ 1996a, S. 53ff.), muß aufgrund der fehlenden Datenlage infolge schlechter Witterungen während der Satellitenüberflüge in den Jahren 1992, 1993 und 1995 bei SPOT-XS unterbleiben. Es wird jedoch an den entsprechenden Stellen auf die diesbezüglichen Möglichkeiten verwiesen bzw. werden diese diskutiert.

### 3.3 Untersuchung von Landsat-TM-Daten

Die erfolgten Untersuchungen zur Anwendbarkeit von Landsat-TM-Daten für die Analyse von mit Veränderungen der Oberflächenbedeckung einhergehenden Urbanisierungsprozessen haben interessante Ergebnisse insbesondere auf der mittleren Maßstabsebene 1:50 000 ergeben. Die dabei ausgetesteten Grenzen liegen insbesondere in der geometrischen Auflösung von 30 mal 30 Metern des Landsat-TM. Zudem werden aufgrund vieler Mischpixel Informationen unterdrückt oder erfahren infolge der spektralen Auflösung ihre Begrenzung (vgl. KONRAD 1995, S. 59ff.). Da zu der Überprüfung von Landsat-TM-Daten bereits zahlreiche Publikationen von der Autorin verfaßt worden sind, sei an dieser Stelle auf diese verwiesen (s. Tab. 8, S. 35).

Weitere Ausführungen sind unter den Kapiteln 3.4.5 und 7 zu finden. Der Vollständigkeit halber werden die wesentlichen Ergebnisse der Untersuchungen mit Landsat-TM im folgenden kurz zusammengefaßt. Sie sind HEINZ (1996a, S. 16, 19, 20, 34, 47ff., 56, 58, 62) entnommen.



- Zur Analyse der städtischen Oberflächenbedeckung ist eine hierarchische Klassifikation als gut anwendbare Methode entwickelt worden.
- Das klassifizierte Bild läßt die Lage der Stadt, ihre räumliche Ausprägung und unterschiedliche Verdichtung in neun definierten Klassen erkennen.
- Die Klassifikation erlaubt eine gute visuelle und flächenhafte Darstellung der Verteilung der Stadtklassen.
- Kleine Elemente einer Stadt, Industrie- und Gewerbegebiete sowie Verkehrsflächen werden in der Klassifikation nicht abgebildet.
- Erkennbar ist ein Gradient der Versiegelungsdichte von der Innenstadt hin zu den Randgebieten.
- Die Überlagerung des Landsat-TM-Bildes mit der administrativen Stadtgrenze gibt einen Aufschluß über die Stadt-Umland-Trennung sowie die Dichte und Geschlossenheit der Stadt.
- Der Vergleich der multitemporalen, klassifizierten Landsat-TM-Szenen weist Veränderungsflächen der Flächennutzung aus, die als Veränderungen in den jeweils zugeordneten Klassen zu verstehen sind.
- Die Zuweisung der Bildelemente zu einzelnen Klassen kann bei unterschiedlichen Aufnahmezeitpunkten differieren, da zum einen echte Nutzungsänderungen und zum anderen unterschiedliche Bildelementzuweisungen bei gleichgebliebener Flächennutzung (Phänologie, Georeferenzierung) vorkommen können.
- Das Ergebnis der multitemporalen Analyse ist eine Kartenserie der Veränderungen in den vier Bebauungsklassen von 1992 bis 1994.
- Die Veränderungen der Flächennutzung sind graphisch und statistisch dargestellt.
- Den Trend der Flächennutzungsänderungen aufzuzeigen, ist im klassifizierten Satellitenbild bei multitemporalem Vergleich möglich, eine Übertragung auf Einzelpixel jedoch nicht.
- Klassifikationsfehler heben sich im Zeitvergleich offensichtlich auf.
- Es wurden die Klassifikationen mit der Karte der Strukturtypen und mit der Karte der Flächennutzung überlagert und Hierarchien z. B. des Verdichtungs- und Durchgrünungsgrades dieser Flächeneinheiten abgeleitet.
- Bei Raster-GIS-Verschneidungen können definierte Flächeneinheiten mit einer ökologischen Komponente ergänzt werden.
- Die Vergleiche der Klassifikation mit den Stadtstrukturtypen und der Flächennutzung sind aufgrund der unterschiedlichen Klasseneinteilungen und -typen schwierig. Die differierenden Generalisierungsgrade behindern einen Test der Güte der Übereinstimmung.
- Der Vergleich der Klassifikationen mit den Rohszenen hat für beide Datenprodukte unterschiedliche Einsatzbereiche und Vor- bzw. Nachteile ergeben. Sie ergänzen sich gegenseitig.
- Beim temporalen, visuellen Vergleich der Rohszenen können Momentane Bebauungsgebiete erkannt und direkt am Bildschirm digitalisiert werden. Die Mindestgröße für deren Erkennbarkeit liegt bei sechs Pixeln.
- Probleme bereiten das Zuordnungsprinzip der Wahrscheinlichkeit bei der Klassifikation, die spektrale Ähnlichkeit von Objekten, die Mischpixel, die spektrale Inhomogenität der Stadt, die geometrischen Lagebeziehungen, die unterschiedlichen Bahnparameter des Satelliten, die spektralen Unterschiede zwischen verschiedenen Aufnahmezeitpunkten durch Veränderungen der Sensorkalibrierung und der Atmosphäre, die Phänologie und die geometrische Auflösung.

- Auch der grob auflösende Landsat-TM kann bei der Raumstrukturanalyse und für die Charakterisierung bestimmter ökologischer Grundeigenschaften der Stadtlandschaften eingesetzt werden.

**Tab. 8: Publikationen zum Thema 'Untersuchung von Urbanisierungsprozessen mit Landsat-TM-Daten' (eigener Entwurf)**

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Titel:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| HEINZ, V. (1996): Die Flächennutzung der Stadt Leipzig im klassifizierten Landsat-TM-Bild. - (= UFZ-Bericht Nr. 9/1996), Leipzig                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| HEINZ, V. (1996): Leipzig im Satellitenbild. - (= Leipziger Blätter, Sonderheft 1996, S. 82 - 85), Leipzig                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| HEINZ, V. (1996): Nutzung von Fernerkundungsdaten zur Untersuchung von Urbanisierungsprozessen und ihrer ökologischen Folgen. - In: Marek, K.-H. (Hrsg.): Anwendung der Weltraum-Fernerkundung in Verwaltung und Wirtschaft. - (= Proceedings des ILA-Kolloquiums 1996, Berlin, 15. Mai 1996, S. 117 - 125), Berlin / Potsdam                                                                                     |
| HEINZ, V. (1998): Ausgewählte Fernerkundungsmethoden zur Erfassung von Urbanisierungsprozessen. - In: Banzhaf, E.; Kasperidus, H. (Hrsg.): Erfassung und Auswertung der Landnutzung und ihrer Veränderungen mit Methoden der Fernerkundung und geographischen Informationssystemen im Raum Leipzig-Halle-Bitterfeld. - (= UFZ-Bericht Nr. 2/1998, S. 37 - 52), Leipzig                                            |
| HEINZ, V. (1998): Erkennbarkeit von Urbanisierungsprozessen in klassifizierten Landsat-5-TM Bildern am Beispiel der Stadtregion Leipzig. - In: Banzhaf, E.; Kasperidus, H. (Hrsg.): Erfassung und Auswertung der Landnutzung und ihrer Veränderungen mit Methoden der Fernerkundung und geographischen Informationssystemen im Raum Leipzig-Halle-Bitterfeld. - (= UFZ-Bericht Nr. 2/1998, S. 113 - 126), Leipzig |

### 3.4 Untersuchung von SPOT-XS-Daten

#### 3.4.1 Visuelle Interpretation

Die für die Analyse von städtischen Oberflächen auf der Grundlage von SPOT-XS-Daten gewählte Kanalkombination 3, 2, 1 (vgl. Kap. 1.6) ergibt ein Bild, welches in der Farbzueweisung einem CIR-Luftbild ähnelt und somit relativ einfach zu interpretieren ist. Zudem ermöglicht der deutliche Farbunterschied zwischen der in Rottönen dargestellten Vegetation und der in Grau-Blautönen erscheinenden Bebauung eine schnelle Orientierung im Bild. Eine Abgrenzung der Stadt vom Umland ist ebenso möglich, wie die Unterscheidung unterschiedlich stark durchgrünter Bereiche innerhalb der bebauten Flächen. Dementsprechend lassen sich bei SPOT-XS zur visuellen Auswertung von Landsat-TM vergleichbare Aussagen machen (s. HEINZ 1997a; vgl. HEINZ 1996a, S. 48 - 53, vgl. Kap. 3.3).

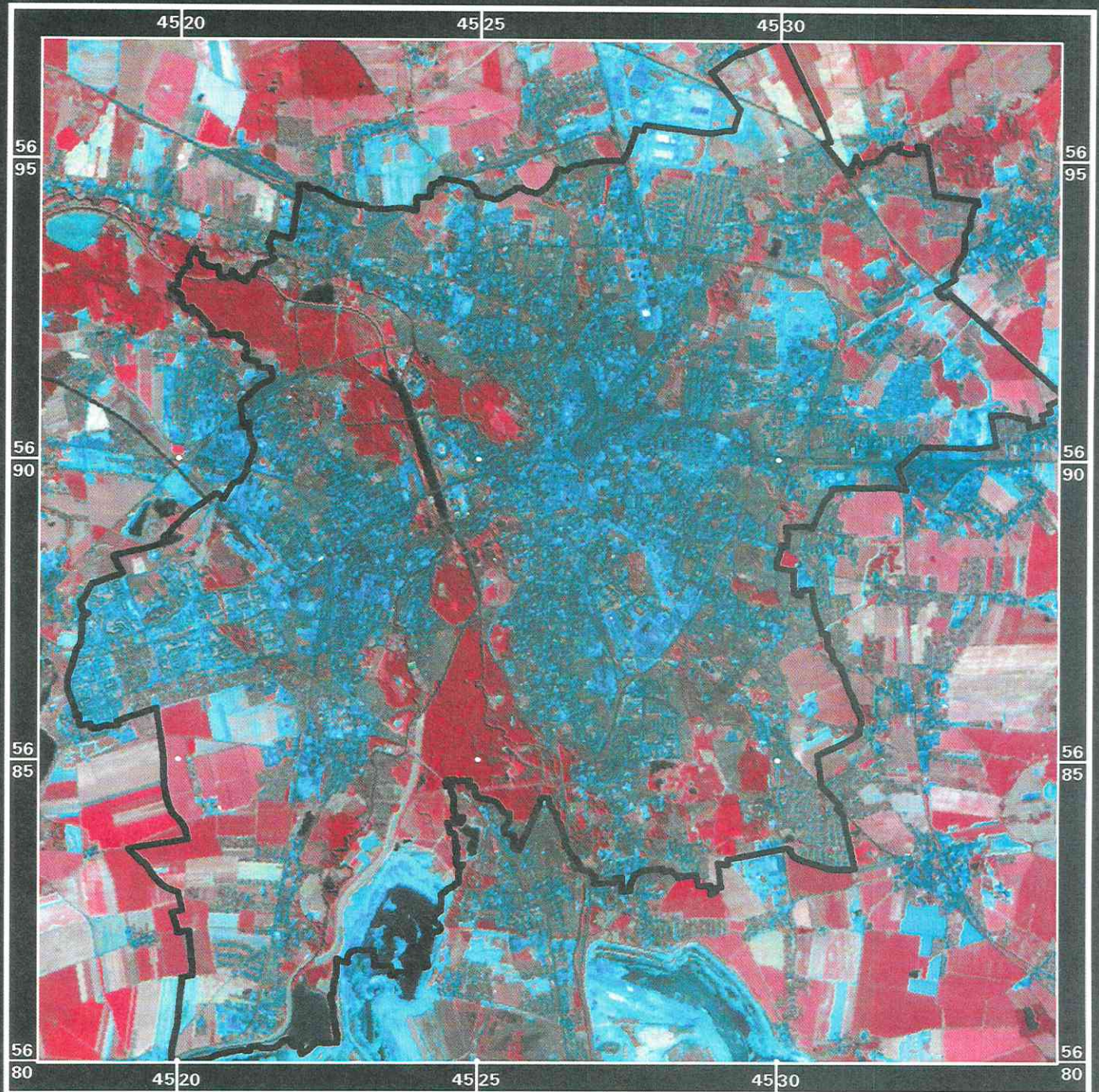
Auf der Abb. 3<sup>32</sup> (s. S. 36) ist die Stadt in ihrer achsenförmigen, räumlichen Ausprägung mit sich deutlich abhebenden Vegetationsflächen in ihrer Umgebung erkennbar. So kann visuell eine Stadt-Umland-Trennung erfolgen. Innerhalb der bebauten Flächen lassen sich anhand der Strukturen

<sup>32</sup> Nächste Seite (S. 36) - Abb. 3: SPOT-XS-Szene von Leipzig (Juni 1994)



# SPOT-XS-Bild der Stadt Leipzig

Juni 1994; Kanalkombination 3, 2, 1



0 2 Kilometer



Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Digitale Bildverarbeitung und Kartographie:  
Dipl.-Geogr. V. Heinz



gefördert durch:  
Deutsche Agentur für  
Raumfahrtangelegenheiten  
(DARA GmbH)



unterschiedliche Bereiche differenzieren. Stark verdichtete Gebiete werden von weniger Vegetation durchzogen als gering verdichtete Flächen. Dementsprechend nimmt vom Stadtkern hin zu den Randbereichen die Reflexion im Nahen Infrarot zu und im Rot ab.

Aufgrund ihrer Struktur und des hohen Durchgrünungsgrades grenzen sich die überwiegend in den Randbereichen der Stadt und des Auenwaldes befindlichen Gebiete mit dominanter Ein- und Zweifamilienhausbebauung sowie Kleingärten gut von den anderen Bebauungsarten ab. Während sich die Einfamilienhaussiedlungen anhand ihres linienhaften Abbildungsverhaltens und des Nebeneinanders von roten und blaugrauen Pixeln erkennen läßt, weisen die Kleingartenanlagen relativ homogene Flächen ohne innere Struktur mit einer dunkleren rot-grauen Farbgebung auf. Hingegen treten die Gebiete mit Großblockbebauung - z. B. Grünau und Paunsdorf - durch deutlich hellere Graublautöne mit inhomogenem Charakter hervor. Die Lage und Ausrichtung der Gebäude werden durch die ausgeprägten Gebäudeformen mit ihrer winkelförmigen Bebauung sichtbar.

Während Grünau größere, weit auseinanderstehende Gebäude zeigt, unterscheidet sich davon Paunsdorf mit seinen vergleichsweise kleinen, dicht aneinanderstehenden Gebäuden mit einem geringeren Durchgrünungsgrad.

Der Großblockbebauung ähnliche Grautöne haben die Gewerbegebiete Leipzigs (z. B. Alte Messe) mit einer jedoch deutlich anderen, blockigeren Struktur mit einem charakteristischen Nebeneinander verschieden reflektierender, zumeist rechtwinkliger und sehr großer Dachflächen. Dementsprechend können annähernd schwarze neben sehr hellen Pixeln auftreten. Altindustriegebiete hingegen sind aufgrund der Funktionsänderung bei gleichgebliebenem Spektralverhalten der Dachflächen nicht erkennbar.

Der verdichtete Kern der Stadt bildet sich als ein Bereich ähnlicher Inhomogenität wie die der Großblockbebauung, aber bei geringerer Ausnutzung des Farbraumes ab. Umgeben wird er von einem schmalen Vegetationsband, das im Gegensatz zum Landsat-TM-Bild deutlich sichtbar ist, sowie daran sich anschließend ebenfalls inhomogene Bereiche der sich dunkler abbildenden, vorwiegend städtischen Block- und Mischbebauung.

Momentane Bebauungsgebiete lassen sich anhand homogener, hellblauer Pixel erkennen. Da aber auch Flächen ohne Vegetation dieses Abbildungsverhalten zeigen, bedürfen sie einer Verifikation zum Beispiel mittels einer Ortsbegehung oder Überprüfung mit Hilfe eines Luftbildes. Gerade im Bau befindliche Häuser erscheinen in den Bebauungsgebieten als weiße, zumeist rechtwinklige Pixelscharung. Solche fallen - wie auch bei der Landsat-TM-Szene - zum Beispiel im Norden bzw.



Nordosten der Stadt auf. Es ist aufgrund der dortigen guten Infrastrukturanbindungen das Vorzugsgebiet der ersten Urbanisierungsphase. Eine Überprüfung der Mindestgröße für das Erkennen der Bebauungsgebiete im multitemporalen Vergleich muß aufgrund der fehlenden Datenlage unterbleiben. Da aber diese Gebiete prinzipiell erkennbar sind und zudem die Abgrenzung im temporalen Vergleich gegenüber den Flächen ohne Vegetation möglich wird, ist abzuleiten, daß die Erkennbarkeit besser als bei Landsat-TM bei einer kleineren Mindestflächengröße möglich ist.

### 3.4.2 Digital aufbereitete SPOT-XS-Szene

Die Anwendung verschiedener Filter auf die SPOT-XS-Szene (s. Kap. 3.2) hat weder bei einer *Hochpaß-* noch bei einer *Tiefpaßfilterung* zu einer Optimierung der Erkennbarkeit von Oberflächenstrukturen in urbanen Räumen geführt. Zu methodischen Vergleichszwecken ist in der Abb. 4<sup>33</sup> (s. S. 39) die SPOT-XS-Szene nach der Anwendung eines Tiefpaßfilters derjenigen nach der Anwendung eines Hochpaßfilters gegenübergestellt.

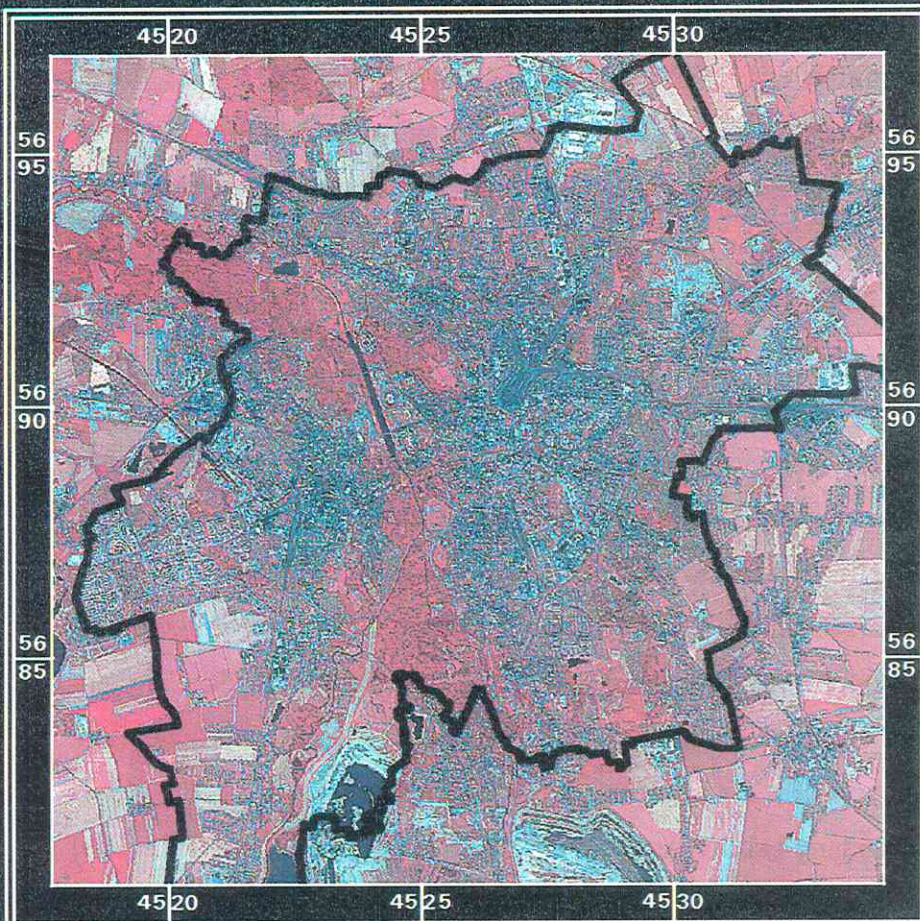
Die Hochpaßfilterung in einer 3 x 3 Pixelumgebung soll Unterschiede in der Szene hervorheben. Das Ergebnis wirkt aber insbesondere im Stadtbereich zu inhomogen, als daß ein Informationszugewinn entstanden wäre. Die Filterung zur Betonung der Bildinhalte erbringt auch bei der Anwendung einer 7 x 7 Filtermatrix keinen Informationszugewinn. Die Kanten treten deutlich auf Kosten des restlichen Bildinhaltes hervor. Im Stadtbereich herrscht eine zu hohe Kantendichte. Zum Beispiel werden im nicht gefilterten Bild erkennbare Straßenzüge (vgl. Abb. 3, S. 36) überdeckt.

Die Tiefpaßfilterung wurde zur Prüfung durchgeführt, ob die Erkennbarkeit von Objekten innerhalb der bebauten Flächen durch die Homogenisierung oder Glättung des Datensatzes gesteigert werden kann. Diese Verbesserung konnte durch diese Methode nicht erreicht werden.

Insgesamt läßt sich aus dieser kurzen Darstellung ableiten, daß die Anwendung konventioneller Filtertechniken im Maßstabsbereich einer SPOT-XS-Szene zu keiner Verbesserung des Ergebnisses führt. Die urbanen Bereiche der Stadt Leipzig und der umliegenden Dörfer sind sehr kleinräumig strukturiert, so daß eine Filterung eher zur Unterdrückung wichtiger Informationen führt. Es wird deutlich, daß nicht jede sogenannte Verbesserung im Zuge der Anwendung digitaler Bildverarbeitungsmethoden - das sogenannte 'image enhancement' - auch zu einer Verbesserung der Interpretierbarkeit in bezug auf die Urbanisierung von Leipzig führt.

<sup>33</sup> Nächste Seite (S. 39) - Abb. 4: Tiefpaß- und Hochpaßfilterung der SPOT-XS-Szene (eigener Entwurf); Korrektur: 'SPOT-PAN 1994' in 'SPOT-XS'

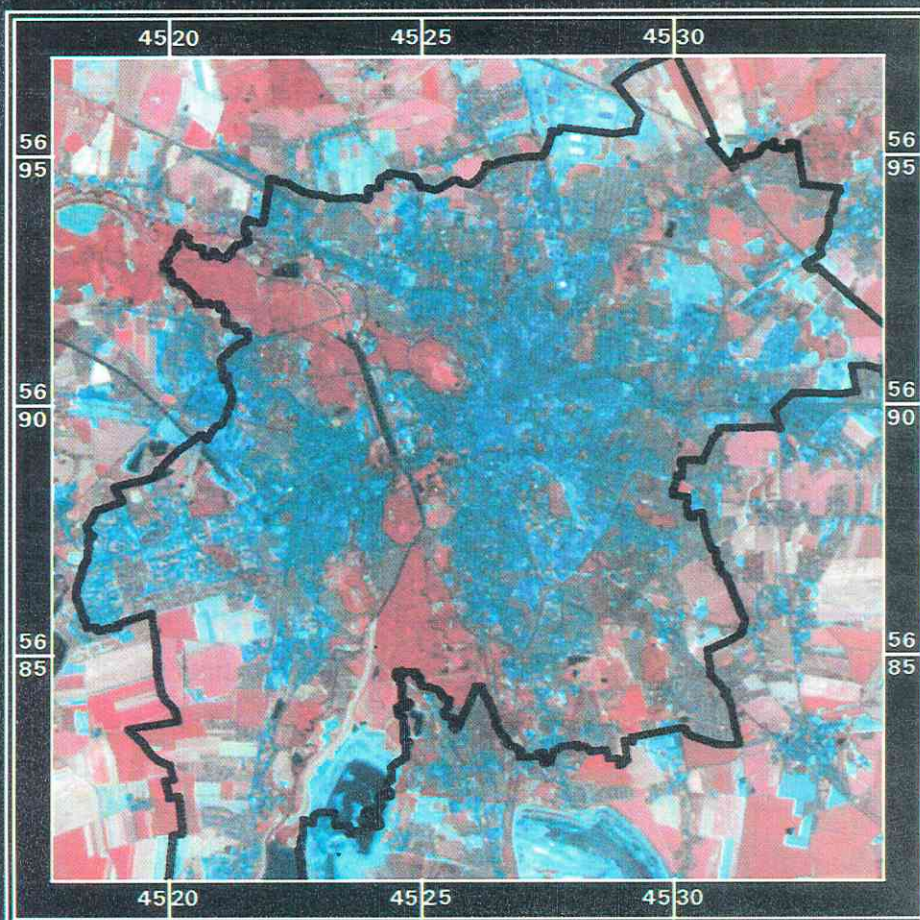




## SPOT-XS

hochpaßgefiltert

für die Stadt Leipzig



## SPOT-PAN 1994

tiefpaßgefiltert

für die Stadt Leipzig





Für die Untersuchung der Segmentierung unterschiedlicher Bereiche im Bild bzw. die Trennung verschiedener spektraler Bildinhalte mittels einer *Texturanalyse* können auf der Basis eines *Ratio-kannels* mit einem *Varianzfilter* der Fenstergröße  $3 \times 3$  die besten Ergebnisse erzielt werden (s. Abb. 5<sup>34</sup>, S. 41; vgl. Kap. 3.2). Im Ergebnisbild werden Bereiche mit hohen Grauwerten und Grauwertsprüngen identifiziert und von Linien unterschiedlich heller Grauwerte umrandet. Da infolge der geometrischen Auflösung von SPOT-XS auch viele homogene Pixel und somit Einzelstrukturen abgebildet werden, läßt sich anhand dieser Abbildung nur die Flächengröße unterscheiden. So erscheinen die landwirtschaftlich genutzten Felder im Umland von Leipzig als große Flächen, die deutlich bei der Filterung umgrenzt werden. Eine - nur für die Stadt-Umland-Abgrenzung interessante - Schlagabgrenzung wird möglich. Im bebauten Bereich hingegen ist das Bild stark inhomogen. Viele kleine und Kleinstbereiche sind von Linien unterschiedlicher Grauwerte umgeben. Hinweise hierdurch auf unterschiedliche Oberflächenbedeckungen können nicht gewonnen werden. Durch die Scharung der Linien in den bebauten Gebieten kann lediglich auf das Vorhandensein einer Bebauung allgemein geschlossen werden. Diese ist bereits im Rohbild erkennbar (vgl. Kap. 3.4.1). Ein Ergebnis dieser Art, mit dem die Kantenstärke in einer definierten Umgebung dargestellt wird, hat eine nützliche Anwendung bei der Analyse der Überbauungsdichte. Hierzu sei auf die Kapitel 5.3 und 5.4 verwiesen.

Ein weiteres Texturbild, das mit dem *Kurtosisfilter* der Matrix  $3 \times 3$  Pixel berechnet worden ist, hatte extrem differenzierte Texturmerkmale, die visuell nicht auflösbar waren. Eine Variation der Matrixgröße kam zu keinem besseren Ergebnis. Die Anwendung des Operators der *Mittleren Euklidischen Distanz* erbrachte ein dem Varianzbild ähnliches Ergebnis. Zu einer echten Bereicherung der visuellen Interpretation konnte aber auch dieses Bild nicht beitragen. Es sind nur für weitere Bildverarbeitungsschritte nützliche Zusatzinformationen (vgl. oben). Die Abb. 5 (s. S. 41) dient als ein Beispiel für die Ergebnisse der Texturanalysen.

In dem mehrkanaligen Farbkomposit der *Hauptkomponententransformation* (s. Abb. 6<sup>35</sup>, S. 43) sind die ersten drei Hauptkomponenten den Farben Rot, Grün und Blau zugeordnet. Im Gegensatz zur beschriebenen Kanaldarstellung des Rohbildes von SPOT-XS (vgl. Kap. 3.2 - Visuelle Interpretation) erscheint das Hauptkomponentenbild in einer unrealistischen Farbgebung. Die Interpretation für einen Nichtfachmann wird dadurch erschwert, obwohl die wichtigste Information der drei Eingangskanäle zusammengefaßt und entsprechend optimal aufgespreizt dargestellt wird. Dieses ist

<sup>34</sup> Nächste Seite (S. 41) - Abb. 5: Varianzgefiltertes Ratiobild der SPOT-XS-Szene der Stadtregion Leipzig

<sup>35</sup> Übernächste Seite (S. 43) - Abb. 6: Hauptkomponentenbild der SPOT-XS-Szene von Leipzig



# Varianzfilterung

des Ratiobildes der SPOT-XS-Szene von Leipzig



Geringer  
Grauwertunterschied



Mittlerer  
Grauwertunterschied



Stadtgrenze

Mittlerer  
Grauwertunterschied

Hoher  
Grauwertunterschied



Kilometer



Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Digitale Bildverarbeitung und Kartographie:  
Dipl.-Geogr. V. Heinz, Dr. U. Maurer



gefördert durch:  
Deutsche Agentur für  
Raumfahrtangelegenheiten  
(DARA GmbH)



# Hauptkomponentenbild der SPOT-XS-Szene von Leipzig



0 2 Kilometer



Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Digitale Bildverarbeitung und Kartographie  
Dipl.-Geogr. V. Heinz, Dr. U. Maurer



gefördert durch:  
Deutsche Agentur für  
Raumfahrtangelegenheiten  
(DARA GmbH)



in der Darstellung visuell nur zum Teil erkennbar. Während beispielsweise die Acker-, Wald- und Wasserflächen deutlich wiedergegeben werden, weist die Interpretation im urban geprägten Raum Schwierigkeiten auf. Details, wie sie visuell im Rohbild erkennbar sind, lassen sich im Hauptkomponentenbild nicht wiederfinden. Hierzu zählen insbesondere kleine Elemente, wie die Brücken über das Elsterstaubecken, die rechtwinklige Anordnung des Straßennetzes im Süden der Stadt (Connewitz), die Neubauten des Quelle-Versandhauses im Bereich der Neuen Messe (Norden der Stadt) sowie das innerstädtische Grün, zu dem auch der Stadtring zählt. Allerdings sind Einzelstraßen zum Teil schlechter und zum Teil besser als im Rohbild zu erkennen. Verschieden stark verdichtete Bereiche können ebenfalls schwerer visuell identifiziert werden als in der Rohszene. Die Lage der Industrie- und Gewerbegebiete ist anhand des Nebeneinanders unterschiedlicher, zumeist rechtwinkliger Bereiche mit blauer und hellblauer Farbgebung erkennbar. Allerdings erfordert das Bild eine gewisse Einarbeitungszeit, da sich in diesen Bereichen die Farbtöne wiederholen, in denen die übrigen bebauten Flächen dargestellt sind. Nur anhand der Größe der homogen abgebildeten Flächen ist eine Unterscheidung möglich. Auch der Kernbereich der Stadt ist schlechter differenzierbar als im Rohbild. Hingegen hat das Hauptkomponentenbild einen wesentlichen Vorteil für die Interpretation der von Großblockbebauung geprägten Gebiete, da die Lage und Ausrichtung der Häuser verdeutlicht werden.

Ein weiteres Problem bereitet die Abtrennung der Ein- und Zweifamilienhausbebauung von den Kleingärten. Während im Rohbild eine Trennung aufgrund einer erkennbaren inneren Struktur eingeschränkt möglich ist (vgl. Kap. 3.4.1), bietet das Hauptkomponentenbild dies nicht. Hinzu kommt, daß einige Ackerflächen sich in gleicher Farbgebung abbilden.

Die Einzeldarstellung der drei ersten Hauptkomponenten (s. Abb. 7<sup>36</sup>, S. 45) zeigt im wesentlichen die eben genannten Vor- und Nachteile. Jedes Bild enthält für sich spezifische Informationen, die in der Farbdarstellung überlagert werden. Keine der drei Darstellungen hat einen so großen Informationsgehalt, als daß sie den der Rohszene überwiegen würde.

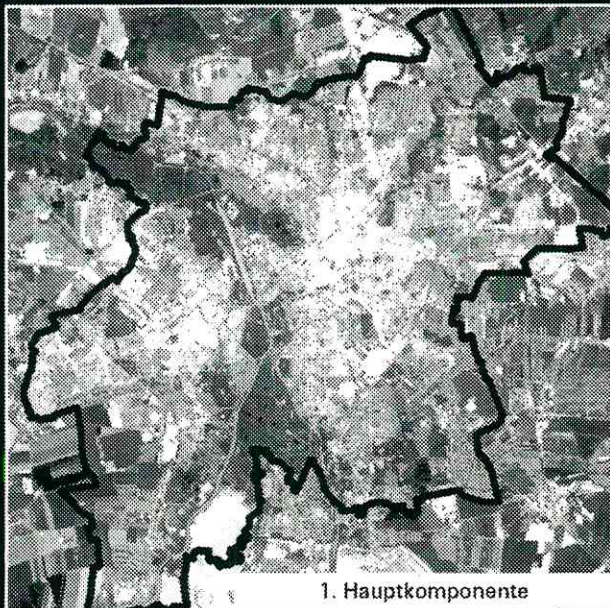
Folglich bietet das Hauptkomponentenbild für die visuelle Interpretation von bebauten Flächen und somit auch für die Analyse von Urbanisierungsprozessen weniger Information als das Rohbild. Der einzige Vorteil liegt in der Erkennbarkeit der Struktur der Großblockbebauung. Somit bietet sich die Hauptkomponententransformation auch nicht als ein besserer Eingangsdatensatz für eine Klassifikation an. Lediglich die erste Hauptkomponente könnte an den Rohdatensatz für eine Klassifikation

<sup>36</sup> Nächste Seite (S. 45) - Abb. 7: Hauptkomponentenbild der SPOT-XS-Szene von Leipzig in der Einzelkanaldarstellung

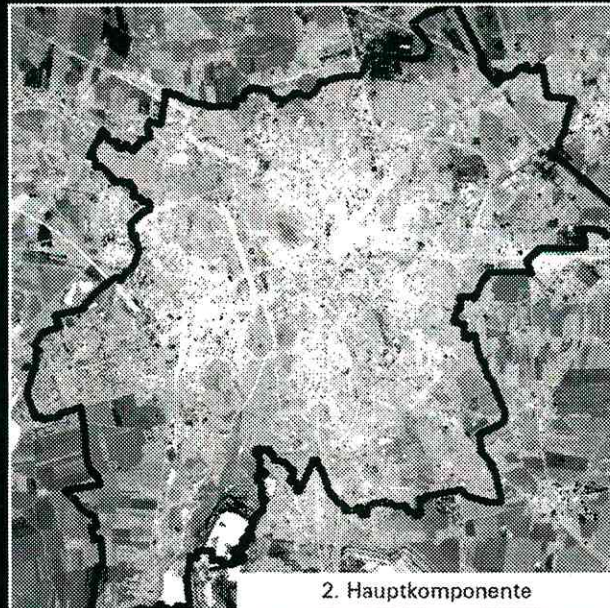


# Hauptkomponentenbild

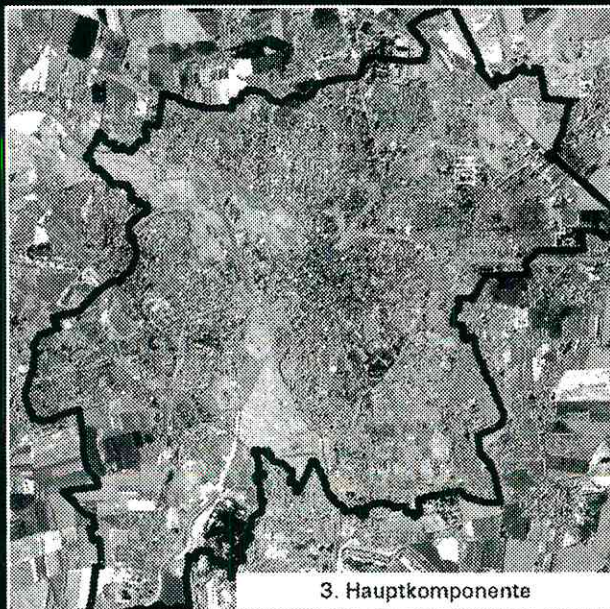
der SPOT-XS-Szene von Leipzig: Einzelkanalardarstellung der Hauptkomponenten



1. Hauptkomponente



2. Hauptkomponente



3. Hauptkomponente

0 5 Kilometer



Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Digitale Bildverarbeitung und Kartographie:  
Dipl.-Geogr. V. Heinz



gefördert durch:  
Deutsche Agentur für  
Raumfahrtangelegenheiten  
(DARA GmbH)

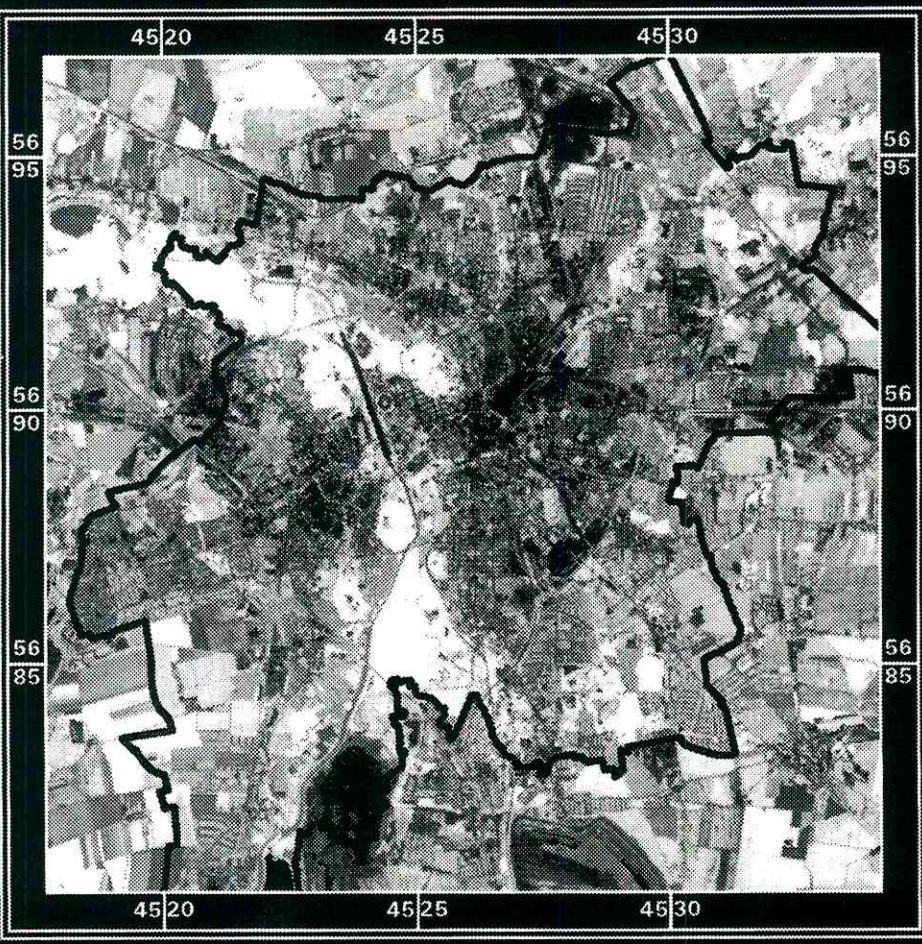


angehängt werden, wodurch für das Ergebnis aber nur eine minimale Verbesserung zu erwarten wäre. Für die Analyse der Urbanisierung bietet sie ebenfalls keinen beachtlichen Vorteil. Die *Ratiobilder* des NDVI und des VI (s. Kap. 3.2) sind in der Abb. 8<sup>37</sup> (s. S. 47) dargestellt. Der für die Differenzierung der Vegetation und als Maß für die Durchgrünung in der Vergangenheit oft angewandte *NDVI* (s. LILLESAND et al. 1994, S. 506) zeigt alle Strukturen, die auch das *VI*-Bild aufweist. Darüber hinaus ist eine innere Strukturierung des Auenwaldes, die im *VI*-Bild nicht zu finden ist, erkennbar. Da aber bei dieser methodischen Untersuchung die Unterscheidungsmöglichkeit bebauter Flächen im Vordergrund steht, wird dem *VI* eindeutig der Vorzug gegeben. Der Index deckt insbesondere in den bebauten Flächen eine größere Grauwertspanne ab, so daß diese besser zu differenzieren sind. Obwohl sich keine einzelnen Häuser identifizieren lassen, ergänzt dieses Bild die Interpretation hinsichtlich der Stadtstrukturen. Die unterschiedliche Anordnung des Straßennetzes wirkt deutlicher. Insbesondere in den Bereichen, wo die Straßen relativ breit (z. B. Connewitz), bzw. die Häuser relativ klein (Ein- und Zweifamilienhausbebauung) sind, können die Strukturen eindeutig erkannt werden. Infolge der unterschiedlichen spektralen Eigenschaften zwischen Dachflächen, Straßenbelägen und angrenzenden Grünflächen werden die Straßenzüge abgebildet. Eine innere Unterscheidung zwischen den durch Ein- und Zweifamilienhausbebauung geprägten, unterschiedlich aufgebauten Flächen ist genauso möglich, wie die Abgrenzung dieser gegenüber den Kleingärten (vgl. Schleußig und Siedlung Grünau). Während bei den Gartensiedlungen das linienhafte Abbildungsverhalten fehlt, können in den bewohnten Siedlungen deutlich Unterschiede festgestellt werden. Anhand der Grauwerte und des Nebeneinanders unterschiedlicher Pixel können Aussagen zu einem unterschiedlichen Durchgrünungsgrad abgeleitet werden. Zum Beispiel ist die Siedlung Grünau deutlich stärker durchgrünt, als die Ein- und Zweifamilienhausbebauung im Süden der Neuen Messe.

Allerdings ist eine eindeutige Stadt-Umland-Trennung in diesem Bild schwieriger als bei der visuellen Interpretation des Rohbildes (vgl. Abb. 3, S. 36). Aufgrund der Grautondarstellung und des hohen Durchgrünungsgrades in den locker besiedelten Randbereichen der Stadt sind die Übergänge zu den angrenzenden Feldflächen unterschiedlich starker Durchgrünung relativ fließend. Weiterhin lassen sich die im Rohbild erkennbaren Industrie- und Gewerbegebiete in diesem Bild nur mit Vorkenntnis in ihrer Lage identifizieren. Sie erscheinen in sehr dunklen Grauwerten nahezu ohne Durchmischung von hellen, auf Durchgrünung hinweisenden Pixeln. Auch der Stadtkern bildet sich undeutlich ab. Seine sehr dunklen Grauwerte weisen auf seinen geringen Grünanteil hin. Der innerstädtische Grüngürtel hingegen läßt sich auch in kleinen und mittleren Maßstäben selektieren.

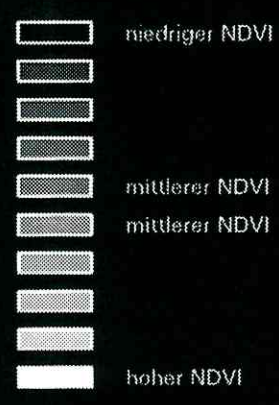
<sup>37</sup> Nächste Seite (S. 47) - Abb. 8: Vegetationsindices für das SPOT-XS-Bild von Leipzig (eigener Entwurf); Korrektur: 'VI der Stadt Leipzig [...] der Strukturtypen' in 'VI der Stadt Leipzig, Basis SPOT-XS'





# NDVI der Stadt Leipzig

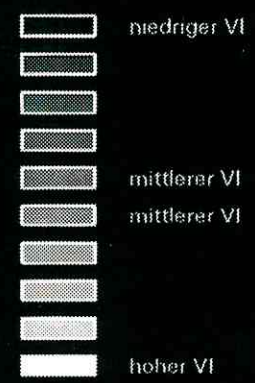
Basis SPOT-XS



# VI der Stadt Leipzig

Basis SPOT-XS

innerhalb der  
Flächenabgrenzungen  
der Strukturtypen





Diese Ergebnisse für die Vegetationsindices lassen folgern, daß sie eine Bereicherung bei der Interpretation darstellen, wenn die Struktur der Stadt nachvollzogen werden soll. Das Erkennen von Urbanisierungsprozessen auf dieser Basis ist mit gewissen Einschränkungen denkbar, kann aber aufgrund der fehlenden Datenlage nicht nachvollzogen werden. Veränderungen im Zuge von Neubauten würden sich in einem erkennbaren, neuen Straßennetz auf vorheriger Fläche relativ hoher Grauwerte im visuellen, multitemporalen Vergleich widerspiegeln. Momentane Bebauungsgebiete sind hingegen deutlicher in der Rohbilddarstellung erkennbar, da sie wegen der fehlenden Vegetationsbedeckung als große Fläche dunkler Grauwerte ohne erkennbare Struktur erscheinen. Sie ähneln den Industrie- und Gewerbegebieten. Erst bei einem temporalen Datenvergleich, bei dem die Szenen mehrere Jahre auseinander liegen, können abgeschlossene Baumaßnahmen mit den Vegetationsindices erkannt werden. Dabei wird eine erfolgte, relativ starke Durchgrünung vorausgesetzt.

Zudem bietet die Datenüberlagerung mehrerer Aufnahmen des selben Gebietsausschnittes die Möglichkeit, Veränderungen durch die Zuweisung je eines Aufnahmezeitpunktes zu einer Farbe anhand der Farbänderung zu erkennen. Flächen ohne Veränderung erhalten entsprechend der additiven Farbmischung einen Grauton. Mit Urbanisierungsprozessen einhergegangene Veränderungen hingegen zeigen sich in der dem Zeitpunkt der Veränderung zugewiesenen Farbe in unterschiedlicher Helligkeit und Intensität in Abhängigkeit von der Art und Stärke der Veränderung. Dies setzt neben dem Vorhandensein der entsprechenden Datensätze auch eine Atmosphärenkorrektur voraus (vgl. Kap. 1.6).

### 3.4.3 Hierarchische Klassifikation

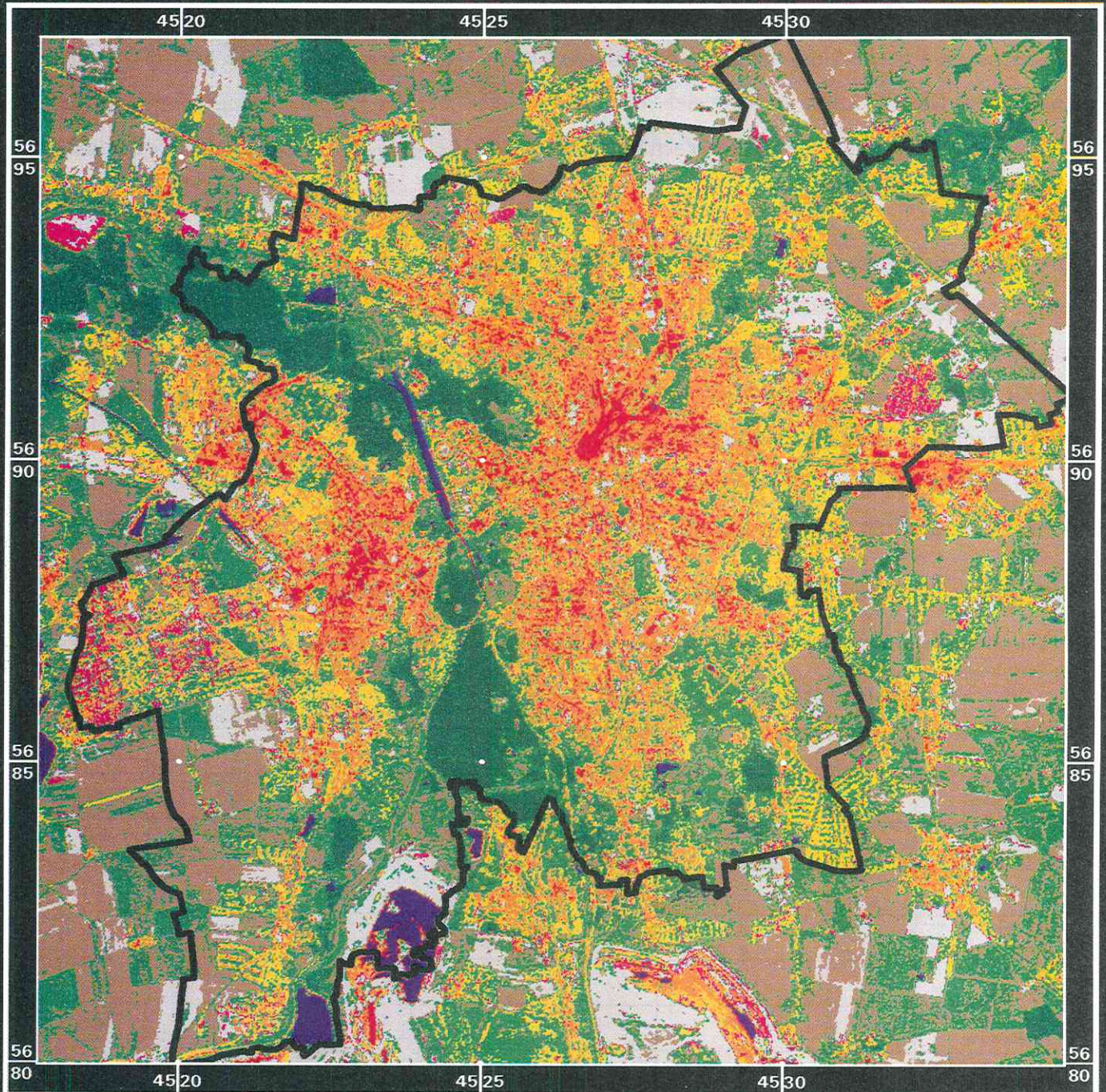
Das Ziel der Klassifikation, die Elimination möglichst vieler trennbarer 'land-cover'-Klassen innerhalb der bebauten Fläche, kann auch bei der SPOT-XS-Szene mit der auf die Landsat-TM-Szene erfolgreich angewandten hierarchischen Klassifikationsmethode (vgl. HEINZ 1996a, S. 11; s. Kap. 3.2) erreicht werden. Das erste Ergebnis läßt ebenfalls neun Klassen der Oberflächenbedeckung mit einer Genauigkeit von 86,7 % (für die Trainingsgebietswahl (LILLESAND et al. 1994, S. 613)) unterscheiden (s. Abb. 9<sup>38</sup>, S. 49 u. Tab. 9, S. 50). Wie bereits im Kapitel 3.2 erwähnt, liegt ein Defizit in der Zuordnung der Pixel zu den Flächen der Großblockbebauung vor. Dies läßt sich aufgrund der geringen Flächenanteile nur schwer mit der Genauigkeitsüberprüfung nachvollziehen, wird aber bei der visuellen Interpretation deutlich. Insbesondere der Vergleich der flächenhaften, prozentualen Verteilung der Klassen der Oberflächenbedeckung weist auf die deutlichen Unterschiede zwischen beiden Herangehensweisen - Klassifikation ohne und mit angehängtem

<sup>38</sup> Nächste Seite (S. 49) - Abb. 9: Hierarchische Klassifikation der SPOT-XS-Szene für die Stadtregion Leipzig



# Hierarchische Klassifikation

Basis: SPOT-XS (Kanäle 3, 2, 1)



- |                                                                                     |                                               |                                                                                     |                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
|  | Wasserflächen                                 |  | Großblockbebauung             |
|  | Waldflächen                                   |  | Flächen hoher Verdichtung     |
|  | Sonstige Grünflächen                          |  | Flächen mittlerer Verdichtung |
|  | Ackerflächen                                  |  | Flächen geringer Verdichtung  |
|  | Flächen ohne Vegetation zum Aufnahmezeitpunkt |                                                                                     |                               |

0 2 Kilometer



Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Digitale Bildverarbeitung und Kartographie:  
Dipl.-Geogr. V. Heinz, Dr. U. Maurer



gefördert durch:  
Deutsche Agentur für  
Raumfahrtangelegenheiten  
(DARA GmbH)



Ratiokanal - hin (s. Abb. 10, S. 51). Demzufolge wird die Mehrzahl der als Großblockbebauung klassifizierten Pixel den Flächen ohne Bebauung zugewiesen, wenn ein Ratiokanal angehängt wird. Aus der Tab. 9 (s. S. 50) geht dieses Problem hingegen nicht hervor. Es zeigt sich nur die vergleichsweise große Unsicherheit in der Zuweisung der Klasse Sonstige Grünflächen. Die visuelle Analyse der Klassifikation im Vergleich mit Referenzdaten läßt die Fehlzusweisungen in der Klasse der Großblockbebauung deutlicher nachvollziehen. Viele Ackerflächen werden als Großblockbebauung klassifiziert.

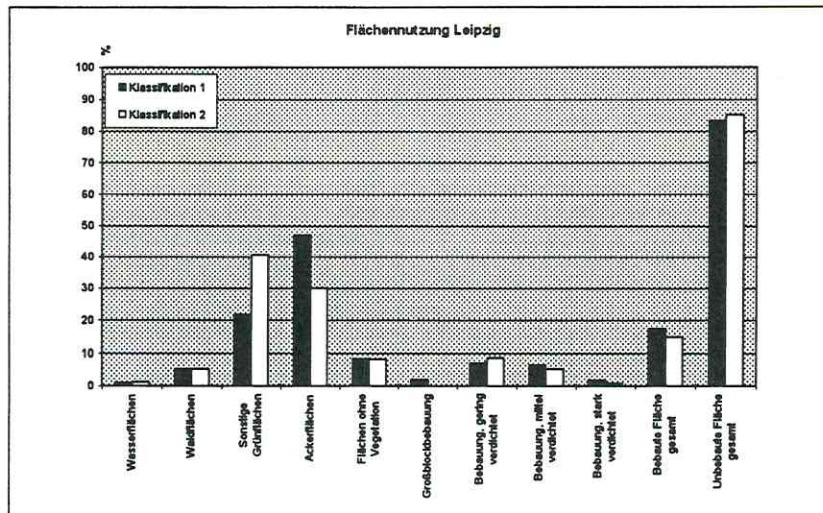
Eine Verbesserung dieses Problems bei SPOT-XS kann durch die Hinzunahme des Ratiokanals eines normalen Vegetationsindices (VI) zur Klassifikation erreicht werden. Das Ergebnis ist detaillierter und um 0,7 % genauer als beim Anhängen eines Kanals mit einem NDVI. Dieser Wert darf nicht als absolut betrachtet werden, sondern beruht zum Beispiel auf der anders verteilten, zufälligen und unterschiedlichen Anzahl an Stichproben. Trotz der Verbesserung der Genauigkeit bei den Sonstigen Grünflächen und der Verschlechterung bei den bebauten Flächen<sup>39</sup> ist das Ergebnis insgesamt als gut für die Erkennbarkeit von bebauten und deren Trennbarkeit von unbebauten Flächen einzuschätzen.

Tab. 9: Genauigkeitsüberprüfung der Klassifikation von SPOT-XS (eigene Berechnung)

| Klassifikation SPOT-XS        | Wasserflächen | Waldflächen | Sonstige Grünflächen | Ackerland | Flächen ohne Vegetation | Großblockbebauung | Flächen geringer Verdichtung | Flächen mittlerer Verdichtung | Flächen hoher Verdichtung | Nutzer-genauigkeit [%] |
|-------------------------------|---------------|-------------|----------------------|-----------|-------------------------|-------------------|------------------------------|-------------------------------|---------------------------|------------------------|
| Wasserflächen                 | 4             |             |                      |           |                         |                   |                              |                               |                           | 100                    |
| Waldflächen                   |               | 22          |                      |           |                         |                   |                              |                               |                           | 100                    |
| Sonstige Grünflächen          |               | 4           | 64                   | 8         |                         |                   | 8                            | 2                             |                           | 74                     |
| Ackerland                     |               |             | 10                   | 172       | 4                       |                   | 4                            |                               |                           | 92                     |
| Flächen ohne Vegetation       |               |             | 4                    | 4         | 26                      |                   |                              |                               |                           | 76                     |
| Großblockbebauung             | -             |             | 2                    |           |                         | 8                 |                              |                               |                           | 80                     |
| Flächen geringer Verdichtung  |               |             | 2                    |           |                         |                   | 24                           | 2                             |                           | 86                     |
| Flächen mittlerer Verdichtung |               |             |                      |           |                         |                   |                              | 24                            | 2                         | 92                     |
| Flächen hoher Verdichtung     |               |             |                      |           |                         |                   |                              | 2                             | 8                         | 80                     |
| Erzeugergenauigkeit [%]       | 100           | 85          | 76                   | 93        | 87                      | 100               | 75                           | 80                            | 80                        | 86,7                   |

<sup>39</sup> Diese ist im visuellen Vergleich nicht nachzuvollziehen.





**Abb. 10: Vergleich der Hierarchischen Klassifikation (1) mit der um einen Ratiokanal erweiterten Klassifikation (2) - (eigene Berechnung)**

Obwohl die bessere geometrische Auflösung des SPOT-XS eine Erhöhung der trennbaren Klassen vermuten läßt, wird dies nicht für die bebauten Flächen erreicht. Die Erwartung, daß mit zunehmender Auflösung weniger Klassen der Oberflächenbedeckung in bebauten Bereichen unterschieden werden können (HEINZ 1996a, S. 60), wird bestätigt. Dies betrifft somit die Großblockbebauung, die auf engem Raum nebeneinander die gleichen spektralen Informationen wie für die Ackerflächen, Flächen ohne Vegetation, Sonstigen Grünflächen und Flächen verschiedener Verdichtung zeigt.

Zudem weist die geringere Genauigkeit der Klassen unterschiedlicher Verdichtung auf ein weiteres Problem hin. Mit zunehmender geometrischer Auflösung werden weniger Mischpixel und dementsprechend mehr homogene Pixel erfaßt. Dies führt zu einer Erschwernis bei der Trennbarkeit unterschiedlich stark verdichteter Flächen. Unterschiedliche Bebauung kann demzufolge ebenfalls schwerer getrennt werden, da der Sensor die zumeist spektral einheitlich erscheinenden Dachflächen erfaßt. Demzufolge ist auch das schlechtere Ergebnis bei der Genauigkeitsüberprüfung für die Klassen der Bebauung realistischer als beim ersten Klassifikationsversuch. Eine Anpassung der Klassenbenennung kann aber nicht vorgenommen werden, da mit gleichen Klassen unterschiedliche - zum Beispiel Struktur- - Typen erfaßt werden.

Das in der Abb. 11<sup>40</sup> (s. S. 52) dargestellte Ergebnis läßt durch die Thematisierung eine deutlichere Stadt-Umland-Trennung zu als die visuelle Interpretation von SPOT-XS. Wie bei der Klassifikation der Landsat-TM-Szene (vgl. HEINZ 1996a, S. 12 - 19) können innerhalb der bebauten Fläche drei Bereiche unterschiedlicher Verdichtung mit einer rein verbalen, thematischen Zuordnung

<sup>40</sup> Nächste Seite (S. 52) - Abb. 11: Hierarchische Klassifikation der SPOT-XS-Szene, ergänzt um einen Ratiokanal für die Stadtregion Leipzig



# Hierarchische Klassifikation

Basis: SPOT-XS (Kanäle 3, 2, 1 und Ratiokanal)



- |                                                                                     |                                               |                                                                                     |                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
|  | Wasserflächen                                 |  | Flächen hoher Verdichtung     |
|  | Waldflächen                                   |  | Flächen mittlerer Verdichtung |
|  | Sonstige Grünflächen                          |  | Flächen geringer Verdichtung  |
|  | Ackerflächen                                  |                                                                                     |                               |
|  | Flächen ohne Vegetation zum Aufnahmezeitpunkt |                                                                                     |                               |

0 2 Kilometer



Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Digitale Bildverarbeitung und Kartographie:  
Dipl.-Geogr. V. Heinz, Dr. U. Maurer



gefördert durch:  
Deutsche Agentur für  
Raumfahrtangelegenheiten  
(DARA GmbH)



klassifiziert werden. Die Flächen der höchsten Verdichtung befinden sich im Innenstadtbereich und werden von den Flächen mittlerer und geringer Verdichtung umgeben. Ihre konzentrische Anordnung läßt einen Gradienten der Versiegelungsdichte vom Stadttinneren zu den Randbereichen hin ableiten, den bereits die visuelle Interpretation erkennen ließ (vgl. Abb. 3, S. 36). Aufgrund der Kleinstrukturierung und der Mischpixel in diesen drei 'Stadtklassen' können sie entsprechend klassifiziert werden. Jedoch zeigt sich, daß durch die höhere geometrische Auflösung weniger Mischpixel, hingegen mehr homogene Pixel erfaßt werden. Dies zeichnet sich zum Beispiel in der deutlicheren Struktur im innerstädtischen Bereich ab. Insbesondere die auffällig rechtwinklig angeordneten Straßenzüge im Süden der Stadt (Connewitz) sowie die innerstädtischen Grünflächen werden sichtbar. Schwieriger als bei der klassifizierten Landsat-TM-Szene lassen sich deswegen die Stadt vom Umland trennen und die konzentrisch angeordneten Bereiche unterschiedlich stark verdichteter Bereiche der Stadt erkennen. Zudem wird die Abtrennung der bebauten von den unbebauten Flächen in dieser Szene schwieriger, da die meisten umgebenden Acker- und Grünflächen infolge des Phänologiezustandes als Grünfläche klassifiziert werden. So werden die Übergänge zwischen dem Umland und der Stadt eher fließend und unscharf.

Die Großblockbebauung kann - im Gegensatz zur visuellen Interpretation - spektral nicht selektiert werden (s. o.). Eine Identifikation wird durch eine Raster-GIS-Verknüpfung des Datensatzes mit zum Beispiel dem der Strukturtypen (BÖHM et al. 1996 u. 1994) möglich, wodurch die Vektordaten durch die Information des ausgewiesenen Verdichtungsgrades ergänzt werden. Die Tab. 10 (s. S. 53) veranschaulicht die Ergebnisse für zwei Großblockbebauungsgebiete sowie einer Ein- und Zweifamilienhausbebauung.

*Tab. 10: Klassifikationsergebnis für verschiedene Strukturtypen (eigene Berechnung)*

|                                    | <b>Grünau<br/>Großblockbebauung<br/>[ha]</b> | <b>Paunsdorf<br/>Großblockbebauung<br/>[ha]</b> | <b>Grünau<br/>Ein- und Zweifamilien-<br/>haussiedlung [ha]</b> |
|------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| <b>Wasserflächen</b>               | 0.00                                         | 0.00                                            | 0.00                                                           |
| <b>Waldflächen</b>                 | 0.25                                         | 0.00                                            | 0.38                                                           |
| <b>Sonstige Grünflächen</b>        | 12.23                                        | 2.68                                            | 37.59                                                          |
| <b>Ackerflächen</b>                | 26.84                                        | 19.35                                           | 15.64                                                          |
| <b>Flächen ohne Vegetation</b>     | 9.33                                         | 7.46                                            | 4.69                                                           |
| <b>Bebauung, gering verdichtet</b> | 32.58                                        | 29.25                                           | 33.61                                                          |
| <b>Bebauung, mittel verdichtet</b> | 18.36                                        | 41.26                                           | 8.09                                                           |
| <b>Bebauung, stark verdichtet</b>  | 0.25                                         | 0.00                                            | 0.00                                                           |



Die von Großblockbebauung dominierten Bereiche in Grünau weisen nahezu doppelt so viele Flächenanteile mit geringer als mit mittlerer Verdichtung auf. Paunsdorf hingegen zeigt eine entgegengesetzte Verteilung. Die Bereiche mit gering und mit mittel stark verdichteter Bebauung verhalten sich zueinander im Verhältnis von eins zu zwei. Beide Male sind die Anteile an der stark verdichteten Bebauung nur gering. Grünau hat im Klassifikationsergebnis anteilmäßig mehr Acker- und Sonstige Grünflächen als Paunsdorf.

Die 87 % Gesamtgenauigkeit, die als Genauigkeit der Trainingsgebiete anzusehen ist (LILLESAND et al. 1994, S. 613), ergebende Überprüfung der Klassifikation der um einen synthetischen Kanal erweiterten SPOT-XS-Szene verdeutlicht die Problembereiche, die in den Fehlzusweisungen bei den Klassen Ackerland, Flächen ohne Vegetation und Flächen geringer Verdichtung liegen (s. Tab. 11, S. 54).

*Tab. 11: Genauigkeitsüberprüfung der Klassifikation von SPOT-XS, ergänzt um einen Ratiokanal (eigene Berechnung)*

| Klassifikation SPOT-XS        | Wasserflächen | Waldflächen | Sonstige Grünflächen | Ackerland | Flächen ohne Vegetation | Flächen geringer Verdichtung | Flächen mittlerer Verdichtung | Flächen hoher Verdichtung | Nutzer-genauigkeit [%] |
|-------------------------------|---------------|-------------|----------------------|-----------|-------------------------|------------------------------|-------------------------------|---------------------------|------------------------|
| Wasserflächen                 | 12            |             |                      |           |                         |                              |                               |                           | 100                    |
| Waldflächen                   |               | 22          |                      | 2         |                         |                              |                               |                           | 91                     |
| Sonstige Grünflächen          |               |             | 184                  | 8         |                         | 2                            |                               |                           | 93                     |
| Ackerland                     |               |             | 6                    | 110       |                         | 4                            |                               |                           | 92                     |
| Flächen ohne Vegetation       |               |             | 2                    |           | 12                      |                              |                               |                           | 85                     |
| Flächen geringer Verdichtung  |               |             | 8                    |           | 4                       | 36                           | 8                             |                           | 62                     |
| Flächen mittlerer Verdichtung |               |             |                      |           | 6                       | 2                            | 16                            | 4                         | 57                     |
| Flächen hoher Verdichtung     |               |             |                      |           |                         |                              |                               | 10                        | 100                    |
| Erzeugergenauigkeit [%]       | 100           | 100         | 92                   | 92        | 55                      | 82                           | 67                            | 71                        | 87,4                   |

Die vegetationslosen Flächen können auch in dieser Klassifikation Ackerflächen oder Momentane Bebauungsgebiete sein. Thematische Trennungen sind nur mit Hilfe multitemporaler Auswertungen möglich. Zudem werden einige Pixel in den Industriegebieten infolge ähnlicher spektraler Eigenschaften der Dachflächen als Flächen ohne Vegetation klassifiziert. Die Klassifikation bietet demnach nicht die bei der visuellen Interpretation des Rohbildes mögliche Identifikation der Industrie- und Bebauungsgebiete.



Die Konzentration der bebauten Fläche innerhalb der Stadt sowie das gegensätzliche Verhältnis zwischen der Stadt mit ca. zwei Dritteln und dem Umland mit ca. einem Zehntel bebauter Fläche wird bei der Überlagerung der Klassifikation mit der administrativen Stadtgrenze sowie bei der statistischen Analyse (vgl. Abb. 12, S. 55) deutlich. Für Landsat-TM hat die Klassifikation nach selbiger Methode für die Stadt Leipzig ein vergleichbares Ergebnis ergeben (vgl. HEINZ 1996a, S. 15).

Bezüglich der Einsatzmöglichkeit der Klassifikation von SPOT-XS-Szenen für die Analyse von Urbanisierungsprozessen lassen sich zu den Untersuchungen von Landsat-TM vergleichbare Aussagen machen. Bei entsprechend vorliegendem Datenmaterial können die Veränderungen der Oberflächenbedeckung erkannt werden, die insbesondere beim Wechsel von unbebauter zur bebauten Fläche und entgegengesetzt eine Ableitung auf erfolgte Urbanisierungsprozesse zulässt. Für die zu beachtenden Fehlerbereiche gelten die bei Landsat-TM gemachten Aussagen (vgl. HEINZ 1996a, S. 57).

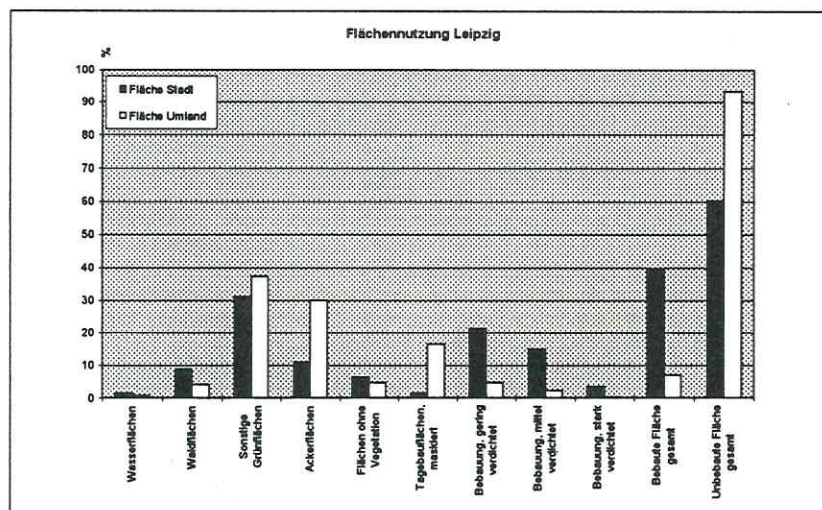


Abb. 12: Flächennutzung in Leipzig 1994 - Ergebnis der SPOT-XS-Klassifikation (eigene Berechnung)

#### 3.4.4 Klassifikation mit EBIS

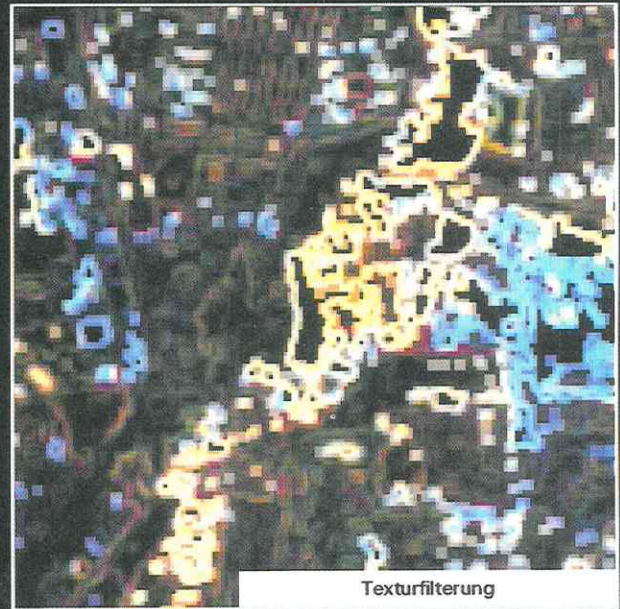
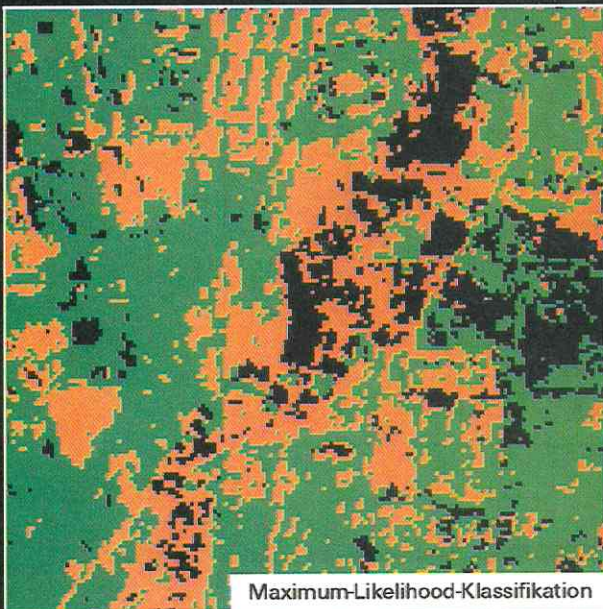
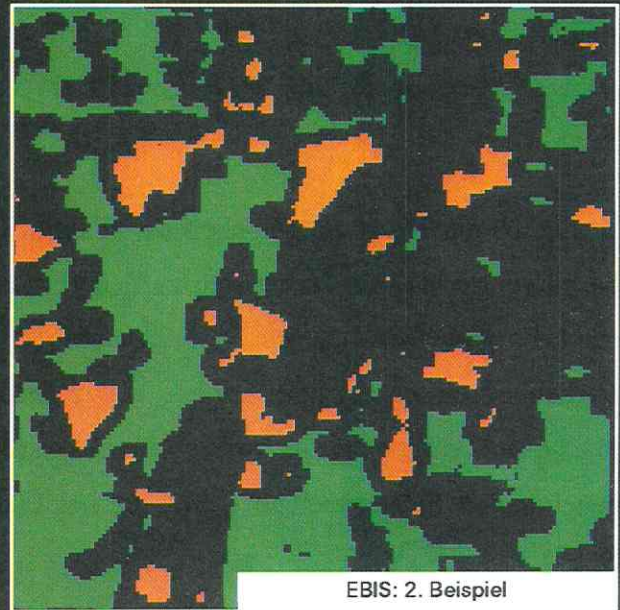
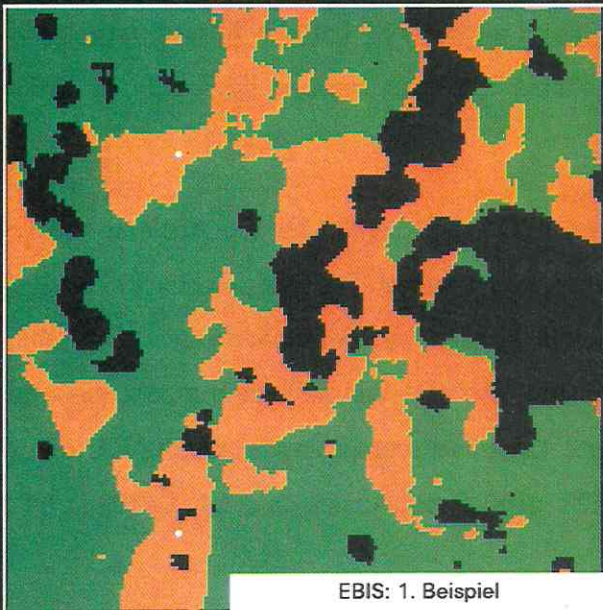
Die Durchführung der EBIS-Klassifikationen ergibt unterschiedliche Ergebnisse für die beiden verschieden definierten Feature Spaces (s. Abb. 13<sup>41</sup>, S. 56; vgl. Kap. 3.2). Während die Berechnung mit vier definierten Feature Spaces ein wenig differenzierbares und somit unbrauchbares Bild ergibt, ähnelt die Klassifikation mit nur einem definierten Feature Space am ehesten dem Ergebnis der Maximum-Likelihood-Klassifikation. Insgesamt wirkt das Bild generalisierter und homogener.

<sup>41</sup> Nächste Seite (S. 56) - Abb. 13: Anwendung des EBIS-Klassifikators auf einen städtisch geprägten Ausschnitt der SPOT-XS-Szene von Leipzig



# EBIS-Klassifikation für einen städtischen Bereich der Stadt Leipzig

unterschiedlich definierter Feature-Spaces und Vergleichsdatensätze



-  Maskierte oder nicht klassifizierte Flächen
-  Bebaute Flächen
-  Sonstige Grünflächen

0 1 Kilometer



1. Beispiel: 1 Feature Space mit 1 Kanal mit 1 Histogrammparameter, Fenstergröße 7 x 7 Pixel und 10 Grauwerten
2. Beispiel: 4 Feature Spaces mit 3 Kanälen mit allen Histogrammparametern, Fenstergröße 7 x 7 Pixel und 10 Grauwerten



Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Digitale Bildverarbeitung und Kartographie:  
Dipl.-Geogr. V. Heinz; Dr. U. Maurer



gefördert durch:  
Deutsche Agentur für  
Raumfahrtangelegenheiten  
(DARA GmbH)



Im Gegensatz zur Berechnung mit mehreren Feature Spaces werden die Bereiche mit der trainierten Klasse der Bebauung relativ gut erfaßt und gegenüber den Sonstigen Grünflächen abgegrenzt. Kleine Strukturen, wie zum Beispiel die linienhaft abgebildete Bebauung der Ein- und Zweifamilienhäuser im Norden des Bildausschnittes kommen nicht heraus. Dieses fällt um so mehr auf, wenn beachtet wird, daß genau hier auch ein Trainingsgebiet lag. Durch die starke Generalisierung werden insbesondere Randgebiete der Bebauung nicht erfaßt. Die Ausprägung der Siedlungsfläche in einer solch 'abgerundeten' Form ist realitätsfern. Lediglich für deren Darstellung in einem kleinen Maßstab ist eine sehr begrenzte Anwendungsmöglichkeit zu sehen, wobei der Arbeitsaufwand zum Ergebnis einer normalen Maximum-Likelihood-Klassifikation in keinem Verhältnis steht. Zudem haben die Untersuchungen keine Trennbarkeit unterschiedlicher Siedlungsstrukturen ergeben, da diese in erster Linie durch Mischpixel und das Nebeneinander verschiedener, homogener Pixel auf engstem Raum, nicht aber durch Texturmerkmale charakterisiert werden.

Die Überprüfung, inwiefern die Verwendung mehrerer Trainingsgebiete das Ergebnis beeinflusst, ergibt eine zunehmende Verschlechterung der Klassifikation mit Vergrößerung der Anzahl der zu klassifizierenden Signaturen (s. Abb. 13, S. 56). Es empfiehlt sich daher, nur wenige Signaturen, möglichst nur eine pro Klasse, zu klassifizieren.

Eine Erklärung für diese unbefriedigenden Ergebnisse, zu denen es bei den Versuchen, Merkmale der Stadt zu klassifizieren, kommt, kann die sehr starke Gewichtung von Texturmerkmalen beim Klassifikator sein. Die daraufhin angewandte Texturfilterung des Stadtausschnittes erkennt vor allem an den Kanten der Masken größere Unterschiede. Der Rest des Bildes, wie zum Beispiel die streifige Struktur der Siedlung, wird kaum differenziert. Hier liegen demnach keine starken Texturmerkmale vor. Daraus läßt sich ableiten, daß die Anwendung von EBIS zur Differenzierung von städtischen Merkmalen keine brauchbaren Ergebnisse liefert. Um diese Aussage zu stützen wird zu Vergleichszwecken der EBIS-Klassifikator in einem agrarisch geprägten Gebiet des Umlandes angewandt (s. Abb. 14<sup>42</sup>, S. 58). Die Definition von drei 'Feature Spaces', drei Kanälen und den Histogrammen 'local-histogram', 'vertical co-occurrence' und 'horizontal co-occurrence' führt dementsprechend zu einem guten Ergebnis. Die Unterscheidung einer spezifischen Ackerfläche wird durch EBIS möglich. Die Berechnung der Textur liefert hierfür die Begründung, da zum Teil sehr deutliche, durch größere Texturunterschiede hervorgerufene Kanten erkennbar sind.

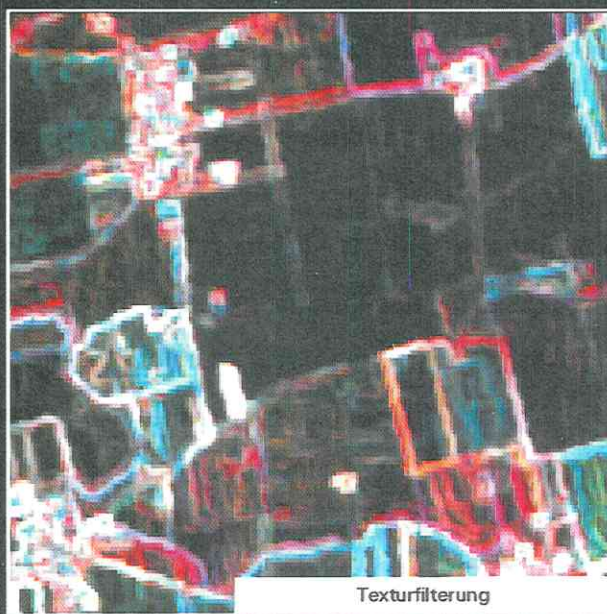
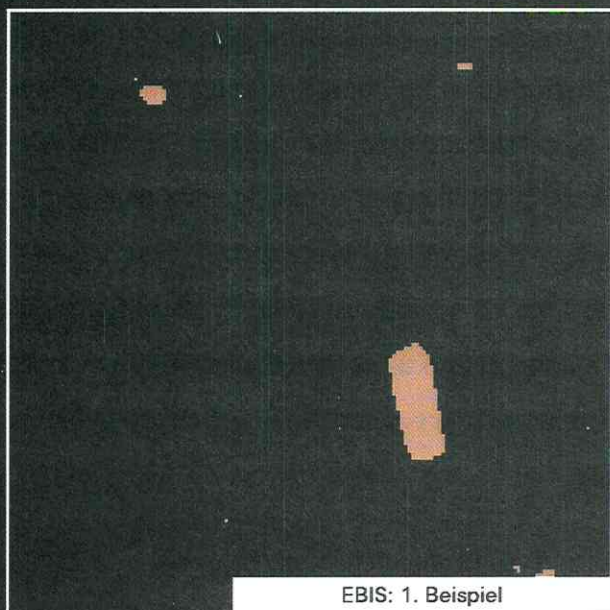
---

<sup>42</sup> Nächste Seite (S. 58) - Abb. 14: Anwendung des EBIS-Klassifikators auf einen agrarisch geprägten Ausschnitt der SPOT-XS-Szene von Leipzig



# EBIS-Klassifikation für einen agraren Bereich der Stadt Leipzig

unterschiedlich definierter Feature-Spaces und Vergleichsdatensätze



-  Maskierte Flächen
-  Landwirtschaftlich genutzte Fläche

0 1 Kilometer



1. Beispiel: 1 Feature Space mit 1 Kanal mit 1 Histogrammparameter, Fenstergröße 7 x 7 Pixel und 10 Grauwerten



Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Digitale Bildverarbeitung und Kartographie:  
Dipl.-Geogr. V. Heinz; Dr. U. Maurer



gefördert durch:  
Deutsche Agentur für  
Raumfahrtangelegenheiten  
(DARA GmbH)



Zusammenfassend lässt sich somit ableiten, daß

- eine höhere Anzahl der zu klassifizierenden Signaturen die Klassifikation verschlechtert.
- für eine erfolgreiche EBIS-Klassifikation gute Texturunterschiede vorliegen müssen.
- nur einzelne Signaturen zu einem guten Ergebnis führen.
- die Trainingsgebiete im zu klassifizierenden Bild liegen müssen.

### **3.4.5 Zusammenfassung der Ergebnisse von SPOT-XS und Vergleich mit Landsat-TM**

Die Verwendung des im Vergleich zum Landsat-TM-Scanner höher auflösenden SPOT-XS-Scanners hat mit 87,4 % eine vergleichbar hohe Klassifikationsgenauigkeit ergeben. Inhaltlich lassen sich aber keine neuen Klassen abgrenzen, da der Anteil an Mischpixeln gegenüber der Landsat-TM-Szene zurücktritt. Wie bei HEINZ (1996a, S. 56) dargestellt, ist die heterogene Struktur der Stadt bei der Klassentrennung hinderlich.

Die gute räumliche Auflösung der SPOT-XS-Daten führt zu Problemen, die insbesondere die Klassifikation der Großblockbebauung erschweren. In der Klassifikation auf der Grundlage eines Ratiokanales kann diese Klasse nicht berücksichtigt werden. So kommt es bei der besseren Auflösung zwar zu einer guten Abgrenzung der berücksichtigten Klassen, aber auch zu einer Klassenreduktion. Infolge der höheren Auflösung und des geringeren Anteiles an Mischpixeln ist das Bild weniger generalisiert und damit genauer als bei Landsat-TM.

Bei der Darstellung besonders inhomogener Flächen ergeben sich mit dem SPOT-XS-Bild größere Probleme als bei der Landsat-TM-Szene. Dieses wird sehr deutlich bei der Klasse der Großblockbebauung. Hier läßt sich die Oberflächenbedeckung bzw. der funktionale Zusammenhang nicht durch einzelne Klassen repräsentieren. Die entsprechende Klasse wird eher durch das spezifische Signaturengemisch ausgewiesen. Visuell ist damit zwar eine Abgrenzung möglich, die statistische Auswertung wird jedoch sehr erschwert. Ebenso verhält es sich zum Beispiel mit den Kleingärten, die sich aus Grünflächenanteilen und aus Anteilen an der niedrig verdichteten Bebauung zusammensetzen.

Über den Durchgrünungsgrad der Stadtviertel kann, wie bei der Landsat-TM-Auswertung auch, auf den funktionalen Zusammenhang geschlossen werden. Je dichter die Bebauung ist, desto weniger Chlorophyllreflexion bzw. Vegetation kommt vor. Dadurch ist die konzentrische Anordnung der Flächen zunehmender Verdichtung von außen nach innen zum Stadtkern hin ebenso nachvollziehbar wie bei der Landsat-TM-Auswertung. Hilfreich bei der Abgrenzung der verschiedenen Verdichtungsgrade bei der SPOT-XS-Szene erweist sich der Durchgrünungsanteil über eine Ratiobestimmung. Industrie- und Gewerbeflächen können ebenso wie bei der Landsat-TM-Klassifikation



nicht unterschieden werden. Sie werden oftmals als Flächen ohne Vegetation ausgewiesen, da das Spektralverhalten der Dachflächen dem dieser Klasse ähnelt.

Linienhafte Objekte sind gut von flächenhaften Objekten trennbar. Durch die höhere geometrische Auflösung treten auch kleinere Straßenzüge im Innenstadtbereich hervor. Dadurch ist eine gute räumliche Orientierung möglich, die auch das Trainieren für die Klassifikation erleichtert. Die Strukturen der Luftbilder - als ein Beispiel eines oft verwandten Referenzmaterials - lassen sich gut in der SPOT-XS-Szene wiederfinden. In diesen Bereichen ist SPOT-XS gegenüber Landsat-TM überlegen.

Zur Feststellung der Veränderlichkeit von Oberflächenbedeckungen im Zuge von Urbanisierungsprozessen bietet der SPOT-XS-Sensor gegenüber dem Landsat-TM-Sensor aufgrund seiner höheren geometrischen Auflösung das genauere Datenmaterial. Ebenso fällt der visuelle Vergleich der SPOT-XS-Szene und der Landsat-TM-Szene aufgrund der Detailerkennbarkeit zugunsten des SPOT-XS-Bildes aus.

Die Problematik der Trennung nach land-use und land-cover Inhalten bleibt auch beim SPOT-XS-Sensor bestehen. Dieses ist ein grundsätzliches Problem der mit spektralen Informationen arbeitenden Sensoren.

Insgesamt werden auch beim SPOT-XS-Sensor die charakteristischen Strukturen der urbanen Bereiche deutlich. Zusammenfassend haben die Untersuchungen des SPOT-XS-Datensatzes ergeben, daß

- bei der visuellen Interpretation die Stadt in ihrer Ausdehnung, die Stadt-Umland-Trennung, Verdichtungsgrade, unterschiedliche Bebauungsstrukturen (Ein- und Zweifamilienhausbebauung, Kleingärten, Großblockbebauung, Industrie- und Gewerbegebiete, Stadtkern mit Grüngürtel, Block- und Mischbebauung) und Momentane Bebauungsgebiete - insbesondere im multitemporalen Vergleich - erkannt werden können (s. Kap. 3.4.1).
- bei der visuellen Interpretation Unterschiede zwischen Flächen gleicher Bebauungsstrukturen erkennbar sind (s. Kap. 3.4.1).
- bei der visuellen Interpretation keine Altindustriegebiete ausgegliedert werden können (s. Kap. 3.4.1).
- weder die Anwendung einer Hochpaß- noch einer Tiefpaßfilterung zu einer Optimierung der Erkennbarkeit von Oberflächenstrukturen in urbanen Räumen führt (s. Kap. 3.4.2).
- die Anwendung konventioneller Filtertechniken im Maßstabsbereich einer SPOT-XS-Szene zu keiner Verbesserung des Ergebnisses führt. In der kleinstrukturierten Stadt werden wichtige Informationen unterdrückt (s. Kap. 3.4.2).
- mittels einer Texturanalyse auf der Basis eines Ratiokanals mit einem Varianzfilter der Fenstergröße 3 x 3 für die Untersuchung der Segmentierung unterschiedlicher Bildbereiche die besten Ergebnisse erzielt werden konnten. Anwendungsbereiche dieser liegen nicht in der visuellen Interpretation, sondern sind als Hilfsmittel bei der Analyse der Kantendichte und / oder der Überbauungsdichte denkbar (s. Kap. 3.4.2).
- die Interpretation eines mehrkanaligen Farbkomposites der Hauptkomponententransformation gegenüber einer Rohszene insbesondere im von Bebauung geprägten Raum erschwert ist. Hierzu zählen insbesondere Details bzw. kleine Elemente der Oberflächenbedeckung (s. Kap. 3.4.2).



- die Hauptkomponententransformation infolge der unzureichenden Abgrenzung der Bebauungsgebiete und der unterschiedlichen bebauten und unbebauten Strukturen keine Verbesserung beim Einsatz für die Analyse von Urbanisierungsprozessen gegenüber einer Rohszene darstellt (s. Kap. 3.4.2).
- das Hauptkomponentenbild einen wesentlichen Vorteil für die Interpretation der von Großblockbebauung geprägten Gebiete hat (s. Kap. 3.4.2).
- für die Untersuchung von städtischen Oberflächen der Vegetationsindex besser als der Normalized Difference Vegetation Index geeignet ist (s. Kap. 3.4.2).
- der Vegetationsindex Stadtstrukturen deutlicher hervorhebt und innere Unterscheidungen zwischen Flächen gleicher Oberflächenbedeckung erleichtert (s. Kap. 3.4.2).
- beim Bild des Vegetationsindex eine eindeutige Stadt-Umland-Trennung sowie das Erkennen von Industrie- und Gewerbegebieten schwieriger als bei der visuellen Interpretation des Rohbildes sind (s. Kap. 3.4.2).
- mittels des Vegetationsindex die innerstädtische Durchgrünung auch in kleinen und mittleren Maßstäben besser interpretiert werden kann (s. Kap. 3.4.2).
- mit der Hilfe des Vegetationsindex das Erkennen von abgelaufenen Urbanisierungsprozessen möglich erscheint. Momentane Bebauungsgebiete sind hingegen deutlicher in der Rohbilddarstellung erkennbar (s. Kap. 3.4.2).
- die multitemporale, monosensorale Datenüberlagerung der Vegetationsindices durch unterschiedliche Farbuweisungen, -helligkeiten und -intensitäten Urbanisierungsprozesse unter den Voraussetzungen gleicher phänologischer Zustände zur Aufnahmezeit und der Atmosphärenkorrektur nachvollziehen läßt (s. Kap. 3.4.2).
- mit der hierarchischen Klassifikation bei der Integration eines Ratiokanals des Vegetationsindex land-cover-Klassen gut trennbar sind (s. Kap. 3.4.3).
- bei der Klassifikation von SPOT-XS keine Großblockbebauung spektral unterschieden werden kann (s. Kap. 3.4.3).
- bei der Klassifikation von SPOT-XS weniger Klassen getrennt werden können als bei Landsat-TM, da die Anzahl homogener Pixel größer ist (s. Kap. 3.4.3).
- mit der Klassifikation eine deutlichere Stadt-Umland-Trennung als bei der visuellen Interpretation erfolgen kann, aber eine schlechtere als bei der Klassifikation von Landsat-TM (s. Kap. 3.4.3).
- die Interpretation der Klassifikation einen Gradienten der unterschiedlich verdichteten Gebiete zwischen dem Innenstadtbereich und den Randbereichen ausweisen läßt (s. Kap. 3.4.3).
- die Klassifikation keine Trennung von vegetationslosen Flächen, abgeernteten Ackerflächen und Momentanen Bebauungsgebieten zuläßt - wie auch die Klassifikation der Landsat-TM-Szene (s. Kap. 3.4.3).
- die bei der visuellen Interpretation von SPOT-XS mögliche Identifikation der Industrie- und Gewerbegebiete bei der Klassifikation nicht erfolgen kann (s. Kap. 3.4.3).
- die Klassifikation ein der Landsat-TM-Klassifikation vergleichbares Ergebnis bei der Analyse der Konzentration der bebauten Fläche sowie des gegensätzlichen Verhältnisses der bebauten Fläche zwischen der Stadt und dem Umland liefert (s. Kap. 3.4.3).
- die Klassifikation für die Analyse von Urbanisierungsprozessen ebenso eingesetzt werden kann wie bei Landsat-TM. Die Einschränkung liegt in der geringeren Trennbarkeit von Oberflächenbedeckungen (s. Kap. 3.4.3).
- die Klassifikation mit EBIS keine brauchbare Trennbarkeit unterschiedlicher Siedlungsstrukturen ergeben hat. Somit ist ihre Anwendung für die Analyse von Urbanisierungsprozessen nicht sinnvoll (s. Kap. 3.4.5).



### 3.5 Untersuchung von Datenverschneidungen/-verknüpfungen

#### 3.5.1 Anwendung und Vergleich verschiedener Methoden zur Datenverschneidung

In der Abb. 15<sup>43</sup> (s. S. 63) sind die Ergebnisse der vier unterschiedlichen Methoden (vgl. Kap. 3.2) zur Verschneidung von Daten mit geringer geometrischer bei hoher spektraler Auflösung mit Daten hoher geometrischer bei geringer spektraler Auflösung für einen Ausschnitt im Leipziger Norden aus dem Verschneidungsprodukt von Landsat-TM mit SPOT-XS gegenübergestellt. Alle vier Bilder sind in der selben Kanalkombination<sup>44</sup> dargestellt, so daß die bebauten Flächen in grauen und blauen und die begrünten Flächen in roten bis grünen Tönen erscheinen. Momentane Bebauungsgebiete, bzw. die Flächen ohne Vegetation sind die hellsten in allen vier Bildern mit weißer bis hellblauer Farbgebung. Das dunkelste Bild von allen ist das Resultat der 'Multiplicative Method'. In diesem ist der Informationsgehalt bereits auf den ersten Blick am geringsten, weshalb nicht weiter darauf eingegangen wird.

Die übrigen drei Bilder zeigen unterschiedlich starke Kanten und eine differenzierte Detailerkennbarkeit. Aufgrund des verwendeten Kantenfilters bei der RGB-IHS-RGB-Transformation wirkt dieses Bild stark kantig. Die Linien, Straßen, Gebäudekanten etc. treten stark hervor, was der Sinn und Zweck des verwendeten Kantenfilters sein sollte. Die auf den ersten Blick erkennbare 'Überfrachtung' erweist sich auf den zweiten Blick als sinnvoll. Im Rohbild der Landsat-TM-Szene nicht erkennbare Details - wie zum Beispiel die der Straßen - werden stark hervorgehoben. Diese Informationen sind im Brovey-Bild weniger deutlich. Straßen und Häuserkanten werden insgesamt breiter, das heißt mit mehr Pixeln dargestellt, als das im IHS-Bild der Fall ist. Ein Beispiel hierfür stellt die große Straßenkurve im Nordwesten des Bildausschnittes dar. Dies ist ebenfalls im Bild der 'Multiplicative-Method' nachzuvollziehen, obwohl es insgesamt relativ deutlich und weniger kantig erscheint. Dadurch fehlen aber entsprechende Kanteninformationen, die im IHS-Bild verstärkt und damit deutlicher sind. Ein gutes Beispiel hierfür ist das Bebauungsgebiet der Neuen Messe (Norden des Bildausschnittes). Die Aussagemöglichkeiten zur stattfindenden Urbanisierung sind besser, da infolge der höheren Detailerkennbarkeit verstärkt Aussagen zur Art der Neubaumaßnahme gemacht werden können und eine Unterscheidung zwischen Momentanen Bebauungsgebieten mit sich im Bau befindlichen Häusern und tatsächlichen Flächen ohne Vegetation möglich wird.

<sup>43</sup> Nächste Seite (S. 63) - Abb. 15: Vergleich unterschiedlicher Methoden der Datenverschneidung

<sup>44</sup> Ausgangsbasis: 4, 5, 3, Überführung von RGB in IHS, Ersatz von I durch SPOT-PAN, Überführung von IHS in RGB



# Datenverschneidungen

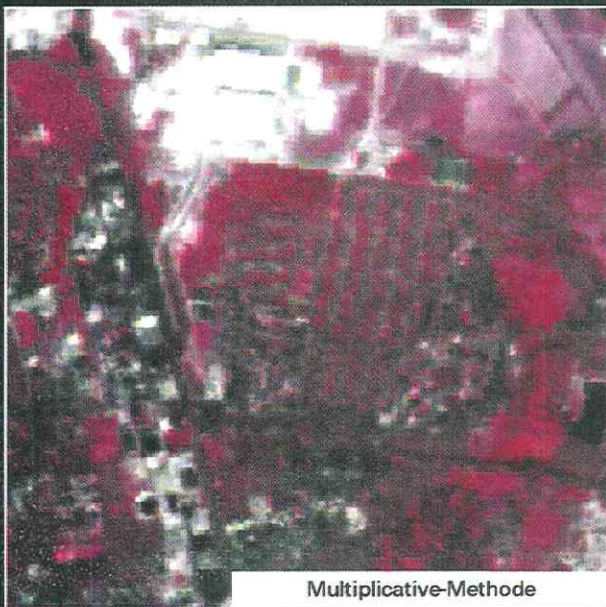
Vergleich unterschiedlicher Methoden am Beispiel von Landsat-TM und SPOT-PAN



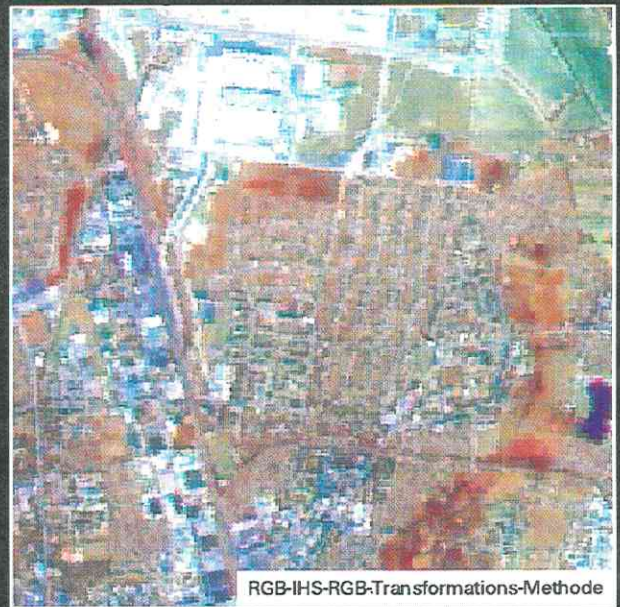
Brovey-Methode



Principal-Component-Methode



Multiplicative-Methode



RGB-IHS-RGB-Transformations-Methode



Kilometer



Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Digitale Bildverarbeitung und Kartographie  
Dipl.-Geogr. V. Heinz



gefördert durch:  
Deutsche Agentur für  
Raumfahrtangelegenheiten  
(DARA GmbH)



Bei der RGB-IHS-RGB-Transformation bleibt die Farbgebung des Ausgangsbildes weitestgehend erhalten, so daß unmittelbare Datenvergleiche zwischen beiden möglich sind. Speziell in den Bereichen, wo viele Informationen nahe beieinander liegen, aber wenige Unterschiede in der spektralen Information aufweisen, ist das IHS-Bild dem Rohbild überlegen. Auch die verschiedenartigen Vegetationsflächen lassen sich voneinander unterscheiden, was die beiden anderen Methoden nicht in dem Maße ermöglichen. Diesbezüglich sei auf die Unterschiede in der Grünfläche direkt im Süden der Neuen Messe hingewiesen.

Das Gebiet mit Ein- und Zweifamilienhausbebauung südöstlich der Neuen Messe mit stark linienförmigem Abbildungsverhalten zeigt sich bei allen drei Methoden unterschiedlich. Am schlechtesten stellt sie sich in der 'Multiplicative-Method' dar, da die Straßenzüge stark gerastert werden. Es entsteht der Eindruck eines Schachbrettmusters. Die beiden anderen Methoden geben die Strukturen klarer wieder. Durch die Kantenfilterung wird die Bebauung in diesem Bereich im IHS-Bild inhomogener abgebildet, wodurch aber Einzelheiten verstärkt werden. Das klarere, dreidimensional wirkende Bild der 'Principal-Component-Method' kommt durch die Verwendung der Hauptkomponente zustande. Den gleichen Effekt zeigte das Bild der ersten Hauptkomponente - allerdings für das Beispiel der SPOT-XS-Szene (vgl. Abb. 6, S. 43).

Das westlich anschließende Industrie- und Gewerbegebiet ist ebenfalls in dem Hauptkomponenten- und dem IHS-Bild deutlicher zu erkennen. Eine Detailanalyse erscheint im Hauptkomponentenbild für diesen Bereich einfacher, jedoch wird für die schnelle visuelle Interpretation auch in diesem Bereich dem IHS-Bild der Vorzug gegeben. Durch die Kantenverstärkung und das Erscheinungsbild der spektralen Eigenschaften wird die schnelle visuelle Auswertung im Gesamtbild, in einem großen Bildausschnitt auch bei kleinerem Darstellungsmaßstab stark vereinfacht. Besonders in den Bereichen geringer spektraler Unterschiede benachbarter Flächen bietet das IHS-Bild entscheidende Vorteile, da es auch kleinste Kanten herauspräpariert.

Die Verwendung verschiedener Filtermatrixen hat für die im Kapitel 3.2 beschriebene Filtermatrix die besten Ergebnisse erzielt. Diesbezüglich ist in der Abb. 16<sup>45</sup> (s. S. 65) am Beispiel der SPOT-PAN-Szene von Leipzig das nicht gefilterte dem mit der beschriebenen Filtermatrix bearbeiteten Bild gegenübergestellt.

Im abgebildeten kleinen Maßstab wirkt das gefilterte Bild insgesamt deutlich klarer, was sich vor allem im bebauten Bereich (s. zum Beispiel Innenstadt) nachvollziehen läßt. Schwierig ist die allgemeine Trennung der bebauten von den unbebauten Flächen im monospektralen Bild, da die

<sup>45</sup> Nächste Seite (S. 65) - Abb. 16: SPOT-PAN-Bild nicht gefiltert und gefiltert (eigener Entwurf)

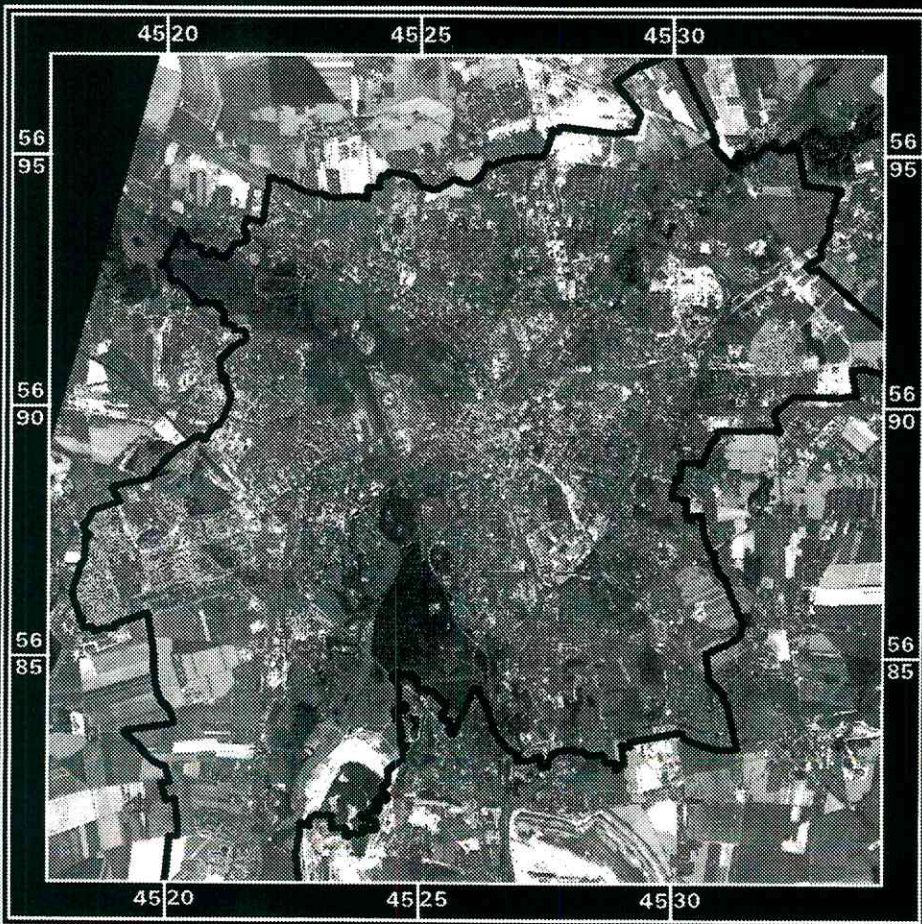




## SPOT-PAN 1994

nicht gefiltert

für die Stadt Leipzig



## SPOT-PAN 1994

kantengefiltert

für die Stadt Leipzig





Darstellung in Grautönen erfolgt, die vom Auge weniger gut wahrgenommen und unterschieden werden können wie Farbtöne. Aber auch die Einfärbung der Grautöne führt zu keiner Erleichterung der Interpretation, da die Zuordnung zu unrealistischen Farben erfolgt.

Während die Erkennbarkeit der innerstädtischen Bebauung mit großen, zumeist geradlinig angelegten Häuserkomplexen relativ gut ist, wird die Interpretation insbesondere in den weniger stark verdichteten Randbereichen schwieriger. Die Identifikation von Grünflächen und die Unterscheidung von bebauten Bereichen ist schwierig und teilweise aufgrund der fehlenden multispektralen Information nicht möglich. Nur anhand der an die Bebauung angrenzenden, großen und homogenen Ackerflächen kann eine Stadt-Umland-Trennung annähernd erfolgen.

Die Industrie- und Gewerbegebiete lassen sich als relativ große, zumeist rechteckige Flächen erkennen, die auf engem Raum zueinander einen Wechsel zwischen sehr dunklen und sehr hellen Grautönen zeigen. Neben der Farbgebung muß hier zusätzlich die Struktur beachtet werden. Hingegen ist die Erkennbarkeit dieser Flächen im multispektralen Bild besser. Die im multispektralen Bild mögliche Unterscheidung von Gebieten mit gleicher Bebauung wird in der Grautondarstellung des Einkanalbildes ebenfalls schwerer. Während sich die Großblockbebauung zwischen den Gebieten Paunsdorf und Grünau unterscheiden läßt, wird dies zum Beispiel im Bereich der Ein- und Zweifamilienhausbebauung und den Kleingartensiedlungen zunehmend erschwert.

Insgesamt gesehen ist somit für eine Interpretation sowie für eine weitere Bildverarbeitung ein mehrkanaliges Multispektralbild besser geeignet, da es mehr Details - auch bei einer geringeren geometrischen Auflösung - erkennen läßt. Die wichtigsten Informationen, die ein monosensorales Bild bietet, sind die Kanten und Linien. Sie ermöglichen insbesondere im bebauten Bereich eine bessere Orientierung und eine Vereinfachung der Interpretation. Die multispektralen Unterschiede können bei einer Kombination mit diesen besser zugeordnet werden und werden teilweise hervorgehoben.

Aus diesen methodischen Untersuchungen läßt sich ableiten, daß gemäß der Zielsetzung die Anwendung der RGB-IHS-RGB-Transformation nach dem oben beschriebenen Verfahren (s. Kap. 3.2) unter Verwendung einer gefilterten monospektralen Datenbasis zu den besten Ergebnissen führt. Aus diesem Grund basieren die im folgenden vorgestellten Ergebnisse alle hierauf.



### 3.5.2 RGB-IHS-RGB-Transformation von verschiedenen Datensätzen

In der Abb. 17<sup>46</sup> (s. S. 68) und in der Abb. 18<sup>47</sup> (s. S. 69) sind die Ergebnisse der RGB-IHS-RGB-Transformation für die Stadt Leipzig für 1992 und 1994 auf der Basis von *Landsat-TM* und *SPOT-PAN* gegenübergestellt. Der Datenvergleich zeigt anhand der Farbgebungen, daß die Aufnahme-terminen des einfließenden Landsat-TM stark variieren (vgl. Kap. 1.5 u. HEINZ 1996a, S. 7). Die Szene von 1992 wird von Rottönen in der Umgebung der Stadt dominiert. Zum Aufnahmezeitpunkt Mai war die Phänologie in einem anderen Stadium als im Juli 1994, wo schon viele Felder abgeerntet oder von reifen Feldfrüchten mit einem anderen Spektralverhalten bestanden waren. Daß sich auch die Stadtflächen in der Farbgebung unterscheiden, liegt an den unterschiedlichen atmosphärischen Bedingungen zum Aufnahmetermin. Während die Aufnahme von 1994 relativ klar ist, erweist sich die Szene von 1992 als sehr dunstig. Hinzu kommt ein anderer Einfallswinkel der Sonne. Dies wird auch anhand der Tagebauflächen deutlich, die sich eigentlich in vergleichbaren Farben abbilden müßten. Da eine Atmosphärenkorrektur im Rahmen des Projektes nicht durchgeführt werden konnte, basiert die folgende Interpretation auf der optisch besseren Szene von 1994. Die Szene von 1992 wird nur zur Analyse der momentanen Bebauungsgebiete herangezogen. Durch die Datenverschneidung werden innerhalb der Stadt viele Details hervorgehoben, die dem Landsat-TM-Bild nicht zu entnehmen sind (s. Abb. 18, S. 69). Zum Beispiel wird - entsprechend der im Kapitel 3.5.1 gemachten Aussagen - das Straßennetz deutlicher, das sich vor allem im Süden der Stadt rechtwinklig abbildet. Jedoch ist es zumeist nicht der Straßenkörper selbst, der im Satellitenbild sichtbar ist, sondern die parallel zueinander angeordnete Bebauung, die Hinweise auf die Straßenverläufe gibt. Dabei spielt der Durchgrünungsgrad der einzelnen Stadtgebiete eine entscheidende Rolle. In locker verdichteten Gebieten wird die Bebauung und damit auch das Straßennetz durch die Reflexionseigenschaften der Vegetation überdeckt. Die Stadt läßt sich genauer vom Umland abgrenzen als in der Rohszene von Landsat-TM (vgl. HEINZ 1996a, S. 53), und einzelne, verschieden bebaute Bereiche können unterschieden werden. Der Stadtkern ist eindeutig und mit höherer Genauigkeit als beim Landsat-TM-Bild zu identifizieren. Er erscheint sehr inhomogen und in etwas helleren Blautönen als seine vorwiegend durch Blockbebauung geprägte Umgebung (s. Abb. 19<sup>48</sup>, S. 71). Die Grünflächen des Stadtringes werden selbst im Maßstab von 1 : 100 000 abgebildet. Leichter visuell erkennbar als in der Rohszene von Landsat-TM sind zudem die Industrie- und Gewerbegebiete, da sie infolge des Nebeneinanders verschiedener Dachbedeckungen ein unterschiedliches Reflexionsvermögen aufweisen. Markant sind die parallel zueinander angeordneten Flächen mit heller, fast weißer und ganz dunkler, blauer Farbgebung (s. Abb. 19, S. 71).

<sup>46</sup> Nächste Seite (S. 68) - Abb. 17: Verschneidungsprodukt Landsat-TM und SPOT-PAN 1992 - Gesamtbild

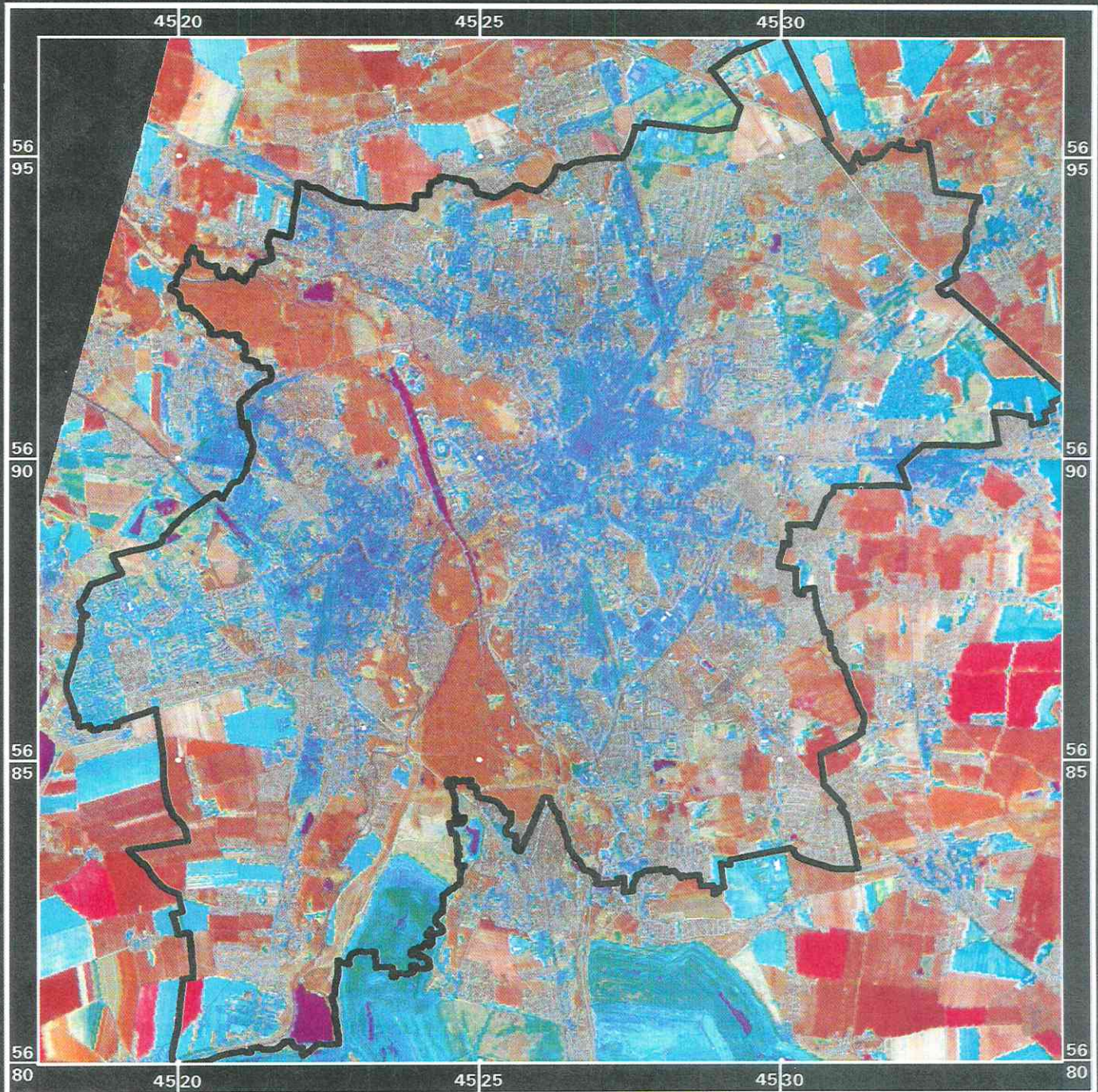
<sup>47</sup> Übernächste Seite (S. 69) - Abb. 18: Verschneidungsprodukt Landsat-TM und SPOT-PAN 1994 - Gesamtbild

<sup>48</sup> Überübernächste Seite (S. 71) - Abb. 19: Verschneidungsprodukt Landsat-TM und SPOT-PAN - Ausschnitte (eigener Entwurf)



# RGB-IHS-RGB-Transformation für die Stadt Leipzig

Verschneidungsprodukt Landsat-TM (Kanäle 4, 5, 3) mit SPOT-PAN für 1992



0 2 Kilometer



Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Digitale Bildverarbeitung und Kartographie:  
Dipl.-Geogr. V. Heinz

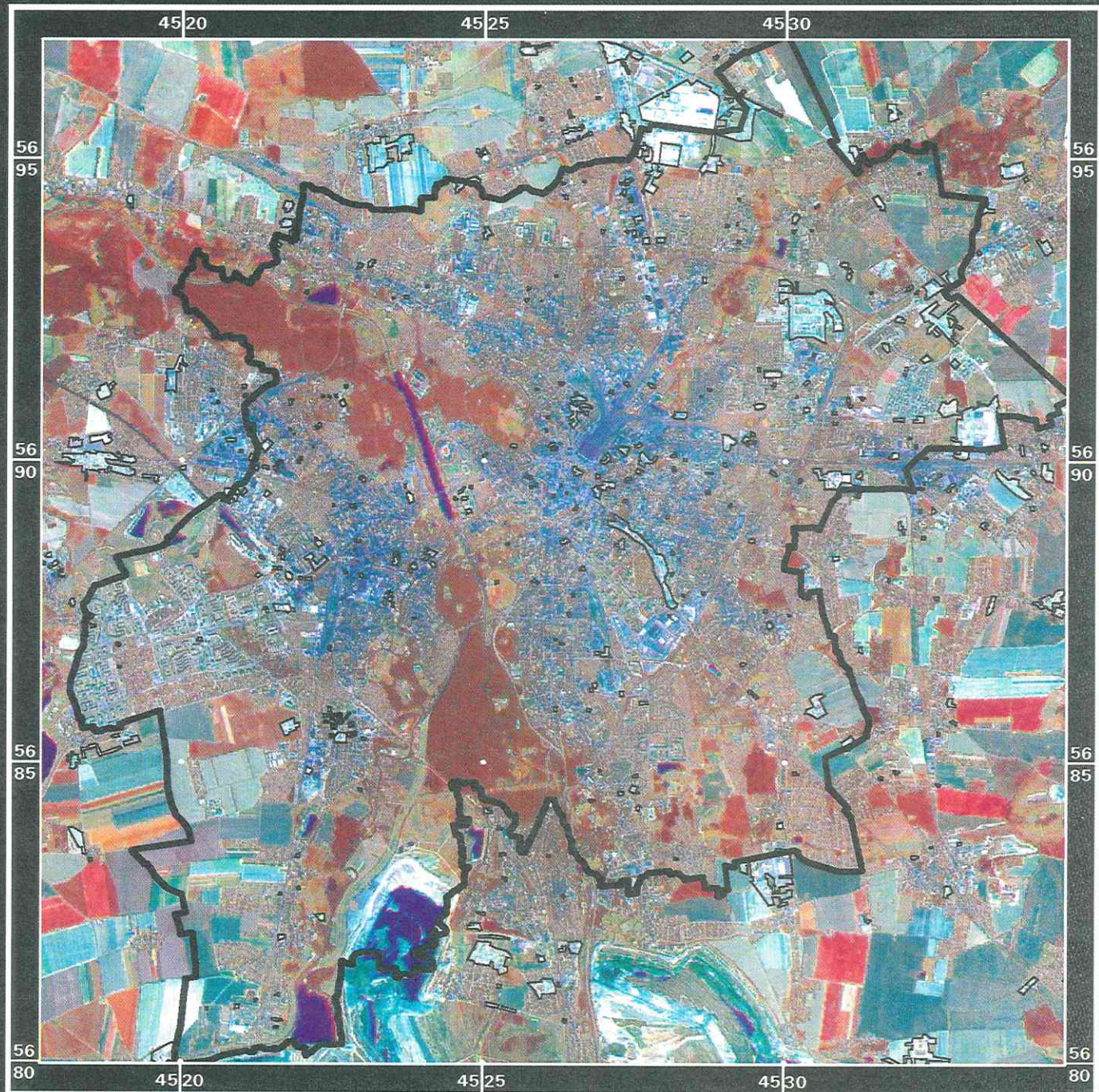


gefördert durch:  
Deutsche Agentur für  
Raumfahrtangelegenheiten  
(DARA GmbH)



# RGB-IHS-RGB-Transformation für die Stadt Leipzig

Verschneidungsprodukt Landsat-TM (Kanäle 4, 5, 3) mit SPOT-PAN für 1994



Stadtgrenze

Bebauungsgebiete

0 2

Kilometer



Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Digitale Bildverarbeitung und Kartographie  
Dipl.-Geogr. V. Heinz

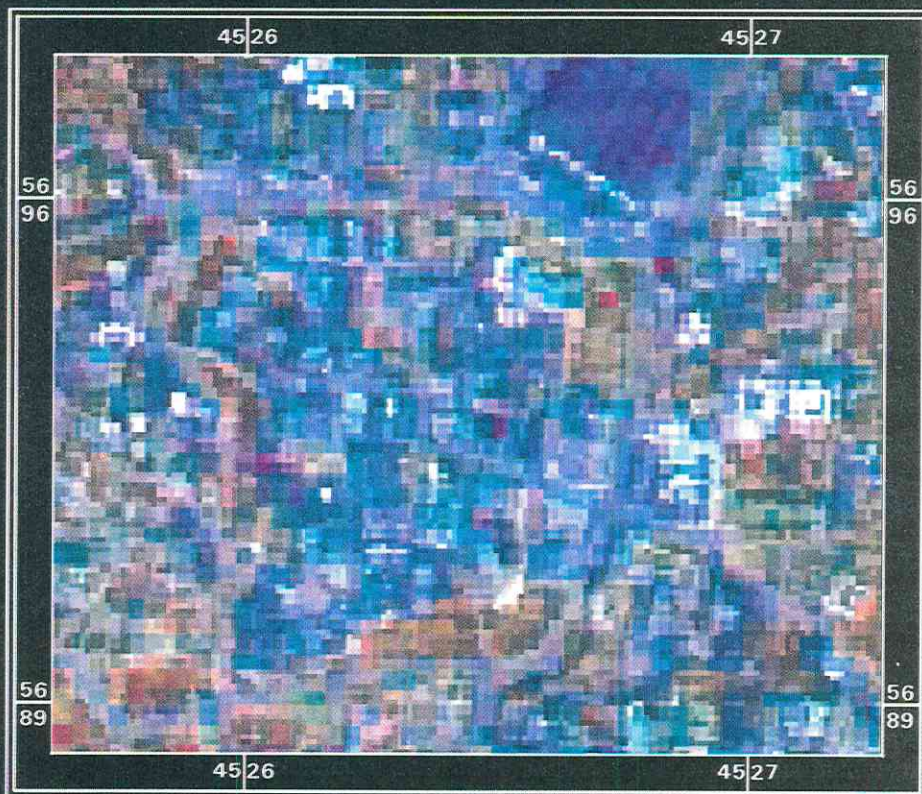


gefördert durch:  
Deutsche Agentur für  
Raumfahrtangelegenheiten  
(DARA GmbH)



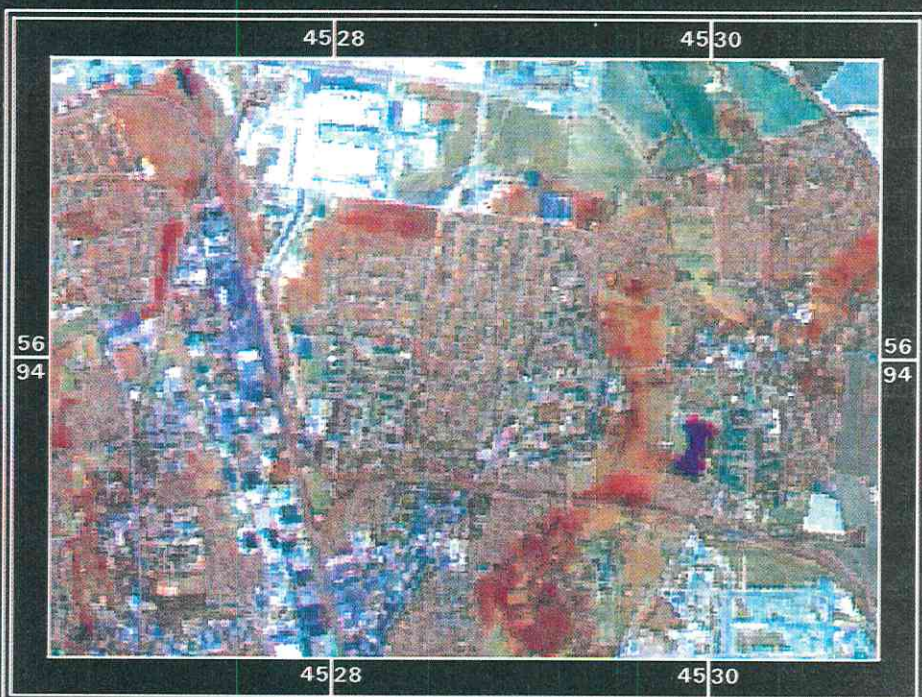
# RGB-IHS-RGB-Transformation für die Stadt Leipzig

Verschneidungsprodukt Landsat-TM (Kanäle 4, 5, 3) mit SPOT-PAN



Ausschnitt  
Innenstadt

Kilometer  
0 0.5



Ausschnitt  
Leipzig Nord  
und Nordost

Kilometer  
0 1



Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Digitale Bildverarbeitung und Kartographie:  
Dipl.-Geogr. V. Heinz, E. Kneisel



gefördert durch:  
Deutsche Agentur für  
Raumfahrtangelegenheiten  
(DARA GmbH)



Die hohe geometrische Auflösung des SPOT-PAN bedingt auch die zusätzliche Erkennbarkeit einzelner Häuserblöcke und durchgrünter Bereiche. Ein typisches Beispiel ist die Großblockbebauung. Gut gegeneinander abgrenzen lassen sich außerdem die Bereiche unterschiedlich starker Durchgrünung. Die annähernd konzentrische Anordnung der stark durchgrünter und damit gering verdichteten Bereiche, die von Ein- und Zweifamilienhausbebauung und Kleingartenanlagen geprägt werden, läßt sich gut im Verknüpfungsprodukt nachvollziehen. Zudem kann eine visuelle Trennung beider erfolgen, da in den Kleingärten die deutlich lineare Struktur aufgrund des dominanten Grünanteiles fehlt.

Die beschriebene verbesserte Identifikation von Einzelstrukturen sowie die gewählte Kanalkombination ermöglichen beim multitemporalen Datenvergleich eine genauere Digitalisierung von Bauungsgebieten als bei der Landsat-TM-Szene (s. Abb. 18, S. 69; vgl. HEINZ 1996a, S. 55). Die Mindestgröße für ihre Erkennbarkeit liegt hier bei 0,06 ha (= 6 Pixel) und ist damit neun mal so gut wie im Landsat-TM-Bild. Schon ab 100 m<sup>2</sup> Größe sind mögliche Veränderungen im temporalen Vergleich mit einer 50 %igen Fehlerquote sichtbar. Die Überprüfung durch Ground-Trouth-Daten ist unerlässlich (HEINZ 1998a und 1996c). Die Klassifikation des Verschneidungsproduktes ergibt mit 74 % Klassifikationsgenauigkeit ein schlechteres Ergebnis als die des Landsat-TM-Bildes mit 85 % (s. Abb. 20<sup>49</sup>, S. 73; vgl. HEINZ 1996a, S. 16ff.), wodurch auch eine Interpretation ungenauer wird. Die abgebildete, gefilterte Klassifikation veranschaulicht insgesamt ein inhomogenes Bild, in dem die Stadt-Umland-Trennung und das Erkennen der Achsenstruktur erschwert sind. Homogene Bereiche lassen sich durch das häufige Nebeneinander verschiedener Pixel unterschiedlicher Information schwer ausgliedern. Die Großblockbebauung ist - im Gegensatz zur Klassifikation von Landsat-TM (vgl. HEINZ 1996a, S. 16ff.) - nicht identifizierbar. Ihre spektralen Eigenschaften lassen sich im Spektralraum nicht eindeutig trennen. Sie weisen Überschneidungen mit der spektralen Information für Ackerland und Flächen ohne Vegetation auf<sup>50</sup>, so daß das Klassifikationsergebnis ein Nebeneinander dieser thematischen Zuordnungen ergibt. Dementsprechend erscheint die Großblockbebauung zum Teil auch auf Landwirtschaftlichen Nutzflächen. Problematisch gestalten sich die Randbereiche verschieden genutzter Flächen. Infolge der unterschiedlichen geometrischen Auflösung von SPOT-PAN und Landsat-TM und durch die RGB-IHS-RGB-Transformation entstehen neue Mischpixel, die keine thematische bzw. spektrale Zuordnung erfahren können.

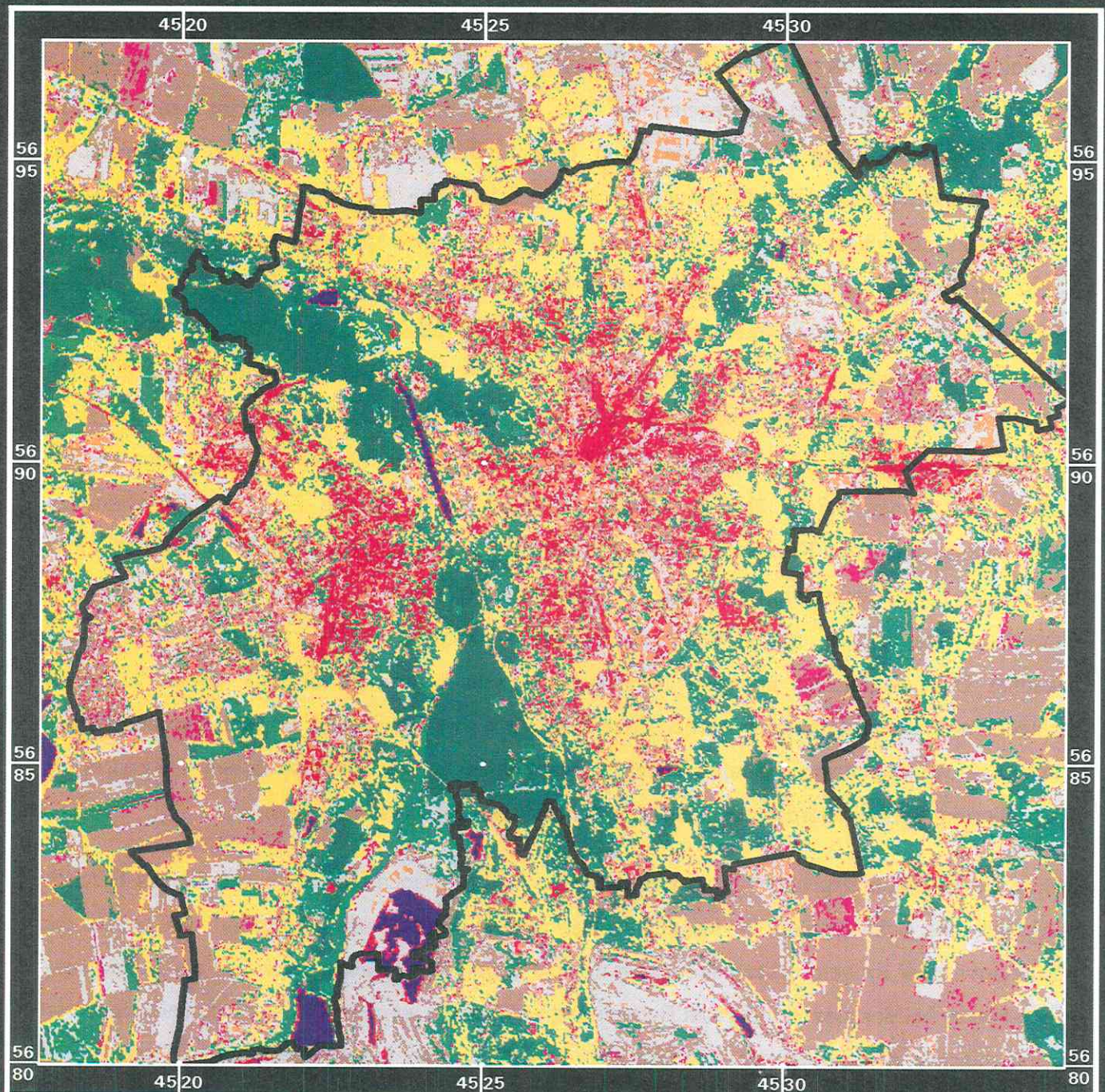
<sup>49</sup> Nächste Seite (S. 73) - Abb. 20: Klassifikation des Verschneidungsproduktes Landsat-TM mit SPOT-PAN 1994

<sup>50</sup> Im Ergebnis auch der Klassifikation von SPOT-XS vergleichbar



# RGB-IHS-RGB-Transformation für die Stadt Leipzig

Hierarchische Klassifikation des Verschneidungsproduktes Landsat-TM (Kanäle 4, 5, 3) mit SPOT-PAN



- |                                                                                     |                                               |                                                                                     |                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
|  | Wasserflächen                                 |  | Großblockbebauung             |
|  | Waldflächen                                   |  | Flächen hoher Verdichtung     |
|  | Sonstige Grünflächen                          |  | Flächen mittlerer Verdichtung |
|  | Ackerflächen                                  |  | Flächen geringer Verdichtung  |
|  | Flächen ohne Vegetation zum Aufnahmezeitpunkt |                                                                                     |                               |

0 2 Kilometer



Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Digitale Bildverarbeitung und Kartographie:  
Dipl.-Geogr. V. Heinz, C. Burghardt



gefördert durch:  
Deutsche Agentur für  
Raumfahrtangelegenheiten  
(DARA GmbH)



Die Verschneidung von *SPOT-XS* mit *SPOT-PAN* läßt eine verbesserte Detailerkennbarkeit gegenüber dem Verschneidungsprodukt Landsat-TM mit SPOT-PAN erwarten, da der SPOT-XS eine höhere geometrische Auflösung hat. Zudem hat die visuelle Interpretation ein entsprechendes Ergebnis ergeben (vgl. Kap. 3.4.1). In der Abb. 21<sup>51</sup> (s. S. 75) und der Abb. 22<sup>52</sup> (s. S. 77) wird dies deutlich. Das Ergebnis zeigt die Vegetationsflächen entsprechend ihrer Reflexion im Nahen Infrarot und der Kanaluordnung zum Rot in roten Tönen unterschiedlicher Helligkeit. Die bebauten Strukturen erscheinen in Grau-Blautönen, so daß auch hier eine Abgrenzung der Stadt gegenüber dem Umland möglich ist. Die gegenüber Landsat-TM verminderte spektrale Auflösung von SPOT-XS ist am geringer ausgenutzten Farbraum im innerstädtischen Bereich nachzuvollziehen. Visuell lassen sich anhand der Farbgebung im Verschneidungsprodukt Landsat-TM mit SPOT-PAN unterschiedlich bebaute Bereiche besser trennen als im SPOT-XS-Bild verknüpft mit SPOT-PAN. Dies trifft insbesondere für die Abgrenzungen der verschieden stark verdichteten Bereiche der Stadt sowie die Unterscheidung der Ein- und Zweifamilienhausbebauung von der Blockbebauung zu. Die letzteren erscheinen häufig ähnlich. Die Trennbarkeit zwischen der Ein- und Zweifamilienhausbebauung und den Kleingartensiedlungen ist auch in diesem Bild möglich. Bereiche ohne erkennbarer Linienstruktur mit rot-grauer Farbgebung entsprechen den Kleingärten. Industrie- und Gewerbegebiete können erst in der Vergrößerung identifiziert werden. Sie zeigen das bereits bekannte Erscheinungsbild mit dem Nebeneinander sehr heller und intensiv dunkler, zumeist rechteckiger Flächen. Insgesamt werden diese Bereiche aber überwiegend von den gleichen Farben durchzogen wie die übrigen bebauten Bereiche. Nur anhand der großen Dachflächen, die erst in der Vergrößerung sichtbar werden, kann auf ein solches Gebiet geschlossen werden.

Momentane Bebauungsgebiete - zum Beispiel Neue Messe - haben ein sehr helles, blaues Erscheinungsbild, das sich ebenfalls im innerstädtischen Bereich wiederfindet. Aufgrund der Größe der Fläche sowie der in weiß erkennbaren, sich im Bau befindlichen Häuser kann auf ein Bebauungsgebiet bereits bei der monotemporalen Betrachtung geschlossen werden. Kleinere Baumaßnahmen im innerstädtischen Bereich können hingegen nicht erkannt werden. Im multitemporalen Vergleich ist dies denkbar, wenn die unter dem Kapitel 3.4.1 gemachten Aussagen berücksichtigt werden.

Die gegenüber Landsat-TM reduzierte spektrale Vielfalt wird zum Teil durch die geometrisch bessere Auflösung des SPOT-XS ausgeglichen (vgl. Kap. 3.4.1 u. Kap. 3.4.5). Insgesamt ist das Bild klarer. Es können mehr Details erkannt und unterschieden werden als im Verschneidungsprodukt von Landsat-TM mit SPOT-PAN. Hierzu zählt insbesondere das Straßennetz, das sich selbst im

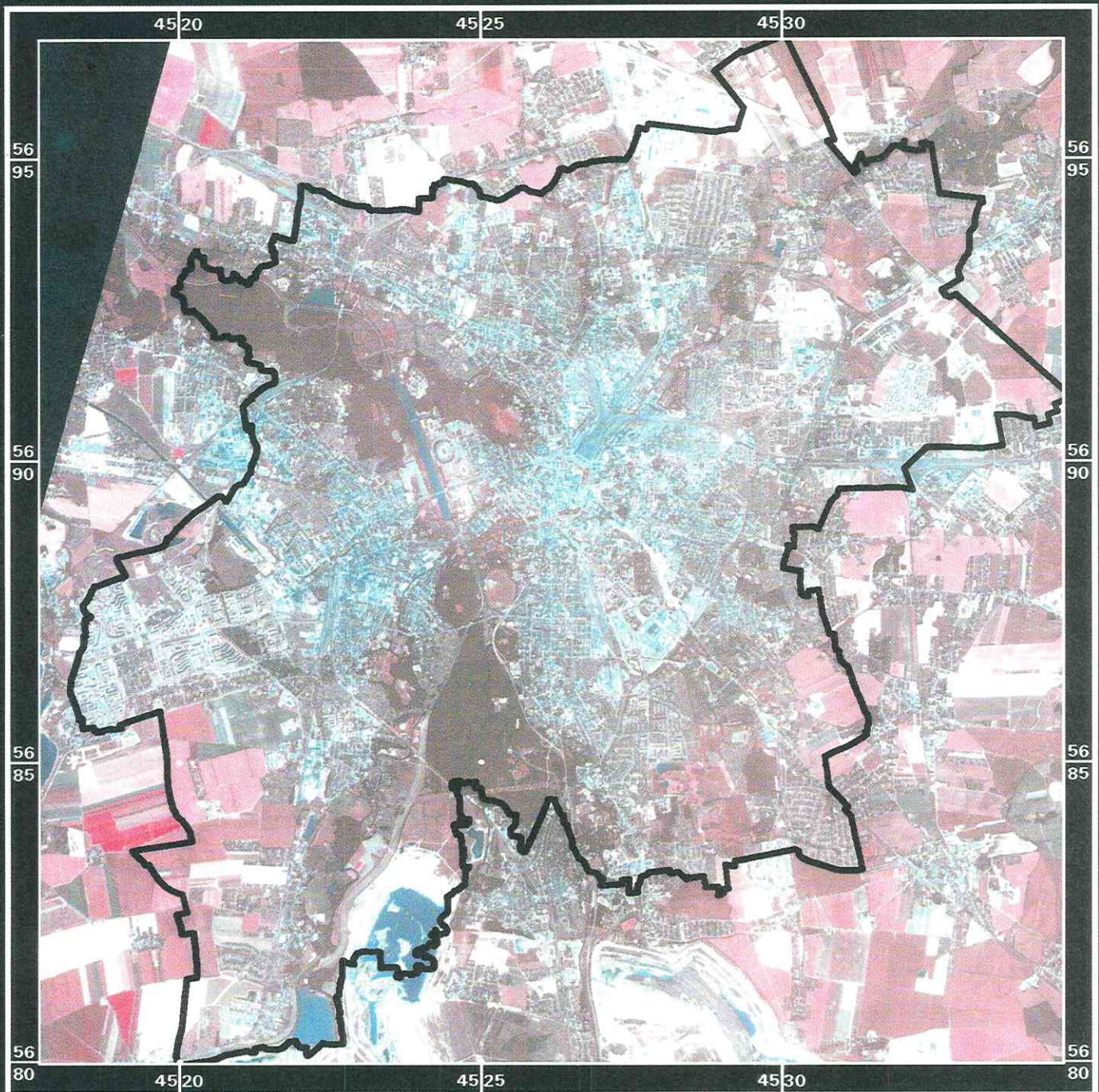
<sup>51</sup> Nächste Seite (S. 75) - Abb. 21: Verschneidungsprodukt SPOT-XS mit SPOT-PAN - Gesamtansicht

<sup>52</sup> Übernächste Seite (S. 77) - Abb. 22: Verschneidungsprodukt SPOT-XS mit SPOT-PAN - Ausschnitte



# RGB-IHS-RGB-Transformation für die Stadt Leipzig

Verschneidungsprodukt SPOT-XS (Kanäle 3, 2, 1) mit SPOT-PAN



0 2 Kilometer



Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Digitale Bildverarbeitung und Kartographie:  
Dipl.-Geogr. V. Heinz

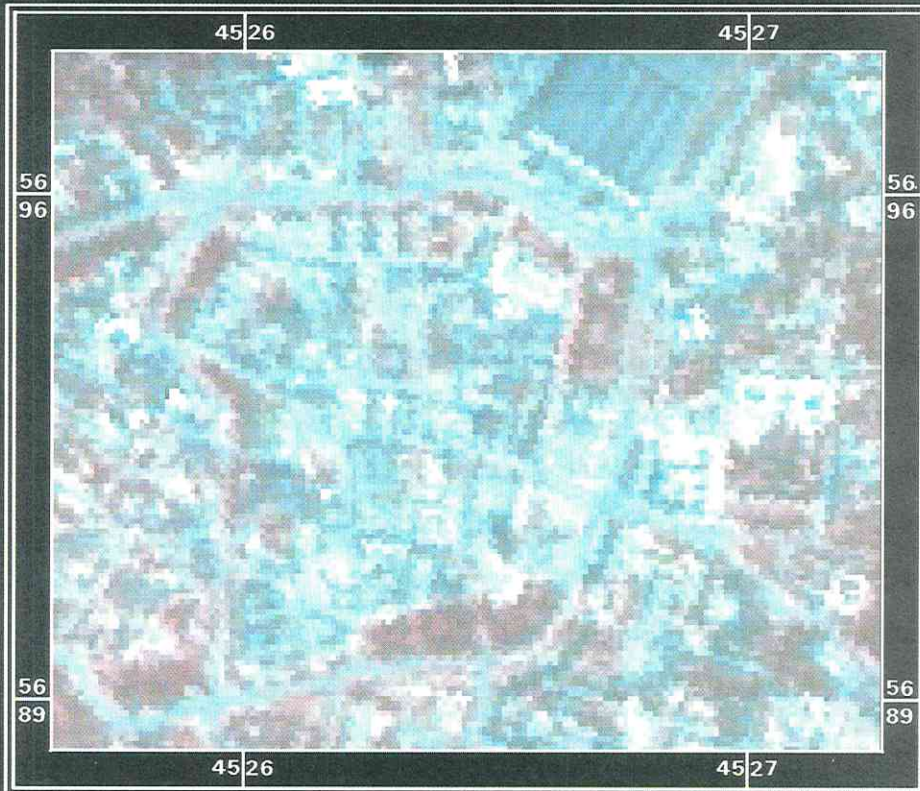


gefördert durch:  
Deutsche Agentur für  
Raumfahrtangelegenheiten  
(DARA GmbH)



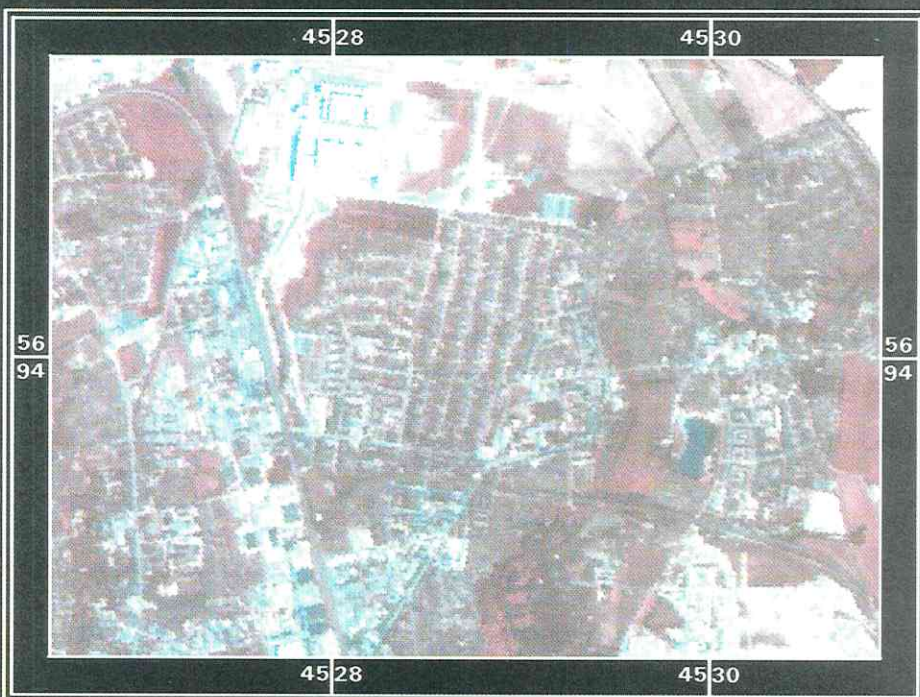
# RGB-IHS-RGB-Transformation für die Stadt Leipzig

Verschneidungsprodukt SPOT-XS (Kanäle 3, 2, 1) mit SPOT-PAN



Ausschnitt  
Innenstadt

Kilometer  
0 0.5



Ausschnitt  
Leipzig Nord  
und Nordost

Kilometer  
0 1



Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Digitale Bildverarbeitung und Kartographie  
Dipl.-Geogr. V. Heinz, E. Kneisel



gefördert durch:  
Deutsche Agentur für  
Raumfahrtangelegenheiten  
(DARA GmbH)



dicht bebauten innerstädtischen Bereich gut nachvollziehen läßt. Allerdings bleibt die bereits im Kapitel 3.4.1 diskutierte Schwierigkeit der Unterscheidbarkeit unterschiedlicher Bebauungsstrukturen und unterschiedlicher Durchgrünungsgrade, weshalb der Interpretation des Verschneidungsproduktes Landsat-TM mit SPOT-PAN gegenüber diesem der Vorzug für die Interpretation von urbanen Strukturen gegeben wird.

Während die Verknüpfung von Landsat-TM mit dem geometrisch dreimal besser auflösenden SPOT-PAN-Kanal bereits eine deutlich bessere Interpretationsmöglichkeit gegenüber Landsat-TM ergeben hat, dient die Verknüpfung von *Landsat-TM* mit *KVR-1000* der Überprüfung, inwieweit eine zusätzliche Erhöhung der geometrischen Information die Interpretation verbessern kann. Es zeigt sich aber, daß bei der Kombination der hohen geometrischen Auflösung ( $2 \times 2$  m) des KVR-1000-Bildes die spektrale Information von Landsat-TM infolge seiner geringeren geometrischen Auflösung nur annähernd mit Details übereinstimmt (s. Abb. 23<sup>53</sup>, S. 79). Die 30 m-Pixel überragen erkennbare Strukturen des panchromatischen Kanals, so daß die Abgrenzung zum Beispiel von durchgrünten Flächen erschwert wird. Ein Beispiel hierfür sind die Grünflächen des Innenstadtringes im Süden (s. Abb. 23, S. 79). Trotzdem erlaubt das Verschneidungsprodukt durch die multispektrale Information eine Trennung unterschiedlich stark durchgrünter Bereiche. Je intensiver der Rotton (Kanal-kombination 4, 5, 3 des Ausgangsbildes Landsat-TM), desto stärker ist die Durchgrünung, und desto geringer ist der Versiegelungsgrad. So läßt sich im östlichen Teil der Kernstadt aufgrund des dortigen intensiveren Rottones auf eine stärkere Durchgrünung und somit einen geringeren Versiegelungsgrad schließen als im Bereich innerhalb des Ringes. Deutlich werden auch Unterschiede innerhalb der Bebauung. Bei ähnlicher Farbgebung kann aufgrund der detaillierten geometrischen Information zum Beispiel zwischen Bereichen mit überwiegend Blockrandbebauung im Nordosten und dominanter Blockbebauung im Westen der Kernstadt unterschieden werden (s. Abb. 23, S. 79). Trotz der groben Pixelstruktur von Landsat-TM heben sich durch die geometrische Information einzelne Gebäude deutlich voneinander ab. Insgesamt jedoch wird die Interpretation durch die unterschiedlichen geometrischen Auflösungen der kombinierten Datensätze eher behindert.

In der Abb. 24<sup>54</sup> (s. S. 81) ist die Verknüpfung von *SPOT-XS* mit *KVR-1000* dargestellt. Auch hier überlappen die groben Pixel Bereiche anderer Information. Hinzu kommt die geringere spektrale Auflösung des SPOT-XS, die bereits beim Beispiel des Verschneidungsproduktes SPOT-XS mit SPOT-PAN diskutiert worden ist. Im allgemeinen lassen sich die dort gemachten Aussagen auf

<sup>53</sup> Nächste Seite (S. 79) - Abb. 23: Verschneidungsprodukt Landsat-TM mit KVR-1000 - Ausschnitte (eigener Entwurf)

<sup>54</sup> Übernächste Seite (S. 81) - Abb. 24: Verschneidungsprodukt SPOT-XS mit KVR-1000 - Ausschnitte (eigener Entwurf)



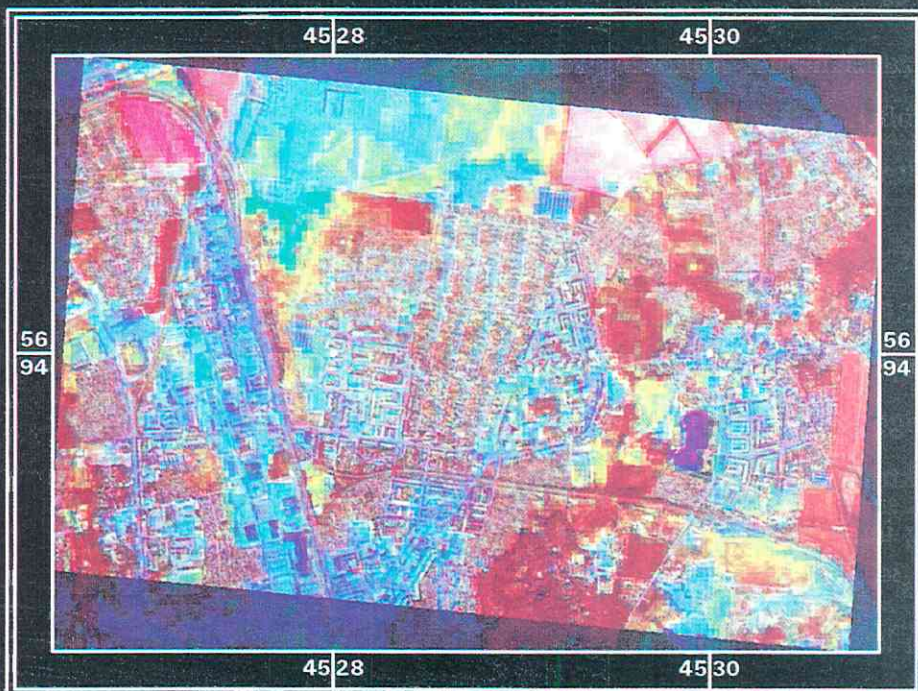
# RGB-IHS-RGB-Transformation für die Stadt Leipzig

Verschneidungsprodukt Landsat-TM (Kanäle 4, 5, 3) mit KVR-1000



**Ausschnitt  
Innenstadt**

Kilometer  
0 0.5



**Ausschnitt  
Leipzig Nord  
und Nordost**

Kilometer  
0 1



Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Digitale Bildverarbeitung und Kartographie:  
Dipl.-Geogr. V. Heinz, E. Kneisel

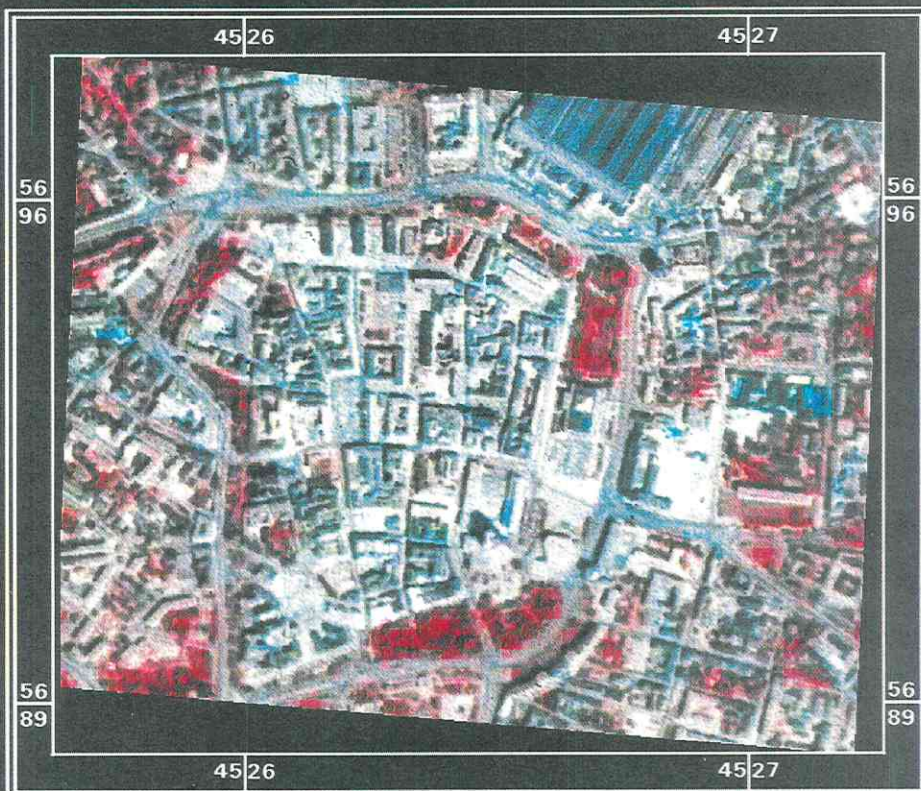


gefordert durch:  
Deutsche Agentur für  
Raumfahrtangelegenheiten  
(DARA GmbH)

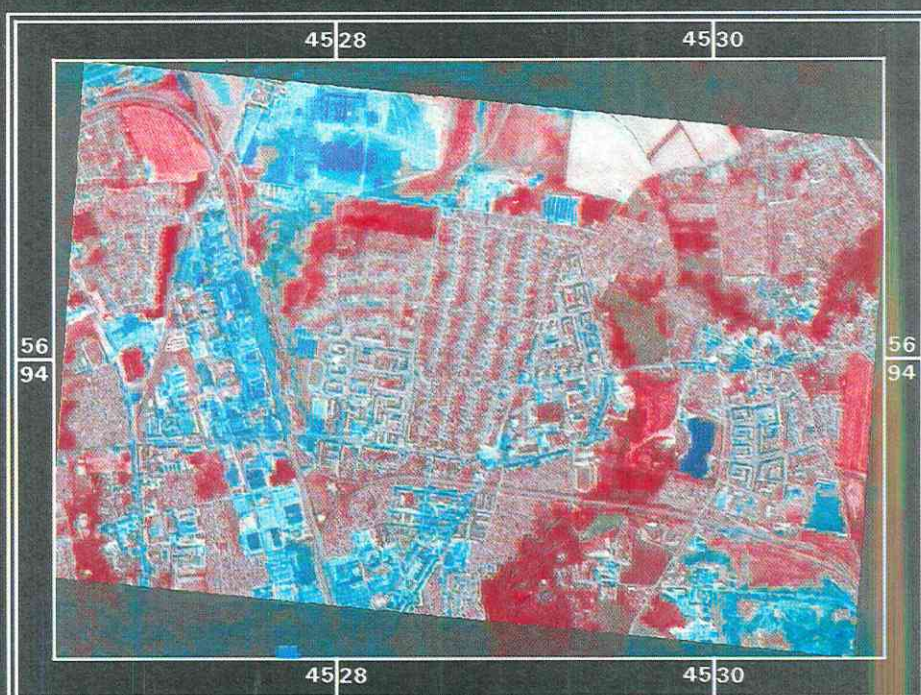


# RGB-IHS-RGB-Transformation für die Stadt Leipzig

Verschneidungsprodukt SPOT-XS (Kanäle 3, 2, 1) mit KVR-1000



**Ausschnitt  
Innenstadt**



**Ausschnitt  
Leipzig Nord  
und Nordost**



Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Digitale Bildverarbeitung und Kartographie:  
Dipl.-Geogr. V. Heinz, E. Kneisel



gefördert durch:  
Deutsche Agentur für  
Raumfahrtangelegenheiten  
(DARA GmbH)



dieses Beispiel übertragen. Trotz der höheren geometrischen Auflösung des multispektralen Bildes ist für eine visuelle Interpretation das Verschneidungsprodukt von Landsat-TM mit KVR-1000 diesem überlegen. Somit kann auf eine weitere Interpretation des KVR-1000-Bildes verzichtet werden.

Durch die Verschneidung der Daten von *KVR-1000* mit *KFA-1000* (s. Abb. 25<sup>55</sup>, S. 83) wird aufgrund ihrer hohen geometrischen Auflösung das schärfste Bild und damit das beste Ergebnis für eine visuelle Interpretation erzielt. Die vegetationsbestandenen Flächen lassen sich aufgrund der relativ lagegenauen Abbildung sehr gut voneinander abgrenzen. Es werden keine Gebiete von fremden Informationen überdeckt. Die Ausprägung der Schatten, in denen Informationen fehlen, sind entsprechend der hohen Auflösung in diesem Bild ebenfalls am größten, lassen sich aber sehr genau identifizieren. Sie geben zudem oftmals weitere Hinweise für eine Interpretation. So ist die Schattenlänge auch ein Maß für die Häuserhöhe, der Sonnenstand läßt sich nachvollziehen und für die Planung können zum Beispiel Beschattungsbereiche kartiert werden. Neben verschiedenen Bebauungs-/Gebäudearten können auch Strukturen innerhalb der Grünflächen unterschieden werden. Momentane Bebauungsgebiete, die sich durch eine starke Reflexion auszeichnen, lassen sich ebenso wie stark versiegelte Bereiche mit weißer, weiß-gräulicher bis hellbraun-rötlicher Färbung differenzieren. Beispiele hierfür sind der Kernbereich der Stadt sowie das Neubaugebiet der Neuen Messe, das sich als heller, gelblich-weiß erscheinender Bereich abbildet. Allerdings werden die geometrischen Entzerrungen mit zunehmender Auflösung schwieriger und umfangreicher und die Datensätze werden zunehmend größer. So kann zum Beispiel das Arbeitsgebiet nicht mehr effektiv als kompletter Ausschnitt behandelt werden, da sein Speicherplatz zu groß wird.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß für die Interpretation urbaner Flächen durch die Datenverknüpfung nach der RGB-IHS-RGB-Methode gute Zusatzinformationen erhalten werden. Insbesondere durch die Kombination spektraler mit geometrischen Informationen erfahren beide Eingangsdatensätze eine gegenseitige Ergänzung und einen deutlichen Informationszuwachs. Bei der weitgehenden Erhaltung der spektralen Vielfalt werden Informationen über Linien und Kanten hinzugefügt, die eine Orientierung im Bild verbessern, die visuelle Interpretation vereinfachen und somit zu einem besseren Ergebnis<sup>56</sup> führen. Die Weiterverarbeitung in Form von Klassifikationen oder ähnlichem führt allerdings zu keinem Informationszugewinn. Hier ist die Arbeit mit den nicht verknüpften multispektralen Bildern für die Analyse unterschiedlicher Oberflächenbedeckungen in urbanen Räumen zu empfehlen. Die Ergebnisse der Datenverschneidungen werden zudem um so

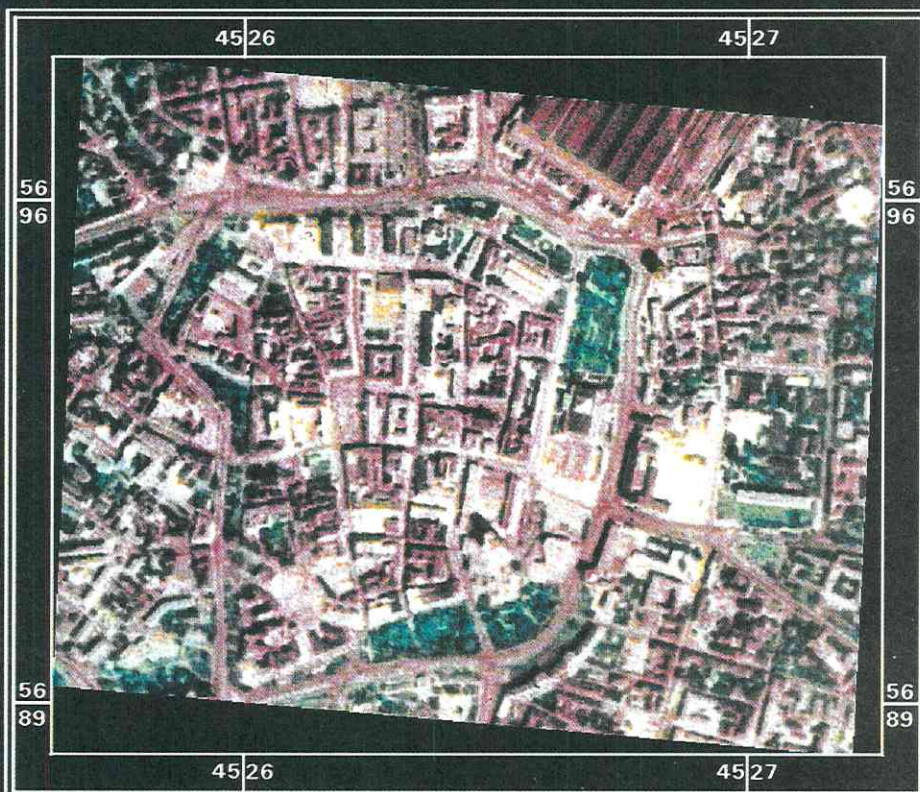
<sup>55</sup> Nächste Seite (S. 83) - Abb. 25: Verschneidungsprodukt KVR-1000 mit KFA-1000 - Ausschnitte (eigener Entwurf)

<sup>56</sup> Die Datenverschneidungsprodukte sind in erster Linie für die visuelle Interpretation geeignet.



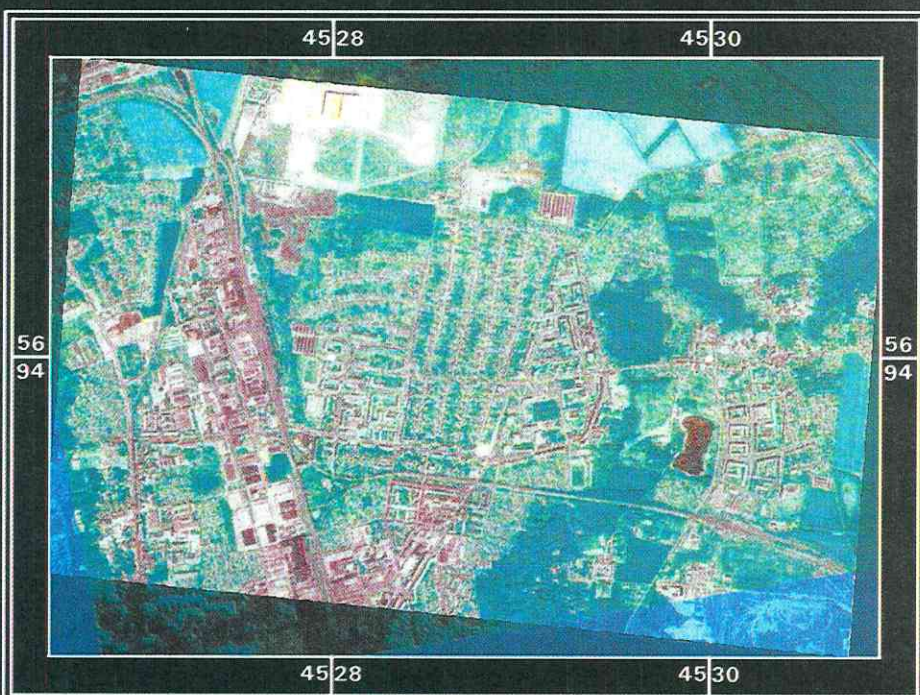
# RGB-IHS-RGB-Transformation für die Stadt Leipzig

Verschneidungsprodukt KFA-1000 mit KVR-1000



**Ausschnitt  
Innenstadt**

Kilometer  
0 0.5



**Ausschnitt  
Leipzig Nord  
und Nordost**

Kilometer  
0 1



Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Digitale Bildverarbeitung und Kartographie:  
Dipl.-Geogr. V. Heinz, E. Kneisel



gefördert durch:  
Deutsche Agentur für  
Raumfahrtangelegenheiten  
(DARA GmbH)



genauer - vor allem in der Abgrenzung von Einzelobjekten -, je ähnlicher die geometrische Auflösung ist. Zu empfehlen ist hierbei, die Daten jeweils von zwei Sensoren zu verknüpfen, die in der Hierarchie der Auflösung unmittelbar aufeinander folgen (vgl. Tab. 6, S. 11; s. z. B. Abb. 17, S. 68). Die Güte einer Interpretation hängt zudem von der spektralen Auflösung der Basisdaten ab. Je höher diese ist, desto genauer wird auch die Interpretation, da sich mehr Details erkennen lassen.

### 3.6 Zusammenfassung

Die Untersuchungen der städtischen Oberflächenbedeckung haben für verschiedene Fernerkundungsdaten und unterschiedliche Methoden die Grenzen und Möglichkeiten bei der Erkennung von unterschiedlichen Oberflächenbedeckungen und urbanen Strukturen sowie bei der Ableitung von Urbanisierungsprozessen ergeben. Neben den Möglichkeiten der visuellen Interpretation sind verschiedene Methoden der Bildverbesserung, eine hierarchische Klassifikation, eine EBIS-Klassifikation und Datenverknüpfungen für unterschiedliche Fernerkundungsdaten<sup>57</sup> getestet und miteinander verglichen worden. Zusammenfassend lassen sich entsprechend der Zielstellung (s. Kap. 3.1) folgende Aussagen ableiten:

- Während bei der visuellen Interpretation der Rohbilder die Detailerkennbarkeit mit zunehmender geometrischer Information steigt, nimmt sie infolge der Abnahme des Mischpixelanteiles bei einer Klassifikation entsprechend ab (vgl. Kap. 3.3, 3.4.1, 3.4.3 u. 3.4.5).
- Mit zunehmender geometrischer Auflösung wird eine Klassifikation ungenauer und schwieriger. Die Hinzunahme von synthetischen Kanälen ist zu empfehlen. Für SPOT-XS hat ein Vegetationsindex gute Ergebnisse erzielt (vgl. Kap. 3.4.2 - 3.4.4).
- Verschiedene Bildverbesserungsmethoden zur Überprüfung einer Optimierung der Interpretation von Roh- und klassifizierten Bildern haben zu keinem Erfolg bei der Analyse urbaner Oberflächenbedeckungen geführt. Lediglich für die multisensorale Datenverschneidung bietet sich eine vorherige starke Kantenfilterung des monospektralen Eingangsbildes an (vgl. Kap. 3.4.2 - 3.4.4 u. 3.5.2).
- Urbanisierungsprozesse lassen sich anhand des visuellen, multitemporalen Datenvergleiches der Rohszenen erkennen. Mit zunehmender geometrischer Auflösung wird der Prozeß vereinfacht. Momentane Bebauungsgebiete können ab einer Mindestflächengröße, die mit zunehmender geometrischer Auflösung sinkt, digitalisiert werden (vgl. Kap. 3.4.1, 3.4.5 u. 3.5.2).
- Multitemporale Vergleiche von Klassifikationen geben anhand der Flächenausdehnung und der thematischen Klassenzuweisung visuell und statistisch Aufschluß über Urbanisierungsprozesse. Hierbei sinkt die Aussagegüte mit zunehmender geometrischer Auflösung.
- Die RGB-IHS-RGB-Transformation hat das beste Ergebnis für eine Datenverschneidung ergeben (vgl. Kap. 3.5.1).
- Der Informationsgewinn gegenüber einer monosensoralen Szene steigt mit zunehmender geometrischer Auflösung. Hingegen vergrößern sich die Aufwendungen für die geometrische Entzerrung und der Speicherplatzbedarf (vgl. Kap. 3.5.2).

<sup>57</sup> Als weiterführende Literatur bezüglich KVR-1000-Daten sind KAUFMANN et al. (1994) sowie KOMP et al. (1994) und bezüglich KFA-1000 LIST et al. (1991a u. 1991b), SIEBERT et al. (1990) und STEINERT, M. (1994) zu nennen.



- Bei der Datenverschneidung sollten die geometrischen Auflösungen für eine optimale Interpretationsbasis möglichst ähnlich sein (vgl. Kap. 3.5.2).

Somit hat sich gezeigt, daß herkömmliche Fernerkundungsdaten durchaus Anwendungsbereiche bei der Analyse der städtischen Oberflächenbedeckung und der diese verändernden Urbanisierungsprozesse haben. Insbesondere im mittel- und kleinmaßstäbigen Bereich können interessante Ergebnisse erzielt werden, die dann im Gelände gezielt überprüft werden können und sollten. Zusätzlich zu den hier aufgeführten Möglichkeiten bieten sich Untersuchungen zur Versiegelung und zum Durchgrünungsgrad an, womit auf die Kapitel 4 und 5 sowie auf die im Kapitel 2 (s. Tab. 8, S. 35) beispielhaft angeführte Literatur verwiesen wird.

Für das Füllen der Datenlücke zwischen zwei kostspieligen Luftbildbefliegungen zur Analyse von Urbanisierungsprozessen sind die vorgestellten Fernerkundungsdaten trotz der oben angeführten Problembereiche (vgl. auch HEINZ 1996a, S. 56) durchaus geeignet. Die Vorteile der vergleichsweise geringen Kosten (vgl. Kap. 1.5), des Gesamtüberblickes, des digitalen Datenformates, der in Abhängigkeit vom Datenprodukt höheren spektralen Auflösung, etc. sind im Vergleich zu den Nachteilen bei der Beurteilung der Einsatzfähigkeit der Daten nicht zu vernachlässigen. Allerdings ist es wichtig, vor dem Einsatz der Daten die Probleme, die Grenzen und Möglichkeiten sowie auch sinnvolle Bearbeitungsmethoden genau zu kennen. Hierzu dienen die oben und im folgenden durchgeführten Untersuchungen.







#### 4. Untersuchungen der Ökologie im urbanen Raum mit Fernerkundungsdaten

Die thematische Einordnung dieses Kapitels erfolgt über eine kurze, allgemeine Erklärung der Ökologie und der Herstellung des Bezuges zur Urbanisierung. Zunächst sei der Begriff Ökologie definiert:

„[Die Ökologie ist die] Wissenschaft von den Wechselbeziehungen zwischen den Organismen untereinander, zu ihrer Umwelt und deren Geoökofaktoren. Untersuchungsgegenstände sind die Ökosysteme, die sich u. a. räumlich in [...] ökologischen Raumeinheiten [repräsentieren] (LESER et al. 1985, S. 38).

In der vorliegenden Studie interessiert insbesondere das Ökosystem des städtischen Raumes, das auch als 'Techno-Ökosystem' (HEINRICH et al. 1991, S.153) oder als 'urban-industrielles Ökosystem' (ADAM 1988, S. 24)<sup>58</sup> bezeichnet wird. Es setzt sich aus den abiotischen Faktoren des Bodens, des Wasser, des Klimas und der Luft sowie aus den biotischen Faktoren der Fauna (Mensch und Tier) und Flora zusammen. Insbesondere die städtischen Verdichtungsräume gelten als extreme Ökosysteme, da sie durch nachhaltige Umweltprobleme gekennzeichnet sind, die durch den zunehmenden Flächenverbrauch, die steigende Flächenversiegelung und Bodenverdichtung, die Emissionen, hohen Abwärmemengen und Stadtentwicklungsplanungen verursacht werden (HEINRICH et al. 1991, S. 153).<sup>59</sup> Anthropogene Eingriffe in städtische Ökosysteme, wie sie auch durch die Urbanisierungsprozesse erfolgen, äußern sich in einer - zumeist negativ zu bewertenden - Veränderung der ökologischen Faktoren (s. Tab. 12, S. 87).

Tab. 12: Ausgewählte Auswirkungen von Verstädterungen (verändert nach ADAM 1988, S. 32f.)

| Faktoren              | Erhöhung | Verminderung |
|-----------------------|----------|--------------|
| Strahlung             |          | x            |
| Beleuchtung           |          | x            |
| Bewölkung             | x        |              |
| Niederschlag          | x        | (x)          |
| Temperatur            | x        |              |
| Verdunstung           |          | x            |
| Relative Feuchtigkeit |          | x            |
| Windgeschwindigkeit   | x        | x            |
| Schadstoffbelastung   | x        |              |
| Vegetation            |          | x            |
| Fauna                 |          | x            |
| Energieverbrauch      | x        |              |
| Lärm                  | x        |              |

<sup>58</sup> Vgl. hierzu auch ADAM (1985).

<sup>59</sup> S. auch BREUSTE (1994) u. SCHMIDT et al. (1990).



Von diesen sind aber nur einige mit Fernerkundungsmethoden erkennbar. Hierzu zählen insbesondere die Faktoren des Klimas ((Oberflächenstrahlungs-) Temperatur) und der Vegetation (Durchgrünungsgrad), so daß diese beispielhaft für die nachstehenden Untersuchungen ausgewählt werden.

#### 4.1 Ziele

Bezüglich der Themenstellung des Projektes und der im Kapitel 4 gemachten Aussagen sollen Fernerkundungsdaten vom Landsat-TM, SPOT-XS und einer Thermalscannerbefliegung untersucht werden. Dabei werden die ökologischen Faktoren Klima und Vegetation herausgegriffen, da sie zum einen gut aus den Fernerkundungsdaten ableitbar sind, zum Teil die anderen Faktoren beeinflussen (vgl. Kap. 4) und zum anderen wesentlich bei der Untersuchung der ökologischen Folgen von Urbanisierungsprozessen sind. Im Vordergrund der Untersuchungen stehen

- die Erkennbarkeit von Oberflächenstrukturen anhand des Abbildungsverhaltens in für die ökologischen Komponenten spezifischen Spektralbereichen.
- der Vergleich des Abbildungsverhaltens gleicher - thematischer - Oberflächen generell und in definierten Raumeinheiten.
- die Ableitung von erkennbaren ökologischen Folgen der Urbanisierungsprozesse aus den Fernerkundungsdaten.
- der Vergleich der Aussagegüte verschiedener Fernerkundungsdatenprodukte unterschiedlicher spektraler, temporaler und geometrischer Auflösung.

Die Untersuchungen der Oberflächenstrahlungstemperaturen dienen der Überprüfung der mit Urbanisierungsprozessen einhergehenden Veränderungen der Ökologie und ihrer Erkennbarkeit mit Fernerkundungsmethoden. Hierzu werden bei flugzeug- und bei satellitengestützten Datengrundlagen (Landsat-TM, Kanal 6 (s. Kap. 4.3.1 u. 4.3.2) u. Thermalscanneraufnahme (s. Kap. 4.3.3; vgl. Kap. 1.6)) die Oberflächenstrahlungstemperaturen unterschiedlicher Oberflächenbedeckungen im relativen Vergleich zueinander getestet.<sup>60</sup> Dies erfolgt zunächst mit Hilfe einer visuellen Interpretation von *Landsat-TM, Kanal 6* (s. Kap. 4.3.1), die auch für die erste Analyse des Monitorings von Urbanisierungsprozessen auf dieser Basis eingesetzt wird. Dabei wird die mono- und multitemporale Untersuchung der Landsat-TM-Daten in Beispielgebieten angestrebt.

Die digitale Auswertung der Landsat-TM-Daten des Kanals 6 (s. Kap. 4.3.2) dient mit Hilfe einer Raster-Vektor-Verschneidung der Untersuchung, ob sich die Flächeneinheiten anhand typischer Oberflächenstrahlungstemperaturen unterscheiden lassen, bzw. ob sie charakteristische Werte aufweisen. Dies ist die Grundvoraussetzung für die abzuleitenden Aussagen bezüglich der Erkennbarkeit von Urbanisierungsprozessen auf dieser Grundlage einerseits und der mit Urbanisierungsprozessen

---

<sup>60</sup> Einen guten Beitrag zur Problematik der flächenhaften Erfassung von Strahlungstemperaturen aus Fernerkundungsdaten liefert LILIENTHAL (1998).



einhergehenden ökologischen Folgen von Veränderungen der Oberflächenstrahlungstemperatur andererseits.

Die Daten der Versiegelung der *Funktionalen Strukturtypen* werden mit dem Ziel herangezogen, Vergleiche zwischen verschiedenen Methoden der Erhebung unterschiedlich stark versiegelter Flächen anzuführen und insbesondere die Thermaldaten auf ihre Anwendbarkeit für das Monitoring unterschiedlicher Flächeneinheiten und Urbanisierungsprozesse mit großen Flächenausdehnungen zu untersuchen. Da die Funktionalen Strukturtypen funktions- und nicht nutzungsbestimmt sind, sollen Aussagen zur methodischen Verbesserung der Ergebnisse abgeleitet werden. Zudem wird der Datensatz herangezogen, um zu demonstrieren, daß ein direkter Vergleich auf der Basis unterschiedlicher zugrundeliegender Strukturen - der Flächennutzung und der Funktion der Fläche - nicht möglich ist, sondern nur relativ erfolgen kann.

Für den Nachweis einer Verbesserung der Aussagekraft bei verkleinerten und nutzungsbestimmten Flächenabgrenzungen werden zunächst neue Versiegelungsgrade definiert und anschließend entsprechend der Arbeitsschritte bei der Untersuchung der *Funktionalen Strukturtypen* untersucht. Zusätzlich sollen die Strukturtypen - gemittelt über alle Flächen gleichen Typs - auch auf ihre charakteristische Oberflächenstrahlungstemperatur hin geprüft und Ableitungen zur Möglichkeit des Erkennens von Urbanisierungsprozessen und ihrer ökologischen Folgen gemacht werden.

Der beispielhafte Vergleich der Thermaldaten des Landsat-TM mit denen der *Thermalscannerbefliegung* (s. Kap. 4.3.3) wird angestrebt, um die Unterschiede zwischen beiden hinsichtlich ihrer geometrischen und zeitlichen Auflösung zu verdeutlichen. Ferner soll darauf hingewiesen werden, wo einige Vor- und Nachteile in der Anwendung beider für die Bearbeitung der Fragestellung liegen. Da die Thermalscannerdaten von einer flugzeuggestützten Fernerkundungsplattform stammen, wird auf eine weitergehende Analyse verzichtet.

Mit der *Berechnung des Durchgrünungsgrades* auf der Basis des *Normalized Difference Vegetation Index* (s. Kap. 4.4) wird die Untersuchung der Erkennbarkeit unterschiedlicher Oberflächenstrukturen und deren Durchgrünungsgrad einerseits und die somit ableitbaren Aussagen zu Veränderungen der Oberflächenstruktur und der Ökologie im Zuge von Urbanisierungsprozessen andererseits verfolgt. Dabei stehen insbesondere die visuelle Interpretation sowie die digitale Auswertung der Daten im Vordergrund. Letztere sollen wiederum der Überprüfung dienen, inwieweit durch eine Raster-Vektor-Verknüpfung definierte Raumeinheiten eine Ergänzung mit einer ökologischen Komponente erfahren und diese sich voneinander anhand der unterschiedlichen NDVI-Werte unterscheiden lassen. Die Untersuchungen werden für Landsat-TM- und SPOT-XS-Daten



durchgeführt, um durch den Vergleich Aussagen zur Güte der Verbesserung der Ergebnisse durch eine Erhöhung der geometrischen Auflösung zu erzielen.

## 4.2 Methodiken

Die Fernerkundung erhält ihren Zugang zur Analyse des Klimas durch die Ausnutzung des atmosphärischen Fensters im thermalen Infrarot zwischen 8 und 14  $\mu\text{m}$ , in dem die Oberflächenstrahlungstemperatur gemessen wird. Der *Kanal 6* des *Landsat-TM* nimmt im thermalen Bereich des Infrarotes zwischen 10,4  $\mu\text{m}$  und 12,5  $\mu\text{m}$  mit einer geometrischen Auflösung von 120 m auf. Dieser Kanal ist entsprechend des Kapitels 1.6 vorverarbeitet und mittels Histogrammanpassungen für die Szenen von 1992 und 1994 aneinander angeglichen worden. Weitere Anpassungen zum Beispiel mittels einer Atmosphärenkorrektur konnten nicht durchgeführt werden (vgl. Kap. 1.6). Zusätzliche Kalibrierungen zwischen den einzelnen Scanreihen, wie sie bei mehreren Flugstreifen einer Flugzeugscannerbefliegung bei der Vorverarbeitung nötig sind, wurden nicht durchgeführt. Aufgrund der schnellen Aufnahme des Untersuchungsgebietes während des Überfluges kann von einer einheitlichen Oberflächenerwärmung ausgegangen werden.

Sinnvoll für die zunächst durchzuführende *visuelle Interpretation* (s. Kap. 4.3.1) ist die vorherige Anwendung eines Tiefpaßfilters, der das Bild in seiner Gesamtheit homogenisiert (vgl. Abb. 35, S. 115; vgl. Kap. 3.2). Zudem bietet sich eine Einfärbung des Grautonbildes an. Entsprechend der Farbuordnungen blau gleich kalt und rot gleich warm sowie durch die bessere Farb- als Grautonunterscheidung des Auges ist so eine Differenzierung unterschiedlicher Bereiche einfacher. Mit der visuellen Interpretation wird die Strahlungstemperatur der Oberflächen untersucht und geprüft, ob sich gleiche Oberflächen anhand charakteristischer Werte erkennen lassen. Weiterhin wird geprüft, inwiefern sich Urbanisierungsprozesse im Bild mono- und multitemporal identifizieren lassen bzw. ob die Auswirkungen dieser auf das Klima erkennbar sind.

Für die Thematik der Urbanisierung erfolgt zunächst monotemporal die Untersuchung der charakteristischen Oberflächenstrahlungstemperatur in den Flächen der überlagerten, auf der Grundlage des visuellen Vergleiches der Landsat-TM-Szenen von 1992 und 1994 (vgl. HEINZ 1996a, S. 55) *digitalisierten Momentanen Bebauungsgebiete*. Anhand des visuellen Vergleiches zweier Beispiele von nachweislich veränderten Gebieten mit neuer Industrie bzw. Gewerbe wird der multitemporale Aspekt untersucht. Hierbei ist es wichtig zu wissen, daß die Szenen nicht weiter als oben beschrieben aufeinander angepaßt worden sind. Die Aussagen sind demnach relativ.

Für die nachfolgend vorgestellten *digitalen Auswertungen* (s. Kap. 4.3.2) hinsichtlich verschiedener Flächenbezüge werden die Raster- mit den Vektordaten verschnitten. Diese sogenannte Raster-



Vektor- oder auch Raster-GIS-Verschneidung/-Verknüpfung wird mit den Polygonen der *Funktionalen Strukturtypen* (s. Tab. 13, S. 91) und mit denen der neuen *Stadtstrukturtypen* nach der auf der Seite 95 beschriebenen Methode durchgeführt.

Tab. 13: Kennzeichnung der Funktionalen Strukturtypen (verändert nach USBECK et al. 1992b)

| Nr. | Funktionaler Strukturtyp                                                                                                                    |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | Zentrumsbereich und Bereich Zentrumserweiterung                                                                                             |
| 2   | Zentrumsnaher Bereich mit Veränderungsdruck zu Funktionen eines Oberzentrums                                                                |
| 3   | Bereich mit dominierender Wohnfunktion, größere Arbeitsstättenbereiche und Versorgungseinrichtungen                                         |
| 4   | Größeres Mischgebiet mit Wohnfunktion                                                                                                       |
| 5   | Bereich mit dominierender Wohnfunktion, Versorgungsfunktion an Achsen orientiert                                                            |
| 6   | Ortsteilzentrum auf überregionaler Achse, mit Mischgebiet bzw. eingeschlossenem Industriegebiet                                             |
| 7   | Bereich des Ortsteilzentrums außerhalb der überregionalen Achse, teilweise Einzelhausbebauung, Nähe zu größerem Industrie- bzw. Mischgebiet |
| 8   | Bereich des Ortsteilzentrums in Randlage mit teilweise noch erhaltenen Dorfstrukturen                                                       |
| 9   | Bereich des Ortsteilzentrums in Randlage mit großem Teil Einzelhausbebauung und in Nachbarschaft größerer Neubaugebiete                     |
| 10  | Bereich auf überregionaler Achse und in Citynähe, Entwicklung zum Ortsteilzentrum möglich                                                   |
| 11  | Neubauwohngebiet mit Nähe zu Sondergebiet und Bereichen mit Einzelhausbebauung, periphere Lage                                              |
| 12  | Wohngebiet mit dichter Bebauung und Entwicklungstendenz zum Ortszentrum                                                                     |
| 13  | Wohngebiet in Citynähe mit dichter, teilweiser repräsentativer Bebauung                                                                     |
| 14  | Wohngebiet vorwiegend in Einzelhausbebauung mit hohem Grünflächenanteil und in guter bis sehr guter Wohnlage                                |
| 15  | Wohngebiet mit ländlicher Prägung                                                                                                           |
| 16  | Wohngebiet mit unikalem Baustil (Altneubau, Genossenschaftsbau, u. ä.)                                                                      |
| 17  | Wohngebiet mit unmittelbar benachbartem Industriegebiet                                                                                     |
| 18  | Industrie- und Gewerbegebiet                                                                                                                |
| 19  | Verkehrsgebiet                                                                                                                              |
| 20  | Gebiet öffentlicher Einrichtungen                                                                                                           |
| 21  | Sondergebiet                                                                                                                                |
| 22  | Naturnah beeinflusstes Areal                                                                                                                |
| 23  | Technogen beeinflusstes Areal                                                                                                               |
| 24  | Innerstädtisches Erholungsgebiet (Kleingarten, Sportanlage, Park, Friedhof)                                                                 |
| 25  | Entsorgungsgebiet                                                                                                                           |
| 26  | Landwirtschaftliche Nutzfläche                                                                                                              |
| 28  | Großflächig geplante Nutzungsänderungen (z. T. schon im Bau) - Gewerbe und großflächiger Einzelhandel                                       |
| 29  | Großflächig geplante Nutzungsänderungen (z. T. schon im Bau) - Wohnungsneubau                                                               |
| 30  | Großflächig geplante Nutzungsänderungen (z. T. schon im Bau) - Naherholungsgebiet; Braunkohlenbergbau                                       |
| 31  | Großflächig geplante Nutzungsänderungen (z. T. schon im Bau) - Öffentliche Einrichtung                                                      |
| 50  | Gewässerfläche                                                                                                                              |

Die Funktionalen Strukturtypen unterscheiden zwischen 'Sozioökonomischen Strukturtypen', 'Städtischen Freiflächenstrukturtypen', 'Landwirtschaftlicher Nutzfläche', 'Braunkohlenbergbau' und 'Großflächig geplanten Nutzungsänderungen' (USBECK et al. 1992b). Obwohl diese in erster Linie sozioökonomische Unterscheidung für die Überprüfung thermaler Charakteristiken von



Oberflächen weniger gut geeignet ist, wird auf die digital vorliegenden Daten der Versiegelungsgrade<sup>61</sup> (s. USBECK et al. 1992c) innerhalb der definierten Flächen zurückgegriffen. Zudem sind die Unterschiede zu den Flächenbegrenzungen der neueren, ergänzten Stadtstrukturtypen (s. u.) gering. Sie sind aus den Funktionalen Strukturtypen hervorgegangen, so daß eine solche Untersuchung vertreten werden kann.

Als erster Untersuchungsschritt wird die Beziehung zwischen der Oberflächenstrahlungstemperatur und der Versiegelung überprüft. Diesem Ansatz liegt der Aspekt zugrunde, daß mit einer Zunahme der Bebauung der Versiegelungsgrad zu-, der Durchgrünungsgrad ab- und somit die Oberflächenstrahlungstemperatur zunimmt. Ob dies anhand eines Landsat-TM-Bildes erkennbar ist, wird überprüft. Hierzu wird zunächst die Oberflächenstrahlungstemperatur - gemessen vom Landsat-TM, Kanal 6 - in zehn Klassen klassifiziert, um eine Vergleichsvariante zu den zehn Klassen der Versiegelung zu bekommen. Innerhalb der Grenzen der Funktionalen Stadtstrukturtypen erfolgt dann die statistische Berechnung der Mean- und der Majority-Werte.

Für eine vergleichende Darstellung der Daten des Versiegelungsgrades innerhalb der Funktionalen Strukturtypen und der zugewiesenen Klassen der Oberflächenstrahlungstemperatur bietet sich eine Differenzbildung zwischen beiden auf Basis der Mean-Werte einerseits und der Majority-Werte andererseits an. Zudem wird ein Vergleich der Differenzen zu Lufttemperaturen in Leipzig hergestellt. Diese Daten basieren auf einer Klimameßfahrt durch Leipzig am 22. 07. 1994 bei einer dem Aufnahmetermin von Landsat-TM entsprechenden Phänologie und Großwetterlage. Die Messungen erfolgten in 2 m Höhe und wurden anschließend auf die Stadt Leipzig nach dem Kriging-Verfahren interpoliert. Es folgte die Übertragung der Werte auf die Flächeneinheiten der Funktionalen Strukturtypen. Die entstehenden Mean- und Majority-Werte werden zu den Versiegelungsgraden in Bezug gesetzt (vgl. KOCH et al. 1996). Die eigentliche Differenzbildung erfolgt durch einen Vergleich der Klassenzuweisungen in den definierten Flächeneinheiten. Eine positive Differenz bedeutet einen höheren Versiegelungsgrad bei den Thermalklassen. Negative Differenzen weisen auf eine höhere Klassenzuweisung im Versiegelungsgrad der Funktionalen Stadtstrukturtypen hin.

Für die Untersuchung von kleineren und nutzungsbestimmten Flächenabgrenzungen wird die Karte der Stadtstrukturtypen (BÖHM et al. 1996) herangezogen. Da hierfür keinerlei Versiegelungsdaten vorliegen und durch die zeitliche Limitierung der Projektarbeit keine eigene Karte auf der Grundlage einer detaillierten Luftbilddauswertung erstellt werden konnte, wird eine Versiegelungskarte durch Abgleich unterschiedlicher Versiegelungswerte für Strukturtypen aus der Literatur erstellt. Diese bedarf keinerlei absoluten Daten, da es hier vordergründig um die methodische Darstellung geht. Um

<sup>61</sup> Grundlage: visuelle Luftbildinterpretation



mögliche Schwankungsbreiten und Ungenauigkeiten beim Datenabgleich zu minimieren, werden die zehn Versiegelungsklassen der Funktionalen Strukturtypen auf fünf reduziert (vgl. Tab. 8, S. 35). Die in der Tab. 14 (s. S. 93) wiedergegebene Kennzeichnung der Strukturtypen und deren Versiegelungsgrad setzt sich aus der Abgleichung der Strukturtypen von BREUSTE et al. (1996), BÖHM et al. (1994), BÖHM et al. (1996), DUHME et al. (1994) und HEYN (1996) zusammen. Die Kombination wurde auch aus dem Grunde gewählt, weil die angegebenen Versiegelungsgrade von BREUSTE et al. (1996) und HEYN (1996) starke Schwankungsbreiten aufweisen. Die Generalisierung induziert allerdings wiederum eine Verfälschung der Datenverschneidungen, deren Ausmaß aber infolge der rein methodischen Überprüfung einer Akzeptanz unterliegt.

**Tab. 14: Kennzeichnung der Strukturtypen und deren Versiegelungsgrade (eigene Definition, verändert nach HEYN 1996 u. DUHME et al. 1994) - Versiegelungsgrad 1 - sehr gering, 2 - gering, 3 - mittel, 4 - hoch, 5 - sehr hoch**

| Nr. | Strukturtyp                               | Versiegelungsgrad |
|-----|-------------------------------------------|-------------------|
| 1   | Blockrandbebauung                         | 4                 |
| 2   | Blockbebauung (inkl. Kerngebiete)         | 5                 |
| 3   | Zeilenbebauung                            | 3                 |
| 4   | Großwohnsiedlungen                        | 3                 |
| 5   | 1- u. 2-Familienhausbebauung              | 3                 |
| 6   | Villen                                    | 2                 |
| 7   | Ehemalige Dorfkerne                       | 3                 |
| 8   | Industrie- u. Gewerbegebiete              | 5                 |
| 9   | Sonderflächen                             | 3                 |
| 10  | Verkehrsflächen                           | 4                 |
| 12  | Grün- u. Parkanlagen                      | 1                 |
| 13  | Spiel-, Sport- u. Freizeitanlagen         | 2                 |
| 14  | Kleingartenanlagen                        | 2                 |
| 15  | Friedhöfe                                 | 1                 |
| 16  | Landwirtschaftliche Nutzfläche            | 1                 |
| 23  | Waldflächen                               | 1                 |
| 24  | Wasserflächen                             | 1                 |
| 25  | Brach- u. Umwidmungsflächen               | 1                 |
| 26  | Aufschüttungen / Abgrabungen / Entsorgung | 1                 |

Der nächste Arbeitsschritt erfolgt mit der Berechnung der Mittelwerte und der häufigsten Werte des Landsat-TM-Kanals 6 innerhalb der Grenzen der Stadtstrukturtypen, wobei über alle Flächen des selben Strukturtyps gemittelt wird. Hier liegt die Überlegung zugrunde, daß die Karte des Versiegelungsgrades (s. Abb. 30, S. 109) ebenfalls den Versiegelungsgrad für alle Flächen eines Strukturtyps gleich ausweist und nicht innerhalb eines Strukturtyps unterscheidet. Es folgen weiterhin eine Raster-GIS-Verknüpfung und eine statistische Auswertung.

Im Gegensatz zur satellitengestützten Thermalaufnahme des Landsat-TM werden die heute zumeist operationell eingesetzten *Thermalscanneraufnahmen von Flugzeugen* aus aufgenommen. Sie werden



in der Regel bei strahlungsreichen, windschwachen Hochdruckwetterlagen (= autochthone Wetterlagen, vgl. SPACETEC, S. 6) gemacht, bei denen annähernd der Maximalfall der Oberflächenerwärmung erfaßt werden kann. Dies ist vor allem in Bezug auf die Lösung von Planungsfragen wichtig. Auch für die Erkundung von Urbanisierungsprozessen bietet sich dies entsprechend an, da somit die Erwärmung und das Abkühlungsverhalten zwischen einzelnen Oberflächen im Vergleich zueinander in ihrer maximalen Ausdehnung erfaßt werden. Bei relativ hoher Einstrahlung erwärmen sich verschiedene Oberflächen zum Beispiel nach den physikalischen Gesetzen von *Planck*, *Boltzmann* und *Kirchhoff* (s. S. 96) unterschiedlich stark. Diese Unterschiede sind bei niedrigerer Sonneneinstrahlung entsprechend geringer.

Die Thermalscannerbefliegung liefert von der Fernerkundungsplattform des Flugzeuges in Abhängigkeit von der Befliegungshöhe ein unterschiedlich aufgelöstes Bild. Bereits bei einer Flughöhe von 3200 m über Grund läßt sich eine Bodenauflösung von ca. acht Metern mit dem benutzten DAEDALUS-Scanner erreichen. Detailbefliegungen mit einem Meter Auflösung stellen heutzutage kein Problem mehr dar.<sup>62</sup> Mit zunehmender geometrischer Auflösung steigt die Anzahl der benötigten Flugstreifen. Damit wird ebenfalls der Zeitaufwand für die Befliegung größer, wodurch die zeitliche Komponente der zwischenzeitlichen Erwärmung bzw. Abkühlung hinzukommt. Dadurch wird die Korrektur der Daten aneinander erschwert und zunehmend fehlerbehaftet. Zudem sind bei den Thermalscannerbefliegungen die geometrischen Entzerrungen schwieriger und zeitaufwendiger als bei Satellitenbildern, da sie photogrammetrisch erfolgen müssen. Und nicht zuletzt steigen die Kosten, die schon beim vorgestellten Beispiel um mindestens das Zehnfache höher liegen.

Unter der Berücksichtigung dieser Probleme, der auf satellitengestützten Fernerkundungsdaten ausgerichteten Themenstellung des Projektes sowie der bereits heute operationalisiert eingesetzten Thermalscannerbefliegungen werden die Ergebnisse sowie einige Interpretationsmöglichkeiten der Befliegung der Stadt Leipzig von 1992 der Vollständigkeit halber vorgestellt (s. Kap. 4.3.3). Eine Gegenüberstellung der jeweiligen Vor- und Nachteile bzw. der direkte Vergleich der Daten zu denen von Landsat-TM kann aufgrund der zeitlich differierenden Aufnahme und fehlenden Eichung nicht absolut erfolgen. Während der Landsat-TM vormittags nach der ersten Erwärmung der Oberflächen die Ist-Situation aufnimmt, werden die Thermalscanneraufnahmen in der Regel kurz vor Sonnenauf- und kurz nach Sonnenuntergang gemacht, so daß eine Abkühlungsrate der Oberflächen bestimmt und eine Temperaturdifferenzkarte abgeleitet werden können. Die Daten von Landsat-TM sind vom Mai und die von DAEDALUS aus dem September, womit unterschiedliche phänologische Be-

<sup>62</sup> Höhere geometrische Auflösungen als 2 m für derartige Analysen sind nicht zu empfehlen, da dann die Grenzen des zeitlichen und finanziellen Aufwandes im Vergleich zum verlangten Ergebnis überschritten werden. Dabei sollte das Untersuchungsgebiet möglichst klein gehalten werden.



dingungen, meteorologische Verhältnisse und zwischenzeitlich stattgefundenen Veränderungen der Flächennutzung bzw. Oberflächenbedeckung vorliegen können. Die wichtigsten Aufnahmeparameter von beiden Aufnahmesensoren sind in der Tab. 15 (s. S. 95) aufgeführt.

*Tab. 15: Aufnahmeparameter von Landsat-TM und DAEDALUS (eigener Entwurf)*

| Parameter              | DAEDALUS                                                           | Landsat-TM                          |
|------------------------|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| spektrale Auflösung    | 8 - 14 $\mu\text{m}$ (AADS 1250)                                   | 10,5 - 12,5 $\mu\text{m}$ (Kanal 6) |
| geometrische Auflösung | 8,5 m                                                              | 120 m                               |
| Flughöhe über Grund    | 3200 m                                                             | 705 km                              |
| Aufnahmetermin         | 09. 09. 1992, 21:26 - 22:18 Uhr<br>10. 09. 1992, 04:33 - 06:19 Uhr | 28. 05. 1992, ca. 10:15 MEZ         |

Für die *Untersuchungen des Durchgrünungsgrades* (s. Kap. 4.4) als eine weitere, aus Fernerkundungsdaten ableitbare Komponente wird die Berechnung des Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) nach der im Kapitel 3.2 beschriebenen Methode herangezogen, da er bereits vielfach erfolgreich für die Differenzierung der Vegetation und als Maß für die Durchgrünung angewandt worden ist (s. z. B. LILLESAND et al. 1994, S. 506; vgl. Kap. 3.2). Im Gegensatz zu den Untersuchungen im Kapitel 3.4.2, wo die Erkennbarkeit der Bebauung im Vordergrund steht, wird hier die Durchgrünung betrachtet. Aus diesem Grund und aus der Gegenüberstellung des normalen Vegetationsindices (VI) mit dem NDVI (s. Abb. 8, S. 47 od. Kap. 3.4.2) wird dem letzteren der Vorrang gegeben. Die Berechnung wird für die SPOT-XS- und Landsat-TM-Daten durchgeführt und in den Kapiteln 4.4.1 und 4.4.3 visuell interpretiert. Dabei werden einerseits - wie im Kapitel 3.2 - die Erkennbarkeit unterschiedlicher Oberflächenstrukturen und andererseits die verschiedenen Durchgrünungsgrade untersucht.

Die anschließend durchgeführte Raster-Vektor-Verschneidung (vgl. Kap. 1.6 u. 3.4.1; s. Kap. 4.4.2 u. 4.4.4) erfolgt nach der bei HEINZ (1996a, S. 9ff.) beschriebenen Methode. Dafür wird der Rasterdatensatz mit einem einerseits nach jeder Flächeneinheit und andererseits nach allen Flächen gleichen Typs gerasterten Vektordatensatz verschritten. Auf die Untersuchung der Durchgrünung bezogen ergeben sich Aussagemöglichkeiten hinsichtlich des mittleren und häufigsten Durchgrünungsgrades innerhalb jeder definierten Flächeneinheit und gemittelt über alle benutzten Flächeneinheiten der Strukturtypen nach BÖHM et al. (1996). Hieraus werden Hierarchien zum Durchgrünungsgrad allgemein und Aussagen zur Erkennbarkeit von Urbanisierungsprozessen abgeleitet.



### 4.3 Untersuchung der Oberflächenstrahlungstemperatur

Für das Verständnis der nachfolgend aufgeführten Untersuchungen der Oberflächenstrahlungstemperatur sind insbesondere das *Planck'sche Strahlungsgesetz*, das *Stephan-Boltzmann-Gesetz* und das *Kirchhoff'sche Strahlungsgesetz* wichtig:

**Planck'sches Strahlungsgesetz:** Die Ausstrahlung eines Körpers ist um so größer, je höher seine Temperatur ist.

**Stephan-Boltzmann-Gesetz:** Die Energieabgabe eines Körpers wächst mit der vierten Potenz seiner absoluten Temperatur nach

$$J = \sigma \times T^4$$

mit: J = Strahlungsstrom des Körpers  
 $\sigma$  = Stephan-Boltzmann-Konstante  
 T = Absolute Temperatur des Körpers [K]

**Kirchhoff'sches Strahlungsgesetz:** Der spektrale Emissionsgrad eines beliebigen Körpers ist gleich seinem spektralen Absorptionsgrad.

$$J = \varepsilon \times \sigma \times T^4$$

mit: J = Strahlungsstrom des Körpers  
 $\varepsilon$  = Emissionskoeffizient  
 $\sigma$  = Stephan-Boltzmann-Konstante  
 T = Absolute Temperatur des Körpers [K]

Betont werden muß zudem, daß von den gemessenen Oberflächenstrahlungstemperaturen nicht auf die absolute Oberflächentemperatur und nicht auf die absolute Lufttemperatur in 2 m Höhe, der Standardmeßhöhe bei Klimameßfahrten, geschlossen werden kann. Der Grund hierfür liegt in den vielfältig ablaufenden Austauschprozessen zwischen den Oberflächen und der Luft.<sup>63</sup> Aussagen zur absoluten (Luft-) Temperatur sind aufgrund der fehlenden Eichungen und Referenzmessungen nicht möglich sowie von der Methodik her schwer durchführbar. Diesbezüglich äußert sich zum Beispiel BERGER (1995, S. 67),

„[...] daß durch den gezielten Einsatz von Multispektraldaten mit Hilfe eines Geographischen Informationssystems relative Aussagen zur räumlichen Verteilung der Lufttemperatur bis zu einer gewissen Genauigkeit möglich sind, ohne daß speziell Lufttemperaturmessungen vor Ort durchgeführt werden.“

Bei der Nennung von wärmeren oder kälteren Oberflächen ist im folgenden immer eine höhere oder niedrigere Oberflächenstrahlungstemperatur gemeint.

<sup>63</sup> Ein relativer Zusammenhang besteht hingegen (vgl. z. B. BERGER, M. (1995), S. 2).



#### 4.3.1 Visuelle Interpretation von Landsat-TM, Kanal 6

Die visuelle Interpretation des Kanals 6 des Landsat-TM kann am einfachsten auf der Basis des individuell eingefärbten Grauwert-Bildes erfolgen, das in der Abb. 26<sup>64</sup> (s. S. 98) für das Aufnahmedatum Juli 1994 (vgl. Kap. 1.5) dargestellt ist. Anhand der Oberflächenstrahlungstemperaturen läßt sich indirekt das Wärmeverhalten der Stadt und des Umlandes ableiten.

Auffallend ist der starke Gegensatz zwischen der wärmeren Stadt und dem kühleren Umland. Deutlich zieht sich der Auenwald als eine Fläche niedriger Oberflächenstrahlungstemperaturen durch die Stadt hindurch. Der Auenwald, die Wasserflächen, einige Bereiche mit Strauchvegetation (z. B. der nördliche Übergangsbereich des Tagebaugebietes Cospuden zum Auenwald) und einige Ackerflächen erscheinen als kälteste Bereiche. Sie werden von wärmeren Übergangsflächen umgeben. Die bebauten Bereiche treten deutlich durch ihre allgemein sehr hohen Oberflächenstrahlungstemperaturen aufgrund ihres großen Wärmespeichervermögens im Bild hervor. Allerdings läßt sich die Stadt infolge der beschriebenen Übergangsbereiche und Flächen ähnlicher Oberflächenstrahlungstemperatur nicht eindeutig vom Umland trennen.

Auch innerhalb der Stadt gibt es unterschiedliche Bereiche. Während am Rande, wo sich viele Ein- und Zweifamilienhausbebauungen und Kleingartensiedlungen befinden, etwas kühlere Bereiche vorhanden sind, zeigt sich der Kern der Stadt deutlich wärmer. Zu den wärmsten Gebieten zählen die Ortsteile Zentrum-Ost mit den angrenzenden Bereichen der Ortsteile Zentrum-Nord und Eutritzsch (entlang des Industriegebietes in Eutritzsch), Plagwitz, Teile von Neulindenau, die Südvorstadt, der Süden vom Zentrum-Südost und der Süden von Paunsdorf. In den übrigen Bereichen sind die sehr warmen Gebiete in ihrer Flächenausdehnung deutlich kleiner und verstreuter. Die Eisenbahnanlagen heben sich sehr gut ab, da sich ihr dunkelfarbiger Schotterkörper schnell und stark erwärmt. Gleiches gilt für die Industrie- und Gewerbegebiete mit ihren großen Dachflächen (z. B. Alte Messe und Plagwitz), die aber nicht aufgrund einer Erwärmung, sondern infolge ihrer starken Reflexion der Metall- oder Glasdächer extreme, aber fehlerhafte Werte haben (vgl. z. B. SPACETEC et al. 1993, S. 16). Diese Flächen werden zumeist von Flächen niedrigerer Oberflächenstrahlungstemperatur ringförmig umgeben, die in der Regel Bereichen mit Block-, Blockrand-, Zeilen- und Großblockbebauung zugeordnet werden können.

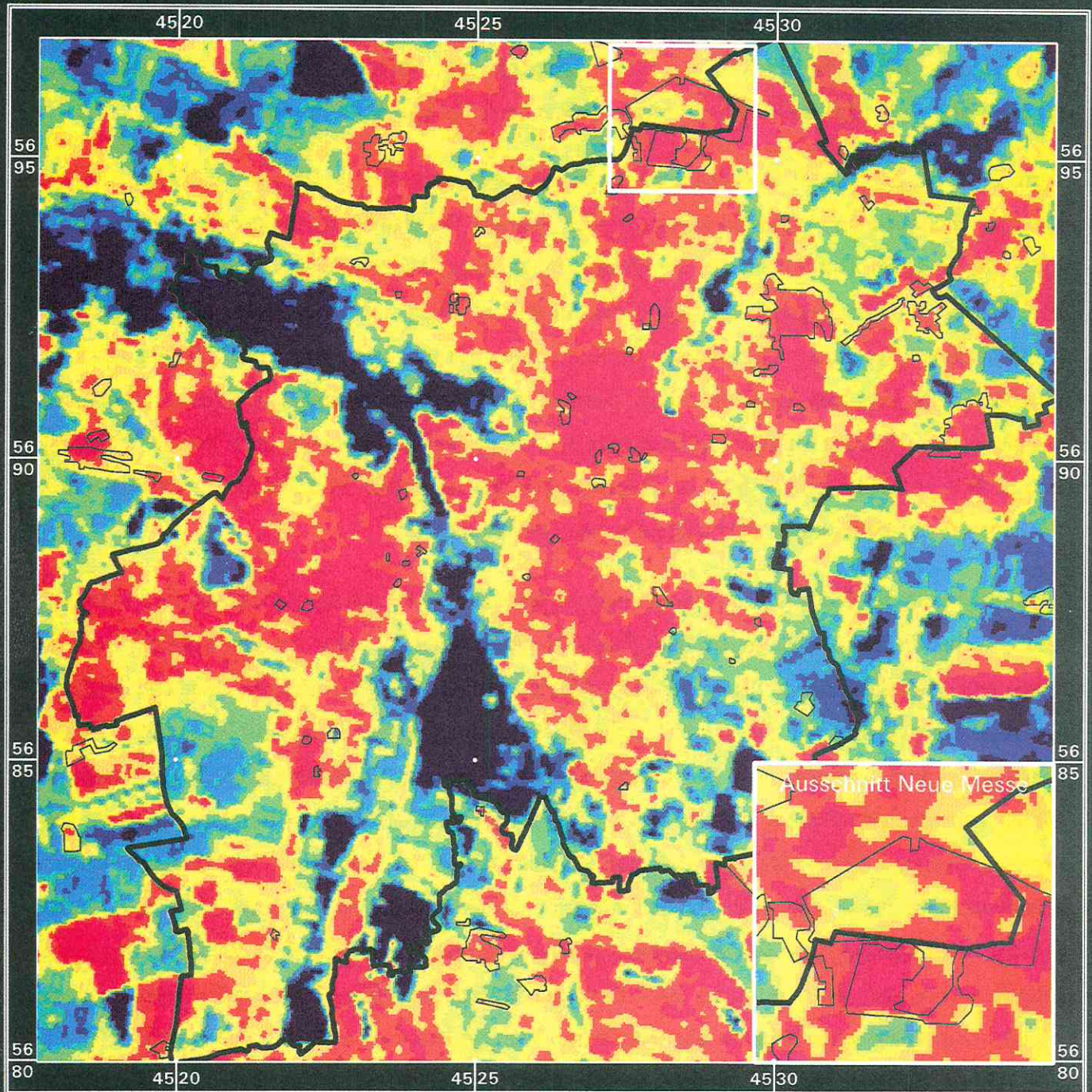
Interessant ist, wie sich neben den Auenbereichen selbst kleinste Parkanlagen in der Innenstadt - z. B. der Schwanenteich am Innenstadtring - identifizieren lassen. Sie haben immer eine deutlich niedrigere Oberflächenstrahlungstemperatur im groben 120 m-Raster als ihre Umgebung. Um aber

<sup>64</sup> Nächste Seite (S. 98) - Abb. 26: Leipzig im Landsat-TM-Bild, Kanal 6



# Oberflächenstrahlungstemperatur der Stadt Leipzig

Basis Landsat-TM, Kanal 6 (Juli 1994)



Niedrige Oberflächenstrahlungstemperatur



Mittlere Oberflächenstrahlungstemperatur



Stadtgrenze

Bebauungsgebiete

Mittlere Oberflächenstrahlungstemperatur

Hohe Oberflächenstrahlungstemperatur

0 2 Kilometer



Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Digitale Bildverarbeitung und Kartographie:  
Dipl.-Geogr. V. Heinz



gefördert durch:  
Deutsche Agentur für  
Raumfahrtangelegenheiten  
(DARA GmbH)



eine dem Auenwald vergleichbar große Temperaturamplitude zu haben, ist eine Flächengröße - nach Messungen im Bild zu Folge - von 2,3 ha nötig. Kleinere Bereiche sind in ihrer Wirkung offensichtlich geringer.

Das Abbildungsverhalten im Kanal 6 innerhalb der ausgewiesenen Momentanen Bebauungsgebiete<sup>65</sup> (s. Abb. 26, S. 98) ist sehr unterschiedlich, da sich die Gebiete in verschiedenen Bebauungszuständen befinden. Das Beispiel der Neuen Messe im Norden der Stadt veranschaulicht dies: Die Bereiche mit einer sehr hohen Reflexion im thermalen Infrarot korrespondieren mit den in der Kanalkombination 4, 5, 3 deutlich zu erkennenden, bereits fertiggestellten Gebäuden (vgl. Abb. 26, S. 98 - kleiner Ausschnitt). Aufgrund der unterschiedlichen Zusammensetzung der Bebauungsgebiete und ihrer unterschiedlichen Baufortschritte kann keine einheitliche, typische Oberflächenstrahlungstemperatur innerhalb der digitalisierten Polygone der Momentanen Bebauungsgebiete gemessen werden. Das heißt auch, daß diese Gebiete monotemporal nicht in diesem separaten Kanal erkannt werden können. Hierzu sind die Auflösungen zu grob und die inhaltlichen Überschneidungen mit anderen Flächen zu groß. Unter der schwierigen Voraussetzung vergleichbarer, multitemporaler Daten würden sich Bebauungsmaßnahmen im Zuge von Urbanisierungsmaßnahmen durch eine deutlich unterschiedliche Oberflächenstrahlungstemperatur äußern, wenn sie mit einer Veränderung des Durchgrünungsgrades einhergehen.

Ein weiterer Analyseansatz bezüglich der Erkennbarkeit von Urbanisierungsprozessen im Landsat-TM-Bild, Kanal 6 ist die Untersuchung der Gewerbegebiete auf der Grünen Wiese. Hierzu werden beispielhaft das Paunsdorf-Zentrum und das Gewerbegebiet Wachau betrachtet (s. Abb. 27<sup>66</sup>, S. 100). Das Paunsdorf-Zentrum war zum Aufnahmezeitpunkt in der Endphase seiner Erstellung. Der Bau der einen Kilometer langen Einkaufszeile war im Gegensatz zur Gestaltung der Außenanlagen beendet. Während 1992 in dem Bereich eine relativ geringe Oberflächenstrahlungstemperatur gemessen worden ist, hat sich die Fläche 1994 deutlich erwärmt. Hierbei zeigt das lange Gebäude eine stärkere Erwärmung als die im Westen vorgesehenen Parkplatzflächen, die zum Aufnahmezeitpunkt unbedeckter Boden waren. In den Randbereichen läßt sich eine auf ca. 120 m begrenzte Auswirkung auf die Umgebung erkennen. Zu beachten ist dabei, daß auch Mischinformationen enthalten sein können.

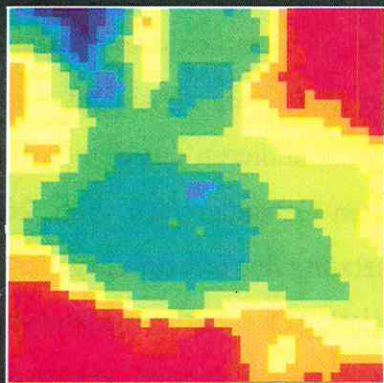
<sup>65</sup> S. visueller Vergleich zwischen 1992 und 1994 der beiden Landsat-TM-Szenen (vgl. HEINZ 1996a, S. 55).

<sup>66</sup> Nächste Seite (S. 100) - Abb. 27: Veränderung des Abbildungsverhaltens im Landsat-TM-Bild, Kanal 6 beim Neubau von Gewerbegebieten

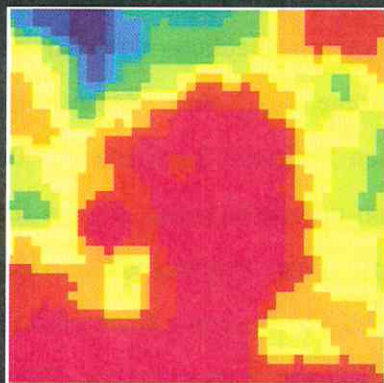


# Veränderung der Oberflächenstrahlungstemperatur (Landsat-TM, Kanal 6) beim Neubau von Gewerbegebieten

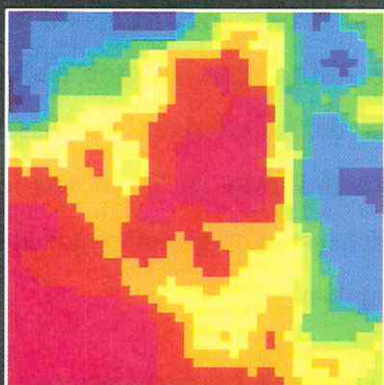
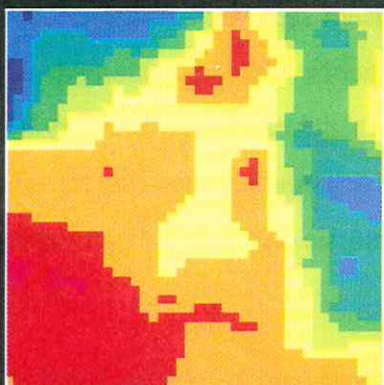
Landsat-TM, Kanal 6, Mai 1992



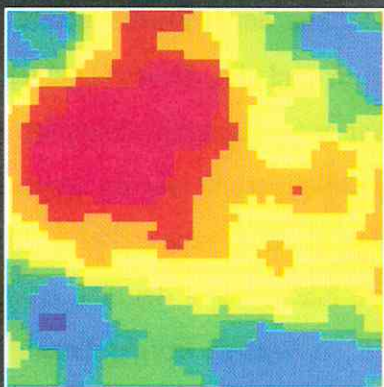
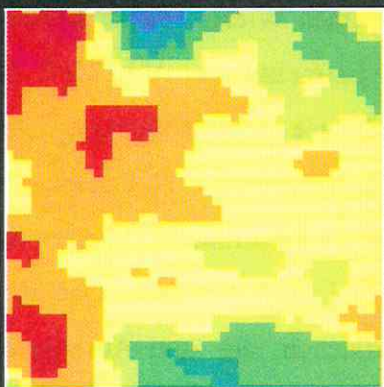
Landsat-TM, Kanal 6, Juli 1994



**Gewerbegebiet  
Paunsdorf-Center**



**Gewerbegebiet  
Wachau**



**Gewerbegebiet  
Rückmarsdorf**



Niedrige Oberflächen-  
strahlungstemperatur



Mittlere Oberflächen-  
strahlungstemperatur

Mittlere Oberflächen-  
strahlungstemperatur

Hohe Oberflächen-  
strahlungstemperatur

0 0.5 Kilometer



Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Digitale Bildverarbeitung und Kartographie  
Dipl.-Geogr. V. Heinz



gefördert durch:  
Deutsche Agentur für  
Raumfahrtangelegenheiten  
(DARA GmbH)



Das Gewerbegebiet Wachau zeigt bereits 1992 eine erhöhte Oberflächenstrahlungstemperatur. Lediglich im Nordosten der Fläche läßt sich eine Veränderung erkennen. Es ist der Bereich des großen Einkaufszentrums, der 1994 in der Endphase der Bebauung stand. In gleicher Weise läßt sich das neu entstandene Gewerbegebiet in Rückmarsdorf bei einem direkten Vergleich beider Aufnahmen und Ortsvorkenntnis identifizieren. Allerdings haben die umgebenden Landwirtschaftlichen Nutzflächen spektral ähnlich erscheinende Oberflächen, da sich ein abgeernteter Acker ähnlich stark erwärmt wie der unbedeckte Boden einer Baustelle.

#### 4.3.2 Digitale Auswertung von Landsat-TM, Kanal 6

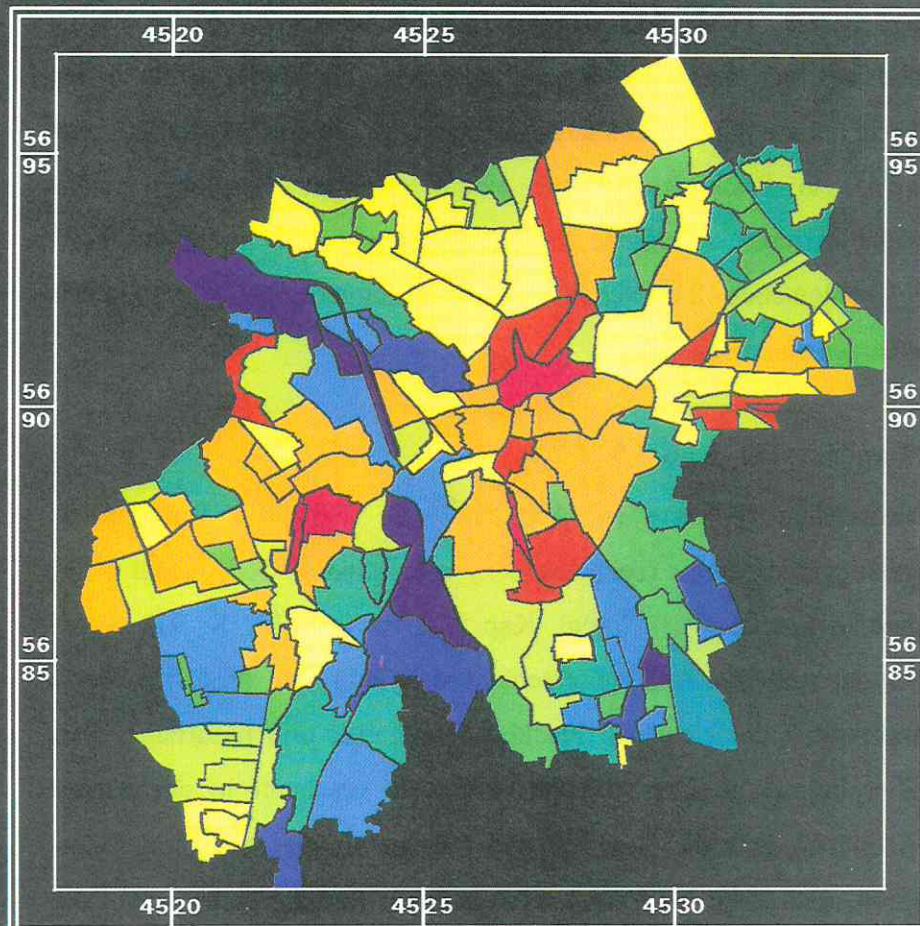
Die Darstellungen der Mean- und Majority-Werte (s. Abb. 28<sup>67</sup>, S. 102) der Raster-GIS-Verschneidung der Oberflächenstrahlungstemperatur (zehn Klassen) vom Landsat-TM, Kanal 6 mit den Flächeneinheiten der *Funktionalen Strukturtypen*<sup>68</sup> (vgl. Kap. 4.2, s. Tab. 13, S. 91) unterscheiden sich nur in Details. Bei der näheren Analyse erscheint das Bild der Majority-Werte inhomogener, stellt aber die Charakteristik der einzelnen Flächen detaillierter und naturnäher dar. Hierfür werden zwei Gebiete näher betrachtet. Der südliche Auenwald erscheint in der Mean-Darstellung infolge der Mittelwertsbildung über die Gesamtfläche wärmer als die restlichen Auenwaldbereiche. Die urban beeinflussten, und somit im Verhältnis wärmeren Randbereiche sowie die wärmeren Bereiche des Elsterflußlaufes im Westen der Fläche fließen mit ein. Hingegen wird die Fläche in der Majority-Darstellung als kühler dargestellt, da hier der häufigste Wert - also die Oberflächenstrahlungstemperatur des Waldgebietes - visualisiert wird.

Die Unterscheidung zwischen den bebauten und den unbebauten Flächen ermöglicht die Majority-Darstellung besser und detaillierter, wie es das Beispiel Knauthain - Knautkleeberg beweist. Während die Mean-Darstellung keine Identifizierung des baulich geprägten Bereiches zuläßt, erscheint diese in der Majority-Darstellung anhand der wärmer zur Umgebung ausgewiesenen Fläche deutlich. Der Einfluß der kühleren Flächen mit Vegetationsbedeckung wird durch die bebauten Flächen mit höherer Oberflächenstrahlungstemperatur unterdrückt. Daraus kann geschlossen werden, daß alleine durch die Generalisierung der Oberflächenstrahlungstemperatur innerhalb der Flächen der Funktionalen Strukturtypen die Identifizierung bebauter und somit versiegelter Flächen mit Hilfe der Majority-Darstellung besser gewährleistet wird. Auf dieser Basis können auch unter der Voraussetzung vergleichbarer Datensätze im multitemporalen Vergleich der Klassenzuordnungen großräumige, also dominierende Veränderungen im Zuge von Urbanisierungsprozessen erkannt werden. Sie würden sich bei Neubauten in einer deutlich höheren Klassenzuweisung äußern

<sup>67</sup> Nächste Seite (S. 102) - Abb. 28: Mean- und Majoritywerte der Oberflächenstrahlungstemperatur innerhalb der Flächen der Funktionalen Strukturtypen (eigener Entwurf)

<sup>68</sup> Die aufgeführten Nummern hinter den Funktionalen Strukturtypen beziehen sich auf die Tab. 13, S. 91.

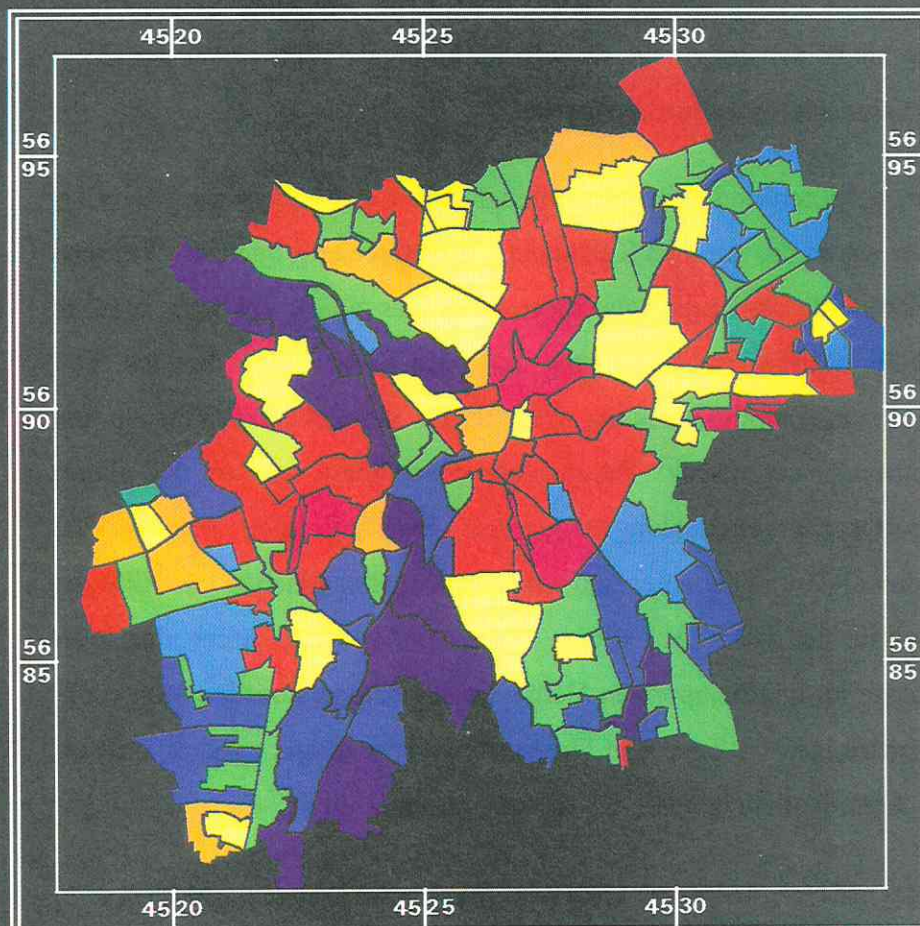




## Mittlere Oberflächenstrahlungstemperatur

Basis Landsat-TM, Kanal 6

innerhalb der  
Flächenabgrenzungen der  
Funktionalen Strukturtypen



## Häufigste Oberflächenstrahlungstemperatur

Basis Landsat-TM, Kanal 6

innerhalb der  
Flächenabgrenzungen der  
Funktionalen Strukturtypen





und wären auf diese Weise schneller und leichter zu identifizieren als im visuellen Vergleich ohne Generalisierung über die definierten Flächeneinheiten.

Die Inhomogenität des Majority-Bildes erschwert allerdings eine allgemeine Interpretation. Erkennbar anhand der dominierenden, deutlich geringeren Oberflächenstrahlungstemperatur sind der Auenwald, die kleinen Grünflächen insbesondere im Süd-Osten der Stadt (Probstheida und Dösen) und der Tagebaubereich von Cospuden. Diese zählen zu den 'Städtischen Freiflächenstrukturtypen' bzw. zum 'Braunkohlenbergbau'. Sie sind nicht als solche Oberflächen zu erkennen, sondern können anhand ihrer Oberflächenstrahlungstemperatur von den anderen unterschieden werden. Weitere Bereiche der 'Städtischen Freiflächen' und der 'Landwirtschaftlichen Nutzflächen' (26) erscheinen etwas wärmer in ihrer Oberflächenstrahlungstemperatur. Wiederum etwas wärmer zeigen sich die 'Wohngebiete mit vorwiegender Einzelhausbebauung und hohem Grünflächenanteil' (14), 'Wohngebiete mit ländlicher Prägung' (15), 'Neubauwohngebiete mit Bereichen mit Einzelhausbebauung in peripherer Lage' (11), etc., also diejenigen Gebiete, in denen die Einzelhausbebauung mit einem entsprechend hohen Grünflächenanteil dominiert. Darüber gliedern sich die Funktionalen Strukturtypen der Nummern drei, neun, 13 und 16 an. Die wärmsten Oberflächen weisen die Bereiche der Neubauwohngebiete (11), der 'Industrie- und Gewerbegebiete' (18), die 'Verkehrsgebiete' (19), der 'Zentrumsbereich' (1), die 'Größeren Mischgebiete mit Wohnfunktion' (4), die 'Sondergebiete' (21) und der 'Zentrumsnahe Bereich' (2) auf. Eine statistische Auswertung ergibt die in der Tab. 16 (s. S. 104) dargestellte Einteilung der durchschnittlichen und der am häufigsten vorkommenden Oberflächenstrahlungstemperaturen innerhalb der verschiedenen Funktionalen Strukturtypen. Die zumeist vorhandene Zuordnung zu mehreren Thermalklassen läßt sich durch die unterschiedliche Charakteristik der abgebildeten Flächen sowie durch die oben beschriebene Generalisierung erklären.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, daß die Oberflächenstrahlungstemperatur innerhalb der einzelnen Flächen der Funktionalen Strukturtypen stark variieren kann, sich aber Tendenzen der charakteristischen Klassenzuweisungen ableiten lassen. Problematisch sind die zugrundeliegenden Flächengrößen und die Abgrenzungen der Gebiete. Zudem basiert die Einteilung der Funktionalen Strukturtypen auf der Funktion und der Flächenbedeckung einer Fläche.

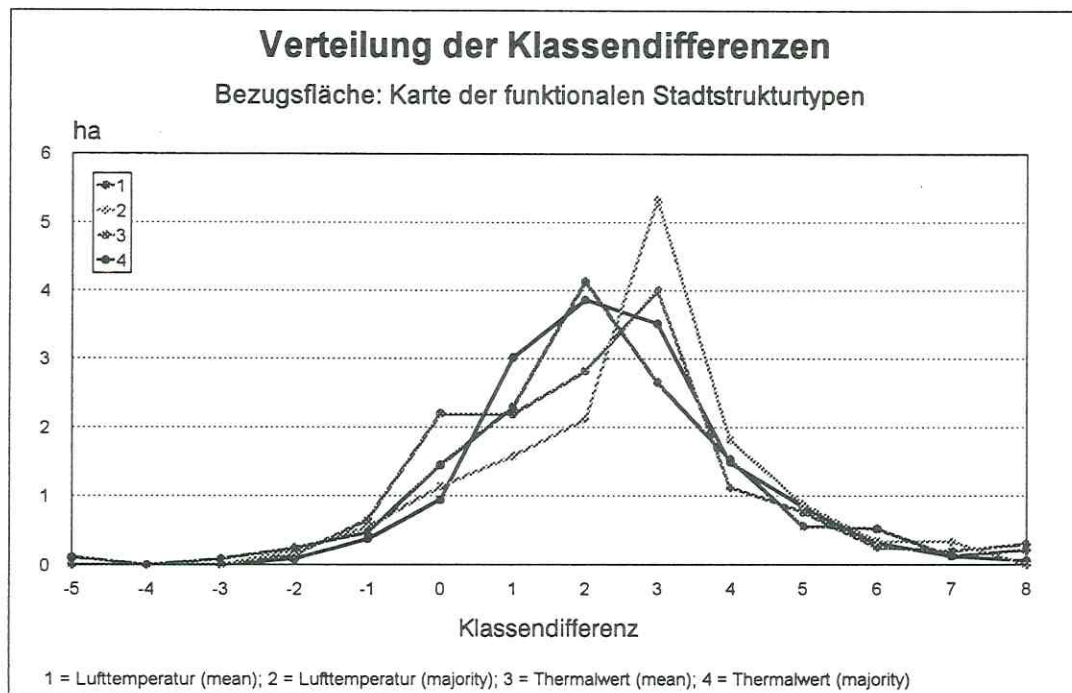






In einem nächsten Schritt werden die Klassen der Oberflächenstrahlungstemperatur der Funktionalen Strukturtypen mit der aus Luftbildern abgeleiteten Einteilung in verschiedene Versiegelungsgrade (vgl. USBECK 1992c) verglichen. Dieses Beispiel soll einerseits überprüfen, ob auf dieser Basis eine Vergleichsmöglichkeit zwischen beiden Datenlagen besteht sowie andererseits demonstrieren, daß ein direkter Vergleich auf der Basis unterschiedlicher zugrundeliegender Strukturen - der Flächennutzung und der Funktion der Fläche - nicht möglich ist.

Die Differenzbildung (vgl. Kap. 4.2) für eine vergleichende Darstellung der Daten des Versiegelungsgrades innerhalb der Funktionalen Strukturtypen und der zugewiesenen Klassen der Oberflächenstrahlungstemperatur mit den Mean- und den Majority-Werten ist in der Abb. 29 (s. S. 105) und in der Tab. 17 (s. S. 106) dargestellt.



**Abb. 29:** Vergleich der Klassendifferenzen in den Flächen der Funktionalen Strukturtypen für die gemessene Lufttemperatur (Klimameßfahrt) und die Oberflächenstrahlungstemperatur (Landsat-TM) (eigener Entwurf)







Auffallend an der Tab. 17 (s. S. 106) ist die weite Spannbreite der Differenzen in elf Stufen. Da bei diesem Vergleich die verschiedenen Datengrundlagen und das Zustandekommen der Klassenzuweisung beachtet werden müssen, kann von einer relativen Annäherung der Klassen zueinander gesprochen werden. Während die Zuweisung der Versiegelungsgrade auf einer visuellen Interpretation von Luftbildern basiert, liegen den Thermalklassen statistische Auswertungen der gemessenen Oberflächenstrahlungstemperatur zugrunde. Eine Überbewertung der Versiegelung bei der visuellen Interpretation betrifft hauptsächlich den 'Zentrumsbereich' (1). Der Schwankungsbereich in den positiven Bereich hinein zeigt die Inhomogenität sowie die funktionsgeprägte Klasseneinheit. Eine gute bis relativ gute Übereinstimmung beider Klassenzuweisungen zeigen die überwiegend natürlichen oder dicht besiedelten Areale<sup>69</sup>, da sie eine relativ homogene Oberflächenstruktur aufweisen. Die stärkere Schwankungsbreite der 'Landwirtschaftlichen Nutzflächen' läßt sich auf die im Satellitenbild je nach phänologischem Zustand unterschiedlich erscheinenden Oberflächenstrahlungstemperaturen zurückführen. Hierbei bietet die Auswertung eines Luftbildes den Vorteil, daß eine Ackerfläche auch bei fehlender Vegetation den nicht versiegelten Flächen zugewiesen werden kann. Auch die 'Innerstädtischen Erholungsgebiete' (24) zeigen eine starke Inhomogenität. Zum einen können sie in sich stark differenziert sein, und zum anderen können dies z. B. Sportplätze oder aber auch Parkanlagen oder Kleingartenanlagen sein, die infolge ihrer Oberflächenbedeckung ein unterschiedliches Spektralverhalten haben. Auch die Differenzzuweisungen bei der Einzelhausbebauung (z. B. 14) und den Dorfstrukturen (8) lassen auf eine Überbewertung der Thermaldaten schließen. Problematisch erweisen sich die 'Verkehrsgebiete' (19), die in der Darstellung der Oberflächenstrahlungstemperaturen als relativ stark erwärmt erscheinen, hingegen in der Darstellung des Versiegelungsgrades als gering verdichtet eingestuft werden.<sup>70</sup>

In der Abb. 29 (s. S. 105) wird durch die vergleichende Darstellung der Differenzwerte der Oberflächenstrahlungstemperatur einerseits und der interpolierten Lufttemperatur andererseits zu den Versiegelungsgraden der Funktionalen Strukturtypen der ähnliche Trend der Differenzen nochmals verdeutlicht.<sup>71</sup> Daraus läßt sich ableiten, daß - mit Einschränkungen - die vorgestellten Verfahren für eine Versiegelungserhebung unabhängig voneinander eingesetzt werden können und zu ähnlichen Ergebnissen führen. Somit bietet sich auch die Bestimmung der Oberflächenstrahlungstemperatur hierfür an, um zum Beispiel die Datenlücke zwischen zwei Luftbildbefliegungen zu füllen. Eine deutliche Ergebnisverbesserung lassen - nochmals hervorgehoben - eine Erhöhung der geometrischen Auflösung, kleinere Flächenabgrenzungen sowie die Einteilung in Flächen nach der Oberflächen-

<sup>69</sup> Hierzu zählen zum Beispiel die Funktionalen Strukturtypen der Nummern 3 - 5, 10, 12, 13, 20, 22, 23, 29, 30, 50.

<sup>70</sup> Hier greift das Problem der Definition der Versiegelung von Verkehrsflächen, auf das im Kapitel 5.2.1 näher eingegangen wird.

<sup>71</sup> Zu beachten sind die unterschiedlichen Erhebungsverfahren und die nicht durchgeführten Kalibrierungen.



bedeckung erwarten. Auf diese Thematik wird hier nicht weiter eingegangen; es soll aber auf eine diesbezügliche Arbeit von BERGER (1995) hingewiesen werden.

In der Abb. 30<sup>72</sup> (s. S. 109) ist der neu definierte Versiegelungsgrad für die *Stadtstrukturtypen* denen der Funktionalen Strukturtypen gegenübergestellt. Deutlich läßt sich die kleinere Parzellierung bei den eher landnutzungsgeprägten Stadtstrukturtypen erkennen. Trotz der Darstellung von nur fünf Klassen im Vergleich zu den zehn Klassen der Versiegelung der Funktionalen Strukturtypen lassen sich die bebauten von den nicht bebauten Flächen voneinander trennen. Selbst innerhalb der Bebauung treten Unterschiede hervor. Die schon im Landsat-TM-Rohbild erkannte, nahezu amöbenförmige Ausbreitung der Stadt, der Gradient der Versiegelungsdichte mit abnehmender Tendenz in die Randbereiche der Stadt hinein, die Verdichtung entlang der sogenannten Entwicklungsachsen und die deutlich hervortretenden zwei Kerngebiete der Stadt lassen sich in dieser Darstellung ebenfalls erkennen (vgl. HEINZ 1996a, S. 12ff.). Diese Elemente und Eigenschaften können der Darstellung der Versiegelungsdichte der Funktionalen Strukturtypen nicht entnommen werden.

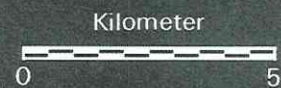
Die nachfolgende Darstellung zeigt die Berechnung der Mittelwerte und der häufigsten Werte des Landsat-TM-Kanals 6 innerhalb der Grenzen der Stadtstrukturtypen. Dabei sind die Werte jeweils für alle Flächen des selben Strukturtyps gemittelt worden. Der Ansatz dient dem methodischen Aufzeigen der mit einer Verbesserung der Zoneneinteilung einhergehenden Informationsverbesserung und -vergrößerung. Die Abb. 31<sup>73</sup> (s. S. 111) der Mean-Werte der Oberflächenstrahlungstemperatur des Landsat-TM-Kanals 6 zeigt ein kleinstrukturiertes Gebiet. Insgesamt bilden sich einige Strukturtypen in der gleichen Klasse ab. Die Innenstadt zeigt sich als dichtester und wärmster Bereich, durch deren Mitte der Auenwald als gering verdichtete Fläche mit entsprechend geringer Oberflächenstrahlungstemperatur verläuft. Auch der Gradient zum Stadtrand ist - abgeschwächt - erkennbar. Dies ist mit dem Aufnahmezeitpunkt Juli zu begründen. Die damals bereits abgeernteten bzw. in voller Reife stehenden Feldflächen erwärmen sich kräftiger als zum Beispiel eine Wiese. Aussagen zur Versiegelungsdichte können somit aus Thermalscannerdaten nur unter Berücksichtigung der jeweiligen Phänologie gemacht werden.

<sup>72</sup> Nächste Seite (S. 109) - Abb. 30: Versiegelungsgrade der Funktionalen Strukturtypen und der Stadtstrukturtypen (eigener Entwurf)

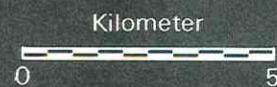
<sup>73</sup> Übernächste Seite (S. 111) - Abb. 31: Mean- und Majoritywerte der Oberflächenstrahlungstemperatur innerhalb der Flächen der Strukturtypen (eigener Entwurf)



## Versiegelungsgrade der Funktionalen Strukturtypen



## Versiegelungsgrade der Stadtstrukturtypen





## Mittlere Oberflächenstrahlungstemperatur

Basis Landsat-TM, Kanal 6

innerhalb der  
Flächenabgrenzungen  
der Strukturtypen



## Häufigste Oberflächenstrahlungstemperatur

Basis Landsat-TM, Kanal 6

innerhalb der  
Flächenabgrenzungen  
der Strukturtypen

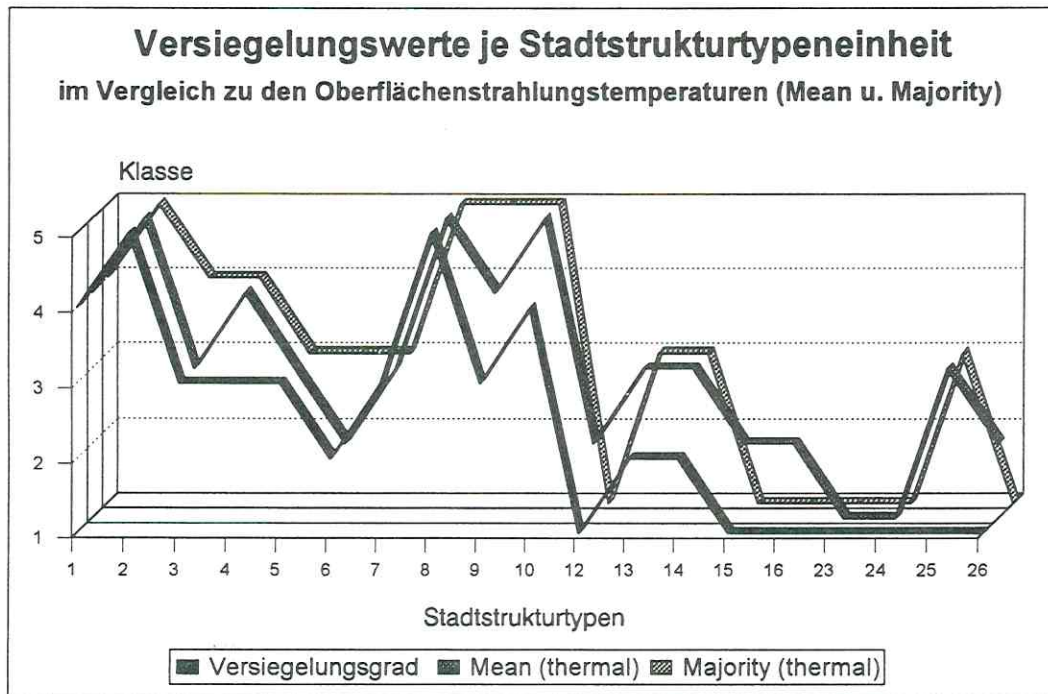




Die Darstellung der Majority-Werte in den Grenzen der Strukturtypen zeigt ein homogeneres Bild als das der Mean-Wert-Darstellung. Die Flächen, die in der Versiegelungskarte (s. Abb. 30, S. 109) als gering verdichtet eingestuft worden sind, erscheinen zum größten Teil auch hier als gering verdichtet. Der Einfluß der Phänologie wird durch die Benutzung des häufigsten Wertes somit anscheinend verringert. Dies trägt mit zu einem gewissen Informationsverlust gegenüber der Mean-Darstellung bei. So kommen kleine Bereiche innerhalb des Auenwaldes nicht heraus, die aber wärmere Stellen vermuten lassen (vgl. nördlicher Bereich des Auenwaldes). Beibehalten wird die Erkennbarkeit der bebauten Strukturen, wobei lediglich die Alte Messe und Grünau Flächen höherer Oberflächenstrahlungstemperatur aufweisen. Zur detaillierten Betrachtung der Oberflächenstrahlungstemperatur eignet sich das Ausgangsbild (vgl. Abb. 26, S. 98) besser.

Die Auswertung der in der Abb. 32 (s. S. 113) und der Abb. 33 (s. S. 114) gegenübergestellten Hierarchie der Oberflächenstrahlungstemperatur und der Versiegelungsklassen läßt in vielen Bereichen der Klasseneinteilung Übereinstimmungen erkennen. Die Klassifizierung der Oberflächenstrahlungstemperatur ergibt entweder ein Verhältnisbild dem der Versiegelungsgrade entsprechend oder wird eine Klasse zu hoch eingestuft. Heraus fallen die Brach- und Umwidmungsflächen, die mit ihrer Oberflächenstrahlungstemperatur sogar zwei Klassen zu hoch bewertet werden. Hier kommt wiederum das spektrale Verhalten der Oberflächen in Fernerkundungsdaten zum Tragen. Da sie zumeist Bereiche mit offenem, unbedecktem Boden darstellen, erwärmen sie sich stärker und haben einen anteilig höheren Versiegelungsgrad bzw. eine höhere Oberflächenstrahlungstemperatur. Bei der Klasse der geringsten Versiegelung fällt deutlich die bessere Übereinstimmung mit der Majority-Einteilung auf. Dies bedeutet, daß die Majority-Darstellung die Einflußnahme der zahlreichen umgebenden Pixel mit stärkerer Oberflächenstrahlungstemperatur unterdrücken kann. Deutlich kommt auch der Unterschied zwischen der Zeilenbebauung, der 1- und 2-Familienhausbebauung und den Ehemaligen Dorfkernen (Klasse 3) zur Blockrandbebauung (Klasse 4) und der Blockbebauung und den Industrie- und Gewerbegebieten (Klasse 5) heraus. Sie zeigen sowohl eine zunehmende Verdichtung als auch eine Erhöhung der Oberflächenstrahlungstemperatur. Sehr wohl können somit Untersuchungen zur Versiegelung verschieden definierter Flächen mit Hilfe der Oberflächenstrahlungstemperatur durchgeführt werden, wenn die Flächeneinheiten relativ klein in ihrer Ausdehnung und flächennutzungsbezogen gewählt werden. Dabei sollte für die überwiegend vegetationsbedeckten Flächen der Majority- und für die übrigen Flächen der Mean-Wert gewählt werden. Hiermit bestätigen sich die oben gemachten Aussagen zur Verbesserung der Ergebnisse bei Benutzung kleinerer und flächennutzungsbestimmter Flächenabgrenzungen.





*Abb. 32: Versiegelungsgrad und Klassen der Oberflächenstrahlungstemperatur der Stadtstrukturtypen (eigene Berechnung)*



|                 | Versiegelungsgrad                                                                                                                                                                                                                                                 | Mean - thermal                                                                                                                                                                                                                                   | Majority - thermal                                                                                                                                                                                                                        |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Klasse 1</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Grün- u. Parkanlagen</li> <li>- Friedhöfe</li> <li>- Landwirtschaftliche Nutzfläche</li> <li>- Waldfläche</li> <li>- Wasserfläche</li> <li>- Brach- u. Umwidmungsfläche</li> <li>- Aufs./Abgrabung/Entsorgung</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Waldfläche</li> <li>- Wasserfläche</li> </ul>                                                                                                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Grün- u. Parkanlagen</li> <li>- Friedhöfe</li> <li>- Landwirtschaftliche Nutzfläche</li> <li>- Waldfläche</li> <li>- Wasserfläche</li> <li>- Aufs./Abgrabung/Entsorgung</li> </ul>               |
| <b>Klasse 2</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Villen</li> <li>- Spiel-/Sport-/Freizeitanlagen</li> <li>- Kleingartenanlagen</li> </ul>                                                                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Villen</li> <li>- Grün- u. Parkanlagen</li> <li>- Friedhöfe</li> <li>- Landwirtschaftliche Nutzfläche</li> <li>- Aufs./Abgrabung/Entsorgung</li> </ul>                                                  |                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Klasse 3</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zeilenbebauung</li> <li>- Großwohnsiedlung</li> <li>- 1-/2-Fam.-Hausbebauung</li> <li>- Ehemalige Dorfkerne</li> <li>- Sonderfläche</li> </ul>                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zeilenbebauung</li> <li>- 1-/2-Fam.-Hausbebauung</li> <li>- Ehemalige Dorfkerne</li> <li>- Spiel-/Sport-/Freizeitanlagen</li> <li>- Kleingartenanlagen</li> <li>- Brach- u. Umwidmungsfläche</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 1-/2-Fam.-Hausbebauung</li> <li>- Villen</li> <li>- Ehemalige Dorfkerne</li> <li>- Spiel-/Sport-/Freizeitanlagen</li> <li>- Kleingartenanlagen</li> <li>- Brach- u. Umwidmungsflächen</li> </ul> |
| <b>Klasse 4</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Blockrandbebauung</li> <li>- Verkehrsfläche</li> </ul>                                                                                                                                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Blockrandbebauung</li> <li>- Großwohnsiedlung</li> <li>- Sonderfläche</li> </ul>                                                                                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Blockrandbebauung</li> <li>- Zeilenbebauung</li> <li>- Großwohnsiedlung</li> </ul>                                                                                                               |
| <b>Klasse 5</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Blockbebauung</li> <li>- Ind.-/Gewerbegebiet</li> </ul>                                                                                                                                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Blockbebauung</li> <li>- Ind.-/Gewerbegebiet</li> <li>- Verkehrsfläche</li> </ul>                                                                                                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Blockbebauung</li> <li>- Ind.-/Gewerbegebiet</li> <li>- Sonderfläche</li> <li>- Verkehrsfläche</li> </ul>                                                                                        |

Abb. 33: Hierarchie der Versiegelungsgrade und Klassen der Oberflächenstrahlungstemperatur für die Stadtstrukturtypen (eigener Entwurf)

Die Verbesserung gegenüber der Untersuchung mit den vorwiegend funktionsbezogenen Flächenabgrenzungen der Funktionalen Strukturtypen zeigt die Abb. 34 (s. S. 115), die deutlich die Scharung - bezogen auf die Gesamtfläche - bei Null, d. h. kein Unterschied und bei Eins, d. h. erhöhte Klassenzuweisung bei den Thermaldaten wiedergibt. Auch könnten maximal Differenzen von Vier auftreten, lediglich aber sind Differenzen von Zwei belegt. Hiermit wird gezeigt, daß eine Basis mit 'land-use' nur bedingt auf eine Basis mit 'land-cover' übertragen werden kann.



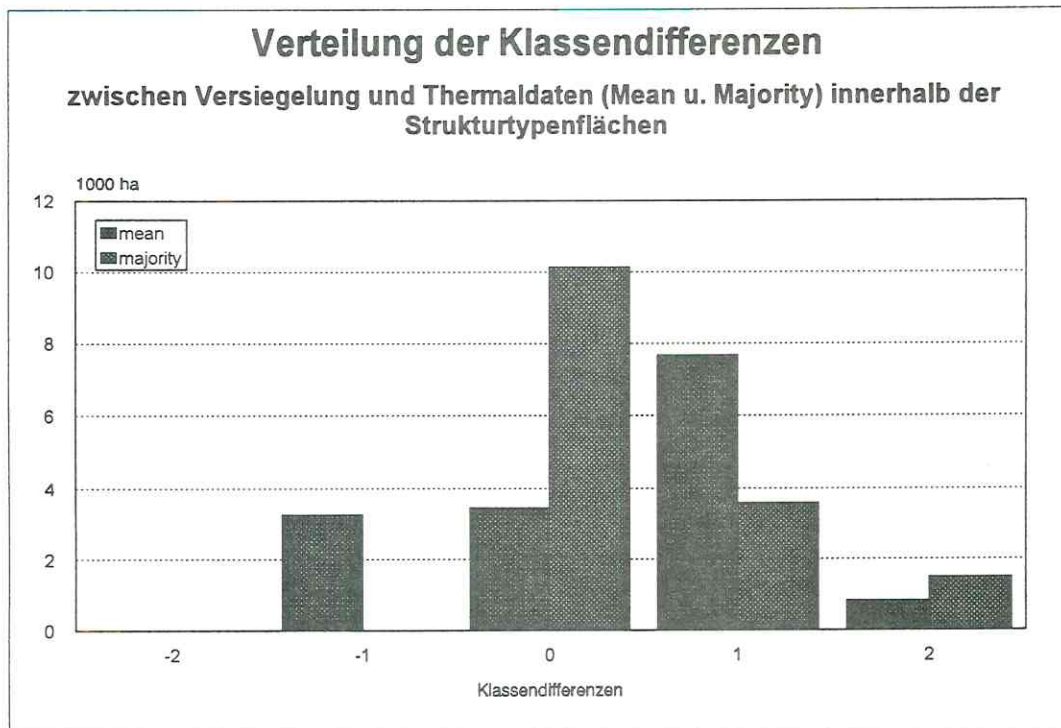


Abb. 34: Verteilung der Klassendifferenzen zwischen Versiegelungs- und Thermalwerten (Mean und Majority) innerhalb der Flächen der Strukturtypen (eigene Berechnung)

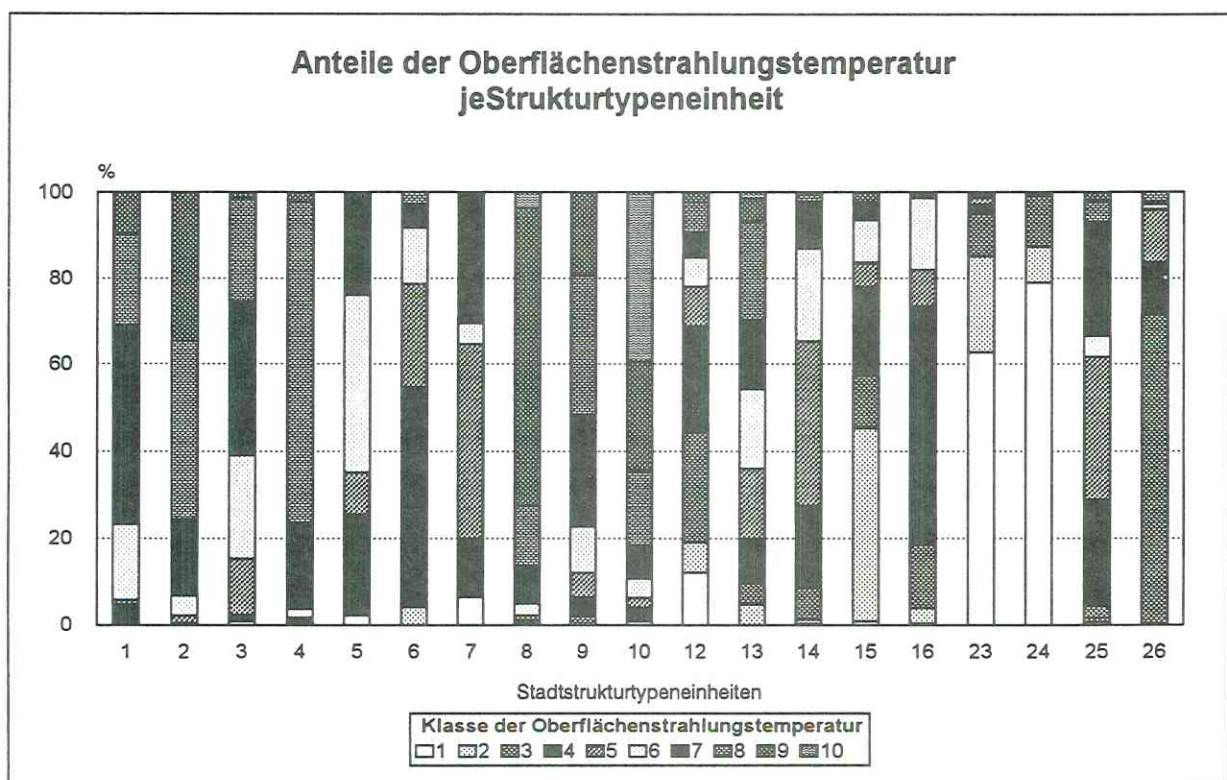


Abb. 35: Anteile der Oberflächenstrahlungstemperatur je Strukturtyp (eigene Berechnung);

Korrektur: 'je Strukturtypeneinheit' in 'je Strukturtypeneinheit'



Aus der Abb. 35 (s. S. 115) kann die im folgenden dargestellte Hierarchie der Erwärmung der Oberflächen unterschiedlicher Strukturtypen abgeleitet werden, die ähnlich der Einteilung der Funktionalen Strukturtypen ist (s. Abb. 36, S. 116; vgl. Tab. 16, S. 104).

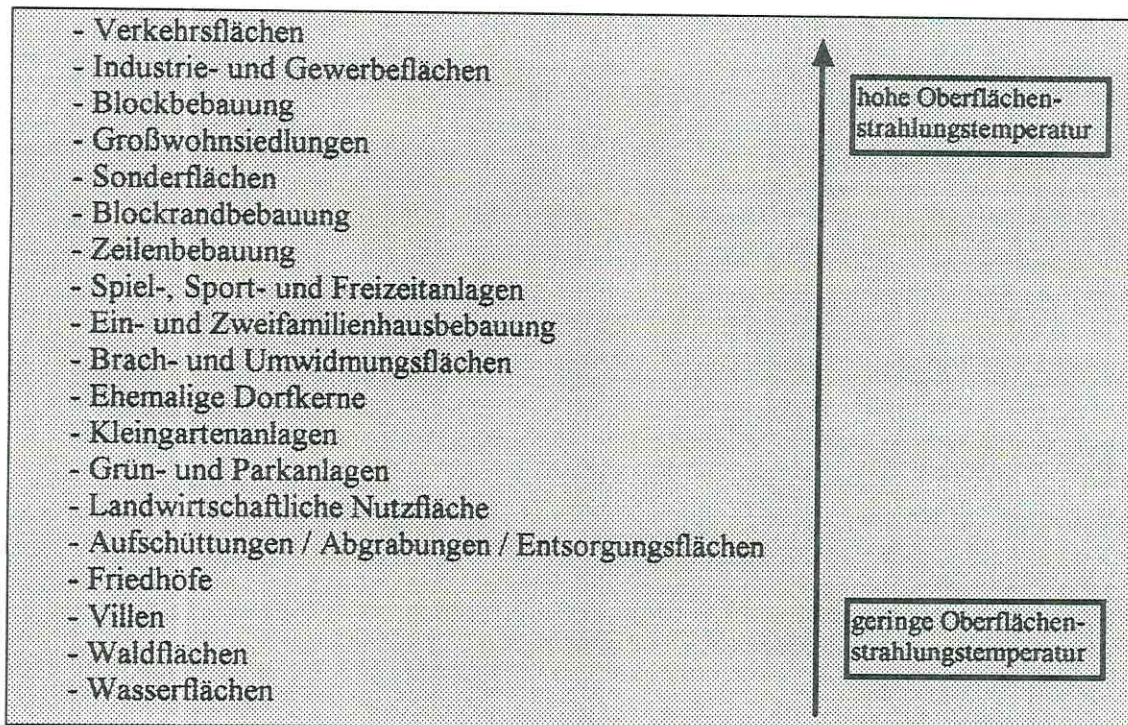


Abb. 36: Hierarchie der Oberflächenstrahlungstemperatur verschiedener Stadtstrukturtypen (eigener Entwurf)

Mit dieser Ergänzung der Stadtstrukturtypen mit einer ökologischen Komponente der Oberflächenstrahlungstemperatur lassen sich verschiedene Stadtstrukturtypen zusätzlich in ihrer stadtklimatologischen Auswirkung bzw. Wirkung einschätzen. Auch bei Planungen von neuen Bebauungsgebieten erlaubt diese Auflistung die allgemeine Einschätzung der Klimagunst bzw. -ungunst verschiedenster Strukturen. Durch eine zeitliche Analyse können Veränderungen der Oberflächenstrahlungstemperatur erkannt und somit auf veränderte Oberflächenbedeckungen geschlossen werden. Diese relativ schnelle Analyseform gibt dann einen Hinweis, in welchem Strukturtyp die entsprechende Veränderung zu suchen ist, der dann über alle vorkommenden Flächen detailliert untersucht werden kann und sollte. Da aber die Berechnung über alle Flächen eines Strukturtypes gemittelt erfolgt, würde diese Methode nur sehr starke Veränderungen erfassen. Kleinere, in einer einzelnen Raumeinheit erfolgte Urbanisierungsprozesse könnten mit der Berechnung der Oberflächenstrahlungstemperatur für jede einzelne Fläche diagnostiziert werden. Eine diesbezügliche Untersuchung auf der Grundlage der Strukturtypen kann infolge der fehlenden Daten zur Versiegelung nicht erfolgen.



### 4.3.3 Visuelle Interpretation der Thermalscannerbefliegung

Die Abb. 37<sup>74</sup> (s. S. 118) stellt anhand der Ortsteile Mockau-Süd und Schönefeld-Abtnaundorf (Beispiel 1) sowie der Ortsteile Grünau-Süd, -Nord, -Siedlung, -Mitte, -Ost und Schönauf (Beispiel 2) die Thermalscannerdaten (Abendbefliegung) denen des Landsat-TM gegenüber. Zu beachten sind bei der Betrachtung der Bilder die unterschiedlichen Aufnahmeparameter, die Unterschiede in der Erwärmung der Oberflächen, in der Phänologie und in der Meteorologie bedingen (s. Tab. 15, S. 95), sowie die Fehler bei der geometrischen Entzerrung.

Die Abendaufnahme des DAEDALUS-Scanners ist für den Vergleich gewählt worden, da sie am besten mit den Thermaldaten des Landsat-TM vergleichbar ist. Bei beiden Aufnahmen hat eine Erwärmung der Oberflächen infolge der Einstrahlung<sup>75</sup> stattgefunden. Die Beispiele lassen unabhängig von ihrer geometrischen Auflösung verschieden stark erwärmte Bereiche erkennen, wobei die Thermalscanneraufnahme Details - wie zum Beispiel Straßenzüge - zeigt. Die Thermalaufnahme des Landsat-TM ist insgesamt homogener. Die Thermalscanneraufnahme hingegen läßt sich verhältnismäßig genau analysieren. Durch die hohe geometrische Auflösung von 8 m sind Strukturen erkennbar, die aufgrund ihrer linienförmigen Abbildung mit relativ hoher Oberflächenstrahlungstemperatur auf bebaute Bereiche schließen lassen. Die Detailanalyse ergibt, daß hauptsächlich die asphaltierten Straßen und geteerten Flächen sich stark im Vergleich zu ihrer Umgebung erwärmen. Infolge des hohen Wärmespeichervermögens sind sie die 'Hauptverursacher für den Wärmeinseleffekt' (SPACETEC, S. 28). In den Ortsteilen von Grünau mit der Großblockbebauung zeichnen sich auch die großen Dachflächen als stark erwärmte Bereiche ab, so daß die einzelnen Blöcke gut sichtbar sind. Dies ist auf die geteerten Dachflächen zurückzuführen. Interessant gestaltet sich die Erkennbarkeit der Hinter-/Innenhöfe, die sich wegen ihrer Durchgrünung deutlich kühler verhalten.

Der Vergleich der Großblockbebauung zur Ein- und Zweifamilienhausbebauung im Ortsteil Grünau-Siedlung zeigt den Einfluß der geringen Gebäudekörperfläche und des großen Vegetationspotentials. Die Straße zwischen Grünau-Süd und dem südlichen Grünau-Mitte weist nur in den unmittelbaren Randbereichen der Großblockbebauung die gleiche Oberflächenstrahlungstemperatur wie innerhalb der Großblockbebauung auf. Die Verbindungsstraße zwischen den beiden Ortsteilen hat infolge des Einflusses der Umgebung eine etwas geringere Oberflächenstrahlungstemperatur. Die Grünau-Siedlung selber erscheint mit nur wenigen differenzierbaren Strukturen. Infolge ihres hohen Grünanteiles zeigt sich hier eine geringere Oberflächenerwärmung. Die kleinen Straßenzüge

<sup>74</sup> Nächste Seite (S. 118) - Abb. 37: Gegenüberstellung von Landsat-TM, Kanal 6 und DAEDALUS - Beispiele Mockau-Süd und Schönefeld-Abtnaundorf

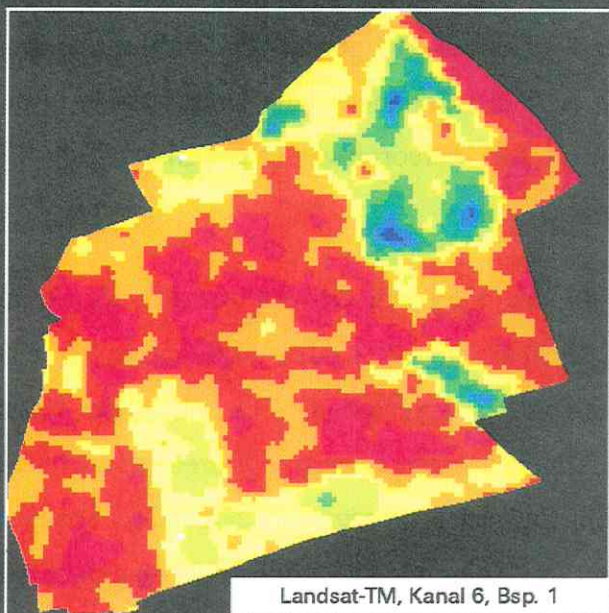
<sup>75</sup> Die Länge der Einstrahlung variiert infolge der unterschiedlichen Aufnahmezeitpunkte.



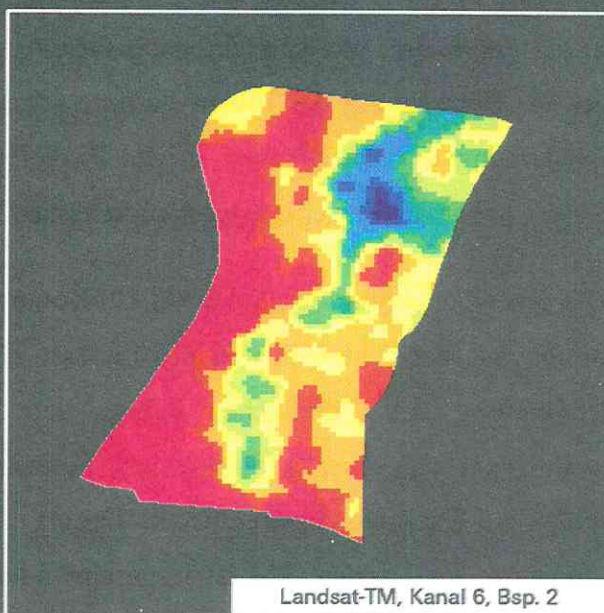
# Gegenüberstellung von Landsat-TM, Kanal 6 und DAEDALUS, Abendaufnahme

Beispiel 1: Ortsteile Grünau-Süd, -Nord, -Siedlung, -Ost, Schöнау

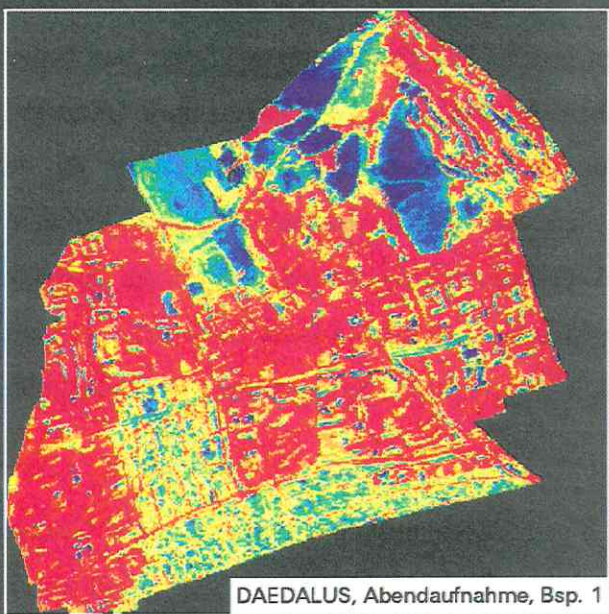
Beispiel 2: Mockau-Süd, Schönefeld-Abtnaundorf



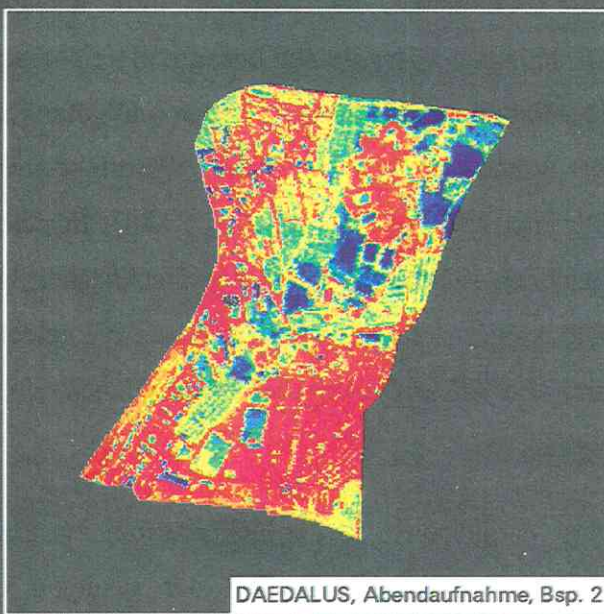
Landsat-TM, Kanal 6, Bsp. 1



Landsat-TM, Kanal 6, Bsp. 2



DAEDALUS, Abendaufnahme, Bsp. 1



DAEDALUS, Abendaufnahme, Bsp. 2



Niedrige Oberflächenstrahlungstemperatur



Mittlere Oberflächenstrahlungstemperatur

Mittlere Oberflächenstrahlungstemperatur

Hohe Oberflächenstrahlungstemperatur



Kilometer



Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Digitale Bildverarbeitung und Kartographie:  
Dipl.-Geogr. V. Heinz, H. Hoffmann



gefördert durch:  
Deutsche Agentur für  
Raumfahrtangelegenheiten  
(DARA GmbH)



können nur mit Mühe identifiziert werden. Dazwischen herrschen ähnliche Oberflächenstrahlungstemperaturen wie im angrenzenden Agrarland vor. Diese zwei Extrembeispiele lassen sich ebenfalls in der Landsat-TM-Szene erkennen, dort fehlen jedoch die erkennbaren Häuser- und Straßenstrukturen infolge der geringen geometrischen Auflösung.

Neben der Lokalisierung von Urbanisierungsprozessen anhand der veränderten Oberflächenstrahlungstemperatur kann eine Thermalscannerbefliegung auch Aufschluß über die ökologischen Folgen von Urbanisierungsprozessen geben. So lassen zum Beispiel eine Temperaturdifferenz- und eine Klimatopkarte<sup>76</sup> multitemporal erkennen, wo durch eine Urbanisierung Frischluftschneisen oder Ventilationsbahnen verbaut worden sind. Auch der klimatische Einfluß einer Neubebauung auf ihre Umgebung ist - in Abhängigkeit vom Maßstab - nachzuvollziehen. Der multitemporale Vergleich verschiedener Differenzkarten gewährleistet die Identifikation größerer Veränderungen des Abkühlungsverhaltens von Oberflächen. Wird zum Beispiel ein Gewerbegebiet auf einer ehemaligen Wiese gebaut, so nimmt das Abkühlungsverhalten in diesem Bereich stark ab.

Obwohl die Einsatzbereiche von Thermalscannerdaten für die Untersuchung der Urbanisierung und deren ökologische Folgen vielseitig erscheinen, bleiben absolute Aussagen sehr schwierig. Das größte Problem stellt die spektrale Angleichung unterschiedlicher Aufnahmen dar. Zudem werden insbesondere bei den flugzeuggestützten Fernerkundungsdaten die geometrischen Entzerrungen mit zunehmender geometrischer Auflösung schwieriger, so daß ergänzend ein digitales Höhenmodell hinzugezogen werden sollte.

#### 4.4 Untersuchung des Durchgrünungsgrades

##### 4.4.1 Visuelle Interpretation von Landsat-TM, NDVI

Die Abb. 38<sup>77</sup> (s. S. 120) gibt das Ergebnis der Berechnung des Normalized Difference Vegetation Index für das Stadtgebiet von Leipzig wieder, das auch im Kapitel 5.5.1 in zusammengefaßter Form dargestellt wird. Als Maß für die Durchgrünung bzw. für die Vegetationsdynamik lassen sich anhand hoher NDVI-Werte gut die stark durchgrünten Bereiche im urbanen Raum von Leipzig erkennen. Es fällt auf, daß die durch Wald geprägten Gebiete der Auen und Grünflächen im Innenstadtbereich

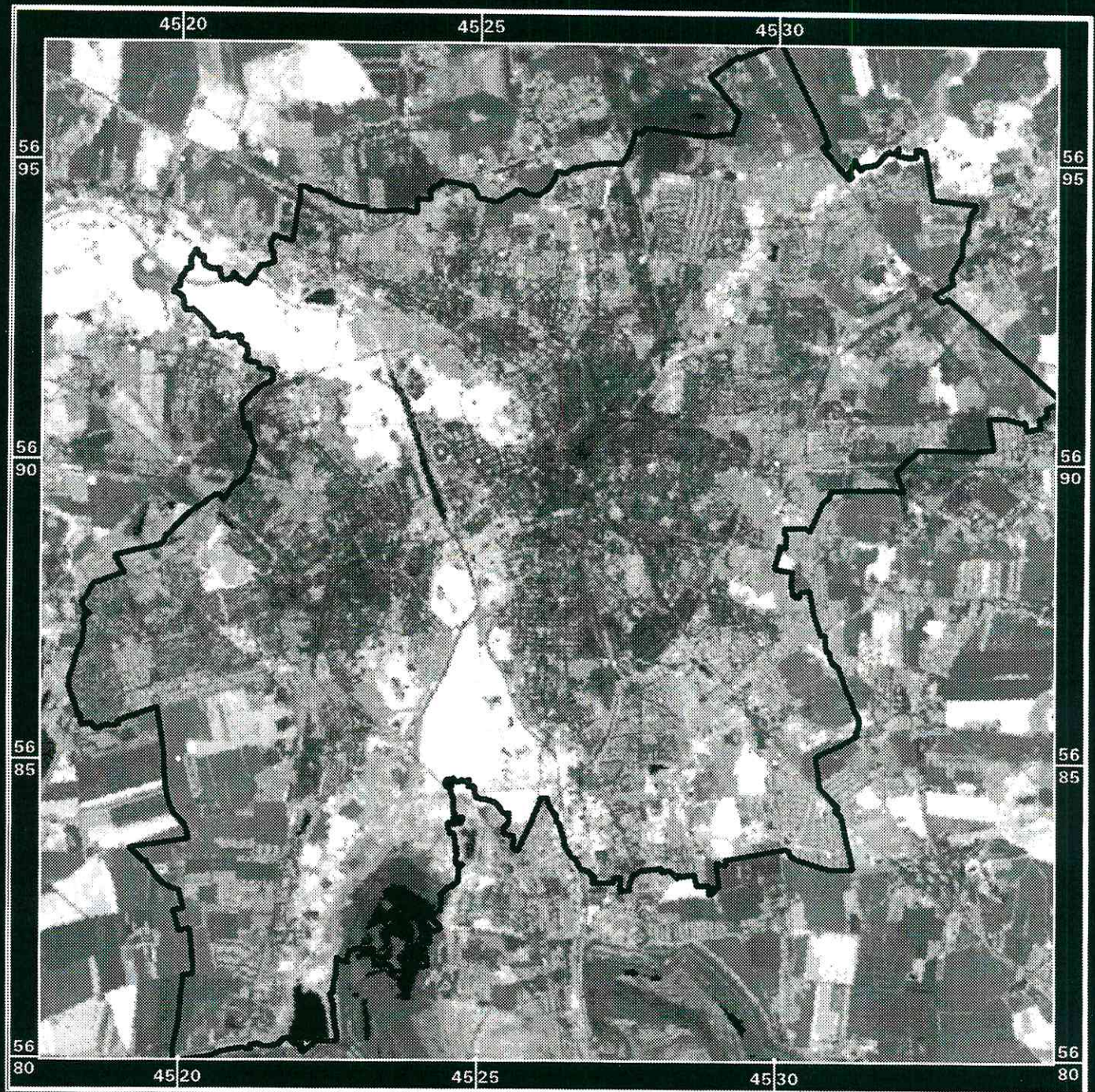
<sup>76</sup> Die Klimatopkarte stellt das 'Resultat unterschiedlich wirkender Oberflächenstrukturen (Realnutzung, Rauigkeit, Relief), sowie mikroklimatischer und anthropogener Einflüsse' dar. Ihr besonderer Nutzen liegt in der Darstellung des Einflusses 'mikroklimatischer Phänomene (Klimatope)' (Industrieanlagen-Betriebsgesellschaft mbH). Sie geht aus einer Verknüpfung der Bilder des Abend- und des Morgenfluges und dessen Klassifikation (standardisiert multitemporal) hervor (SPACETEC et al. 1993, S. 15f.). Es fließen zudem die Realnutzung und Daten eines Bodenmeßprogrammes ein.

<sup>77</sup> Nächste Seite (S. 120) - Abb. 38: NDVI des Stadtgebietes von Leipzig - Basis Landsat-TM



# NDVI der Stadt Leipzig

Basis Landsat-TM (Juli 1994)



0 2 Kilometer



Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Digitale Bildverarbeitung und Kartographie:  
Dipl.-Geogr. V. Heinz



gefördert durch:  
Deutsche Agentur für  
Raumfahrtangelegenheiten  
(DARA GmbH)



sowie einige Ackerflächen im Umland die höchsten NDVI-Werte haben. Insbesondere die Wald- und Grünflächen, die auf dieser Grundlage in ihrer Lage, Ausdehnung und Stärke der Durchgrünung identifiziert werden können, haben eine wichtige ökologische Bedeutung für die Stadt Leipzig.

In den Randbereichen dieser Flächen sowie in den Gebieten mit dominanter Ein- und Zweifamilienhausbebauung sowie den Kleingärten lassen sich ebenfalls hohe Werte wiederfinden, die aber zumeist in unmittelbarer Nachbarschaft zu den Flächen geringerer Durchgrünung mit mittleren Werten auftreten. Anhand dieses Nebeneinanders können teilweise Rückschlüsse auf die Strukturen einzelner Gebiete gezogen werden. Dies ist in dieser Darstellung zum Teil einfacher als bei der visuellen Interpretation des Rohbildes (vgl. HEINZ 1996a, S. 48 - 53). Infolge der einkanaligen Darstellung der NDVI-Werte lassen sich insbesondere in der Grautondarstellung unterschiedliche Strukturen im Stadtbereich erkennen. Farbuweisungen führen hingegen zu einem Informationsverlust sowie zu unrealistischen Farbgebungen. Deutlich werden zum Beispiel die linearen Anordnungen in vielen Ein- und Zweifamilienhaussiedlungen, die rechtwinklige Anordnung der Bebauung und somit auch des Straßennetzes im Süden der Stadt, etc..

Anhand der Scharung verschiedener NDVI-Werte kann die Verdichtung der Flächen abgeleitet werden. In den Innenstadtbereich hinein läßt sich ein deutlicher Rückgang der Anzahl der Pixelbelegungen mit hohen und mittleren Durchgrünungsgraden entsprechend der Zunahme der Verdichtung und der nahezu konzentrisch angeordneten Bereiche der Flächen unterschiedlicher Verdichtung nachvollziehen (vgl. Kap. 3.3 u. 3.4.1). Vermehrt treten hier Pixel mit der Zuweisung zu den niedrigsten Klassen des NDVI auf. Während diese in den vorwiegend durch Wohnbebauung geprägten Bereichen mit Block- und Blockrandbebauung in Verbindung mit den Klassenzuweisungen zu mittleren und höheren NDVI-Werten vorkommen, sind im unmittelbaren Innenstadtbereich und bei den Industrie- und Gewerbegebieten starke Verdichtungen, das heißt niedrige NDVI-Werte zu erkennen. So eignet sich auch diese Datengrundlage für die Abgrenzung innerstädtischer Flächen und kann als weitere Interpretationshilfe für die Untersuchung der Verdichtung einer Stadtfläche herangezogen werden. Inwiefern eine statistische Flächenanalyse weitere Unterscheidungen zwischen einzelnen, definierten Flächen - wie zum Beispiel die der Strukturtypen - zulassen, wird im Kapitel 4.4.2 untersucht.

Die Achsenstrukturen, die auch im Rohbild erkennbar sind (vgl. HEINZ 1996a, S. 48 - 53), können hier ebenso nachvollzogen werden. Selbst die Großwohnsiedlungen lassen sich - allerdings nur mit Ortskenntnis - erkennen, da der NDVI Werte zwischen denen der Ein- und Zweifamilienhausbebauung und denen der stark verdichteten Innenstadtbereiche einnimmt. Eine Stadt-Umland-Trennung ist im Gegensatz zum Rohbild erschwert, da die abgebildete Durchgrünung sich in den



umliegenden Ackerflächen fortsetzt. Die einkanalige Darstellung erschwert dies. Lediglich eine sehr genaue Bildanalyse, bei der die erkennbaren Strukturen integriert werden, ermöglichen diese.

Ebenfalls problematisch gestaltet sich das Erkennen momentaner Bebauungsgebiete. Während diese sich relativ gut im Rohbild identifizieren lassen (vgl. HEINZ 1996a, S. 48 - 53 u. 55), ist im monotemporalen NDVI-Bild eine Identifikation nicht möglich. Da sie infolge der Bauarbeiten zumeist keine Vegetationsbedeckung aufweisen, haben sie geringe NDVI-Werte. Vergleichbare Werte haben auch die stark verdichteten, innerstädtischen Flächen, die Wasserflächen und solche, die ebenfalls keine Vegetation aufweisen - zum Beispiel ein abgeernteter Acker. Demzufolge ist auch im temporalen Vergleich eine mit der Veränderung der Oberflächenbedeckung einhergehende Urbanisierung mittels der NDVI-Werte nur schwer erkennbar. Erst nach der Anpflanzung von Vegetation lassen sich solche Bereiche erkennen. Zudem sind mehrere Aufnahmen während der Vegetationsperiode nötig, um eindeutig Flächen ohne Vegetation ausgrenzen zu können. Urbanisierte Bereiche lassen sich bei zwei Aufnahmen ähnlicher phänologischer Zustände von zwei verschiedenen Jahren durch einen visuellen Vergleich mit Einschränkungen lokalisieren. Für einen direkten Vergleich sind Atmosphärenkorrekturen empfehlenswert, die im Rahmen des Projektes nicht durchgeführt werden konnten. Aufgrund dessen und der schlechten Datenbasis des Jahres 1992 wird an dieser Stelle auf einen multitemporalen Vergleich verzichtet.

#### **4.4.2 Digitale Auswertung von Landsat-TM, NDVI**

Die digitale Auswertung des NDVI-Bildes auf der Basis von Landsat-TM hat für die Flächen der Strukturtypen - gemittelt über alle Flächen gleichen Strukturtypes - ein Ergebnis ergeben, das die Einteilung und Abgrenzung der Strukturtypen zueinander auf der Grundlage des Durchgrünungsgrades zulässt. Anhand der am häufigsten vorkommenden Klasse kann bei der Berechnung des NDVI für alle Flächen des gleichen Strukturtypes eine Hierarchie der Durchgrünungsgrade der Strukturtypen abgeleitet werden. Hierzu ist in der Tab. 18 (s. S. 123) jeweils der Majority-Wert dargestellt. Der aufgeführte Majority-Prozent-Wert gibt Auskunft über die Häufigkeit des Vorkommens dieser Klasse, womit ein Maß für die Variabilität der Werte innerhalb der Flächeneinheiten gegeben wird.



Tab. 18: Häufigste Klasse des NDVI innerhalb der Strukturtypen von Leipzig - Basis Landsat-TM (eigene Berechnung)

| Häufigste NDVI-Klasse<br>[Majority] | Strukturtyp                                                                                                                                                                                                    | Häufigkeit des Majority<br>[%]               |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| -1.0 - <-0.9                        | nicht vertreten                                                                                                                                                                                                | 00,0                                         |
| -0.9 - <-0.8                        | nicht vertreten                                                                                                                                                                                                | 00,0                                         |
| -0.8 - <-0.7                        | nicht vertreten                                                                                                                                                                                                | 00,0                                         |
| -0.7 - <-0.6                        | nicht vertreten                                                                                                                                                                                                | 00,0                                         |
| -0.6 - <-0.5                        | nicht vertreten                                                                                                                                                                                                | 00,0                                         |
| -0.5 - <-0.4                        | nicht vertreten                                                                                                                                                                                                | 00,0                                         |
| -0.4 - <-0.3                        | nicht vertreten                                                                                                                                                                                                | 00,0                                         |
| -0.3 - <-0.2                        | Wasserflächen<br>Aufschüttungs-, Abgrabungs- und<br>Entsorgungsflächen                                                                                                                                         | 31,6<br>24,7                                 |
| -0.2 - <-0.1                        | nicht vertreten                                                                                                                                                                                                | 00,0                                         |
| -0.1 - <+0.0                        | Einkaufszentren<br>Kerngebiete                                                                                                                                                                                 | 80,7<br>54,4                                 |
| +0.0 - <+0.1                        | Geschlossene Blockbebauung<br>Stark versiegelte Industrie- und Gewerbeflächen<br>Verkehrsflächen<br>Geschlossene Blockrandbebauung<br>Offene Blockbebauung<br>Gering versiegelte Industrie- und Gewerbeflächen | 37,8<br>29,8<br>26,5<br>25,9<br>25,5<br>23,9 |
| +0.1 - <+0.2                        | Großwohnsiedlungen<br>Landwirtschaftlich genutzte Flächen<br>Offene Blockrandbebauung<br>Öffentliche Einrichtungen                                                                                             | 37,2<br>35,2<br>26,7<br>20,8                 |
| +0.2 - <+0.3                        | Zeilenbebauung<br>Technische Ver- und Entsorgungsflächen                                                                                                                                                       | 28,7<br>20,1                                 |
| +0.3 - <+0.4                        | Kleingartenanlagen<br>Ein- und Zweifamilienhausbebauung<br>Ehemalige Dorfkerne                                                                                                                                 | 46,7<br>34,8<br>26,1                         |
| +0.4 - <+0.5                        | Friedhöfe<br>Sport-, Spiel- und Freizeitanlagen<br>Villen<br>Brach- und Umwidmungsflächen                                                                                                                      | 45,8<br>23,2<br>22,8<br>19,0                 |
| +0.5 - <+0.6                        | Park- und Grünanlagen                                                                                                                                                                                          | 26,5                                         |
| +0.6 - <+0.7                        | Waldflächen                                                                                                                                                                                                    | 65,7                                         |
| +0.7 - <+0.8                        | nicht vertreten                                                                                                                                                                                                | 00,0                                         |
| +0.8 - <+0.9                        | nicht vertreten                                                                                                                                                                                                | 00,0                                         |
| +0.9 - <+1.0                        | nicht vertreten                                                                                                                                                                                                | 00,0                                         |

Die Strukturtypen haben ihre häufigsten Werte des NDVI in den mittleren Klassen. Während die Wasserflächen die niedrigste Klasse am häufigsten aufweisen, sind die Waldflächen der Strukturtyp mit den höchsten NDVI-Werten. Auch die Einteilung der einzelnen Bebauungsstrukturen zwischen diesen beiden Extrema belegen gut die oben gemachten Aussagen zum Durchgrünungsgrad verschiedener, visuell erkennbarer Oberflächenstrukturen. Interessant ist zum Beispiel die gleiche Klassenzuweisung bei den Kleingartenanlagen und den Ein- und Zweifamilienhäusern. Sie haben ähnliche NDVI-Werte, was sich auch bei der visuellen Interpretation (vgl. Abb. 38, S. 120 u. Kap. 4.4.1)



nachvollziehen läßt. Die unterschiedlichen prozentualen Häufigkeiten geben zudem einen Aufschluß über die Homogenität der Werte innerhalb der definierten Flächeneinheiten. So sind die Kleingartenanlagen insgesamt homogener als die Flächen der Ein- und Zweifamilienhausbebauung. Des weiteren ist festzustellen, daß zum Beispiel der Durchgrünungsgrad im Strukturtyp der Kerngebiete deutlich niedriger ist als in dem der Offenen Blockrandbebauung. Die gleiche Klassenzuweisung bei den Landwirtschaftlich genutzten Flächen läßt sich nochmals mit dem phänologischen Zustand der Ackerflächen zum Aufnahmezeitpunkt begründen. Demnach eignet sich die NDVI-Berechnung nicht für die allgemeine und alleinige Unterscheidung verschiedener Oberflächenstrukturen (vgl. Kap. 4.3.1).

Während die vorgestellte Berechnung nur Informationen über den allgemeinen, häufigsten Durchgrünungsgrad gemittelt über alle Flächen des gleichen Strukturtyps bietet, sind in der Abb. 39<sup>78</sup> (s. S. 125) der häufigste und der mittlere NDVI-Wert für jede Fläche aller Strukturtypen dargestellt. Dies gibt einen genaueren Aufschluß über die tatsächliche Situation in den einzelnen Bereichen von Leipzig - generalisiert über die definierte Flächeneinheit. Als Beispiel sei der Bereich der Kirschbergsiedlung in Grünau herausgegriffen. Während die meisten Flächen einen mittleren NDVI-Wert zwischen 0,3 und 0,4 aufweisen, werden bei der Majority-Darstellung Unterschiede deutlich. Neben der Zuweisung zur gleichen Klasse werden im Südwesten auch Dominanzen mit Werten zwischen 0,4 und 0,5 erkennbar. Hieraus läßt sich ableiten, daß Aussagen auf der Basis der Majority-Werte differenzierter sind bzw. Extremwerte besser nachvollzogen werden können.

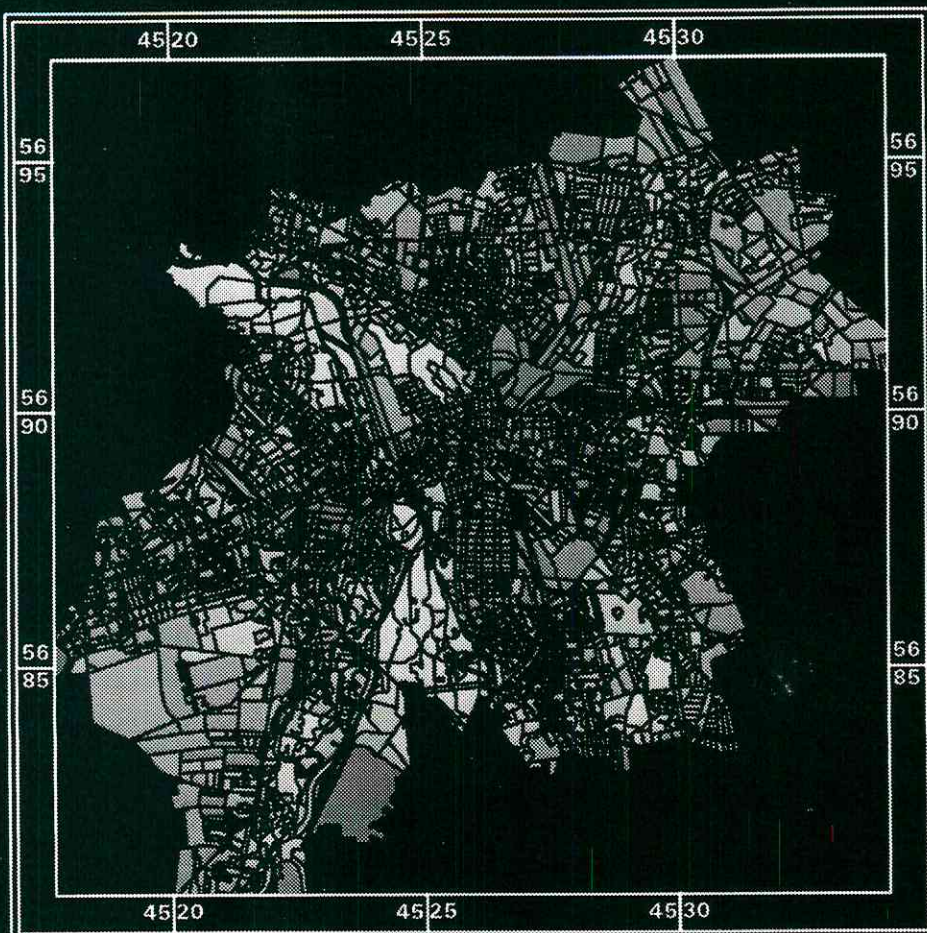
Die Unterschiede zwischen den beiden Großblockbebauungen im Westen (Grünau) und im Osten (Paunsdorf) von Leipzig zeigen sich durch die Zuweisung einer höheren Klasse in Grünau. In Verbindung mit der visuellen Interpretation des Rohbildes (vgl. Kap. 3.3 u. HEINZ 1996a, S. 48 - 53) werden so zusätzlich die Aussagen zur Unterschiedlichkeit beider belegt. Die einzelnen Wertezuordnungen der jeweiligen Flächen können der Abb. 39 (s. S. 125) entnommen werden.

Auf dieser Basis ist eine Analyse der Urbanisierung denkbar, die eine atmosphärische Korrektur und eine vergleichbare Phänologie zwischen zwei Aufnahmen voraussetzt. Veränderungen der Oberflächenbedeckung im Zuge von Urbanisierungsprozessen sind anhand einer veränderten Klassenzuweisung erkennbar. Die entsprechenden Veränderungen sind in der Tab. 19 (s. S. 126) dargestellt. Bei gleichgebliebener Klasse kann zudem die Statistik Aufschluß über Veränderungen geben.<sup>79</sup>

<sup>78</sup> Nächste Seite (S. 125) - Abb. 39: Mean- und Majoritywerte des NDVI innerhalb der Flächen der Strukturtypen - Basis Landsat-TM

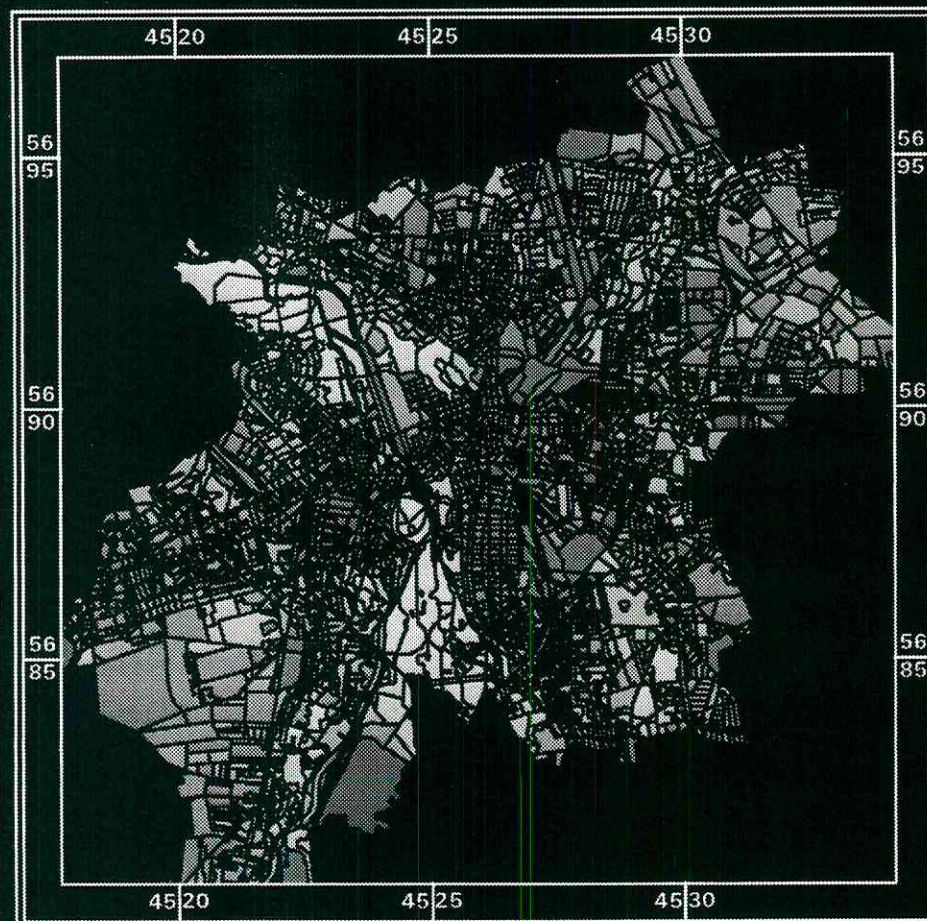
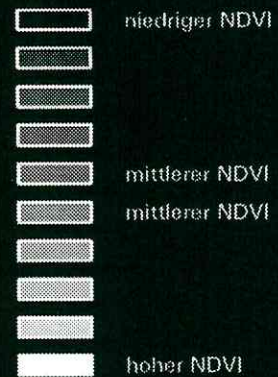
<sup>79</sup> Eine Bebauungsmaßnahme in einem Teilbereich einer definierten Fläche spiegelt sich in der Veränderung der prozentualen Häufigkeit zum Beispiel des Majority-Wertes wider.





## Mittlerer NDVI

Basis Landsat-TM  
innerhalb der  
Flächenabgrenzungen  
der Strukturtypen



## Häufigster NDVI

Basis Landsat-TM  
innerhalb der  
Flächenabgrenzungen  
der Strukturtypen





**Tab. 19: Mögliche Veränderungen der Klassenzuweisungen des NDVI in definierten Raumeinheiten (eigener Entwurf)**

| Klassenzuweisung                 | Möglicher (Urbanisierungs-) Prozeß                                                                                                                                                                                                         | Vorgehen / Maßnahmen                                                                                                                                                                                                                                |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| steigend<br>(= zunehmender NDVI) | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bebauungsgebiet ist fertiggestellt</li> <li>- Gebiet ist z. T. durchgrünt worden</li> <li>- Gebiet ist z. T. entsiegelt worden</li> <li>- Gebiet weist unterschiedliche Phänologie auf</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Referenzdaten prüfen</li> <li>- in Einzeldarstellungen der NDVI-Werte (ohne Generalisierungen auf eine Flächeneinheit) Art, Lage und Ausdehnung der Veränderungen prüfen</li> </ul>                        |
| sinkend<br>(= abnehmender NDVI)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bebauungsgebiet ist erschlossen worden</li> <li>- Gebiet ist versiegelt worden</li> <li>- Gebiet weist unterschiedliche Phänologie auf</li> </ul>                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Referenzdaten prüfen</li> <li>- in Einzeldarstellungen der NDVI-Werte (ohne Generalisierungen auf eine Flächeneinheit) Art, Lage und Ausdehnung der Veränderungen prüfen</li> </ul>                        |
| gleichbleibend                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gebiet ist nur in kleinen, nicht dominanten Bereichen verändert worden</li> <li>- Gebiet ist nicht verändert worden</li> </ul>                                                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Referenzdaten prüfen</li> <li>- Statistik prüfen</li> <li>- Einzeldarstellungen der NDVI-Werte (ohne Generalisierungen auf eine Flächeneinheit) auf mögliche, kleinräumige Veränderungen prüfen</li> </ul> |

Auf eine Ableitung absoluter Versiegelungswerte auf der Basis des NDVI wurde verzichtet, da eine solche bei monotemporalen Daten und fehlenden Referenzdaten stark fehlerbehaftet ist (vgl. dazu auch NETZBAND et al. 1996 und Kap. 2). Für weitere Ausführungen hierzu sei darüber hinaus auch auf die Arbeit von KNAPP (1996) verwiesen.

#### 4.4.3 Visuelle Interpretation von SPOT-XS, NDVI

Im Gegensatz zu den NDVI-Werten auf der Basis von Landsat-TM ergibt die Berechnung für SPOT-XS aufgrund der höheren geometrischen Auflösung ein differenzierteres und 'klareres' Bild (s. Abb. 40<sup>80</sup>, S. 127; vgl. Abb. 38, S. 120). Deutlich läßt sich der andere phänologische Zustand der Vegetation infolge des früheren Aufnahmezeitpunktes von SPOT-XS (vgl. Kap. 1.5) erkennen. Die Vegetation hat einen höheren Chlorophyllgehalt, und die Ackerflächen haben noch nicht den hohen Reifegrad erreicht. Die Feldfrüchte reflektieren in diesem Zustand wesentlich stärker im Nahen Infrarot als einen Monat später. Entsprechend der Basis von Landsat-TM können auch hier die stark durchgrünt Bereiche, zu denen in erster Linie die Waldflächen zählen, gut von ihrer Umgebung getrennt werden. Die Stadt-Umland-Trennung gestaltet sich - wie beim NDVI-Bild auf der Basis von Landsat-TM - schwierig. Sie ist allerdings insgesamt einfacher als bei Landsat-TM, da einzelne Strukturen - zum Beispiel das linienhafte Abbildungsverhalten der Bebauung - infolge der höheren geometrischen Auflösung des SPOT-XS besser nachzuvollziehen sind. Der Gegensatz zwischen den spektralen Eigenschaften der Bebauung und der umgebenden Grünflächen ist zudem größer. Zwar sind die Übergänge weiterhin fließend und insbesondere in den Stadt-Rand-Bereichen mit dominanter Ein- und Zweifamilienhausbebauung undeutlich, hingegen haben aber die meisten Ackerflächen noch hohe, von denen der Bebauung unterscheidbare NDVI-Werte. Bezüglich der Abgrenzung und Erkennbarkeit verschiedener städtischer Oberflächenbedeckungen gelten die im Kapitel 4.4.1

<sup>80</sup> Nächste Seite (S. 127) - Abb. 40: NDVI des Stadtgebietes von Leipzig - Basis SPOT-XS



# NDVI der Stadt Leipzig

Basis SPOT-XS



0 2 Kilometer



Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Digitale Bildverarbeitung und Kartographie  
Dipl.-Geogr. V. Heinz



gefördert durch:  
Deutsche Agentur für  
Raumfahrtangelegenheiten  
(DARA GmbH)



gemachten Aussagen. Sie ist hier insgesamt etwas besser einzuschätzen, da sich einzelne Details - wie insbesondere die Anordnung der Bebauung und des Straßennetzes - genauer abbilden. Die dem SPOT-XS zugrundeliegenden, anderen spektralen Auflösungen lassen insgesamt keine Vor- oder Nachteile gegenüber der Anwendung von Landsat-TM erkennen.

#### 4.4.4 Digitale Auswertung von SPOT-XS, NDVI

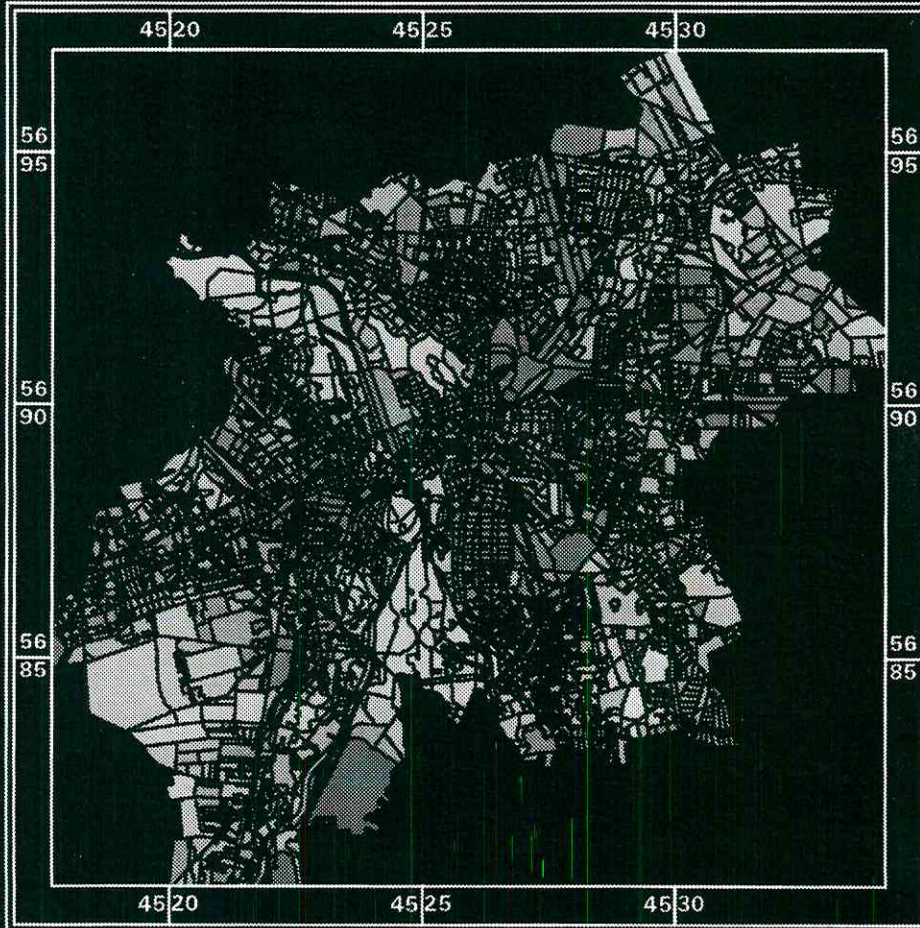
Die Berechnung des NDVI zeigt auch bei der digitalen Auswertung der Verknüpfung von Raster- und Vektordaten die andere Phänologie zum Aufnahmezeitpunkt. Dies ergibt sich aus dem abgedeckten, verschobenen Wertebereich einerseits und andererseits aus den unterschiedlichen Klassenzuweisungen zu den Strukturtypen (s. Tab. 20, S. 130; vgl. Tab. 18, S. 123). Die letzteren können zudem auf die höhere geometrische Auflösung des SPOT-XS zurückgeführt werden, wodurch andere und mehr Details vom Sensor erfaßt werden. Dies ist ein Grund für die andersartige Zusammenfassung der einzelnen Strukturtypen innerhalb der festgelegten Klassengrenzen. Interessant ist, daß die Verschiebungen zwischen den einzelnen Klassen zwischen Landsat-TM und SPOT-XS relativ gering sind. Dementsprechend weist die Grobgliederung der Strukturtypen nach ihrem Reflexionsverhalten der Vegetation bei beiden nur geringfügige Verschiebungen auf. Das zeigt, daß absolute Aussagen auf der Basis von Satellitenfernerkundungsdaten nicht gemacht werden können. Es bleiben immer relative Angaben in den zugrundeliegenden geometrischen Auflösungen.

Die für die Berechnungen des NDVI auf der Basis von Landsat-TM mit Bezug zu den einzelnen Flächen unterschiedlicher Strukturtypen gewonnenen Ergebnisse lassen sich auch auf die Basis von SPOT-XS übertragen (s. Abb. 41<sup>81</sup>, S. 129). Wiederum erscheint die Abbildung mit dem Majority-Wert differenzierter als die Darstellung der Mean-Werte. Die obigen Aussagen zur unterschiedlichen Klassenzuweisung im Bereich der Kirschbergsiedlung können ebenso nachvollzogen werden wie die Unterscheidungsmöglichkeit des Durchgrünungsgrades der Großblockbebauung in Grünau und Paunsdorf. Weitere Einzelheiten sind der Abb. 41 (s. S. 129) zu entnehmen.

---

<sup>81</sup> Nächste Seite (S. 129) - Abb. 41: Mean- und Majoritywerte des NDVI innerhalb der Flächen der Strukturtypen - Basis SPOT-XS (eigener Entwurf)

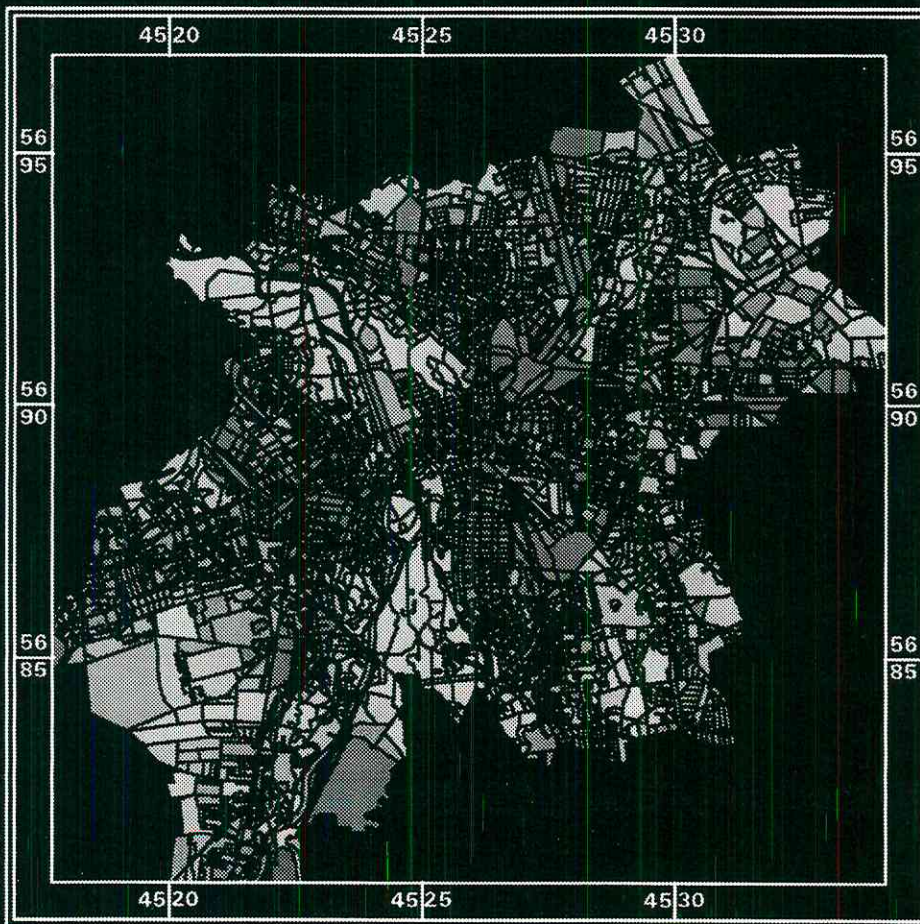




## Mittlerer NDVI

Basis SPOT-XS

innerhalb der  
Flächenabgrenzungen  
der Strukturtypen



## Häufigster NDVI

Basis SPOT-XS

innerhalb der  
Flächenabgrenzungen  
der Strukturtypen





Tab. 20: Häufigste Klasse des NDVI innerhalb der Strukturtypen von Leipzig - Basis SPOT-XS (eigene Berechnung)

| Häufigste NDVI-Klasse<br>[Majority] | Strukturtyp                                                                                                                                                                                                                                                  | Häufigkeit des Majority<br>[%]                               |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| -1.0 - <-0.9                        | nicht vertreten                                                                                                                                                                                                                                              | 00,0                                                         |
| -0.9 - <-0.8                        | nicht vertreten                                                                                                                                                                                                                                              | 00,0                                                         |
| -0.8 - <-0.7                        | nicht vertreten                                                                                                                                                                                                                                              | 00,0                                                         |
| -0.7 - <-0.6                        | nicht vertreten                                                                                                                                                                                                                                              | 00,0                                                         |
| -0.6 - <-0.5                        | nicht vertreten                                                                                                                                                                                                                                              | 00,0                                                         |
| -0.5 - <-0.4                        | nicht vertreten                                                                                                                                                                                                                                              | 00,0                                                         |
| -0.4 - <-0.3                        | nicht vertreten                                                                                                                                                                                                                                              | 00,0                                                         |
| -0.3 - <-0.2                        | nicht vertreten                                                                                                                                                                                                                                              | 00,0                                                         |
| -0.2 - <-0.1                        | Einkaufszentren<br>Kerngebiete<br>Stark versiegelte Industrie- und Gewerbeflächen<br>Verkehrsflächen<br>Geschlossene Blockbebauung<br>Aufschüttungs-, Abgrabungs- u. Entsorgungsflächen<br>Wasserflächen<br>Gering versiegelte Industrie- und Gewerbeflächen | 72,2<br>52,1<br>35,0<br>30,8<br>30,4<br>28,7<br>24,7<br>19,7 |
| -0.1 - <+0.0                        | Geschlossene Blockrandbebauung                                                                                                                                                                                                                               | 23,1                                                         |
| +0.0 - <+0.1                        | Großwohnsiedlungen <sup>82</sup><br>Offene Blockrandbebauung<br>Offene Blockbebauung<br>Öffentliche Einrichtungen                                                                                                                                            | 32,3<br>25,1<br>22,0<br>18,3                                 |
| +0.1 - <+0.2                        | nicht vertreten                                                                                                                                                                                                                                              | 00,0                                                         |
| +0.2 - <+0.3                        | Kleingartenanlagen<br>Ein- und Zweifamilienhausbebauung<br>Zeilenbebauung<br>Ehemalige Dorfkerne                                                                                                                                                             | 47,1<br>29,8<br>25,4<br>21,4                                 |
| +0.3 - <+0.4                        | Friedhöfe<br>Sport-, Spiel- und Freizeitanlagen<br>Villen<br>Technische Ver- und Entsorgungsanlagen                                                                                                                                                          | 41,8<br>23,8<br>21,1<br>17,3                                 |
| +0.4 - <+0.5                        | Landwirtschaftlich genutzte Flächen<br>Park- und Grünanlagen<br>Brach- und Umwidmungsflächen                                                                                                                                                                 | 26,6<br>25,6<br>20,9                                         |
| +0.5 - <+0.6                        | Waldflächen                                                                                                                                                                                                                                                  | 26,5                                                         |
| +0.6 - <+0.7                        | nicht vertreten                                                                                                                                                                                                                                              | 65,7                                                         |
| +0.7 - <+0.8                        | nicht vertreten                                                                                                                                                                                                                                              | 00,0                                                         |
| +0.8 - <+0.9                        | nicht vertreten                                                                                                                                                                                                                                              | 00,0                                                         |
| +0.9 - <+1.0                        | nicht vertreten                                                                                                                                                                                                                                              | 00,0                                                         |

<sup>82</sup> Im Text synonyme Verwendung der Begriffe Großwohnsiedlung und Großblockbebauung.



## 4.5 Zusammenfassung

Speziell bei der Betrachtung der Ökologie ist erkennbar geworden, daß keine eindeutige Zuordnung verschiedener Indizes bzw. verschiedener Klasseneinteilungen bezüglich der Vegetation und des Klimas zu den Flächen unterschiedlicher Nutzung oder unterschiedlicher Struktur gemacht werden können. Flächen einer Nutzung enthalten zumeist mehr oder weniger verschiedene Vegetationspotentiale und weisen unterschiedlichste Oberflächenstrahlungstemperaturen auf. Zudem können Flächen gleicher Nutzung verschiedenen Klassen der Vegetationsdynamik oder der Oberflächenstrahlungstemperatur zugeordnet werden. Die Ökologie zeigt eine starke Schwankungsbreite auf kleinstem Raum, zwischen unterschiedlichen Aufnahmeterminen und zwischen unterschiedlichen Sensoren. Die Erstellung verschiedener Hierarchien läßt aber Trends erkennen, in welcher Abfolge Nutzungstypen im Hinblick auf den Durchgrünungsgrad und auf das Klima einzustufen sind. Somit ist die Abgrenzung sogenannter Gunst- und Ungunstgebiete möglich. Dabei ist zudem zu beachten, daß auch Satellitendaten sogenannte Momentaufnahmen darstellen, die meistens nicht die Extremsituation darstellen. Diese ist aber für die Einschätzung von zum Beispiel klimatischen Verhältnissen in einem Gebiet sehr wichtig. Diese allgemeine Problemdarstellung findet sich auch bei vielen herkömmlichen Datenerhebungsmethoden wieder.

Zur Anwendungsmöglichkeit bezüglich der zugrundeliegenden Fragestellung läßt sich sagen, daß die aus Fernerkundungsdaten gewonnenen Parameter der Ökologie unterschiedlich bebaute Bereiche erkennen lassen. Der temporale Vergleich kann Veränderungen dieser Parameter sichtbar machen, die zum einen Hinweise auf Flächennutzungsveränderungen und somit auf Urbanisierungsprozesse und zum anderen einen Hinweis auf die Stärke der Auswirkung auf die Ökologie geben.

Für die Untersuchungen zur *Oberflächenstrahlungstemperatur* (s. Kap. 4.3) lassen sich folgende Aussagen zusammenfassen:

- Bei der *visuellen Interpretation* des Kanals 6 des *Landsat-TM* (s. Kap. 4.3.1) ist eine Trennung zwischen bebauten und nicht bebauten Flächen anhand einer unterschiedlichen Oberflächenstrahlungstemperatur möglich, wird aber durch Flächen ähnlicher Oberflächenstrahlungstemperatur sowie in den Übergangsbereichen zwischen der Stadt und dem Umland erschwert.
- Mit dem 120 m-Pixel lassen sich auch kleine Parkanlagen in der Stadt identifizieren. Ab einer Flächengröße von 2,3 ha ist ihre Temperaturamplitude zur Umgebung vergleichbar mit der des Auenwaldes.
- Aufgrund der unterschiedlichen Zusammensetzung der Bebauungsgebiete und ihrer unterschiedlichen Bearbeitungszustände können diese monotemporal nicht anhand einer spezifischen Oberflächenstrahlungstemperatur erkannt werden.
- Veränderungen der Oberflächenstrahlungstemperatur im Zuge von Urbanisierungsprozessen können bei vergleichbaren, multitemporalen Datensätzen mit Einschränkungen erkannt werden. Insbesondere bei großen Bauprojekten ergibt sich eine Erhöhung der Oberflächenstrahlungstemperatur.



- Bei der *digitalen Auswertung* von *Landsat-TM*, Kanal 6 (s. Kap. 4.3.2) ergibt die Berechnung der Majority-Werte innerhalb der definierten Flächeneinheiten der *Funktionalen Strukturtypen* ein inhomogenes Bild, das aber deutlich zwischen bebauten und unbebauten Flächen unterscheiden läßt. Die Generalisierung über die Fläche unterdrückt einerseits die Informationsfülle des Gesamtbildes, läßt andererseits aber über eine veränderte Klassenzuordnung im multitemporalen Vergleich Rückschlüsse auf großräumige, dominierende Urbanisierungsprozesse zu. Sie würden sich bei Neubauten in einer deutlich höheren Klassenzuweisung äußern und wären auf diese Weise schneller und leichter zu identifizieren als im visuellen Vergleich ohne Generalisierung über die definierten Flächeneinheiten.
  - Die Oberflächenstrahlungstemperatur innerhalb der Flächen der *Funktionalen Strukturtypen* variiert stark, läßt aber Tendenzen der charakteristischen Klassenzuweisungen sowie Unterscheidbarkeiten ableiten.
  - Problematisch sind die zugrundeliegenden Flächengrößen und die stark generalisierte, funktionsbestimmte Gebietsabgrenzung.
  - Die Verteilung der Mean- und Majority-Werte der Thermalklassen zeigt für die sozioökonomisch geprägten Strukturtypen im bebauten Bereich eine klare Tendenz hin zu den wärmeren Flächen. Die zumeist vorhandene Schwankungsbreite der Zuordnung der *Funktionalen Strukturtypen* zu mehreren Thermalklassen ist mit der unterschiedlichen Charakteristik der abgebildeten Flächen sowie mit der Generalisierung zu erklären.
  - Der Vergleich der Versiegelungsgrade der *Funktionalen Strukturtypen* mit den Klassen der Lufttemperatur und der Oberflächenstrahlungstemperatur zeigt ähnliche Tendenzen, so daß die Verfahren für eine Versiegelungserhebung unabhängig voneinander eingesetzt werden können und zu ähnlichen Ergebnissen führen. Die Oberflächenstrahlungstemperatur bietet sich für das Füllen der Datenlücke zwischen zwei Luftbildbefliegungen an.
  - Das Hauptproblem bei einer Interpretation besteht in der Abgleichung der Grunddatensätze. Eine Ergebnisverbesserung ist durch eine Erhöhung der geometrischen Auflösung, kleinere Flächenabgrenzungen sowie die Einteilung in Flächen nach der Oberflächenbedeckung zu erwarten. Die Schwankungsbreiten der Differenzbildung zeigt die Inhomogenität Flächen gleicher *Funktionaler Strukturtypen* sowie ihre vorwiegend funktionsbestimmte Definition und Abgrenzung.
- 
- Bei der *digitalen Auswertung* von *Landsat-TM*, Kanal 6 (s. Kap. 4.3.2) ergibt die Berechnung der Majority-Werte innerhalb der neu definierten Flächeneinheiten der *Stadtstrukturtypen* ein gegenüber den *Funktionalen Strukturtypen* differenzierteres und besseres Bild. Daß mit Fernerkundungsdaten die Oberflächenbedeckung und nicht die Funktion einer Fläche erkannt werden kann, wird hierdurch ebenso verdeutlicht wie die Verbesserung der Genauigkeit mit abnehmender Flächengröße.
  - Aussagen zur Versiegelungsdichte können aus Thermalscannerdaten nur unter der Berücksichtigung und Analyse der jeweiligen Phänologie gemacht werden.
  - Die Darstellung der Majority-Werte in den Grenzen der *Stadtstrukturtypen* zeigt ein homogeneres Bild als das der Mean-Wert-Darstellung. Der Einfluß der Phänologie wird durch die Benutzung des häufigsten Wertes anscheinend verringert, trägt aber zu einem gewissen Informationsverlust gegenüber der Mean-Darstellung bei.
  - Die Unterschiede zwischen der Mean- und der Majority-Darstellung deuten auf die Schwankungsbereiche der Oberflächenstrahlungstemperatur innerhalb der definierten Raumeinheiten hin. Zur detaillierten Betrachtung der Oberflächenstrahlungstemperatur eignet sich somit das Ausgangsbild mit überlagerten Grenzen der *Stadtstrukturtypen* besser. Die Information der *Stadtstrukturtypen* wird so mit einer fernerkundlichen Information verknüpft.
  - Die Oberflächenstrahlungstemperatur in nutzungsbestimmten Flächen ist mit den Verhältnissen der Versiegelungsgrade relativ vergleichbar.
  - Die Überprüfung der Auswirkungen der Urbanisierung kann mit Hilfe der Raster-GIS-Verknüpfung für die Flächeneinheiten bei vorliegender Dominanz der Veränderung erfolgreich durchgeführt werden.  
Die *Stadtstrukturtypen* können durch die Raster-GIS-Verknüpfung mit einer ökologischen Komponente der Oberflächenstrahlungstemperatur ergänzt werden, wodurch zusätzlich die *Stadtstrukturtypen* in ihrer stadtklimatologischen Auswirkung bzw. Wirkung eingeschätzt werden können.
- 
- Bei der *visuellen Interpretation* der im Rahmen von stadtklimatologischen Untersuchungen für stadt- und regionalplanerische Maßnahmen häufig durchgeführten *Thermalscannerbefliegung* (s. Kap. 4.3.3) sind zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten, aber auch Vor- und Nachteile gegenüber satelliten-gestützten Thermalaufnahmen aufgeführt worden.
  - Eine Bebauung geht zumeist mit einer Erhöhung der Oberflächenstrahlungstemperatur und einer Abnahme des Abkühlungsverhaltens einher, was in der Klimatop- oder in der Differenzkarte multitemporal sichtbar ist.



- Umnutzungen - wie zum Beispiel der Umbau eines Altindustriegebietes in Wohn- und Gewerbegebiete - lassen sich in einer Thermalscanneraufnahme trotz der höheren geometrischen Auflösung nicht erkennen, da die Umnutzung ohne einen Eingriff in die Bebauungsstruktur erfolgt.
- Während die Thermaldaten des Landsat-TM infolge ihrer geringen geometrischen Auflösung keine Einsatzmöglichkeit in der Planung haben, sind flugzeuggestützte Thermalscanneraufnahmen bereits operationalisiert, aber sehr teuer. Planungsämter und Institute können sich diese Kosten nur in größeren Zeitabständen leisten. Da bis heute keine satellitengestützten Thermalscanner mit einer besseren Auflösung als 120 m (Landsat-TM) operationell im All sind, muß weiterhin für Detailanalysen auf die Daten der flugzeuggestützten Thermalscannerbefliegung zurückgegriffen werden. Nur aus diesen läßt sich für die Maßstabsebenen der Stadtplanung eine hinreichend genaue Auflösung für die Erarbeitung der für die Planung wichtigen Klimafunktions-, Klimatop- und Differenzkarten erzielen.
- Ergebnisse sind immer relativ und hauptsächlich den Fehlerquellen der Kalibrierung, temporalen spektralen Angleichung, geometrischen Entzerrung sowie der geometrischen Auflösung ausgesetzt.

Die Untersuchungen des *Durchgrünungsgrades* (s. Kap. 4.4) haben zusammengefaßt folgende Ergebnisse erzielt:

- Die Stärke der Durchgrünung wird durch die Darstellung der NDVI-Werte für das Stadtgebiet von Leipzig deutlich.
- Die Grautondarstellung läßt unterschiedliche Oberflächenstrukturen im Stadtgebiet erkennen. Farbzusweisungen führen hingegen zu einem Informationsdefizit und erschweren die Interpretation.
- Nachbarschaftsverhältnisse der NDVI-Werte lassen Rückschlüsse auf unterschiedliche Oberflächenstrukturen zu.
- Anhand der Scharung verschiedener NDVI-Werte kann die Verdichtung der Flächen abgeleitet werden.
- Die Berechnung des NDVI eignet sich als weitere Interpretationshilfe für die Untersuchung der Stadtflächen.
- Die Stadt-Umland-Trennung sowie das Erkennen momentaner Bebauungsgebiete sind im NDVI-Bild aufgrund vergleichbarer Wertezuweisung zu anderen Oberflächen erschwert.
- Urbanisierte Bereiche lassen sich bei zwei Aufnahmen ähnlicher phänologischer Zustände von zwei verschiedenen Jahren durch einen visuellen Vergleich mit Einschränkungen lokalisieren. Für einen direkten Vergleich sind Atmosphärenkorrekturen empfehlenswert.
- Die Berechnung des NDVI für alle Flächen des gleichen Strukturtypes läßt eine Hierarchie der Durchgrünungsgrade der Strukturtypen ableiten. Die Flächeneinheiten werden somit durch eine ökologische Komponente ergänzt.
- Die Darstellung der Majority-Werte ist gegenüber der der Mean-Werte differenzierter.
- Veränderungen in der Oberflächenbedeckung als Resultat von Urbanisierungsprozessen sind anhand einer veränderten Klassenzuweisung des NDVI in definierten Raumeinheiten erkennbar. Bei gleichgebliebener Klasse kann die Statistik Aufschluß über stattgefundene Veränderungen geben. Dabei sind Schwellwerte zu beachten und die Ergebnisse anhand von Referenzdaten zu überprüfen.
- Je kleiner eine Flächeneinheit gewählt wird, desto größer wird die Erkennbarkeit von Veränderungen der Oberflächenbedeckung und desto kleiner wird die Mindestgröße der veränderten Flächen.
- Klassifikationen mit einer verbalen Zuordnung zu Klassen unterschiedlicher Verdichtung erhalten durch die NDVI-Berechnung eine Zusatzinformation.
- Die Einteilung der Strukturtypen in verschiedene Durchgrünungsgrade ist auf der Grundlage der NDVI-Berechnung (vgl. Kap. 4.2) genauer als auf der einer hierarchischen Klassifikation mit verbaler Zuordnung zu drei Klassen unterschiedlicher Verdichtung (vgl. HEINZ 1996a, S. 40). Der Vorteil dabei liegt in der Unterscheidung der Reflexion der Oberflächen im Nahen Infrarot und im Rot.
- Eine Erhöhung der geometrischen Auflösung führt zu einer teilweise verbesserten Detailerkennbarkeit.
- Eine Veränderung der spektralen Auflösung führt zu keiner nachweisbaren Verbesserung oder Verschlechterung der Interpretation (Grundlage Landsat-TM und SPOT-XS).
- Absolute Aussagen auf der Basis von Satellitenfernerkundungsdaten zum Durchgrünungsgrad unterschiedlicher Flächeneinheiten können nicht gemacht werden.







## 5. Spezielle Untersuchungen der Ökologie im urbanen Raum mit Fernerkundungsdaten

In der heutigen Zeit werden schnelle, einfache und kostengünstige Methoden zur Analyse des Ist-Zustandes eines Gebietes benötigt, da die Flächeninanspruchnahme für Siedlungszwecke stetig ansteigt und das ökologische Gefüge beeinflusst. Erschwerend kommt hinzu, daß die Urbanisierungsprozesse einer starken Dynamik unterworfen sind. Die Prozesse laufen vor allem in den Neuen Bundesländern innerhalb kurzer Zeitspannen mit unterschiedlichen räumlichen und strukturellen Ausprägungen ab (vgl. Kap. 1.1). Diesbezüglich werden von den Planungseinrichtungen zunehmend Methoden gefordert, die neben einer schnellen Aktualisierung der Planungsgrundlagen auch die Erfassung der zahlreichen sozialen, wirtschaftlichen und insbesondere räumlichen und ökologischen Auswirkungen ermöglichen. Die Basis für die Abschätzung der Auswirkungen bildet die genaue Lokalisation der Veränderungen. Für die vorausschauende Planung werden zudem Karten benötigt, die das Gesamtgefüge in ihrer - auch ökologischen - Wertigkeit einschätzen (vgl. HEINZ 1996a, S. 3).

Die Ergebnisse der Berechnung der *Überbauungsdichte* nach der von SPITZER (1996a) für die Stadt Regensburg entwickelten Methode (s. Kap. 5.2.1; vgl. Kap. 5.3) resultieren aus der Kombination der Fernerkundungsdaten des hoch geometrisch auflösenden SPOT-PAN- und des hoch spektral auflösenden SPOT-XS-Sensors. Sie ergibt eine Unterteilung der Fläche in zehn Klassen unterschiedlicher Überbauungsdichte sowie eine Klasse der nicht überbauten Fläche. Aufgrund der guten Ergebnisse für Regensburg (s. SPITZER 1996a) soll die Methodik auf das Arbeitsgebiet der Stadtregion Leipzig übertragen werden.

Eine andere Methode, die sich ebenfalls die *Kanteninformation* eines hoch geometrisch auflösenden Datensatzes zu nutze macht, ist von WEICHELT (1996) entwickelt worden. Seine bisherigen Ansätze basieren auf der Anwendung der Methodik auf multisensorale, hochauflösende Datensätze (SPOT-PAN, KFA-1000, KVR-1000 und Daten des PRIRODA-Moduls) zur Erfassung von vier verschieden stark bebauten Flächen in Stadtrandgebieten von Berlin-Potsdam und Teltow. Die Ergebnisse haben mit einer Genauigkeit von 82,3 % im Vergleich zur visuellen Interpretation der Siedlungsfläche interessante Perspektiven eröffnet (vgl. WEICHELT 1996, S. 58, Tab. 2), so daß sich eine Überprüfung der Übertragbarkeit der Methodik auf den innerstädtischen Raum anbietet. Dies ist vor allen Dingen im Hinblick auf die in Zukunft vermehrt zu erwartenden Daten hoch auflösender Satelliten interessant (vgl. Kap. 6 u. Tab. 1, S. 2), die neuer, Textur- und Kantenmerkmale berücksichtigender Methoden bedürfen.<sup>83</sup> Zudem lassen höhere geometrische Auflösungen auf

<sup>83</sup> Vgl. STEINNOCHER (1997).



detailliertere Anwendungsmöglichkeiten von satellitengestützten Fernerkundungsmethoden in größeren Maßstabsbereichen hoffen.

Bisherige Untersuchungen von Urbanisierungsprozessen basieren zumeist auf der reinen statistischen Analyse, die die Bevölkerungszu- oder -abnahme für bestimmte räumliche Bezugsebenen ausweist. Die mit der Bevölkerungsentwicklung oftmals einhergehenden Veränderungen der Oberflächenbedeckung bleiben entweder unberücksichtigt oder müssen arbeits-, zeit- und kostenintensiv durch Kartierungen, Luftbildauswertungen, Verknüpfung mit anderen Statistiken oder ähnlichem erhoben werden. Dabei ist die zeitliche Kompatibilität der zugrundeliegenden Datenebenen häufig nicht gewährleistet. Außerdem fehlt ein aktueller Bezug zumeist.

Auf der anderen Seite steht die Problematik der Urbanisierungsprozesse an sich. Diese gewinnen im Zuge der unterschiedlichsten wirtschaftlichen, sozialen und der rasanten technischen Entwicklungen der letzten Jahre zunehmend an Bedeutung. Insbesondere in den Neuen Bundesländern laufen die Prozesse seit 1990 in unterschiedlichen Richtungen ab. Momentan folgt die zweite Phase der Urbanisierung mit der Ansiedlung von Wohnbebauung. Da insbesondere ein Nachholbedarf am Bau von Eigenheimen besteht, ist auch in dieser Phase der zu erwartende Flächenverbrauch sehr groß. Bei weiteren Planungen bedarf es neben der reinen Zustandsanalyse zudem der Berücksichtigung der ökologischen Tragfähigkeit, die in großem Maße von der Anzahl der Menschen pro Flächeneinheit abhängt. Daher wird eine direkte Datenverknüpfung der Bevölkerungsstatistik mit Angaben zur ökologischen Wertigkeit definierter Raumeinheiten benötigt. Eine diesbezügliche Lösung wird mit Hilfe der Berechnung des *Wohnumgebungspotentials* versucht.

## 5.1 Ziele

Die von SPITZER (1996a) entwickelte Methodik zur Berechnung der *Überbauungsdichte* aus multispektralen Satellitendaten wird auf die Stadt Leipzig angewandt und die Übertragbarkeit überprüft. Neben der gesamten Betrachtung der Überbauungsdichte von Leipzig steht die Verschneidung der Ergebnisse mit den Raumeinheiten der Ortsteile (Stadt Leipzig 1995a) und der Strukturtypen (BÖHM et al. 1996) im Vordergrund. Verschiedene Anwendungsmöglichkeiten der Methodik werden vorgestellt und ihre Ergebnisse interpretiert, wobei die Überprüfung der Verwendbarkeit der Methodik zur Kartenfortführung bzw. -verifikation sowie zur Erfassung von Urbanisierungsprozessen im Vordergrund steht.

Die *Kantenanalyse* nach der von WEICHELT (1997) entwickelten Methode wird auf SPOT-PAN- (mono- und multitemporal) und KVR-1000-Daten (monotemporal) des innerstädtischen Bereiches von Leipzig angewandt mit dem Ziel, die Übertragbarkeit der Methode sowie ihre Einsatzfähigkeit



für die Analyse der mit Urbanisierungsprozessen einhergehenden Oberflächenveränderungen, die mit einer Bebauungszu- oder -abnahme erfolgen, zu testen. Dabei sollen die Ergebnisse dahingehend untersucht werden, ob sich eine anschließende weitere Bearbeitung bzw. Verknüpfung mit multispektralen Datensätzen als sinnvoll erweist. Das Ziel ist somit die Überprüfung der Möglichkeit der rechnerischen Ausnutzung der hohen geometrischen Information der monospektralen 'Grauton'-Bilder. Mit den verifizierten Ergebnissen der Methodik nach SPITZER (1996a; vgl. Kap. 5.3) liegt für die Analyse der Einsatzmöglichkeit eine solide Datenbasis für einen Vergleich zugrunde.

Darüber hinaus gilt es, für die Analyse von Urbanisierungsprozessen und ihrer ökologischen Folgen eine Methodik zu entwickeln, die die Bevölkerungsdichte und das ökologische Potential kombiniert bewertet. Hierzu werden Fernerkundungs- und GIS-Methoden angewandt. Der benötigte hohe Aktualitätsgrad wird durch die laufend fortgeführten Statistiken einerseits, und durch die Verwendung von Fernerkundungsdaten andererseits gewährleistet. Letztere bieten zumeist eine höhere Aktualität, können regelmäßig ergänzt werden und sind zudem deutlich kostengünstiger als eine Luftbildbefliegung. Die Verwendung von GIS-Methoden ermöglicht die Verknüpfung unterschiedlicher Datenformate, die relativ einfache Laufendhaltung der Daten sowie die interaktive Veränderung von Klassenabgrenzungen, Maßstabsebenen, räumlichen Bezugseinheiten, etc.

Diese unterschiedlichen Vorteile sollen bei der Berechnung des *Wohnumgebungspotentials* genutzt werden, um so die Bevölkerungsentwicklung in Kombination mit den Auswirkungen auf die Ökologie untersuchen zu können. Als Beispiel für die ökologischen Komponenten wird die Vegetation herangezogen. Neben der Anwendung der Methode auf der Basis von Landsat-TM wird eine Übertragung auf SPOT-XS versucht. Darüber hinaus werden die Ergebnisse mit den Flächeneinheiten der Strukturtypen verschnitten. Damit soll die Anwendbarkeit der Methode für eine Ergänzung der Informationen in definierten Flächeneinheiten getestet werden (vgl. dazu auch HEINZ 1996a, S. 35ff.).

Insgesamt sollen die oben genannten Methodiken dazu beitragen, spezielle Anwendungsmöglichkeiten der Bearbeitung von Fernerkundungsdaten für die zugrundeliegende Fragestellung aufzuzeigen. Dabei stehen neben den Betrachtungen der allgemeinen ökologischen Verhältnisse der Oberflächenbedeckung, zu denen die Überbauungsdichte (SPITZER 1996a), die Kantenanalyse mit abzuleitender Bebauungsdichte (WEICHELT 1997) sowie die Wohnumgebung mit Bezug zum Durchgrünungsgrad (HEINZ et al. 1997a) zählen, zudem die Überprüfungen und Diskussionen der Anwendungsmöglichkeiten dieser für die Analyse der Erkennbarkeit von Urbanisierungsprozessen einerseits und den mit diesen einhergehenden ökologischen Folgen andererseits im Vordergrund.



## 5.2 Methodiken

### 5.2.1 Überbauungsdichte nach SPITZER (1996a)

Die *Überbauungsdichte* (s. Kap. 5.3) ist nach SPITZER (1996a) nicht mit den Begriffen Versiegelungs- und Durchgrünungsgrad gleichzusetzen. Sie bedarf einer *Neudefinition*, die nach SPITZER (1996a, S. 95) für die 'Überbauung' und die 'Überbauungsdichte' wie folgt lautet:

" Die *Überbauung* (= überbaute Fläche) kennzeichnet alle im Satellitenbild differenzierbaren Oberflächen, deren Spektraleigenschaften eindeutig auf anthropogene Bodenbedeckung hinweisen. [...] Neben reinen Gebäude- und Verkehrsflächen sind in dieser Gruppe auch Bildelemente enthalten, die aus Mischsignaturen bestehen können [...]. Die überbaute Fläche stellt eine Teilmenge der versiegelten Fläche dar. Während die versiegelte Fläche auch verdichtete oder drainierte, nicht begrünte Flächen und auch unterirdisch versiegelte Flächen umfaßt, werden diese bei der Ermittlung der Überbauungsdichte nicht berücksichtigt, da diese Flächen anhand von Fernerkundungsverfahren nicht erfaßt werden können."

" Die *Überbauungsdichte* bestimmt den Anteil der überbauten Fläche an einer festgesetzten Bezugsfläche. Der Wert der Überbauungsdichte ist, nach oben aufgeführter Definition, nur unwesentlich geringer als der Wert des Versiegelungsgrades."

Die *Berechnung der Überbauungsdichte* nach der von SPITZER (1996a) entwickelten Methode<sup>84</sup> läuft in zwei Arbeitsschritten ab. Zunächst muß die Trennung der überbauten Fläche von der restlichen Fläche erfolgen. Hierzu wird auf das Ergebnis der hierarchischen Klassifikation der SPOT-XS-Szene (vgl. Abb. 1, S. 7 u. Kap. 3.4.3) für die Erstellung der Überbauungsmaske als neuer thematischer Datensatz zurückgegriffen. Dieser unterscheidet zudem "[...] Bildelemente, die zu 100 % aus überbauten Strukturen bestehen von Pixeln, die neben Überbauung auch einen geringen Prozentsatz Vegetation enthalten [...]" (SPITZER 1997).

Als zweiter Schritt ist der Anteil der ermittelten überbauten Fläche an der nicht-überbauten Bezugsfläche zu bestimmen. Hierzu wird eine Summenfilterung der Überbauungsmaske durchgeführt, an die die Berechnung der Überbauungsdichte in Prozentwerten (0 - 100 %) mit Hilfe einer neu entwickelten Gleichung anschließt. Für die genaue Beschreibung der Methode wird auf SPITZER (1996a, S. 65 - 89) verwiesen.

Nach der Berechnung der Überbauungsdichte<sup>85</sup> (s. Kap. 5.3.1) erfolgt die Überlagerung des Raster mit dem Vektordatensatz (*Raster-Vektor-Verschneidung*) der Stadtstrukturtypen (BÖHM et al. 1996; vgl. Kap. 1.5; s. Kap. 5.3.2). Für die Raster-GIS-Verschneidung muß der Vektordatensatz für die folgenden Untersuchungen nach dem Strukturtyp und nach der Flächennummer gerastert werden. Für eine vereinfachte Datenauswertung werden die konkreten Prozentwerte der Überbauungsdichte zu elf bzw. sechs Klassen zusammengefaßt, so daß der entstehende Datensatz die Klasse 'nicht-

<sup>84</sup> Vgl. SPITZER (1996b)

<sup>85</sup> Durchgeführt von SPITZER, F. am UFZ Leipzig-Halle GmbH



überbaut' sowie zehn bzw. fünf Klassen mit unterschiedlicher Überbauungsdichte (10 %- bzw. 20 %-Schritte) enthält.

Der sich anschließende Vergleich beider Datensätze basiert auf statistischen Verfahren, die in der verwendeten Bildverarbeitungssoftware ERDAS/IMAGINE integriert sind. Als Ergebnisse werden Matrixen berechnet, die für jeden Strukturtyp mit Bezug zur Gesamtfläche und für jede abgegrenzte Flächeneinheit eines ausgewählten Strukturtyps die Klassenanteile der Überbauungsdichte (in Hektar und Prozent) sowie weitere statistische Werte (z. B. Majority, Minimum und Maximum) enthalten. Zusätzlich zu diesen statistischen Verfahren werden Bildüberlagerungen und Bildverschneidungen durchgeführt, die eine visuelle Interpretation der Ergebnisdatsätze erlauben.

Interessant neben der Ausweisung der Überbauungsdichte für jeden Typus Strukturtyp sowie für jede Fläche innerhalb der Abgrenzungen der Strukturtypen ist die Lokalisation von *signifikanten Veränderungen* der Oberflächenbedeckung im Hinblick auf die Ableitung von Aussagen zur Urbanisierung (s. Kap. 5.3.3). Wie schon die Arbeiten von HEINZ (1996a, 1996b u. 1996c) ergeben haben, sind mit Hilfe von Fernerkundungsdaten, die die Reflexionen der verschiedenen Oberflächenbedeckungen widerspiegeln, nur Urbanisierungsprozesse erkennbar, die eine eindeutige Veränderung von nicht-überbauter zur überbauten Fläche aufweisen. Hierzu bietet sich im Anschluß an die Raster-GIS-Überlagerungen (vgl. Kap. 5.3.2) die Untersuchung derjenigen Strukturtypen an, die eine fehlende Überbauung aufweisen (= Klasse 'nicht-überbaut'). Diesbezüglich erfolgt mit dem Datensatz der Überbauungsdichte die Untersuchung innerhalb der Flächen der Strukturtypen Landwirtschaftlich genutzte Flächen und Brach- und Umwidmungsflächen. Weist die Raster-GIS-Verknüpfung nun innerhalb der Flächen dieser Strukturtypen eindeutig überbaute Flächen auf, sind Veränderungen in Form von erfolgter Bebauung eingetreten. Nach HEINZ et al. (1997b) liegen

" [...] keine Nutzungsveränderungen einer Flächeneinheit [...] bei hoher Klassenbelegung (mehr als 50 % aller Werte der Fläche) der Klasse 'nicht-überbaute Fläche' vor. Befinden sich in dieser Klasse weniger als 50 % der Gesamtpixelzahl des Gebietes, wird es [das Pixel] der Gruppe 'Signifikante Veränderungen' zugewiesen. 'Stark signifikante Veränderungen' ergeben sich, wenn sich die maximale Anzahl aller Werte in einer der zehn Klassen der Überbauungsdichte befindet und somit diese Gebietseinheit durch eine hohe Überbauungsdichte gekennzeichnet ist [...]"

Diese Zuordnungen basieren auf statistischen Analyseabfragen. Daß die abgelaufenen Urbanisierungsprozesse auf diese Weise erkennbar werden, wird durch die Daten gewährleistet. Während die Strukturtypen auf Daten der Flächennutzung von 1992 zurückgreifen, stellt die Satellitenszene den Ist-Zustand von 1994 dar.



### 5.2.2 Kantenanalyse nach WEICHELT (1997)

Die *Kantenanalyse* (s. Kap. 5.4) nach der Methode von WEICHELT (1997) untersucht die Grauwertsprünge in einem monospektralen, hochauflösenden Satellitenbild. Die zu selektierenden Kanten werden im Bezug zu ihrer Umgebung betrachtet und vier Klassen unterschiedlicher Kantenstärke zugeordnet. Hierfür werden verschiedene Arbeitsschritte miteinander kombiniert, zu denen eine Sigma-Filterung zur Verminderung des Bildrauschens, ein 5 x 5-Sobelfilter zur Kantenextraktion, eine Klassifikation der Kanten und eine Umgebungsanalyse für den Nahbereich (3 x 3 Pixel) und für den Umgebungsbereich (15 x 15 Pixel) zählen. Zur Ergebnisglättung erfolgt abschließend eine Majority-Filterung (7 x 7 Pixel). Der Ablauf der Arbeitsschritte läßt sich in einen Vorverarbeitungsprozeß, einen Kantenextraktionsprozeß, eine Kantenbewertung und eine Nachbearbeitung einteilen, die völlig automatisiert als Modul im Bildverarbeitungsprogramm ERDAS/IMAGINE programmiert sind. Für nähere Informationen hinsichtlich der Methodik sei auf WEICHELT (1997, S. 48 - 62) verwiesen.

Neben der Einzelbetrachtung der Ergebnisse der Kantenanalyse für Leipzig<sup>86</sup> auf der Basis von SPOT-PAN (s. Kap. 5.4.1) und KVR-1000 (s. Kap. 5.4.4) und des multitemporalen Vergleiches von 1992 und 1994 für die Kantenanalyse von SPOT-PAN erfolgt ein Vergleich zu den Ergebnissen der Berechnung der Überbauungsdichte (s. Kap. 5.4.3). Dieser bietet sich aufgrund der relativ guten Ergebnisse der Berechnung der Überbauungsdichte an, die zum Beispiel durch den Vergleich mit der Statistik der Ortsteile belegt werden (vgl. Tab. 25, S. 158). Der Klassenabgleich beider Methoden (s. Tab. 21, S. 140) ist für den anschließenden statistischen und visuellen Vergleich erforderlich.

**Tab. 21: Abgleich der Klasseneinteilungen für den Vergleich der Methodiken nach WEICHELT (1997) und SPITZER (1996a) (eigener Entwurf)**

| <b>Klasseneinteilung<br/>- Methode nach WEICHELT 1997 -</b>                                            | <b>Klasseneinteilung<br/>- Methode nach SPITZER 1996a -</b>  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| <b>Keine Kante</b><br>(homogene Fläche, keine Bebauung)                                                | <b>Nicht-überbaut</b><br>(Überbauungsdichte 0 %)             |
| <b>Schwache oder einzelne Kante</b><br>mit geringer Kantendichte in der Umgebung<br>(lockere Bebauung) | <b>Gering überbaut</b><br>(Überbauungsdichte 1 - 40 %)       |
| <b>Starke Kante</b><br>mit mittlerer Kantendichte in der Umgebung<br>(mitteldichte Bebauung)           | <b>Mittelstark überbaut</b><br>(Überbauungsdichte 41 - 70 %) |
| <b>Starke Kante</b><br>mit hoher Kantendichte in der Umgebung<br>(dichte Bebauung)                     | <b>Stark überbaut</b><br>(Überbauungsdichte 71 - 100 %)      |

<sup>86</sup> Durchgeführt von WEICHELT, H. am uve GmbH Potsdam als Unterauftrag



### 5.2.3 Wohnumgebung nach HEINZ et al. (1997a)

Die im Rahmen des Eurostat-Pilotprojektes 'Fernerkundung und Statistik der Städte' (Eurostat 1993) entwickelte Methodik zur Abgrenzung von städtischen Agglomerationen mit Hilfe der Fernerkundung dient als Ideengrundlage für die im folgenden vorgestellten Arbeitsschritte für die Berechnung des *Wohnumgebungspotentials* von Leipzig<sup>87</sup>. Es wird versucht, die Methode auf die Stadt Leipzig auf eine größere Maßstabsebene zu übertragen und entsprechend der Themenstellung zu modifizieren (s. Kap. 5.5).

Die Ausgangsbasis bilden ein Rasterdatensatz (z. B. Landsat-TM-Szene von Juli 1994) einerseits (vgl. Kap. 1.5 u. HEINZ 1996a, S. 54) und das Vektordatenfile (z. B. der Statistischen Bezirke von Leipzig) andererseits. Aus dem Rasterdatensatz wird für die Karte des *Vegetationspotentials* (s. Kap. 5.5.1) der 'Normalized Difference Vegetation Index' (NDVI) berechnet<sup>88</sup> und mit der gewünschten Genauigkeit klassifiziert. Die hierarchische Klassifikation des Rasterdatensatzes (vgl. HEINZ 1996a, S. 11 u. Abb. 2, S. 29) dient als Grundlage für die Erstellung einer Bebauungsmaske, die wiederum in Verknüpfung mit den statistischen Bevölkerungsdaten z. B. aus dem Ortsteilkatalog (Stadt Leipzig 1995a, Daten von 1994) und mit dem Datensatz der Statistischen Bezirke die Karte des *Bevölkerungspotentials* (s. Kap. 5.5.2) ergibt. Die Karte des *Wohnumgebungspotentials* resultiert aus der Verschneidung des Vegetations- und des Bevölkerungspotentials. Die Abb. 42 (s. S. 142) zeigt das Flußdiagramm der angewandten Methodik.

Die vorgestellte Berechnung des Wohnumgebungspotentials stellt das Ergebnis (s. Kap. 5.5.3) verschiedener Arbeitsschritte zur Verbesserung der Methodik dar. Im Anschluß wird versucht, die erreichbare Detailtreue durch Benutzung einer SPOT-XS- anstatt der Landsat-TM-Szene als Ausgangsbasis zu erhöhen (s. Kap. 5.5.1 - 5.5.3). Mit dem Vergleich zwischen beiden kann zugleich die Übertragbarkeit der Methodik auf Fernerkundungsdaten anderer Sensoren überprüft werden. Die abschließenden Überlagerungen der Ergebnisdaten mit den Flächeneinheiten der Strukturtypen sowie der Statistischen Bezirke erfolgt nach dem bereits beschriebenen Prinzip (vgl. z. B. Kap. 3.2).

<sup>87</sup> Durchgeführt von HEINZ, V. (UFZ Leipzig-Halle GmbH) und KNEISEL, E. (Universität Regensburg) am UFZ Leipzig-Halle GmbH

<sup>88</sup> Der NDVI hebt die Unterschiede in der Vegetation am besten hervor - vgl. im Unterschied dazu den im Kapitel 3.4 benutzten VI.



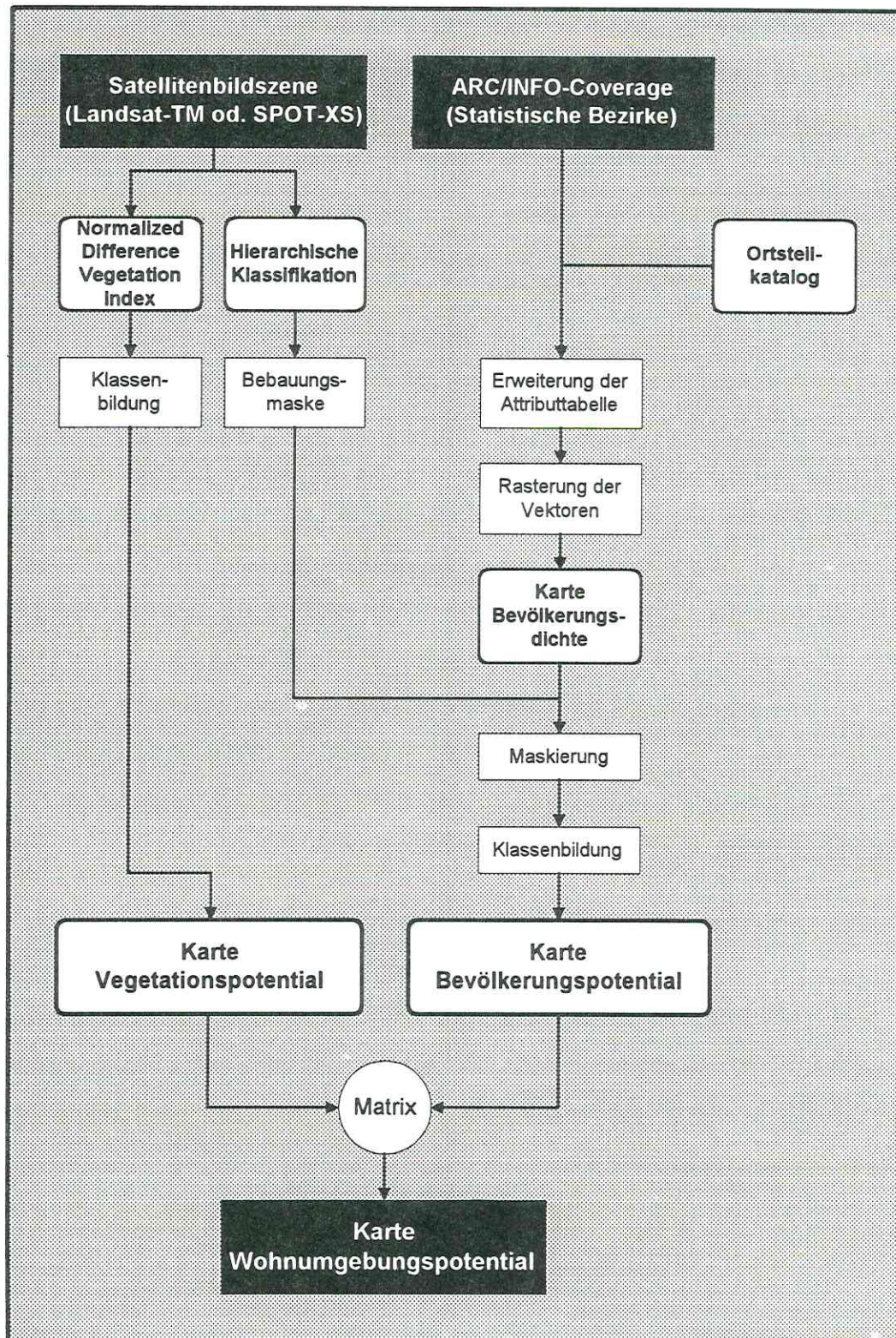


Abb. 42: Flußdiagramm zur Erstellung der Karte des Wohnumgebungspotentials (eigener Entwurf)



### 5.3 Untersuchung der Überbauungsdichte

#### 5.3.1 Überbauungsdichte in Leipzig

Die Karte der Überbauungsdichte (s. Abb. 43<sup>89</sup>, S. 144) stellt die Ergebnisse der Berechnung für das Stadtgebiet von Leipzig als Teil des Arbeitsgebietes dar. Sie läßt deutlich die verschieden stark überbauten Gebiete anhand der Klasseneinteilung erkennen. Das Ergebnis ist differenzierter und lagegenauer als jenes der Klassifikation einer Landsat-TM- oder SPOT-XS-Szene (vgl. Kap. 3.4.3; HEINZ 1996a, S. 17 u. HEINZ et al. 1996). Während die Klassifikationen verschiedene Oberflächenbedeckungen und drei terminell festgelegte Flächen unterschiedlicher Verdichtung differenzieren, können mit dieser Methode zehn verschieden stark überbaute und somit verdichtete Flächen<sup>90</sup> unterschieden, hingegen aber keine Oberflächenbedeckungen als solche identifiziert werden. Somit stellt die Methode eine wichtige Ergänzung zur Analyse der Flächennutzung auf der Basis einer visuellen Interpretation (vgl. Kap. 3.4.1) sowie einer automatischen, hierarchischen Klassifikation (vgl. Kap. 3.4.3) dar.

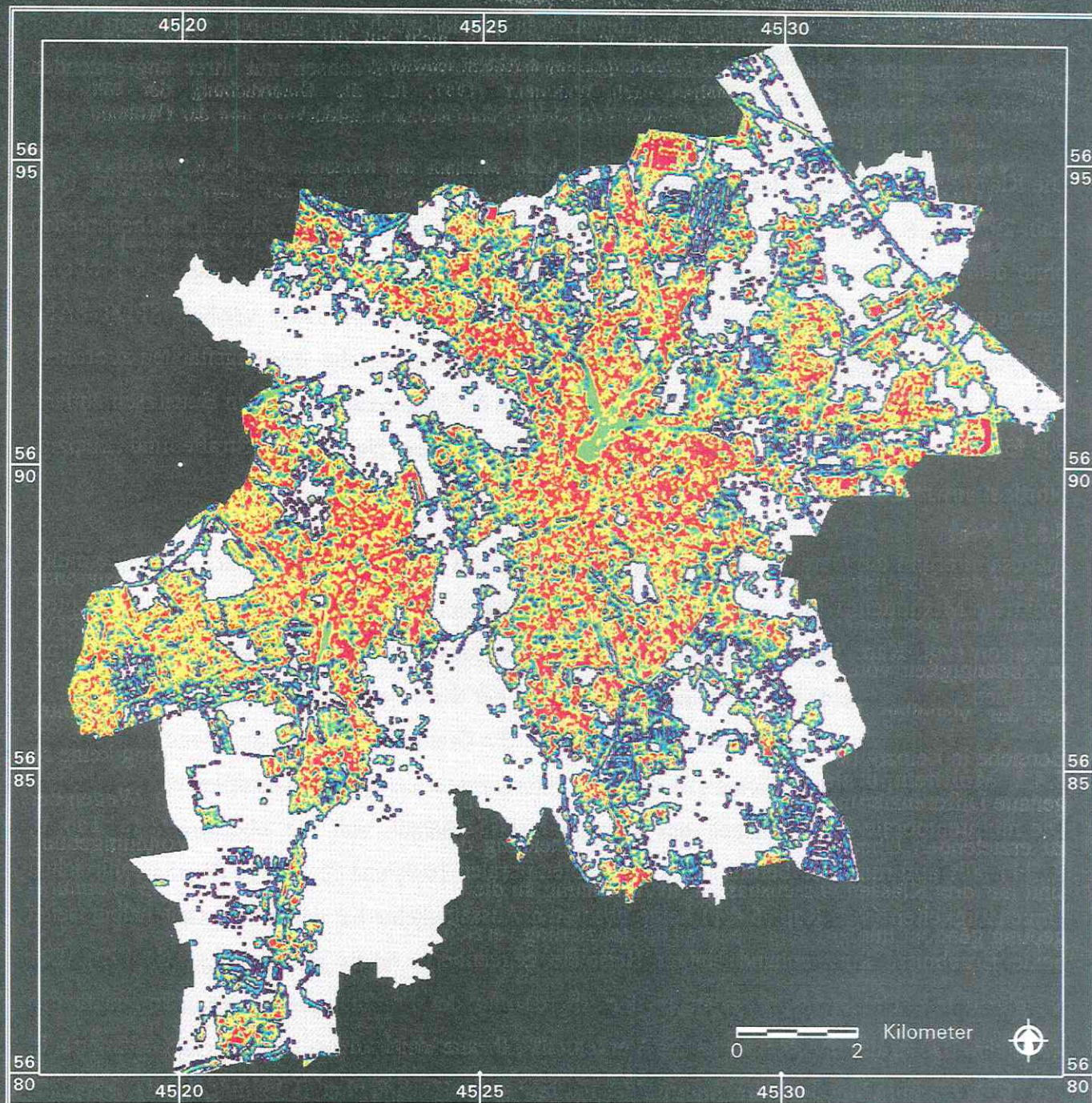
Visuell lassen sich in der Abb. 43 (s. S. 144) unterschiedlich stark überbaute Bereiche trennen. Dabei können in analoger Weise zum Ergebnis der Klassifikationen (vgl. Kap. 3.4.3 u. HEINZ 1996a, S. 12ff.) Gradienten vom Innenstadtbereich hin zu den Randbereichen abgeleitet werden. Während die hohe Überbauungsdichte überwiegend im Inneren der Stadt liegt, schließen sich die Flächen geringerer Überbauungsdichte 'ringförmig' an diese an. Die Gradienten lassen sich anhand der Klasseneinteilung der Überbauungsdichte (10 Klassen) differenzierter als bei der Klassifikation (3 Klassen) erkennen, ergeben aber dennoch das vergleichbare Verhältnis von der überbauten zur nicht-überbauten Fläche (s. Tab. 22, S. 145). Die Klassen mit 1 - 10 % und 71 - 80 % Überbauungsdichte treten dabei am häufigsten auf, und die höchste Überbauungsdichte hat den geringsten Anteil an der Gesamtfläche. Insgesamt aber zeichnet sich Leipzig durch eine relativ gleichmäßige Verteilung der Überbauungsdichteklassen aus. Dies wird durch das ähnliche Verhältnis der prozentualen Verteilung, bezogen auf die Gesamtfläche zwischen den unteren fünf und den oberen fünf Klassen belegt (je ca. 30 %; s. Tab. 22, S. 145; vgl. HEINZ et al. 1997b), ist jedoch nicht auf die flächenmäßige Verteilung zu beziehen. Diesbezüglich ist als Beispiel der dominante Anteil der nicht überbauten Fläche des Auenwaldes zu nennen.

<sup>89</sup> Nächste Seite (S. 144) - Abb. 43: Die Überbauungsdichte der Stadt Leipzig

<sup>90</sup> S. Kap. 5.2.1 - Begriffsdefinition Überbauungsdichte



# Die Überbauungsdichte der Stadt Leipzig



Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Digitale Bildverarbeitung und Kartographie:  
Dipl.-Geogr. V. Heinz u. Dipl.-Geogr. F. Spitzer



gefördert durch:  
Deutsche Agentur für  
Raumfahrtangelegenheiten  
(DARA GmbH)



Tab. 22: Verteilung der Überbauungsdichte in Leipzig (verändert nach HEINZ et al. 1997b)

| Überbauungsdichte [%]          | Fläche [ha] | Fläche [%] | Ergebnis der Klassifikation von Landsat-TM <sup>91</sup><br>Fläche [%] |
|--------------------------------|-------------|------------|------------------------------------------------------------------------|
| 1 - 10                         | 1225,04     | 8,21       | -                                                                      |
| 11 - 20                        | 940,09      | 6,30       | -                                                                      |
| 21 - 30                        | 714,61      | 4,79       | -                                                                      |
| 31 - 40                        | 762,01      | 5,11       | -                                                                      |
| 41 - 50                        | 813,81      | 5,45       | -                                                                      |
| 51 - 60                        | 922,77      | 6,18       | -                                                                      |
| 61 - 70                        | 997,09      | 6,68       | -                                                                      |
| 71 - 80                        | 1101,51     | 7,38       | -                                                                      |
| 81 - 90                        | 941,98      | 6,31       | -                                                                      |
| 91 - 100                       | 527,26      | 3,53       | -                                                                      |
| Fläche überbaut                | 8946,17     | 59,94      | 59                                                                     |
| Fläche nicht-überbaut          | 5975,62     | 40,05      | 41                                                                     |
| Fläche gesamt<br>(ohne Lausen) | 14921,79    | 99,99      | 100                                                                    |

Die Gegenüberstellung des aus Luftbildern, Biotoptypenkarten und Ortsbegehungen<sup>92</sup> abgeleiteten Versiegelungsgrades für die Ortsteile von Leipzig (Stadt Leipzig 1995a), der die bebaute und die versiegelte Fläche in Prozent erfaßt, und der Überbauungsdichte aus dem Ergebnis der Berechnung nach der Methode von SPITZER (1996a) zeigt bis auf wenige Ausnahmen eine gute Übereinstimmung. Geringe Abweichungen ergeben sich durch die unterschiedlichen Erfassungsmethoden - der visuellen Interpretation von Luftbildern (Versiegelungsgrad) und der Berechnung aus Satellitenbildern (Überbauungsdichte) - und die unterschiedlichen Aufnahmetermine des zugrundeliegenden Datenmaterials - Juni 1994 (Luftbilder) und Juli 1994 (Satellitenbilder). Zudem kommen die Unterschiede zwischen den Definitionen für 'bebaut', 'überbaut' und 'versiegelt' (vgl. Kap. 5.2.1) sowie die teilweise abweichende Flächenabgrenzung zum Tragen. Trotz dieser zumeist geringen Unterschiede sind die Ergebnisse über den gesamten Raum gemittelt nahezu identisch (s. Tab. 23, S. 146 - 'Leipzig'). Aufgrund dieser Tatsache können die Daten des Ortsteilkataloges (Stadt Leipzig 1995a) im temporalen Vergleich mit Hilfe der Methodik fortgeführt werden. Mit beiden können Aussagen zur durchschnittlichen Überbauungsdichte der Ortsteile gemacht werden. Die Flächeneinheiten werden durch eine ökologische Komponente indirekt ergänzt, da die Überbauungsdichte gleichfalls - unter Beachtung der Definition (s. Kap. 5.2.1) - ein Maß für die Durchgrünung ist. So sind zum Beispiel die Ortsteile Knauthain-Hartmannsdorf, Großschocher und Probstheida durch eine sehr geringe Überbauungsdichte charakterisiert, während die Ortsteile Zentrum, Zentrum-Ost und

<sup>91</sup> HEINZ 1996, S. 18

<sup>92</sup> Vgl. Kap. 3.3



Zentrum-Südost die höchste Überbauungsdichte und damit den geringsten Durchgrünungsgrad aufweisen.

**Tab. 23: Gegenüberstellung des Versiegelungsgrades und der Überbauungsdichte für die Ortsteile von Leipzig (eigene Berechnung; Stadt Leipzig 1995a)**

| Ortsteil               | Bebaute und versiegelte Fläche<br>(Stadt Leipzig 1995a) | Überbaute Fläche |
|------------------------|---------------------------------------------------------|------------------|
| Zentrum                | 79 %                                                    | 71 %             |
| Zentrum-Ost            | 62 %                                                    | 67 %             |
| Zentrum-Südost         | 52 %                                                    | 57 %             |
| Zentrum-Süd            | 53 %                                                    | 49 %             |
| Zentrum-West           | 45 %                                                    | 40 %             |
| Zentrum-Nordwest       | 23 %                                                    | 20 %             |
| Zentrum-Nord           | 66 %                                                    | 65 %             |
| Schönefeld-Abtnaundorf | 36 %                                                    | 33 %             |
| Schönefeld-Ost         | 38 %                                                    | 46 %             |
| Mockau-Süd             | 44 %                                                    | 36 %             |
| Mockau-Nord            | 32 %                                                    | 34 %             |
| Thekla                 | 16 %                                                    | 15 %             |
| Portitz                | 16 %                                                    | 10 %             |
| Neustadt-Neuschönefeld | 67 %                                                    | 70 %             |
| Volkmarsdorf           | 57 %                                                    | 65 %             |
| Anger-Crottendorf      | 36 %                                                    | 30 %             |
| Sellerhausen-Stünz     | 37 %                                                    | 33 %             |
| Paunsdorf              | 31 %                                                    | 43 %             |
| Heiterblick            | 10 %                                                    | 24 %             |
| Reudnitz-Thonberg      | 52 %                                                    | 61 %             |
| Stötteritz             | 27 %                                                    | 20 %             |
| Probstheida            | 12 %                                                    | 11 %             |
| Meusdorf               | 22 %                                                    | 15 %             |
| Südvorstadt            | 50 %                                                    | 49 %             |
| Connewitz              | 18 %                                                    | 19 %             |

| Ortsteil                | Bebaute und versiegelte Fläche<br>(Stadt Leipzig 1995a) | Überbaute Fläche |
|-------------------------|---------------------------------------------------------|------------------|
| Marienbrunn             | 35 %                                                    | 24 %             |
| Lößnig                  | 30 %                                                    | 25 %             |
| Dolitz-Dösen            | 19 %                                                    | 16 %             |
| Schleußig               | 28 %                                                    | 22 %             |
| Plagwitz                | 67 %                                                    | 70 %             |
| Kleinzschocher          | 29 %                                                    | 30 %             |
| Großzschocher           | 10 %                                                    | 12 %             |
| Knauthain-Hartmannsdorf | 10 %                                                    | 11 %             |
| Schönaue                | 21 %                                                    | 29 %             |
| Grünau-Ost              | 33 %                                                    | 46 %             |
| Grünau-Mitte            | 44 %                                                    | 60 %             |
| Grünau-Siedlung         | 26 %                                                    | 29 %             |
| Lausen-Grünau           | 22 %                                                    | 59 %             |
| Grünau-Nord             | 39 %                                                    | 59 %             |
| Lindenau                | 50 %                                                    | 48 %             |
| Alt-Lindenau            | 43 %                                                    | 41 %             |
| Neulindenau             | 52 %                                                    | 55 %             |
| Leutzsch                | 23 %                                                    | 22 %             |
| Möckern                 | 29 %                                                    | 31 %             |
| Wahren                  | 15 %                                                    | 16 %             |
| Gohlis-Süd              | 41 %                                                    | 45 %             |
| Gohlis-Mitte            | 50 %                                                    | 47 %             |
| Gohlis-Nord             | 31 %                                                    | 28 %             |
| Eutritzsch              | 47 %                                                    | 47 %             |
| <b>Leipzig</b>          | <b>28 %</b>                                             | <b>29 %</b>      |



Größere Abweichungen zwischen beiden Erhebungsmethoden kommen in den durch überwiegend Großblockbebauung geprägten Ortsteilen Paunsdorf, Heiterblick, Grünau-Ost, Grünau-Mitte, Grünau-Nord und Lausen-Grünau vor. Die Methode nach SPITZER (1996a) weist diesen einen durchweg höheren Wert zu als der Ortsteilkatalog (Stadt Leipzig 1995a). Die den Werten des Ortsteilkataloges zugrundeliegende visuelle Interpretation hat diese Ortsteile gegenüber der Berechnung anscheinend unterbewertet. Zudem ist zu beachten, daß bei beiden Datengrundlagen Generalisierungen vorliegen.

Das Ausblenden der nicht-überbauten Bereiche ermöglicht eine genaue Lokalisierung der überbauten Flächen. (HEINZ et al. 1997b). Hilfreich hierbei ist das Hinterlegen der thematischen Karte mit einem Luftbild oder einer SPOT-PAN-Szene. Auffällig ist, daß selbst Flächen sehr hoher Überbauungsdichte - wie zum Beispiel die großen Industrie- und Gewerbegebiete - von zumeist mehreren Klassen geringerer Überbauungsdichte umgeben werden. Die Methode erfaßt somit auch die Randbereiche überbauter Gebiete sehr gut, in denen Mischpixel sowohl die Information 'überbaut' als auch 'nicht überbaut' haben, da das zu betrachtende Pixel beide Flächen - z. B. ein Haus und einen angrenzenden Garten - abdeckt.

In Verbindung mit der visuellen Interpretation eines SPOT-XS-Bildes (s. Abb. 3, S. 36), von Luftbildern oder Thematischen Karten lassen sich die Überbauungsdichten verschiedenen Oberflächen zuordnen. Auffallend ist zum Beispiel das Einkaufszentrum Paunsdorf im Osten der Stadt. Die 1 km lange Einkaufspassage wird eindeutig der höchsten Klasse zugewiesen. Ähnlich verhält es sich mit den Flächen momentaner Bebauungsgebiete und Bereiche mit großen Hallenbauten (Neue Messe, Alte Messe). Sie weisen alle dominante Anteile dieser höchsten Klasse auf. In Verbindung mit einer älteren Datengrundlage können somit die Bebauungsgebiete erkannt werden (vgl. Kap. 5.3.3). Hingegen haben die Wohn- und Mischbereiche mit Block-, Blockrand- und Zeilenbebauung einen auffallend geringeren Anteil an der höchsten Überbauungsdichteklasse. Die großen Flächen hoher Überbauungsdichte (Klassen 8, 9 und 10 = 71 - 100 %) werden von kleinen Flächen geringer bzw. ohne Überbauung durchzogen. Dies deutet darauf hin, daß diese Bereiche einen geringen Anteil an Durchgrünung aufweisen und große Gebäude - wie die der Hallenbauten - zumeist fehlen. Die mittleren Gebäudegrößen dominieren. Von den relativ stark überbauten Gebieten lassen sich rein optisch die Bereiche trennen, die von der Ein- und Zweifamilienhausbebauung und den Kleingärten geprägt werden. Hier treten hauptsächlich die unteren Klassen der Überbauungsdichte auf (Klasse 1 bis 4 = 1 - 40 %). Zudem können anhand der linienhaften Strukturen Aussagen zur Anordnung und inneren Differenzierung der Gebiete der Ein- und Zweifamilienhausbebauung gemacht werden. Die entsprechende Struktur ließ sich bereits im Landsat-TM-Bild (vgl. HEINZ 1996a, S. 48) sowie im



SPOT-XS-Bild (s. Kap. 3.4.1) erkennen. Zusätzlich fallen in diesen Bereichen die großen Grünflächen (Gärten) auf, die entsprechend als nicht-überbaute Flächen erscheinen. Kleingärten können zudem differenziert werden, da sie neben der Zuordnung zu den nicht-überbauten Flächen hauptsächlich Überbauungsdichten der niedrigsten Klasse (1- 10 %) zeigen.

Auffallend sind die großen Verkehrsflächen, zu denen insbesondere die Bahnanlagen zählen. Mit Hilfe der Methodik werden sie den mittleren Überbauungsdichten (Klasse 5 = 41 - 50 %) zugeordnet. Hier stellt sich das Definitionsproblem der Versiegelung bzw. der Überbauung von Verkehrsflächen. Während einige Autoren Bahnanlagen als versiegelt ansehen (z. B. HANSCHKE 1995, S. 3; BERLEKAMP et al. 1992, S. 54; LIETH et al. 1989, S. 8 u. S. 18), vertreten andere die Meinung, daß diese Flächen nicht versiegelt sind (z. B. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz der Stadt Berlin 1993, S. 4), weil sie zum Beispiel Regenwasser versickern lassen. Die Methodik wird dieser Problematik insofern gerecht, als daß sie die Flächen als mittel stark überbaut ausweist.

Die Abb. 44 (s. S. 149) zeigt ein konkretes Beispiel für die Unterschiedlichkeit der Überbauungsdichte zwischen Flächen gleichen und unterschiedlichen Strukturtyps. Die Großblockbebauung von Grünau und von Paunsdorf weist eine Dominanz in den Bereichen der hohen Überbauungsdichte auf. Hingegen verzeichnet die Ein- und Zweifamilienhausbebauung ihr Maximum bei den Klassen mit niedriger Überbauungsdichte mit einer deutlichen Abnahme hin zu den hohen Prozentanteilen. Während die Großblockbebauung von Paunsdorf geringe Anteile niedriger Überbauungsdichten und ein Maximum bei den höchsten Klassen der Überbauungsdichte aufweist, wird Grünau hingegen von einer insgesamt niedrigeren Überbauungsdichte geprägt. Es enthält sowohl Bereiche mit sehr hoher Klassenzuweisung als auch solche mit nicht-überbauter Fläche und geringer Überbauungsdichte. Das Maximum liegt dominant zwischen 60 und 80 %. Es läßt sich somit ableiten, daß die Großblockbebauung von Grünau von mehr Grün- und Freiflächen durchzogen wird (HEINZ et al. 1997b).



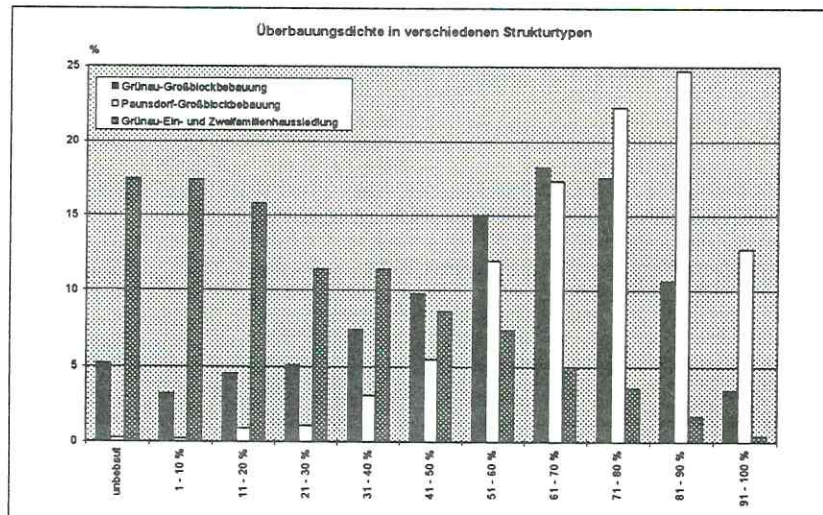


Abb. 44: Darstellung der Überbauungsdichte für drei Beispiele (HEINZ et al. 1997b)

### 5.3.2 Überbauungsdichte der Strukturtypen

Mit Hilfe von Raster-GIS-Verknüpfungen (s. Kapitel 1.6 u. 5.2.1) können Datenanalysen innerhalb definierter Flächen durchgeführt werden, wie es die folgenden Ergebnisse anhand der Flächen der Strukturtypen der Stadt Leipzig (BÖHM et al. 1996) verdeutlichen.

In der Tab. 24 (s. S. 150) sind die Flächenanteile an den Klassen der Überbauungsdichte für alle summierten Flächen jeweils eines Strukturtypes in Prozent dargestellt. Die fett gedruckten Zahlen zeigen den Majority, der die Klasse ausweist, die innerhalb des Strukturtypes am häufigsten vertreten ist. Die unterschiedlichen Prozentwerte des Majority, seine zugehörige Klasse der Überbauungsdichte sowie die deutlichen Unterschiede in der gesamten Werteverteilung verdeutlichen den unterschiedlichen Charakter der Strukturtypen. Diejenigen Flächen, die sich durch fehlende oder sehr geringe Bebauung auszeichnen<sup>93</sup>, haben einen signifikanten Anteil an der Klasse nicht-überbaut, der zumeist über 50 % liegt. Die Strukturtypen, dessen Majority ebenfalls in dieser Klasse liegt, aber einen Wert deutlich unter 50 % haben, sind Bereiche mit einem hohen Freiflächenanteil bei deutlicher Bebauung. Hierzu zählen die Ehemaligen Dorfkerne, Villen und Technische Ver- und Entsorgungsflächen. Die übrigen Strukturtypen verzeichnen jeweils mehr oder weniger dominante Anteile an einer der zehn Überbauungsklassen. Zum Beispiel ist bei der Geschlossenen Blockrandbebauung die Klasse 71 - 80 % dominant vertreten. Da dies aber nur 22 % der Fläche betrifft, wird deutlich, daß es sich um einen relativ inhomogenen Strukturtyp mit Anteilen anderer Überbauungsdichten handeln muß. Bei den bebauten Flächen liegt das deutliche Maximum in den Bereichen der oberen Klassen

<sup>93</sup> Hierzu zählen die Sport-, Spiel- und Freizeitanlagen, die Friedhöfe, die Kleingartenanlagen, die Park- und Grünanlagen, die Brach- und Umwidmungsflächen, die Landwirtschaftlich genutzten Flächen, die Aufschüttungs-, Abgrabungs- und Entsorgungsflächen, die Waldflächen und die Wasserflächen



der Überbauungsdichte (61 - 100 %). Auf der Grundlage dieser Ergebnisse und der detaillierten Auswertung der Tab. 24 (s. S. 150) läßt sich in Anlehnung an die Verteilung der Flächenanteile zu den einzelnen Klassen der Überbauungsdichte eine relative Hierarchie der Überbauungsdichte bei den Strukturtypen mit einem reziproken Durchgrünungsanteil feststellen (s. Abb. 45, S. 151).

**Tab. 24: Überbauungsdichte innerhalb der Flächen der Strukturtypen von Leipzig (eigene Berechnung; HEINZ et al. 1997b)**

| Strukturtyp                                                | nicht überbaut | 01 - 10 % | 11 - 20 % | 21 - 30 % | 31 - 40 % | 41 - 50 % | 51 - 60 % | 61 - 70 % | 71 - 80 % | 81 - 90 % | 91 - 100 % | Summe    |
|------------------------------------------------------------|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|----------|
| Offene Blockbebauung                                       | 2.40 %         | 3.66 %    | 4.74 %    | 5.46 %    | 7.73 %    | 8.75 %    | 11.24 %   | 13.84 %   | 17.14 %   | 16.61 %   | 8.46 %     | 100.03 % |
| Geschlossene Blockbebauung                                 | 0.69 %         | 1.19 %    | 1.73 %    | 2.80 %    | 4.56 %    | 8.14 %    | 11.28 %   | 14.03 %   | 18.68 %   | 21.58 %   | 15.35 %    | 100.00 % |
| Offene Blockrandbebauung                                   | 4.41 %         | 7.55 %    | 8.10 %    | 8.68 %    | 9.54 %    | 9.76 %    | 10.97 %   | 10.99 %   | 12.31 %   | 11.71 %   | 5.95 %     | 99.97 %  |
| Geschlossene Blockrandbebauung                             | 3.50 %         | 4.08 %    | 5.67 %    | 6.90 %    | 8.41 %    | 9.70 %    | 11.70 %   | 12.75 %   | 14.36 %   | 14.03 %   | 8.88 %     | 99.98 %  |
| Zeilenbebauung                                             | 10.83 %        | 12.25 %   | 12.06 %   | 10.30 %   | 10.83 %   | 9.48 %    | 10.01 %   | 8.47 %    | 7.71 %    | 5.43 %    | 2.60 %     | 99.97 %  |
| Großwohnsiedlungen u. mehrgeschossiger Wohnungsbau ab 1960 | 1.49 %         | 2.89 %    | 4.70 %    | 5.61 %    | 8.10 %    | 10.08 %   | 14.18 %   | 16.51 %   | 17.82 %   | 12.96 %   | 5.65 %     | 99.99 %  |
| Ehemalige Dorfkerne                                        | 19.47 %        | 13.73 %   | 12.08 %   | 8.13 %    | 8.56 %    | 7.56 %    | 7.49 %    | 7.55 %    | 7.97 %    | 5.09 %    | 2.39 %     | 100.00 % |
| Stark versiegelte Industrie- und Gewerbeflächen            | 1.86 %         | 1.97 %    | 2.83 %    | 3.18 %    | 4.89 %    | 7.48 %    | 11.35 %   | 16.07 %   | 20.71 %   | 18.95 %   | 10.69 %    | 99.98 %  |
| Gering versiegelte Industrie- und Gewerbeflächen           | 3.68 %         | 4.32 %    | 6.12 %    | 5.81 %    | 8.51 %    | 10.18 %   | 12.49 %   | 16.60 %   | 15.06 %   | 11.27 %   | 5.98 %     | 100.02 % |
| Sport-/ Spiel- und Freizeitanlagen                         | 41.08 %        | 13.52 %   | 10.34 %   | 7.48 %    | 7.19 %    | 5.36 %    | 5.00 %    | 3.96 %    | 3.18 %    | 2.00 %    | 0.89 %     | 100.00 % |
| Friedhöfe                                                  | 65.40 %        | 10.59 %   | 7.24 %    | 4.37 %    | 3.45 %    | 2.47 %    | 2.19 %    | 1.81 %    | 1.52 %    | 0.65 %    | 0.33 %     | 100.02 % |
| Öffentliche Einrichtungen                                  | 9.81 %         | 6.30 %    | 6.46 %    | 6.02 %    | 7.47 %    | 8.21 %    | 10.89 %   | 13.19 %   | 14.29 %   | 11.39 %   | 5.94 %     | 99.97 %  |
| Einkaufszentren                                            | 0.00 %         | 0.25 %    | 1.05 %    | 1.90 %    | 5.05 %    | 7.65 %    | 10.90 %   | 14.35 %   | 16.90 %   | 12.80 %   | 29.19 %    | 100.04 % |
| Kleingartenanlagen                                         | 57.80 %        | 16.91 %   | 8.04 %    | 4.57 %    | 3.61 %    | 2.50 %    | 2.26 %    | 1.68 %    | 1.46 %    | 0.89 %    | 0.29 %     | 100.00 % |
| Verkehrsflächen                                            | 3.08 %         | 3.81 %    | 5.36 %    | 6.04 %    | 7.97 %    | 18.14 %   | 12.82 %   | 11.50 %   | 12.15 %   | 12.00 %   | 7.13 %     | 100.00 % |
| Park- und Grünanlagen                                      | 53.18 %        | 11.23 %   | 8.86 %    | 5.70 %    | 5.41 %    | 4.20 %    | 3.83 %    | 3.08 %    | 2.53 %    | 1.51 %    | 0.46 %     | 99.99 %  |
| Kerngebiete                                                | 0.06 %         | 0.32 %    | 1.06 %    | 1.58 %    | 2.98 %    | 4.81 %    | 9.13 %    | 14.67 %   | 23.75 %   | 28.20 %   | 13.42 %    | 99.98 %  |
| Villen                                                     | 32.35 %        | 15.37 %   | 11.50 %   | 7.54 %    | 7.34 %    | 5.81 %    | 5.55 %    | 5.01 %    | 4.60 %    | 3.25 %    | 1.66 %     | 99.98 %  |
| Ein- und Zweifamilienhausbebauung                          | 21.55 %        | 23.01 %   | 17.16 %   | 11.80 %   | 8.75 %    | 5.68 %    | 4.67 %    | 3.32 %    | 2.42 %    | 1.22 %    | 0.46 %     | 100.04 % |
| Brach- und Unwidmungsflächen                               | 52.28 %        | 6.65 %    | 5.52 %    | 4.28 %    | 4.91 %    | 5.29 %    | 6.33 %    | 5.89 %    | 4.97 %    | 2.59 %    | 1.29 %     | 100.00 % |
| Landwirtschaftlich genutzte Flächen                        | 75.48 %        | 6.71 %    | 4.31 %    | 2.40 %    | 2.49 %    | 2.01 %    | 2.02 %    | 1.60 %    | 1.49 %    | 0.87 %    | 0.60 %     | 99.98 %  |
| Technische Ver- und Entsorgungsflächen                     | 27.86 %        | 11.70 %   | 9.60 %    | 7.29 %    | 8.32 %    | 7.79 %    | 9.11 %    | 7.39 %    | 6.04 %    | 3.56 %    | 1.36 %     | 100.02 % |
| Aufschüttungs-, Abgrabungs- und Entsorgungsflächen         | 87.97 %        | 2.40 %    | 1.66 %    | 1.16 %    | 1.54 %    | 1.37 %    | 1.56 %    | 1.34 %    | 0.65 %    | 0.33 %    | 0.05 %     | 100.03 % |
| Waldflächen                                                | 88.52 %        | 4.31 %    | 2.72 %    | 1.42 %    | 1.10 %    | 0.70 %    | 0.53 %    | 0.36 %    | 0.24 %    | 0.07 %    | 0.01 %     | 99.98 %  |
| Wasserflächen                                              | 73.05 %        | 9.18 %    | 6.76 %    | 3.49 %    | 2.96 %    | 1.77 %    | 0.93 %    | 0.87 %    | 0.60 %    | 0.28 %    | 0.13 %     | 100.02 % |



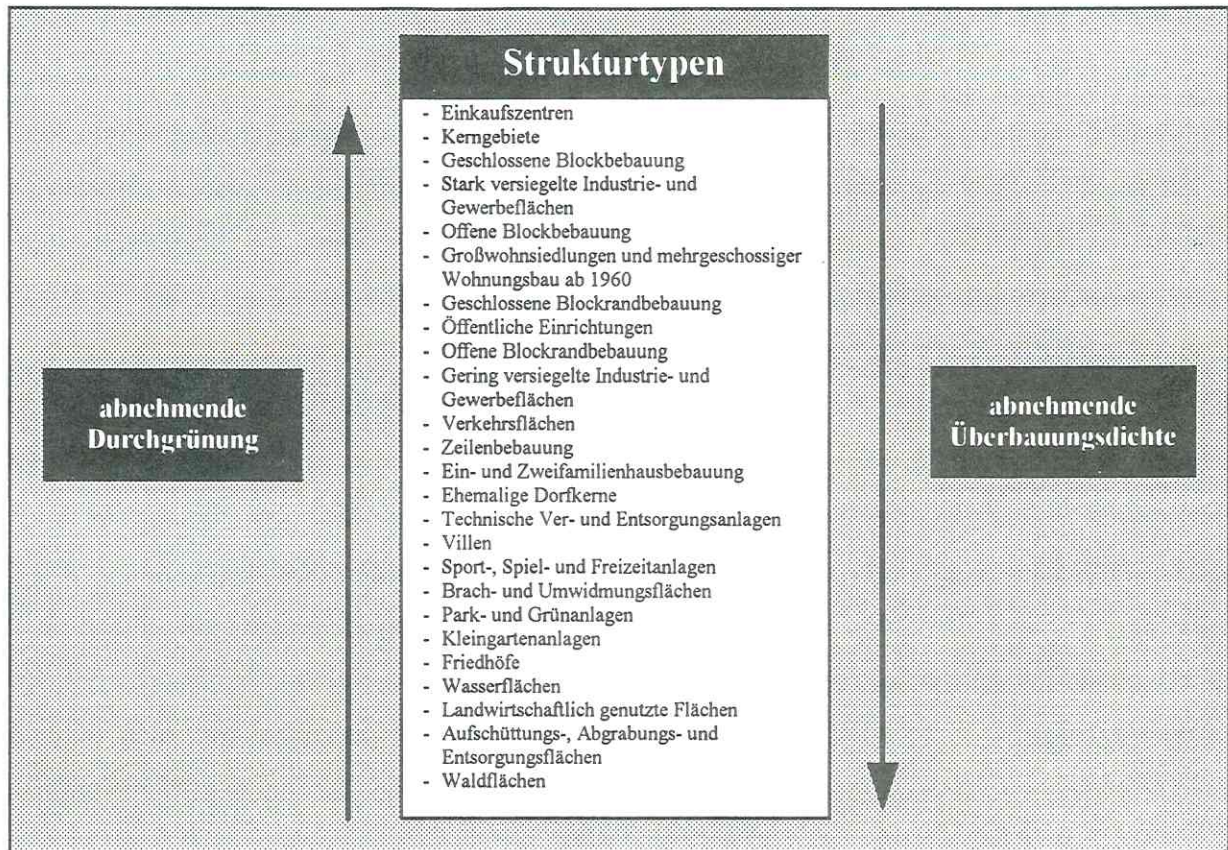


Abb. 45: Hierarchie der durchschnittlichen Überbauungsdichte der Strukturtypen (eigene Berechnung)

Zu beachten ist, daß es innerhalb der einzelnen Flächen eines Strukturtypes zu unterschiedlichen Schwankungsbreiten der Überbauungsdichteverteilung kommen kann, wie es das Beispiel der Großblockbebauung von Grünau und Paunsdorf verdeutlicht hat (s. Abb. 44, S. 149). Infolge der oftmals unterschiedlichen Struktur der Flächen, der unterschiedlichen Bauweisen, der unterschiedlichen und homogenisierten Gebietsabgrenzungen etc. kann die Überbauungsdichte bezogen auf diese Flächen trotz gleichen zugewiesenen Strukturtypes verschieden ausfallen und somit in der Hierarchie an eine andere Stelle treten. Dies ist auch die Erklärung für die Einteilung der Wasserflächen in der Hierarchie, die wegen ihrer fehlenden Bebauung noch hinter den Waldflächen eingeordnet werden müßten. Infolge ihrer ungenauen Flächenabgrenzungen werden in der Karte der Strukturtypen bei der Berechnung der Überbauungsdichte auch befestigte Randbereiche oder angrenzende Wege und Gebäude mit erfaßt.

Die große Varianz innerhalb der Flächen eines Strukturtypes sowie die Unterschiedlichkeit zwischen den Strukturtypen wird in den Abb. 46 (s. S. 153), Abb. 47 (s. S. 153), Abb. 48 (s. S. 154) und Abb. 49 (s. S. 154) verdeutlicht. Sie sind thematisch nach den bebauten (Wohn-) Flächen, den stark durchgrüneten, bebauten Flächen, den durchgrüneten, überwiegend nicht-überbauten Flächen und den übrigen Flächen geordnet. Insbesondere die Abb. 46 (s. S. 153) verdeutlicht die Abnahme der Über-



bauungsdichte und folglich die Zunahme der Durchgrünung in den bebauten Flächen von den 'Kerngebieten' hin zu den 'Villen'. Während die 'Villen' ihr deutliches Wertemaximum bei der nicht-überbauten Fläche haben, liegt das der 'Kerngebiete' in den höchsten Klassen der Überbauungsdichte. Der Vergleich der Kurven zeigt eine Verlagerung der häufig vertretenen Klassen zwischen den Strukturtypen 'Kerngebiet' bis zur 'Offenen Blockrandbebauung' und denen der 'Zeilenbebauung' bis zu den 'Villen'. Es läßt sich ableiten, daß die 'Kerngebiete', die 'Blockbebauung', die 'Großwohnsiedlungen' und die 'Blockrandbebauung' flächenmäßig aus mehr überbauten als nicht-überbauten Flächen bestehen, hingegen überwiegt bei den übrigen abgebildeten Strukturtypen der nicht-überbaute Flächenanteil. Im Gegensatz hierzu weist die Klasse 'nicht-überbaut' in allen sechs Strukturtypen bei den 'Freizeit- und Erholungsflächen', den 'Wald-' und den 'Wasserflächen' den höchsten Flächenanteil auf (vgl. Abb. 49, S. 154). Interessant ist die feine Untergliederung zwischen den Kleingarten- und den Park- und Grünanlagen. Da die 'Kleingartenanlagen' neben Grünflächen auch Gartenhäuser und Wege umfassen, besitzen sie einen etwas höheren Anteil an der Überbauungsdichteklasse 1 - 10 % als zum Beispiel die 'Park- und Grünanlagen'. Deutlich wird beim Vergleich der Überbauungsdichte auch der Unterschied zwischen den Ein- und Zweifamilienhäusern und den Kleingartenanlagen (s. Abb. 47, S. 153). Während die letzteren ein deutliches Maximum in der Klasse nicht-überbaut aufweisen, sind bei der Ein- und Zweifamilienhausbebauung die Klassen nicht-überbaut, 1 - 10 % und 11 - 20 % Überbauungsdichte dominant bei deutlich geringerem Anteil der Klasse nicht-überbaut im Vergleich zu den Kleingartenanlagen. Der unterschiedliche Anteil der Bebauung an der Gesamtfläche dieser zwei Strukturtypen wird in der Abbildung deutlich. Die Unterscheidung beider ist mit dieser Methode besser möglich als zum Beispiel mit der visuellen Interpretation von SPOT-XS- oder Landsat-TM-Bildern (vgl. HEINZ 1996a, S. 48 u. HEINZ 1997a).



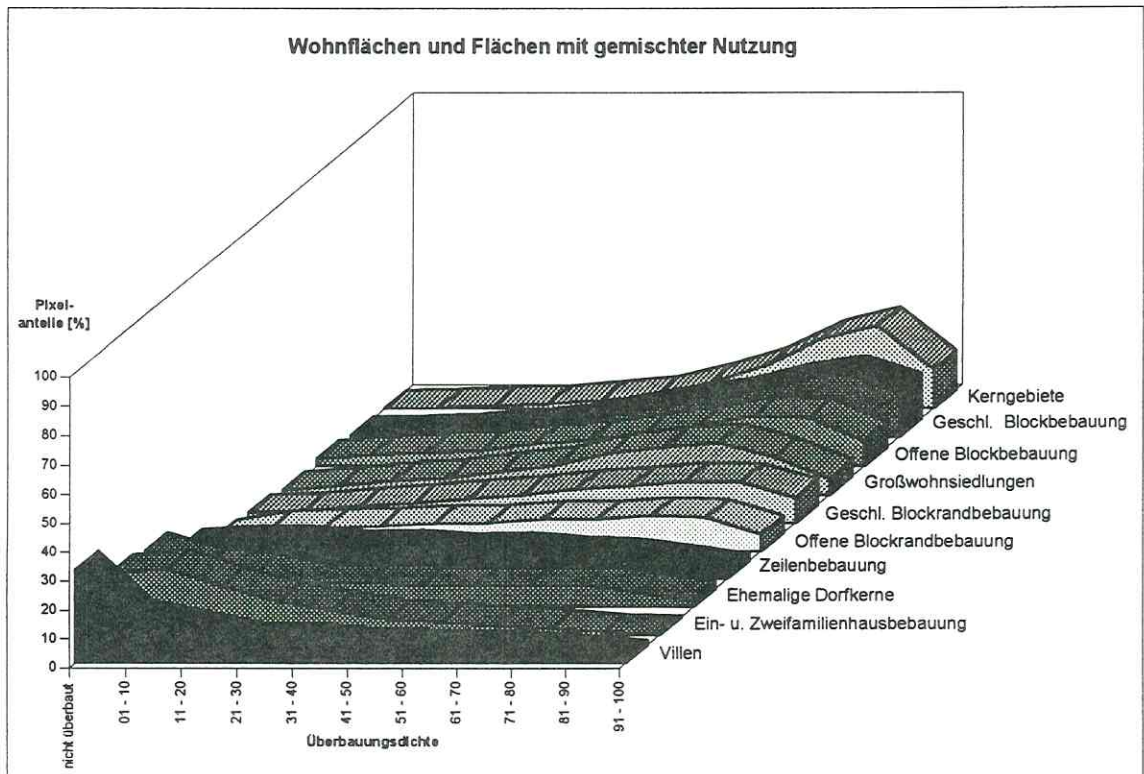


Abb. 46: Überbauungsdichte der Strukturtypen Wohnflächen und Flächen mit gemischter Nutzung (HEINZ et al. 1997b)

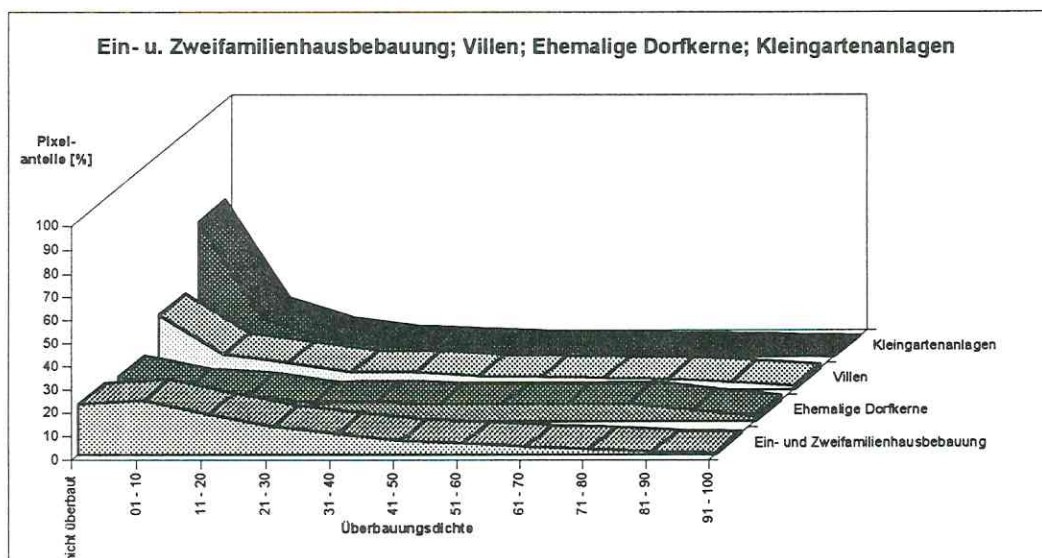
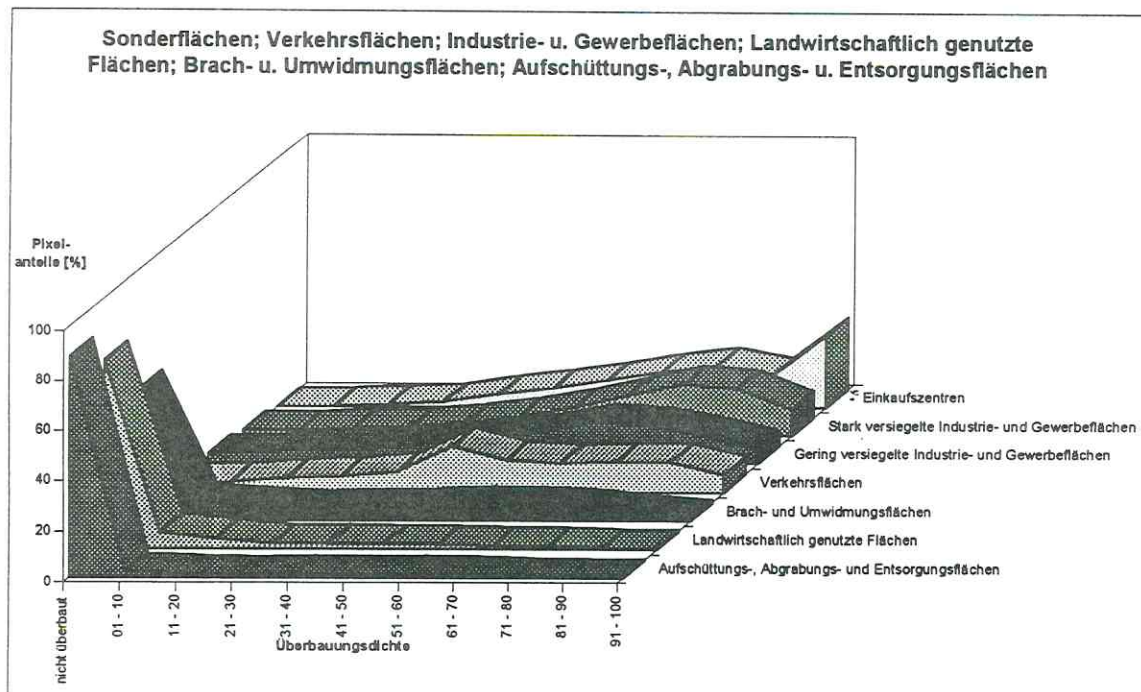
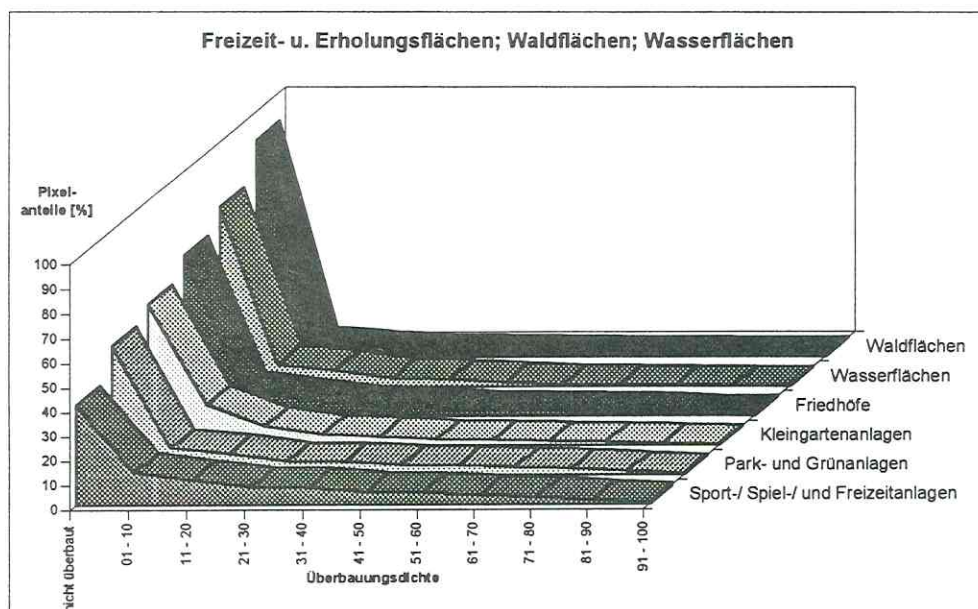


Abb. 47: Überbauungsdichte der Strukturtypen Ein- und Zweifamilienhausbebauung, Villen, Ehemalige Dorfkerne, Kleingartenanlagen (HEINZ et al. 1997b)





**Abb. 48: Überbauungsdichte der Strukturtypen Sonderflächen, Verkehrsflächen, Industrie- und Gewerbeflächen, Landwirtschaftlich genutzte Flächen, Brach- und Umwidmungsflächen, Aufschüttungs-, Abgrabungs- und Entsorgungsflächen (HEINZ et al. 1997b)**



**Abb. 49: Überbauungsdichte der Strukturtypen Freizeit- und Erholungsflächen, Waldflächen und Wasserflächen (HEINZ et al. 1997b)**



Zur weiteren Verdeutlichung der Schwankungsbreiten der Überbauungsdichte innerhalb definierter Flächen gleicher Zuordnung sind in den Abb. 50<sup>94</sup> (s. S. 156) und Abb. 51<sup>95</sup> (s. S. 157) die mittlere und die häufigste Überbauungsdichteklasse innerhalb jeder einzelnen Fläche jedes Strukturtypes ausgewiesen. Deutlich werden die unterschiedlichen Werte innerhalb der Flächenabgrenzungen mit gleicher thematischer Zuordnung zu einem Strukturtyp. Als Beispiel sei der Ortsteil Grünau-Siedlung mit seiner dominanten Ein- und Zweifamilienhausbebauung angeführt. Während in diesem Bereich den Flächen gleichen Strukturtyps die Klassen 1 bis 3 (= 1 - 30 % Überbauungsdichte) zugewiesen werden (s. Abb. 50, S. 156), erscheinen in der Abbildung der dominanten Überbauungsdichte (s. Abb. 51, S. 157) auch die Klassen nicht-überbaut. Die Darstellung der häufigsten Überbauungsdichten zeigt demnach die Extremwerte in den einzelnen Flächen. Informationen zur Bebauung innerhalb der Flächenabgrenzungen aber gehen verloren. Deutlich stellt sich der Unterschied zwischen den Stadtinnenbereichen mit den Zuweisungen zu den höchsten Klassen der Überbauungsdichte und den Randbereichen mit der Zuweisung zu den niedrigsten Klassen der Überbauungsdichte und der Klasse 'nicht-überbaut' heraus. Die Randbereiche, die zumeist eine sehr lockere Bebauung aufweisen, werden durch die Klasse 'nicht-überbaut' verdeckt, wodurch Information verloren geht. Diese bietet hingegen die Abb. 50 (s. S. 156), in der der Mittelwert der bebauten Fläche innerhalb jeder Fläche eines Strukturtyps dargestellt ist. Die Ausdehnung der bebauten Stadtfläche in den Flächeneinheiten der Strukturtypen bleibt sichtbar. Während dementsprechend die von Ein- und Zweifamilienhausbebauung dominierten Randbereiche den niedrigsten zwei Klassen der Überbauungsdichte (1 - 20 %) zugeordnet werden, werden die Innenstadtbereiche unterbewertet. Die höchsten Klassen sind kaum ausgewiesen. Daraus läßt sich aber - im Vergleich zur Klassenbelegung in der Abb. 51 (s. S. 157) - ableiten, daß die Flächeneinheiten der Strukturtypen inhomogene Überbauungsdichten aufweisen. Kleinere Flächenabgrenzungen würden ein differenzierteres Bild ergeben, das sich auch in der Gegenüberstellung der Majority- und Mean-Werte nicht oder nur gering unterscheiden würde. Die Tab. 25 (s. S. 158) stellt die Versiegelungsgrade von DUHME und PAULEIT (1994)<sup>96</sup> und von HEYN (1996)<sup>97</sup> den berechneten Überbauungsdichten für ausgewählte Strukturtypen gegenüber. Mit Ausnahme der Strukturtypen 'Großwohnsiedlungen' und 'Villen' ist eine gute Übereinstimmung zwischen den unterschiedlichen Erhebungen vorhanden. Während die Berechnung der Überbauungsdichte mit der Einteilung von DUHME und PAULEIT (1994) übereinstimmt, zeigt die Zuweisung nach HEYN (1996) bei den 'Großwohnsiedlungen' einen niedrigeren und bei den 'Villen' einen höheren Versiegelungsgrad in Prozent. Als Ursache hierfür wird der durch das enge Nebeneinander von

<sup>94</sup> Nächste Seite (S. 156) - Abb. 50: Mittlere Überbauungsdichte innerhalb der Flächenabgrenzungen der Strukturtypen

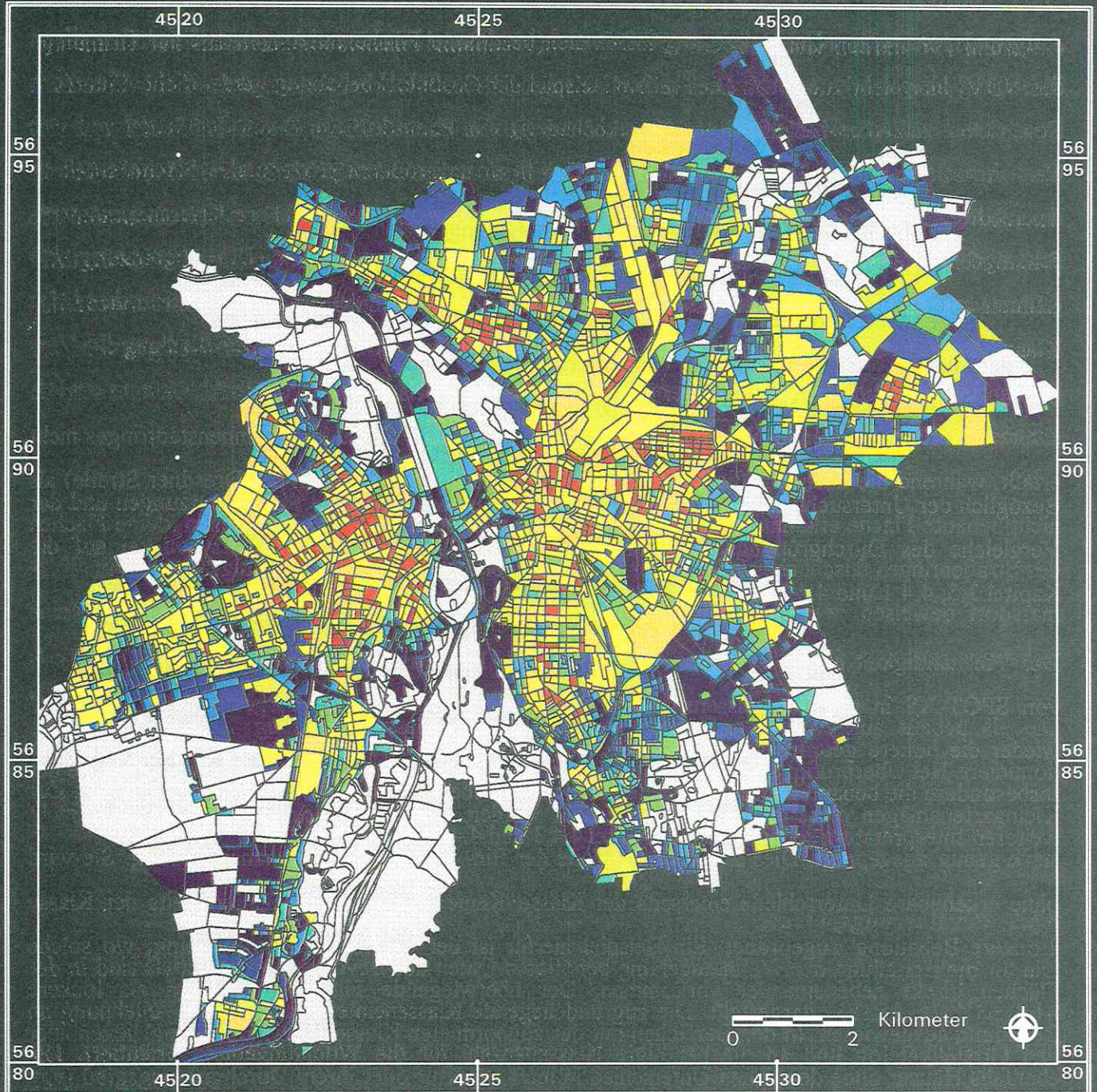
<sup>95</sup> Übernächste Seite (S. 157) - Abb. 51: Häufigste Überbauungsdichte innerhalb der Flächenabgrenzungen der Strukturtypen

<sup>96</sup> Die Versiegelungsgrade gelten für Strukturtypen in München.

<sup>97</sup> Die Versiegelungsgrade basieren auf einer Biotoptypenkartierung und einer Luftbildauswertung.



# Mittlere Überbauungsdichte innerhalb der Flächenabgrenzungen der Strukturtypen



Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Digitale Bildverarbeitung und Kartographie:  
Dipl.-Geogr. V. Heinz

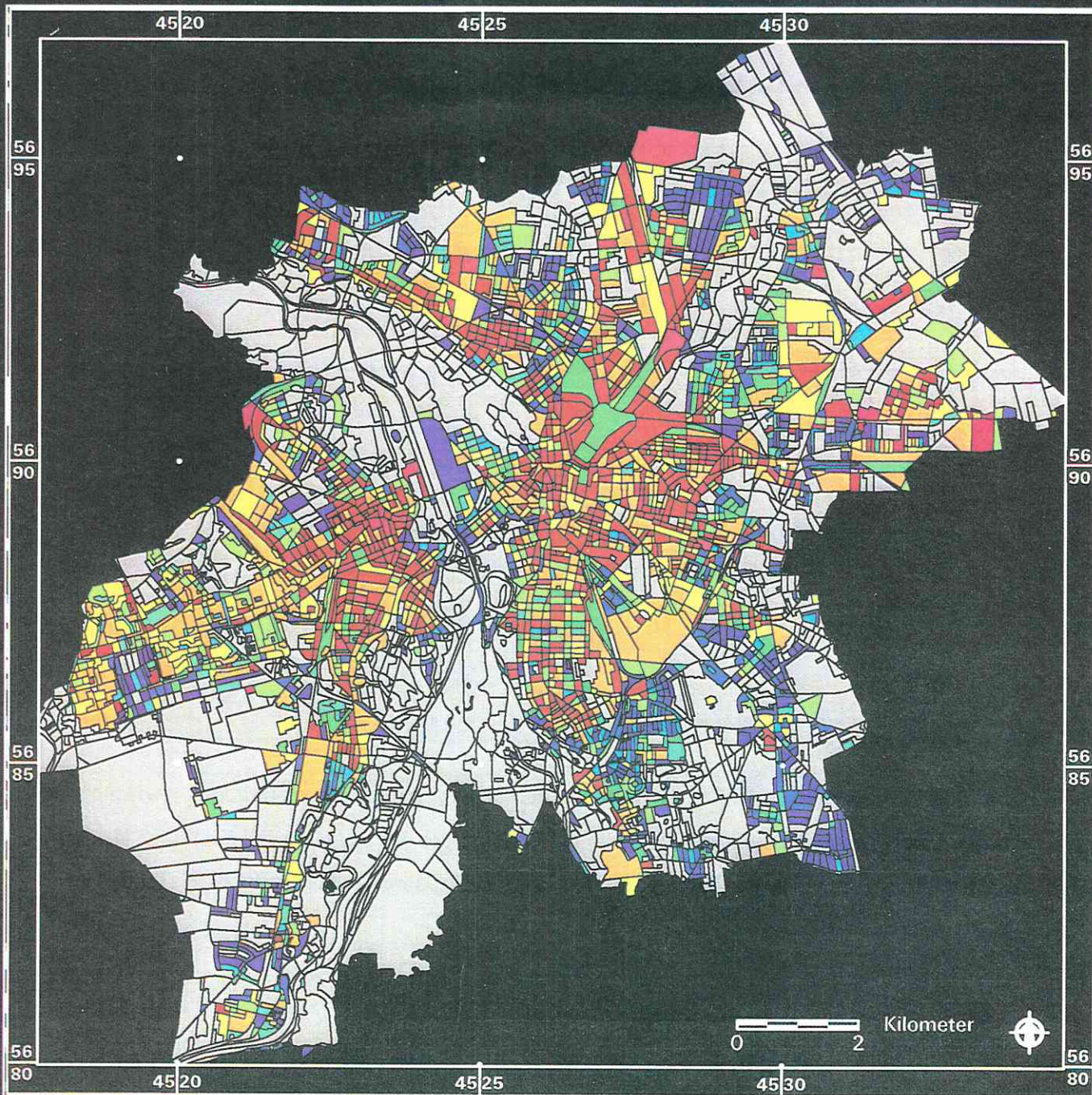


gefördert durch:  
Deutsche Agentur für  
Raumfahrtangelegenheiten  
(DARA GmbH)



# Häufigste Überbauungsdichte

innerhalb der Flächenabgrenzungen der Strukturtypen



Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Digitale Bildverarbeitung und Kartographie:  
Dipl.-Geogr. V. Heinz



gefördert durch:  
Deutsche Agentur für  
Raumfahrtangelegenheiten  
(DARA GmbH)



Bebauung und Grünflächen bedingte hohe Mischpixelanteil in diesen Flächen angesehen. Bei den 'Großwohnsiedlungen' dominiert die Bebauung, hingegen überwiegen bei den 'Villen' die Grünflächen.

**Tab. 25: Gegenüberstellung der Versiegelungsgrade und Überbauungsdichten für verschiedene Strukturtypen (HEINZ et al. 1997b)**

| Strukturtyp                    | VG - 01 | VG - 02 | ÜBD | VG - 02 [% versiegelt] | ÜBD [%] |
|--------------------------------|---------|---------|-----|------------------------|---------|
| Geschlossene Blockbebauung     | 2       | 2       | 2   | 79                     | 81      |
| Offene Blockbebauung           | -       | 4       | 4   | 67                     | 67      |
| Großwohnsiedlungen             | 4       | 6       | 4   | 49                     | 67      |
| Geschlossene Blockrandbebauung | 4       | 4       | 4   | 66                     | 62      |
| Offene Blockrandbebauung       | -       | 4       | 4   | 56                     | 52      |
| Villen                         | 10      | 8       | 8   | 36                     | 20      |
| Waldflächen                    | 10      | 10      | 10  | -                      | 0       |

|                        |                                                                                                                                                  |
|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| VG - 01                | = Versiegelungsgrad der Strukturtypen nach DUHME u. PAULEIT (1994) -<br>2 (s. hoch), 4 (hoch), 6 (mittel), 8 (gering), 10 (s. gering), verändert |
| VG - 02                | = Versiegelungsgrad der Strukturtypen nach HEYN (1996) -<br>2 (s. hoch), 4 (hoch), 6 (mittel), 8 (gering), 10 (s. gering)                        |
| ÜBD                    | = Majority der Überbauungsdichte nach SPITZER (1996a) -<br>2 (>75 - 100 %), 4 (>50 - 75 %), 6 (>25 - 50 %), 8 (>0 - 25 %), 10 (unbebaut)         |
| VG - 02 [% versiegelt] | = Versiegelungsgrad der Strukturtypen nach HEYN (1996) u. MÜNCHOW / KRIEDEL (1996)<br>- in Prozent                                               |
| ÜBD [%]                | = Überbauungsdichte nach SPITZER (1996a) - in Prozent                                                                                            |

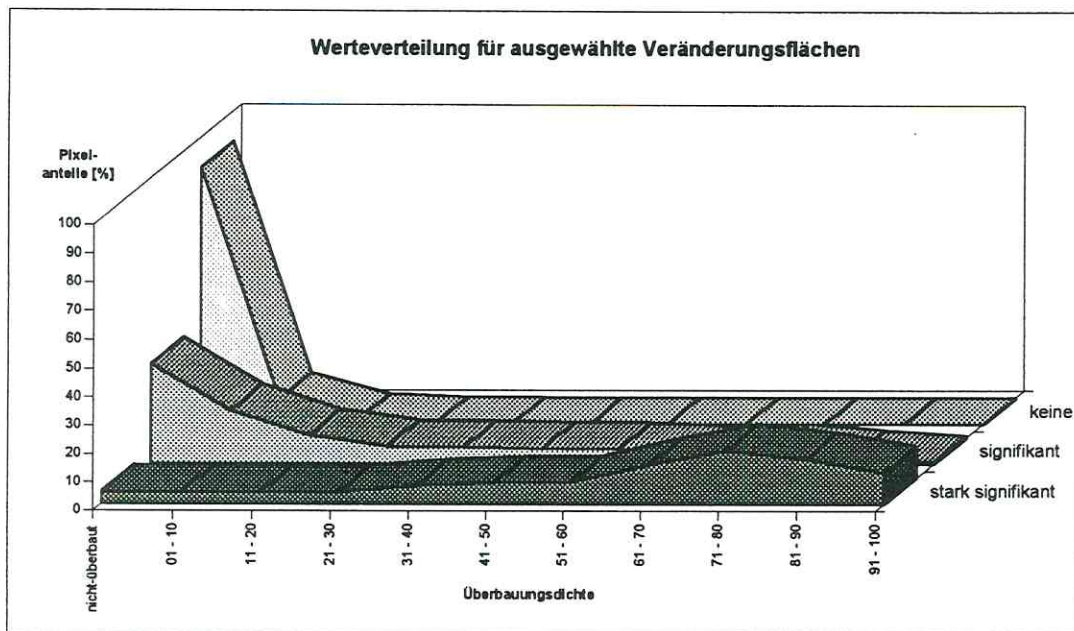
Zudem läßt diese Gegenüberstellung sowohl auf eine relativ gute Übereinstimmung zwischen der berechneten Überbauungsdichte aus Satellitenbilddaten und der Versiegelungsbestimmung aus Luftbildern als auch auf die Übertragbarkeit der Methode auf andere Gebiete schließen (HEINZ et al. 1997b).

### 5.3.3 Lokalisierung von Urbanisierungsprozessen

Eine graphische Überlagerung bzw. eine Verschneidung von Referenzdaten mit dem Datensatz der Überbauungsdichte ermöglicht neben der Analyse der unterschiedlichen Raumeinheiten (vgl. Kap. 5.3.2) die Bestimmung von Veränderungsflächen und somit auch indirekt die Erfassung von Urbanisierungsprozessen. Veränderungen sind insbesondere anhand von nicht bebauten landwirtschaftlich genutzten Flächen und Brach- und Umwidmungsflächen zu lokalisieren, die in Siedlungs- bzw. Industrie- oder Gewerbeflächen umgewandelt wurden. Die Ausweisung dieser Veränderungsflächen erfolgt nach der im Kapitel 5.2.1 erläuterten Berechnung der Signifikanz in drei Klassen. Demnach sind Flächen, die im Datensatz der Überbauungsdichte einen signifikanten Anteil an Bildelementen mit einer mittleren oder hohen Überbauungsdichte bezogen auf eine Flächeneinheit



aufweisen, aber im Vergleichsdatensatz keine Bebauung vorhanden ist, potentielle Flächen mit Veränderungen. Diese bedürfen dann anhand von Luftbildinterpretationen und Ortsbegehungen einer näheren Spezifizierung. Wie sich die Werteverteilung der Überbauungsdichten bei unterschiedlicher Signifikanz verhält, stellt die Abb. 52 (s. S. 159) dar (HEINZ et al. 1997b). Bei keiner potentiell vorliegenden Veränderung weist die Klasse 'nicht-überbaut' ein deutliches Maximum mit über 90 % der Werte auf. Die Werteverteilungen der Möglichkeiten signifikanter und stark signifikanter Veränderungsflächen haben insgesamt flachere Werteverteilungskurven. Sie unterscheiden sich deutlich in der Verteilung der Überbauungsdichten. Die signifikanten Veränderungsflächen haben ihr Maximum bei der Klasse nicht-überbaut, das jedoch deutlich niedriger als das der Flächen ohne Signifikanz ist. Zudem sind die Klasse 1 - 10 % stark und die Klasse 11 - 20 % etwas schwächer vertreten. Hingegen liegen die häufigsten Werte bei starker Signifikanz hauptsächlich in den oberen vier Klassen der Überbauungsdichte (61 - 100 %).



**Abb. 52: Verteilung der Überbauungsdichte in ausgewählten Flächen mit keiner, signifikanter und stark signifikanter Veränderung (HEINZ et al. 1997b)**

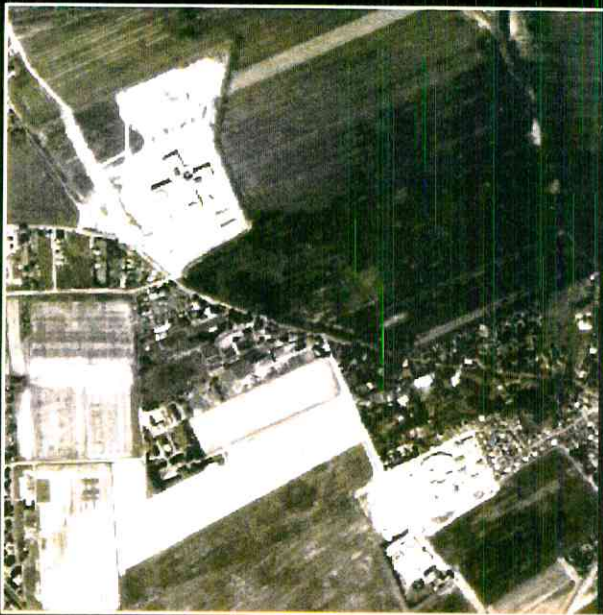
Die Abb. 53<sup>98</sup> (s. S. 160) veranschaulicht die Erkennbarkeit einer neuen Bebauung mit Hilfe der visuellen Interpretation der Überbauungsdichte-Karte und der Berechnung der signifikanten Veränderungen. Der Neubau des Herzklinikums befindet sich jeweils im Nordwesten der vier Bildausschnitte. Während er in der Karte der Strukturtypen noch als Brach- und Umwidmungsflächen

<sup>98</sup> Nächste Seite (S. 160) - Abb. 53: Berechnung der Überbauungsdichte möglicher Veränderungsflächen innerhalb ausgewählter Strukturtypen



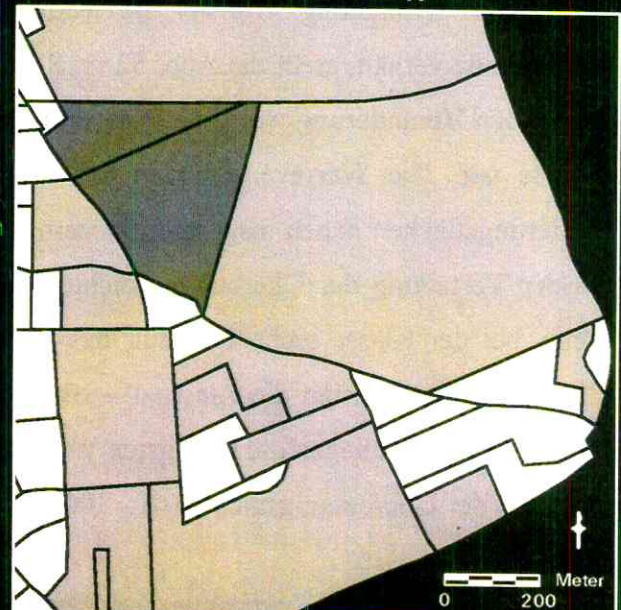
# Berechnung der Überbauungsdichte zur Bestimmung möglicher Veränderungsflächen innerhalb ausgewählter Strukturtypen

Luftbild



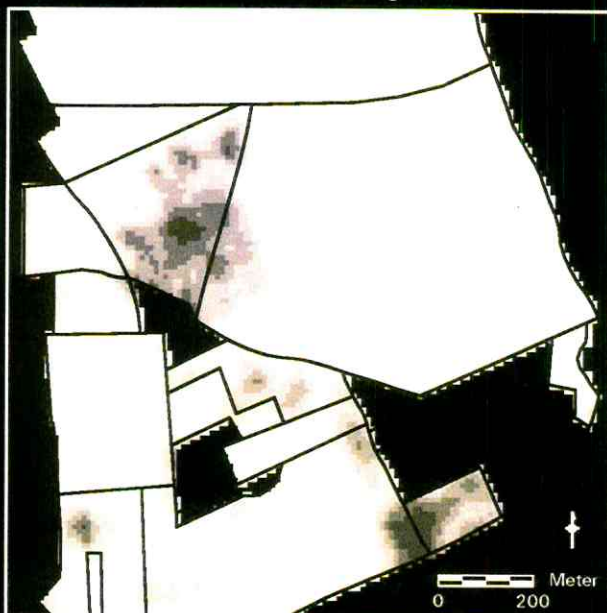
Ausschnitt: Leipzig, Ortsteil Leipzig-Südost,  
Bereich Russenstraße  
Aufnahme vom 25.06.1994

Karte der Strukturtypen



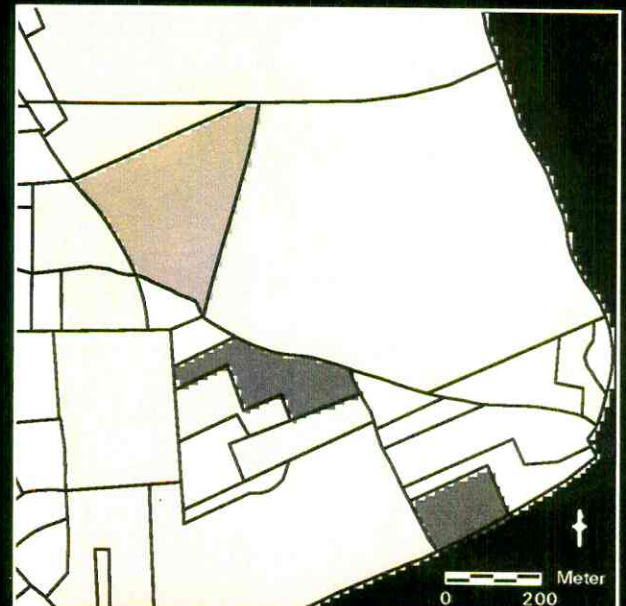
- Strukturtyp 'Brach- und Umwidmungsflächen'
- Strukturtyp 'Landwirtschaftlich genutzte Flächen'
- Andere Strukturtypen

Karte der Überbauungsdichte



- 1 - 20 % überbaut
- 21 - 40 % überbaut
- 41 - 60 % überbaut
- 61 - 80 % überbaut
- 81 - 100 % überbaut
- Nicht überbaut

Karte der Signifikanz



- Stark signifikante 'Veränderung'
- Signifikante 'Veränderung'
- Keine signifikante 'Veränderung'
- Maskierte andere Strukturtypen



Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Digitale Bildverarbeitung und Kartographie:  
Dipl.-Geogr. V. Heinz, Dipl.-Geogr. F. Spitzer



gefordert durch:  
Deutsche Agentur für  
Raumfahrtangelegenheiten  
(DARA GmbH)



ausgewiesen ist, kann die Veränderung im Luftbild deutlich erkannt werden. Ebenso wird die Bebauung bei der Berechnung der Überbauungsdichte identifiziert und bei der Raster-GIS-Verschneidung als signifikante Veränderung ausgewiesen. Deutlich wird bei der Karte der Signifikanz aber, daß zusätzlich in der östlich angrenzenden, großen Fläche keine signifikante Veränderung ausgewiesen wird, obwohl der Neubau in diese Fläche auf der Karte der Überbauungsdichte deutlich hineinreicht. Die Berechnung der Signifikanz weist demnach nur flächenhafte Veränderungen nach, wenn diese in einer definierten Flächeneinheit dominant sind. Beim vorliegenden Beispiel ist der Flächenanteil im Verhältnis zur Gesamtfläche zu gering.

Es läßt sich somit ableiten, daß zum einen mit der Methode Kartenfortführungen und Verifikationen von Luftbildinterpretationen erfolgen und zum anderen relativ schnell und einfach große Veränderungsflächen lokalisiert werden können. Zusätzlich ist aber auch die visuelle Interpretation der Überlagerung der Überbauungsdichte mit den Grenzen der Strukturtypen wichtig, da sich Flächenabgrenzungen - wie das obige Beispiel verdeutlicht hat - im Zuge von Veränderungen in Form von Bebauungen verändern können und einer Neudefinition bedürfen (vgl. Tab. 27, S. 162). Innerhalb von Leipzig haben die Berechnungen ergeben, daß 41,4 % der ausgewiesenen 'Brach- und Umwidmungsflächen' und 14,5 % der 'Landwirtschaftlich genutzten Fläche' signifikante Veränderungen aufweisen (vgl. Tab. 26, S. 162). Die nähere Betrachtung der mittleren 'waagrecht' ausgerichteten Fläche in der Abb. 53 (s. S. 160) zeigt jedoch ein Beispiel für eine Zuweisung des Strukturtypes Landwirtschaftlich genutzter Flächen mit stark signifikanter Veränderung, obwohl das Luftbild einen 'Altbestand' aufweist. Nicht jede Fläche mit zugewiesener signifikanter Flächenveränderung ist demnach eine Folge von Urbanisierungsprozessen. Wie es im angeführten Beispiel der Fall ist, erkennt die Methode auch die Landwirtschaftlich genutzten Flächen und die Brach- und Umwidmungsflächen, die Überbauung aufweisen. Hierzu zählen zum Beispiel große Glashauskulturen oder Stallungen, die bei der Einteilung der Strukturtypen zu den Landwirtschaftlich genutzten Flächen gezählt werden. Durch die Erfassung der landwirtschaftlichen Bauten (Glashauskulturen, Stallungen) werden durch das Verfahren die Klassen mit einer signifikanten Veränderung überbewertet.

Das Verfahren kann somit in den in der Tab. 27 (s. S. 162) aufgeführten Anwendungsfällen zum Einsatz kommen, wobei eine Verifizierung nicht fehlen darf.



Tab. 26: Ergebnisse der Berechnung der signifikanten Veränderungsflächen innerhalb der Strukturtypen (HEINZ et al. 1997b)

|                                  | Landwirtschaftlich genutzte Flächen |         |            | Brach- und Umwidmungsflächen |         |           |
|----------------------------------|-------------------------------------|---------|------------|------------------------------|---------|-----------|
|                                  | Anzahl                              | Anteil  | Fläche     | Anzahl                       | Anteil  | Fläche    |
| Keine Veränderungen              | 229                                 | 85,54 % | 2294,46 ha | 75                           | 58,64 % | 482,90 ha |
| Signifikante Veränderungen       | 43                                  | 8,26 %  | 221,67 ha  | 35                           | 16,57 % | 136,43 ha |
| Stark signifikante Veränderungen | 65                                  | 6,20 %  | 166,42 ha  | 88                           | 24,79 % | 204,16 ha |
| Summe                            | 337                                 | 100,00% | 2682,55 ha | 198                          | 100,00% | 823,49 ha |

Tab. 27: Anwendungsmöglichkeiten und Einsatzbereiche der Methodik von SPITZER (1996a) zur Berechnung der Überbauungsdichte aus Fernerkundungsdaten (eigener Entwurf)

|                                                                      |
|----------------------------------------------------------------------|
| • Darstellung der Überbauungsdichte für definierte Flächen           |
| • Lokalisation signifikanter Veränderungen der Überbauungsdichte     |
| • Ergänzung und Verifikation von Luftbildauswertungen                |
| • Korrektur und Nachführung definierter Gebiets-/Flächenabgrenzungen |
| • Kartenfortführung                                                  |

Die Abb. 54<sup>99</sup> (s. S. 162) und die Abb. 55<sup>100</sup> (s. S. 165) stellen die auf der Abb. 53 (s. S. 160) im Ausschnitt dargestellte Signifikanz für das gesamte Stadtgebiet von Leipzig für die Strukturtypen Landwirtschaftlich genutzte Flächen und Brach- und Umwidmungsflächen dar.

#### 5.3.4 Zusammenfassung

Die durchgeführten Untersuchungen haben ergeben, daß sich die von SPITZER (1996a u. 1997) für die Stadt Regensburg entwickelte Fernerkundungsmethode zur Berechnung der Überbauungsdichte gut auf das Untersuchungsgebiet Leipzig übertragen läßt. Sie ermöglicht die Abgrenzung der Überbauung in verschiedenen Dichteklassen gegenüber der nicht-überbauten Fläche und eignet sich sowohl zur Darstellung der Überbauungsdichte in definierten Flächeneinheiten, als auch zur Lokalisation signifikanter Veränderungen der Überbauungsdichte, zur Ergänzung und Verifikation von Luftbildauswertungen, zur Korrektur und Nachführung definierter Gebiets- und Flächenabgrenzungen und zur Kartenfortführung (vgl. Tab. 27, s. S. 162). Darüber hinaus ist sie ebenfalls

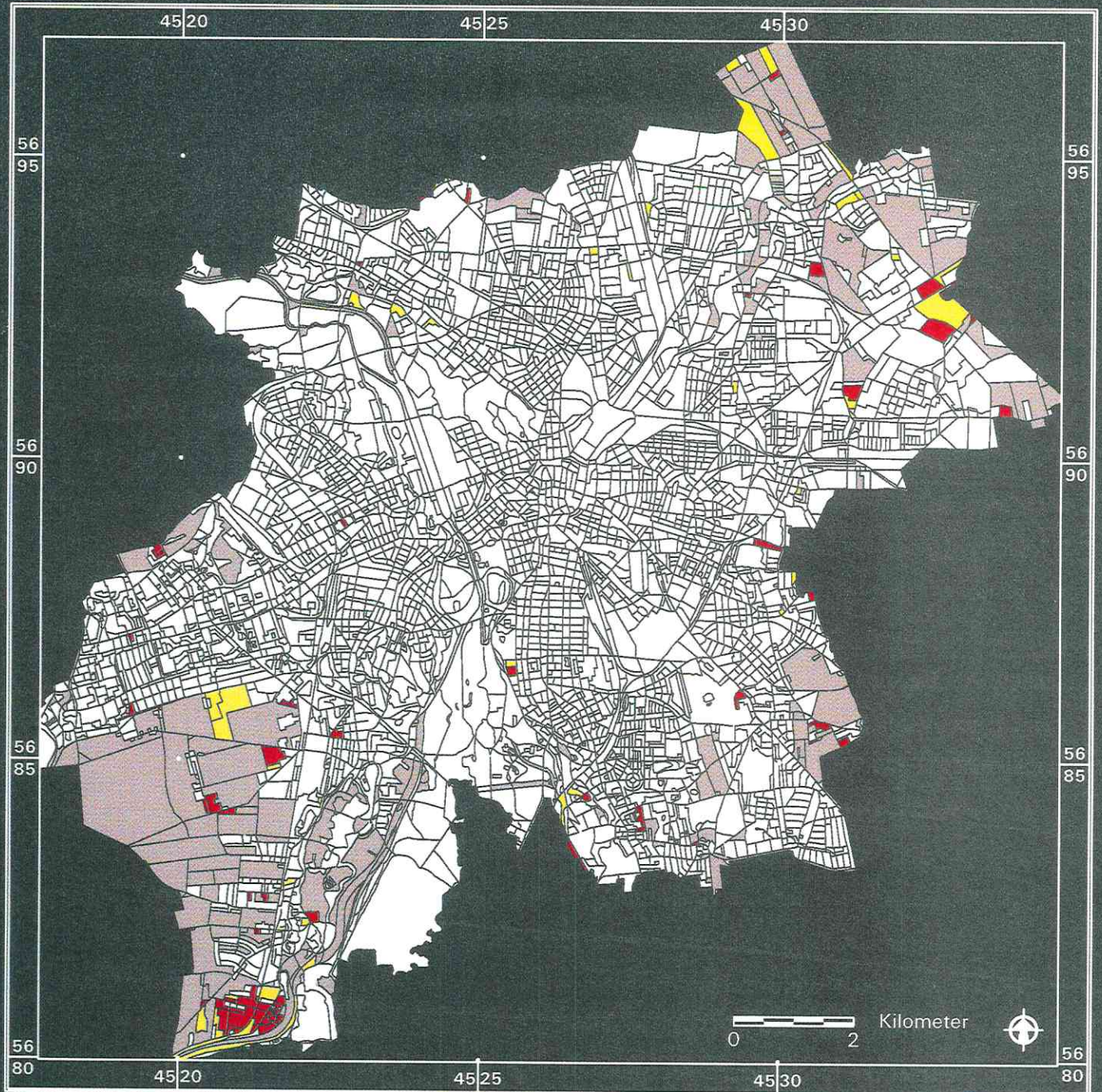
<sup>99</sup> Nächste Seite (S. 163) - Abb. 54: Karte der signifikanten Veränderungsflächen der Strukturtypen Landwirtschaftlich genutzte Flächen

<sup>100</sup> Übernächste Seite (S. 165) - Abb. 55: Karte der signifikanten Veränderungsflächen der Strukturtypen Brach- und Umwidmungsflächen



# Mögliche Veränderungsflächen

innerhalb der Flächenabgrenzungen des Strukturtypes 'Landwirtschaftlich genutzte Flächen'



- Stark signifikante 'Veränderung'
- Signifikante 'Veränderung'
- Keine signifikante 'Veränderung'
- Maskierte andere Strukturtypen



Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Digitale Bildverarbeitung und Kartographie:  
Dipl.-Geogr. V. Heinz u. Dipl.-Geogr. F. Spitzer

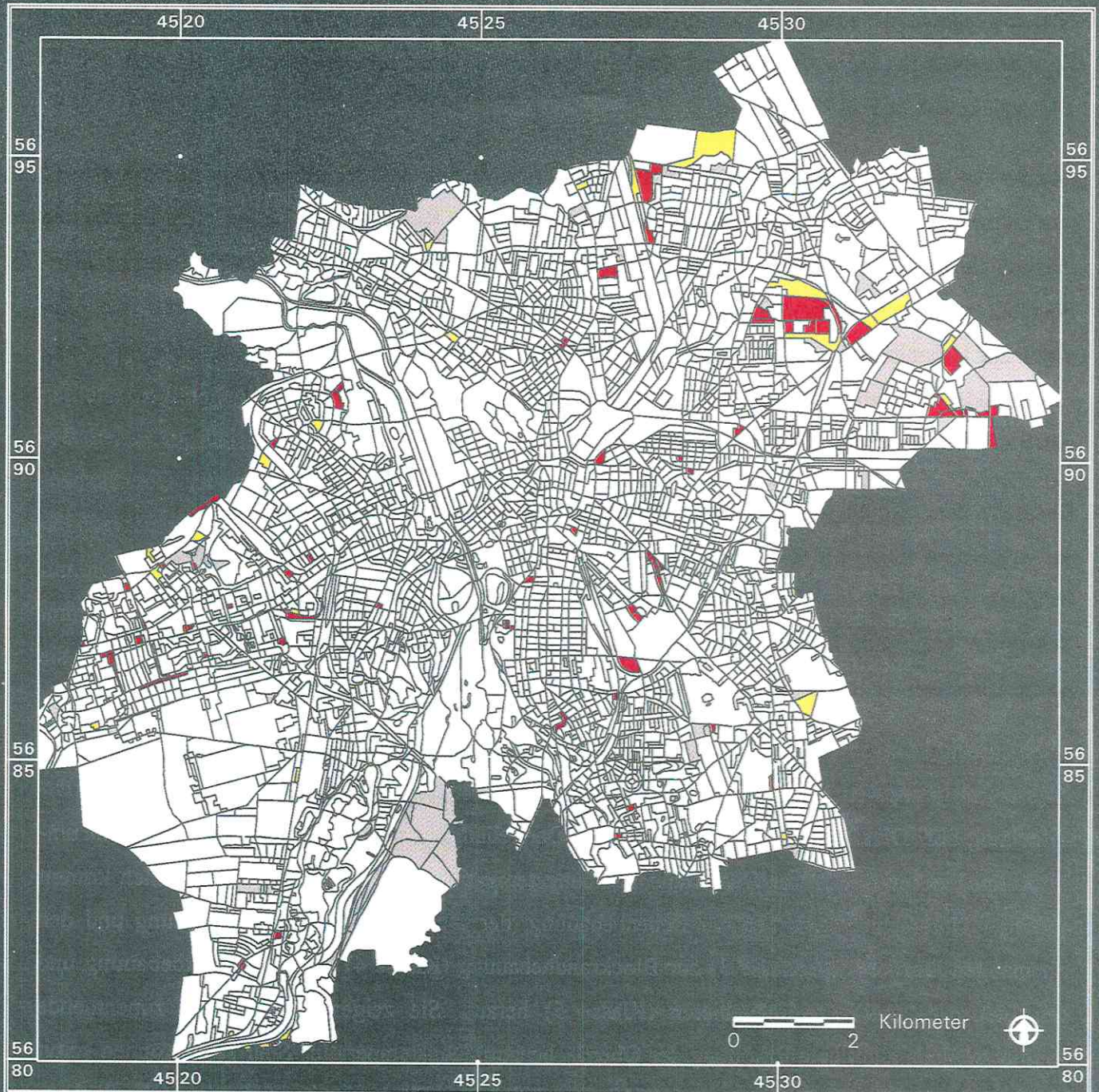


gefördert durch:  
Deutsche Agentur für  
Raumfahrtangelegenheiten  
(DARA GmbH)



# Mögliche Veränderungsflächen

innerhalb der Flächenabgrenzungen des Strukturtypes 'Brach- und Umwidmungsflächen'



- Stark signifikante 'Veränderung'
- Signifikante 'Veränderung'
- Keine signifikante 'Veränderung'
- Maskierte andere Strukturtypen



Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Digitale Bildverarbeitung und Kartographie:  
Dipl.-Geogr. V. Heinz u. Dipl.-Geogr. F. Spitzer



gefördert durch:  
Deutsche Agentur für  
Raumfahrtangelegenheiten  
(DARA GmbH)



einsetzbar für die allgemeine Charakterisierung der Überbauungsdichte der Strukturtypen. Bei in der Regel ähnlicher Überbauungsdichte in den Flächen gleichen Strukturtyps sind unterschiedliche Klassenzusammensetzungen auf die generalisierte Flächenabgrenzung sowie auf die unterschiedliche Zusammensetzung bzw. den unterschiedlichen Gebietscharakter zurückzuführen (vgl. Abb. 44, S. 149; vgl. HEINZ et al. 1997b).

Die Raster-Vektor-Überlagerung der Karte der Strukturtypen mit der Überbauungsdichte erlaubt eine schnellere und einfache Verifikation und Fortführung der Karte hinsichtlich der nicht-überbauten Flächen als die herkömmliche, alleinige Luftbildinterpretation. Insbesondere können die vorher nicht-überbauten Flächen auf eine später erfolgte Überbauung hin untersucht werden, wodurch sich Aussagen zur Urbanisierung mit einhergehender Veränderung der Oberflächenbedeckung ableiten lassen. Eine exakte, differenzierte Aussage zur aktuellen Flächennutzung kann jedoch nicht aus Satelliten-daten abgeleitet werden (HEINZ et al. 1997b).

Ebenfalls kann die Methode für die Fortführung von Flächennutzungsplänen, Realnutzungsplänen, etc. ergänzend eingesetzt werden. Unter dem Aspekt der starken Dynamik der Flächenabgrenzungen im Zuge fortschreitender Urbanisierungsprozesse ist zum Beispiel ihr temporärer Einsatz zwischen den in der Regel alle fünf bis zehn Jahre zu wiederholenden und sehr teuren Luftbildbefliegungen sowie deren zeit- und kostenintensive Auswertung denkbar (HEINZ et al. 1997b).

Insgesamt läßt die Darstellung somit auf eine gute Anwendbarkeit der Fernerkundungsmethode für verschiedene Fragestellungen mit unterschiedlichem Raumbezug schließen. Zusammenfassend läßt sich ableiten, daß die Methode der Berechnung der Überbauungsdichte nach SPITZER (1996a)

- auf die Stadt Leipzig übertragbar ist (s. Kap. 5.3.1).
- eine gute Abgrenzung der verschieden stark überbauten Bereiche ergibt (s. Kap. 5.3.1).
- eine Basis für weitere Raster-GIS-Verknüpfungen darstellt (s. Kap. 5.3.2).
- durch eine Verschneidung der Ergebnisse mit unterschiedlichen Raumeinheiten mit einer zusätzlichen ökologischen Komponente versehen wird (s. Kap. 5.3.2).
- durch eine Verschneidung der Ergebnisse mit unterschiedlichen Raumeinheiten die gegenseitige Unterscheidung ihrer Überbauungsdichten ermöglicht (s. Kap. 5.3.2).
- sich für den multitemporalen Einsatz zur Untersuchung und Lokalisierung der Urbanisierung eignet (s. Kap. 5.3.3).
- sich für die Kartenfortführung und -Verifikation im multitemporalen Vergleich eignet (s. Kap. 5.3.4).



## 5.4 Kantenanalyse

### 5.4.1 Kantenanalyse für SPOT-PAN

Im Ergebnis der Kantenanalyse nach WEICHELT (1997) sind vier Bereiche unterschiedlich dichter Bebauung dargestellt (s. Abb. 56<sup>101</sup>, S. 168). Die Klasse 'Keine Bebauung' umfaßt wesentliche Bereiche der Landwirtschaftlich genutzten Flächen, des Auenwaldes, der Grünflächen und der Verkehrsanlagen. Bei Überlagerung mit der Ausgangsdatenbasis der SPOT-PAN-Szene, die bereits visuell verschieden bebaute und nicht bebaute Bereiche unterscheiden läßt, wird eine teilweise fehlerhafte Abgrenzung zwischen den bebauten Flächen und den unbebauten Freiflächen deutlich. Während einerseits große Grün- und nicht bebaute Freiflächen richtig zugeordnet werden, bereiten vor allem die innerstädtischen Grünbereiche Probleme. Ihre Erkennbarkeit hängt von der Kantenstärke in der Umgebung dieser Flächen ab. So wird beispielsweise die inmitten von starken Grauwertsprüngen liegende, West-Ost-ausgerichtete Grünfläche des südlichen Innenstadtringes nicht erfaßt, während die flächenmäßig kleinere Fläche des Sternplatzes (südlich der Dresdner Straße) als nicht bebaute Fläche erkannt wird. Im Innenstadtring werden anstatt der Grünflächen kleine Flächen des Straßenringes fälschlicherweise dieser Klasse zugeordnet. Wie zusätzlich einige Flächen in Volkmarisdorf beweisen, weist die Methode auch deutlich stark bebaute Bereiche der Klasse 'Keine Bebauung' zu.

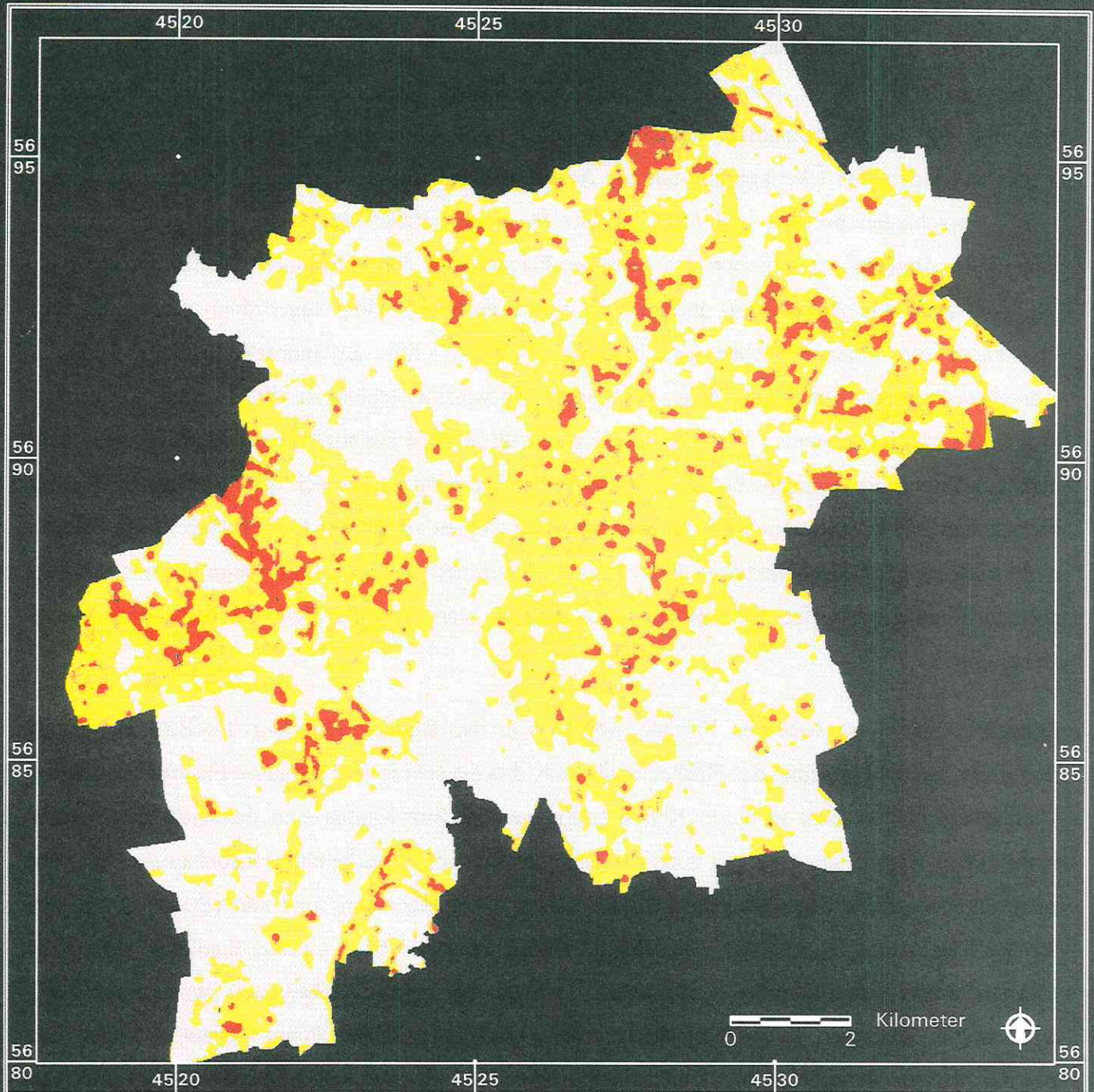
Die als bebaut ausgewiesenen Flächen werden von der Klassenzuweisung 'Lockere Bebauung' dominiert. Bei Überprüfung der Flächen ergibt sich, daß die sehr locker bebauten Flächen wie die der Kleingartenanlagen nicht in dieser Klasse erfaßt werden. Ihre Kanten sind demnach hierfür nicht stark genug ausgeprägt. Dies gilt auch für Teile der Ein- und Zweifamilienhausbebauung. Sie wird ohne erkennbare Unterschiede einerseits der Klasse 'Keine Bebauung' und andererseits der Klasse 'Lockere Bebauung' zugeordnet. Ein Beispiel hierfür ist der Ortsteil Grünau-Siedlung, wo solche Flächen direkt nebeneinander vorkommen. Der überwiegende Flächenanteil wird als lockere Bebauung ausgewiesen. In den Bereichen mit der zugeordneten Klasse 'Keine Bebauung' liegen aber ebenfalls Häuser ohne deutlichen Unterschied in ihrer Struktur oder ihrem Durchgrünungsgrad (vgl. z. B. Abb. 8, S. 47). Flächen ähnlicher Zusammensetzung befinden sich auch in der Kleinsiedlung Meusdorf im Südosten von Leipzig. Diese hingegen werden der Klasse 'Keine Bebauung' zugeordnet. Ein weiteres Beispiel hat die Interpretation für Schleußig ergeben. Weder die Kleingartenanlagen noch die nördlich angrenzende Siedlung mit ihrer Ein- und Zweifamilienhausbebauung, Villen und einigen Mehrfamilienhäusern werden der Klasse der Bebauung zugewiesen. Diese Abtrennung kann aber bereits im Rohbild erfolgen.

<sup>101</sup> Nächste Seite (S. 168) - Abb. 56: Ergebnis der Kantenanalyse nach WEICHELT (1997) - Basis SPOT-PAN 1994



# Bebauungsdichte der Stadt Leipzig

Ergebnis der Kantenganalyse nach Weichert für SPOT-PAN 1994



- Keine Bebauung
- Lockere Bebauung
- Mitteldichte Bebauung
- Dichte Bebauung



Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Digitale Bildverarbeitung und Kartographie:  
Dipl.-Geogr. V. Heinz (UFZ GmbH) u. Dr. H. Weichert (uve GmbH)



gefördert durch:  
Deutsche Agentur für  
Raumfahrtangelegenheiten  
(DARA GmbH)



Weitere Schwierigkeiten ergeben sich bei der Ausweisung verschieden dicht bebauter, innerstädtischer Bereiche. Die überwiegende Zuordnung zur Klasse 'Lockere Bebauung' läßt nur wenige, unterschiedlich stark bebaute Bereiche differenzieren, so daß auch zum Beispiel die bereits in der Klassifikation eines Landsat-TM-Bildes erkennbaren Entwicklungsachsen mit ihrer angrenzenden dichteren Bebauung hier nicht erkennbar sind (vgl. HEINZ 1996a, S. 12).

Die Klasse 'Mitteldichte Bebauung' ist ähnlich häufig vertreten, wie die der 'Dichten Bebauung' (vgl. Tab. 29, S. 175), verteilt sich aber über den gesamten Bildausschnitt mit sehr kleinen Flächenanteilen ohne deutliche Ballung. Diese hingegen tritt bei der Klasse 'Dichte Bebauung' auf. Die größeren homogenen Bereiche mit dieser Klassenzuweisung lassen sich im Vergleich mit der SPOT-PAN-Szene gut den Industrie- und Gewerbegebieten und den Brach- und Umwidmungsflächen zuordnen. Beispiele hierfür sind die Industriegebiete in Leipzig-West, die Alte Messe oder in Eutritzsch entlang der Zschortauer Straße sowie die Momentanen Bebauungsgebiete Prager Straße und Leipzig-Nordost sowie die Tagebaurandbereiche.

Insgesamt ergibt die Darstellung somit nur einen sehr groben Überblick. Andere, insbesondere multispektrale Methoden, wie die der Klassifikation (vgl. Kap. 3.4.3) oder der einfachen visuellen Interpretation (vgl. Kap. 3.4.1) bieten bei weniger Bearbeitungsaufwand mehr und detailliertere Informationen.

#### **5.4.2 Multitemporaler Vergleich von SPOT-PAN**

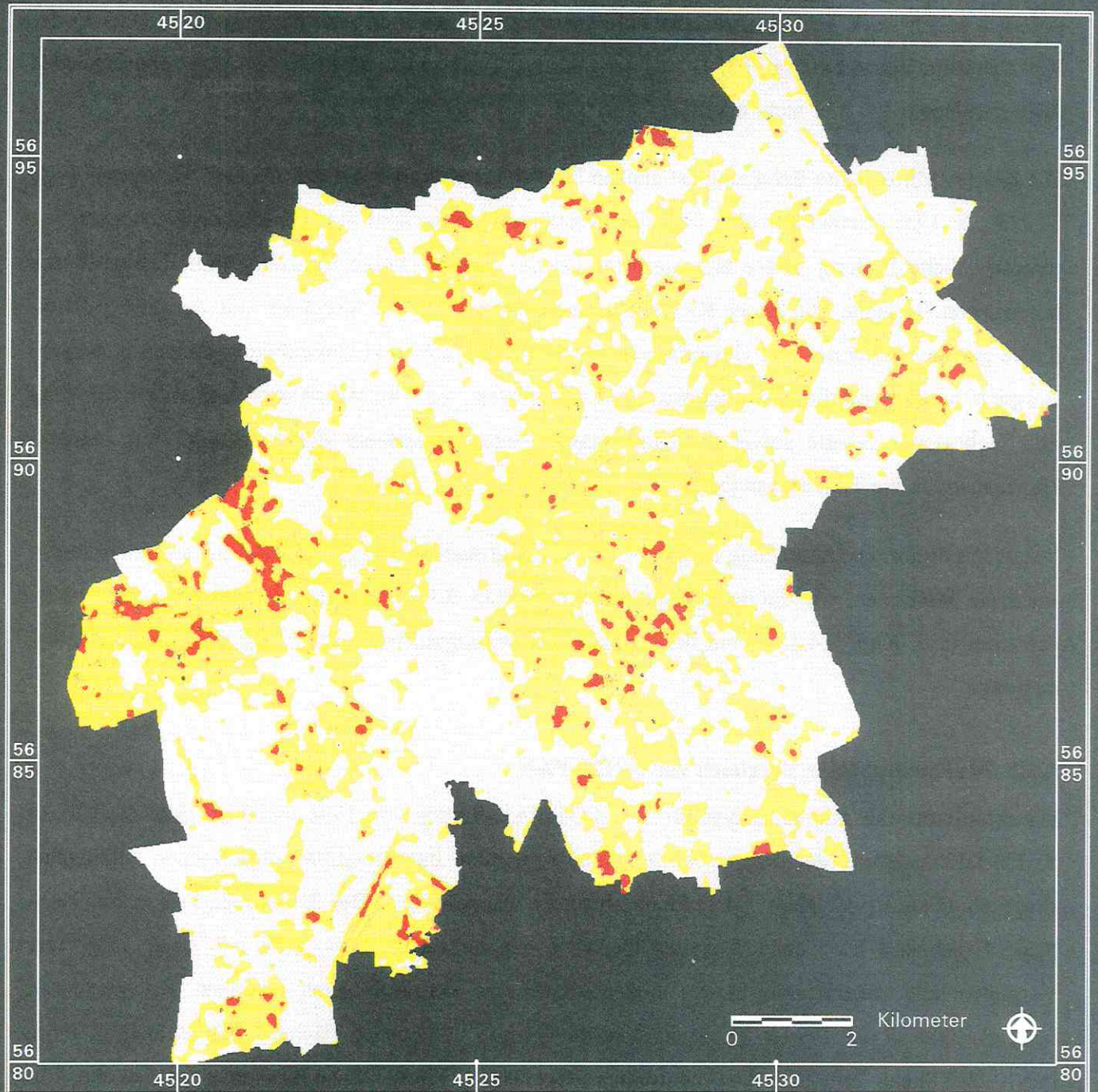
Die multitemporale Kantenanalyse für die SPOT-PAN-Szenen von 1994 und von 1992 (s. Tab. 6, S. 11) läßt aufgrund der bereits bei der monotemporalen Interpretation aufgetretenen zahlreichen Ungenauigkeiten (vgl. Kap. 5.4.1) keine absoluten Aussagen zu. Der Vollständigkeit halber seien beide Ergebnisse kurz anhand einiger Beispiele gegenübergestellt (s. Abb. 57<sup>102</sup>, S. 170). Der Vergleich läßt Unterschiede bereits in der Abgrenzung der Freiflächen erkennen. So erscheinen beispielsweise in der 1994er Szene die Verkehrsflächen als kleinere Flächen ohne Bebauung als in der 1992er Szene. Innerhalb des Auenwaldes ausgewiesene Flächen ohne Bebauung werden ebenfalls in der 1994er Szene verändert abgebildet. Ein weiteres Beispiel stellt die Autobahn im Nordosten dar, die im Gegensatz zu 1992 nicht erfaßt wird. Diese Abweichungen können auch bei den der Klasse 'Dichte Bebauung' zugewiesenen Flächen nachvollzogen werden. Nachweislich sich nicht veränderte Gebiete werden unterschiedlichen Klassen zugewiesen. Nur partiell sind die tatsächlich erfolgten Veränderungen in der Dichte der Bebauung als solche erkennbar. Beispiele hierfür sind das Gebiet der Neuen Messe im Norden, das Industriegebiet Nordost und das Paunsdorf-Zentrum im

<sup>102</sup> Nächste Seite (S. 170) - Abb. 57: Kantenanalyse nach Weichelt (1997) - Basis SPOT-PAN 1992



# Bebauungsdichte der Stadt Leipzig

Ergebnis der Kantenanalyse nach Weichert für SPOT-PAN 1992



- Keine Bebauung
- Lockere Bebauung
- Mitteldichte Bebauung
- Dichte Bebauung



Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Digitale Bildverarbeitung und Kartographie:  
Dipl.-Geogr. V. Heinz (UFZ GmbH) u. Dr. H. Weichert (uve GmbH)



gefördert durch:  
Deutsche Agentur für  
Raumfahrtangelegenheiten  
(DARA GmbH)



Osten der Stadt. Es sind zumeist sogenannte Momentane Bebauungsgebiete mit ersten, bereits fertiggestellten Gebäuden. Die Unterscheidung solcher Gebiete, in denen tatsächlich eine Veränderung stattgefunden hat, von denen ohne Oberflächenveränderung läßt sich nur mit fundiertem Hintergrundwissen und Referenzmaterialien feststellen. Um diese Aussagen tätigen zu können, eignen sich lediglich große Veränderungsgebiete, da sich bei diesen der Fehler in der Zuordnungswahrscheinlichkeit minimiert. Eine grobe Übersicht, bei denen die diskutierten Fehler zu berücksichtigen sind, gibt die Tab. 28 (s. S. 171). Demnach haben die Flächenanteile der Klassen 'Mitteldichte Bebauung' und 'Dichte Bebauung' auf Kosten der Klassen 'Keine Bebauung' und 'Lockere Bebauung' zugenommen. Die Werteunterschiede sind aber so gering, daß sie auch dem sogenannten 'Werte-rauschen' zugeordnet werden können.

*Tab. 28: Gegenüberstellung der prozentualen Klassenzuweisungen der Kantenganalyse für SPOT-PAN 1994 und 1992 (eigene Berechnung)*

| Klasse                | 1992     | 1994    |
|-----------------------|----------|---------|
| Keine Bebauung        | 55,95 %  | 53,30 % |
| Lockere Bebauung      | 37,71 %  | 36,09 % |
| Mitteldichte Bebauung | 03,68 %  | 05,14 % |
| Dichte Bebauung       | 02,66 %  | 05,45 % |
| Summe                 | 100,00 % | 99,98 % |

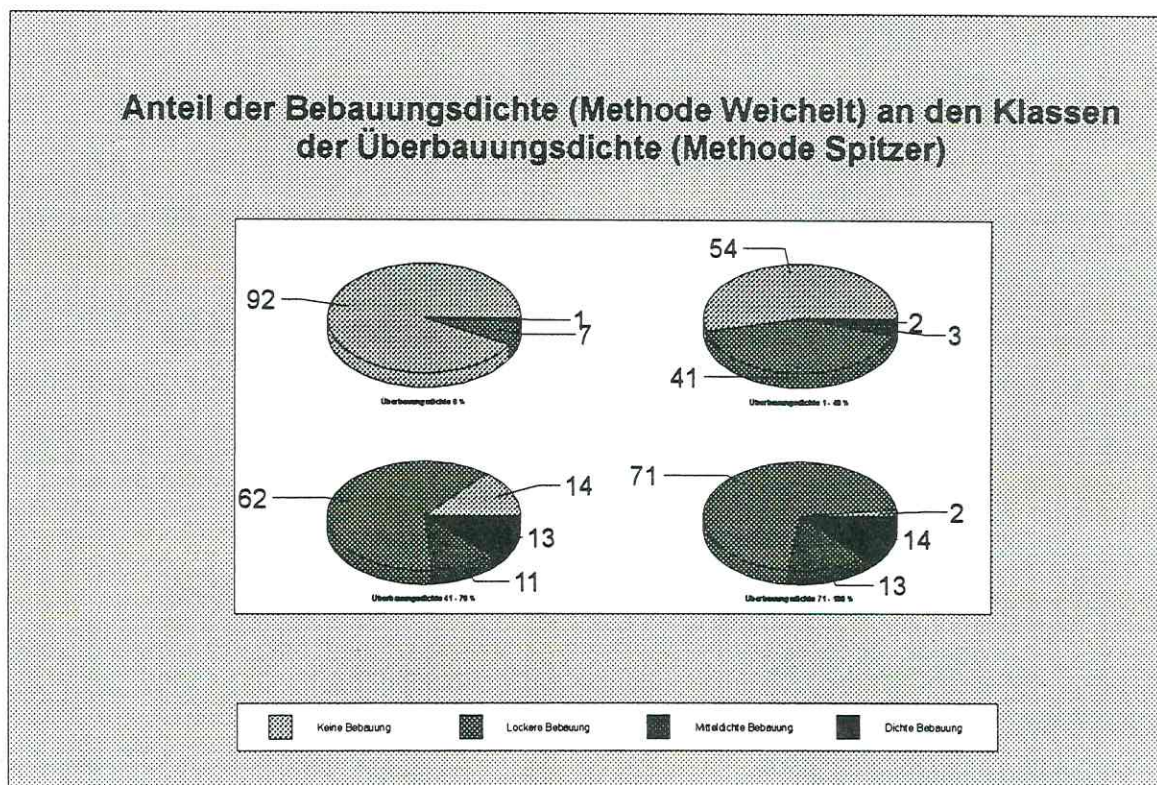
Insgesamt zeigt diese Gegenüberstellung die Schwierigkeit bei der Anwendung der Kantenganalyse für das Erkennen von Urbanisierungsprozessen. Die großen Fehlerbereiche weisen auf die Schwierigkeit bei der Übertragbarkeit der Methodik hin. Eine Anpassung wäre wünschenswert. Zudem können mit den anderen, in dieser Arbeit vorgestellten Methoden differenzierte und insbesondere genauere Ergebnisse erzielt werden. Deutlich zeigt sich auch, daß die rein monospektrale Analyse gegenüber der multispektralen Arbeit - auch bei Hinzunahme der Kanten- und Linieninformation - in den vorgestellten Auflösungen bei der Bearbeitung der Fragestellung unterlegen ist.

#### **5.4.3 Vergleich der Kantenganalyse mit der Überbauungsdichte für SPOT-XS**

Wie bereits die visuelle Interpretation (vgl. Kap. 5.4.1) vermuten läßt, ist die Methode nach WEICHELT (1997) auf Stadtgebiete nur bedingt übertragbar. Die Ergebnisse der Methode nach SPITZER (1996a) sind genauer, wie es der Vergleich dieser mit den Versiegelungsgraden der Ortsteile bewiesen hat (vgl. Kap. 5.3.2). Die Datenüberlagerung der Ergebnisse beider Methoden ist in der Abb. 58 (s. S. 172) entsprechend der in der Tab. 21 (s. S. 140) erfolgten Klassenabgleichung dargestellt. Die Verschneidung der Ergebnisse der Kantenganalyse mit denen der Berechnung der Überbauungsdichte zeigt - unter der Annahme des statistisch gesicherten Ergebnisses der Berechnung der Überbauungsdichte - die Probleme bei der Übertragung der Methodik der Kantenganalyse



auf ein innerstädtisches Gebiet. Während die als nicht-überbaut ausgewiesenen Flächen auch mit der Kantenganalyse hauptsächlich den Bereichen ohne Bebauung zugeordnet werden, ergibt die Kantenganalyse innerhalb der Fläche mit zugewiesener Klasse 'Überbauungsdichte 1 - 40 %' sowohl die Klassenzuweisung 'Keine Bebauung' als auch 'Lockere Bebauung'. Eine deutliche Trennung zwischen den tatsächlich bebauten und den nicht-überbauten Flächen wird mit der Kantenganalyse nicht erzielt. Diese ist es aber gerade, die für die vertiefende Analyse von mit Urbanisierungsprozessen einhergehenden Flächennutzungsveränderungen wichtig ist. Die Kreisdiagramme ergeben zwar einen deutlich abnehmenden Trend der Klasse 'Keine Bebauung' und einen leicht zunehmenden Trend der Klasse 'Dichte Bebauung' bei zunehmender Überbauungsdichte nach SPITZER (1996a), aber insbesondere bei den Klassen 'Lockere Bebauung' und 'Mitteldichte Bebauung' sind zwischen den Überbauungsdichten von 41 - 70 % und 71 - 100 % keine gravierenden Unterschiede feststellbar. Die Klasse 'Lockere Bebauung' dominiert sowohl bei den Flächen mit einer Überbauungsdichte von 41 - 70 % als auch bei denen mit einer Überbauungsdichte von 71 - 100 %. Im Gegensatz zu dieser Überbewertung der Klasse 'Lockere Bebauung' in Flächen mit mittlerer bis hoher Überbauungsdichte bleiben die Klassen 'Mitteldichte Bebauung' und 'Dichte Bebauung' unterrepräsentiert.



**Abb. 58: Vergleich der Methoden der Kantenganalyse (WEICHELT 1997) und der Berechnung der Überbauungsdichte (SPITZER 1996a) (eigener Entwurf)**



Die Überlagerung der Ergebnisse beider Methoden wird in der Abb. 59<sup>103</sup> (s. S. 174) visuell verdeutlicht. Die Darstellung der nicht-überbauten Flächen läßt die relativ gute Übereinstimmung zwischen beiden Methoden für diese Überbauungsdichte erkennen, wie es schon das Kreisdiagramm verdeutlicht hat (vgl. Abb. 58, S. 172). Lediglich die Tagebaurandbereiche im Süden und die Bereiche des unbedeckten Bodens im Norden von Leipzig werden bei der Kantenganalyse den Klassen 'Lockere Bebauung' und 'Mitteldichte Bebauung' bzw. 'Dichte Bebauung' zugeordnet. Zudem erhalten vor allem einige Randbereiche der als nicht-überbaut ausgewiesenen Flächen die Zuweisung zur Klasse 'Lockere Bebauung'. Diese geringe Abweichung kann sowohl auf Fehler bei der Berechnung der Überbauungsdichte (zum Beispiel durch ungenaue Bebauungsmasken) als auch auf solche bei der Kantenganalyse zurückzuführen sein.

In den Flächen mit einer berechneten Überbauungsdichte zwischen ein und 40 Prozent dominieren die Klassen 'Keine Bebauung' und 'Lockere Bebauung', obwohl die letztere nicht auftreten dürfte. Es liegen somit weitere Fehlzusweisungen vor. Die Bereiche der Ein- und Zweifamilienhausbebauung erscheinen als der Klasse 'Keine Bebauung' zugeordnet. Die hier vorhandenen Kanten sind zu gering, als daß sie bei der Kantenganalyse identifiziert werden würden. Eine Anpassung der Filtergrößen und das Setzen von Schwellwerten könnten diese Fehlzusweisung vermindern helfen. Die Klasse 'Lockere Bebauung' grenzt in der Regel direkt an die Bereiche mit der nächst höheren Klasse der Überbauungsdichte an.

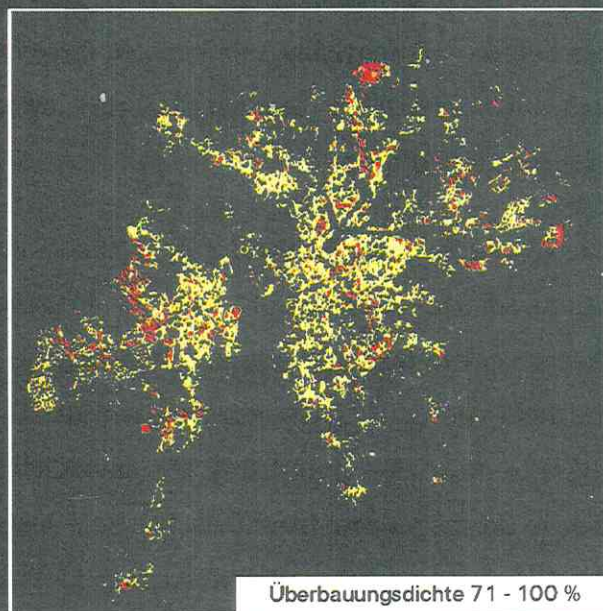
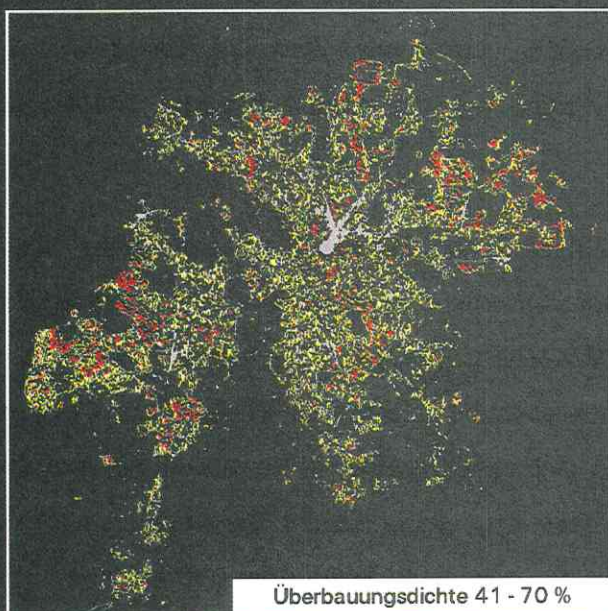
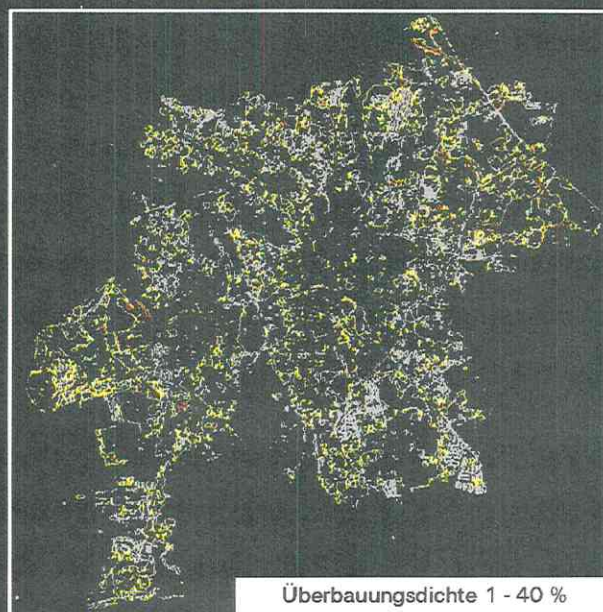
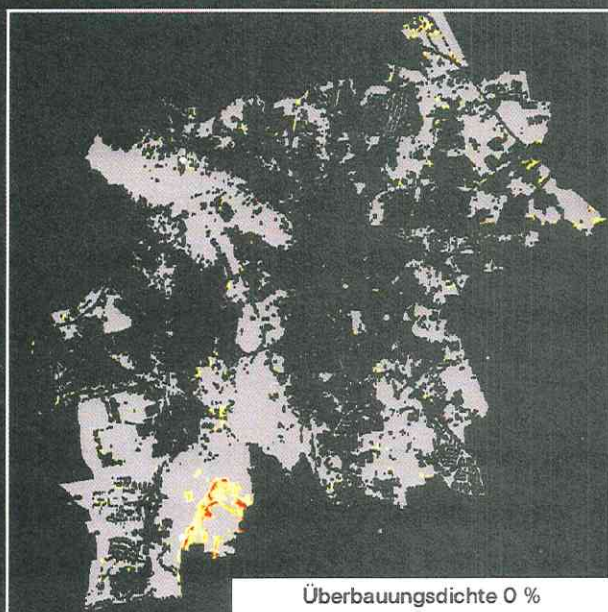
Die Klasse 'Lockere Bebauung' dominiert in der Abbildung für die Flächen mit zugewiesener Überbauungsdichte zwischen 41 und 70 Prozent. Dementsprechend werden fast zwei Drittel der Flächenanteile dieser Klasse mit der Methode nach WEICHELT (1997) unterbewertet. Die Bereiche der Industrie- und Gewerbegebiete und der Großblockbebauung erfahren innerhalb dieser Flächenabgrenzungen eine Zuordnung zur mitteldichten und dichten Bebauung. Während elf Prozent der Fläche als ausgewiesene mitteldichte Bebauung eine Übereinstimmung mit der Berechnungsmethode der Überbauungsdichte zeigen, werden 13 Prozent in den genannten Strukturen überbewertet. Die Abtrennung der oberen Verdichtungsklassen ist somit bei der Methode nach SPITZER (1996a) ebenfalls besser - wie auch die Abgrenzung der lockeren Bebauung und der nicht-überbauten Fläche. Der überbewertete Bereich in der Umgebung des Einkaufszentrums Paunsdorf im Osten der Stadt belegt diese Aussage zusätzlich. Hier liegen Flächen vor, die sowohl Parkplätze als auch Grünflächen enthalten. Der im Vergleich enthaltene Anteil der Klassen ohne Bebauung wird durch die entsprechende Zuordnung der Verkehrsflächen bedingt. Bezüglich der Problematik der Zuweisung

<sup>103</sup> Nächste Seite (S. 174) - Abb. 59: Darstellung der Ergebnisse der Kantenganalyse (Weichelt 1997) für vier Klassen der Überbauungsdichte (Spitzer 1996a)



# Ergebnisse der Kantenanalyse nach Weichert

innerhalb der Flächen der berechneten Überbauungsdichte nach Spitzer



-  Keine Bebauung
-  Lockere Bebauung
-  Mitteldichte Bebauung
-  Dichte Bebauung

0 5 Kilometer



Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Digitale Bildverarbeitung und Kartographie:  
Dipl.-Geogr. V. Heinz Dipl.-Geogr. F. Spitzer



gefördert durch:  
Deutsche Agentur für  
Raumfahrtangelegenheiten  
(DARA GmbH)



dieser zu einem Versiegelungsgrad sei auf das Kapitel 5.2.1 verwiesen. Die übrigen, dieser Klasse zugewiesenen Pixel nehmen einen zu vernachlässigenden Anteil ein.

In den der Überbauungsdichte 71 bis 100 Prozent zugeordneten Flächen erkennt die Kantenganalyse ebenfalls hauptsächlich die Klasse 'Lockere Bebauung'. Nur etwa je ein Achtel der Fläche werden den Klassen 'Mitteldichte Bebauung' und 'Dichte Bebauung' zugeordnet. Dies sind wiederum hauptsächlich die Flächen der Industrie- und Gewerbegebiete sowie die der Großblockbebauung. So wird zum Beispiel das Paunsdorf-Zentrum richtig der höchsten Klasse zugeordnet. Ableiten läßt sich auch hieraus, daß die Klasseneinteilungen der Kantenganalyse sich nicht für die Übertragung auf diesen Raum eignet. Zudem zeigt der hohe Anteil der Klasse 'Lockere Bebauung', daß eine neue Klasseneinteilung beim zugrundeliegenden Verfahren schwierig ist, da sich im Verhältnis der drei Bebauung ausweisenden Klassen zueinander in den Bereichen der mittleren und hohen Überbauungsdichte wenig ändert. Diese lassen sich offensichtlich so nicht unterscheiden. Lediglich die sehr starken Kanten können von den übrigen Kanten getrennt werden. Im Bereich mittelstarker Kanten hingegen erscheint eine Trennung nicht möglich.

Auch die Gegenüberstellung der Flächenanteile für die verschiedenen Klassen der vorgestellten Methoden für das Stadtgebiet von Leipzig (s. Tab. 29, S. 175) belegt deutlich die Abweichungen zwischen beiden. Die Methode nach WEICHELT (1997) weist mehr Flächen den Klassen 'Keine Bebauung' und 'Lockere Bebauung' zu, während die anderen beiden Klassen nur einen sehr geringen Anteil an der Gesamtfläche haben. Schon der Vergleich der nicht-überbauten Fläche verdeutlicht die Unterschiede zwischen den Methoden, da die Kantenganalyse im Vergleich zur Berechnung der Überbauungsdichte 13 % mehr Fläche der Klasse 'Keine Überbauung' zuweist.

**Tab. 29: Gegenüberstellung der Ergebnisse der Kantenganalyse und der Berechnung der Überbauungsdichte für das Stadtgebiet von Leipzig (eigene Berechnung)**

| Kantenganalyse<br>(Methode WEICHELT 1997) | Flächenanteil<br>Stadt Leipzig | Flächenanteil<br>Stadt Leipzig | Überbauungsdichte<br>(Methode SPITZER 1996a) |
|-------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------|
| Keine Bebauung                            | 53 %                           | 40 %                           | Nicht-überbaut                               |
| Lockere Bebauung                          | 36 %                           | 24 %                           | Überbauungsdichte 1 - 40 %                   |
| Mitteldichte Bebauung                     | 5 %                            | 18 %                           | Überbauungsdichte 41 - 70 %                  |
| Dichte Bebauung                           | 5 %                            | 17 %                           | Überbauungsdichte 71 - 100 %                 |

Es läßt sich ableiten, daß sich die für die städtischen Randbereiche Berlins entwickelte Methodik der Kantenganalyse nach WEICHELT (1997) nicht auf innerstädtische Bereiche und nicht auf Leipzig übertragen läßt. Die auf die Kantenganalyse nach WEICHELT (1997, S. 54) anzustrebende, aufbauende



Verschneidung mit multispektralen Fernerkundungsdaten zur Verbesserung des Ergebnisses ist aufgrund der beschriebenen Probleme nicht durchgeführt worden und auch nicht zu empfehlen. Eine Steuerung der A-priori-Wahrscheinlichkeiten bei der Multispektralklassifizierung durch das Ergebnis der Kantenganalyse erscheint für das Untersuchungsgebiet wenig erfolgversprechend. Zu beachten ist, daß dem obigen Vergleich einerseits monosensorales Bildmaterial (Kantenganalyse) und andererseits multisensorales Bildmaterial (Überbauungsdichte) zugrunde liegt. Da aber bereits die Zwischenergebnisse der Berechnung der Überbauungsdichte eine gute Trennung zwischen der nicht-überbauten und der überbauten Fläche ergeben haben, und zudem die Überbauungsmaske mit in den Vergleich einfließt (vergleiche das gute Ergebnis für die Überbauungsdichte 0 % - s. Abb. 58, S. 172), konnte der Vergleich so durchgeführt werden. Die Vorteile einer multispektralen Arbeit für die zugrundeliegende Fragestellung werden deutlich.

#### 5.4.4 Kantenganalyse für KVR-1000

Die Kantenganalyse wird zwecks der Überprüfung der möglichen Informationserhöhung bei höherer geometrischer Auflösung auf die hochauflösende KVR-1000-Szene angewandt. Eine erste Interpretation läßt ein gegenüber den SPOT-PAN-Szenen (vgl. Abb. 16, S. 65) verbessertes Ergebnis erkennen (s. Abb. 60<sup>104</sup>, S. 177). Aufgrund der hohen geometrischen Auflösung der KVR-1000-Szene weist die Kantenganalyse mehr Details aus als bei den SPOT-PAN-Szenen. So werden beispielsweise die Kanten zwischen ackerbaulich genutzten Feldern identifiziert, die durch eine nachträglich angewandte Bebauungsmaske eliminiert werden können. Kleinstrukturen - wie zum Beispiel die Brücken über dem Elsterbecken oder annähernde Strukturausprägungen in den bebauten Bereichen (z. B. Connewitz mit rechtwinklig orientierter Bebauung und angeordnetem Straßennetz) treten hervor. Ebenso erscheint die Zuordnung zu unterschiedlich dicht bebauten Bereichen deutlicher und zutreffender als bei den SPOT-PAN-Szenen (vgl. Kap. 5.4.1 u. 5.4.2).

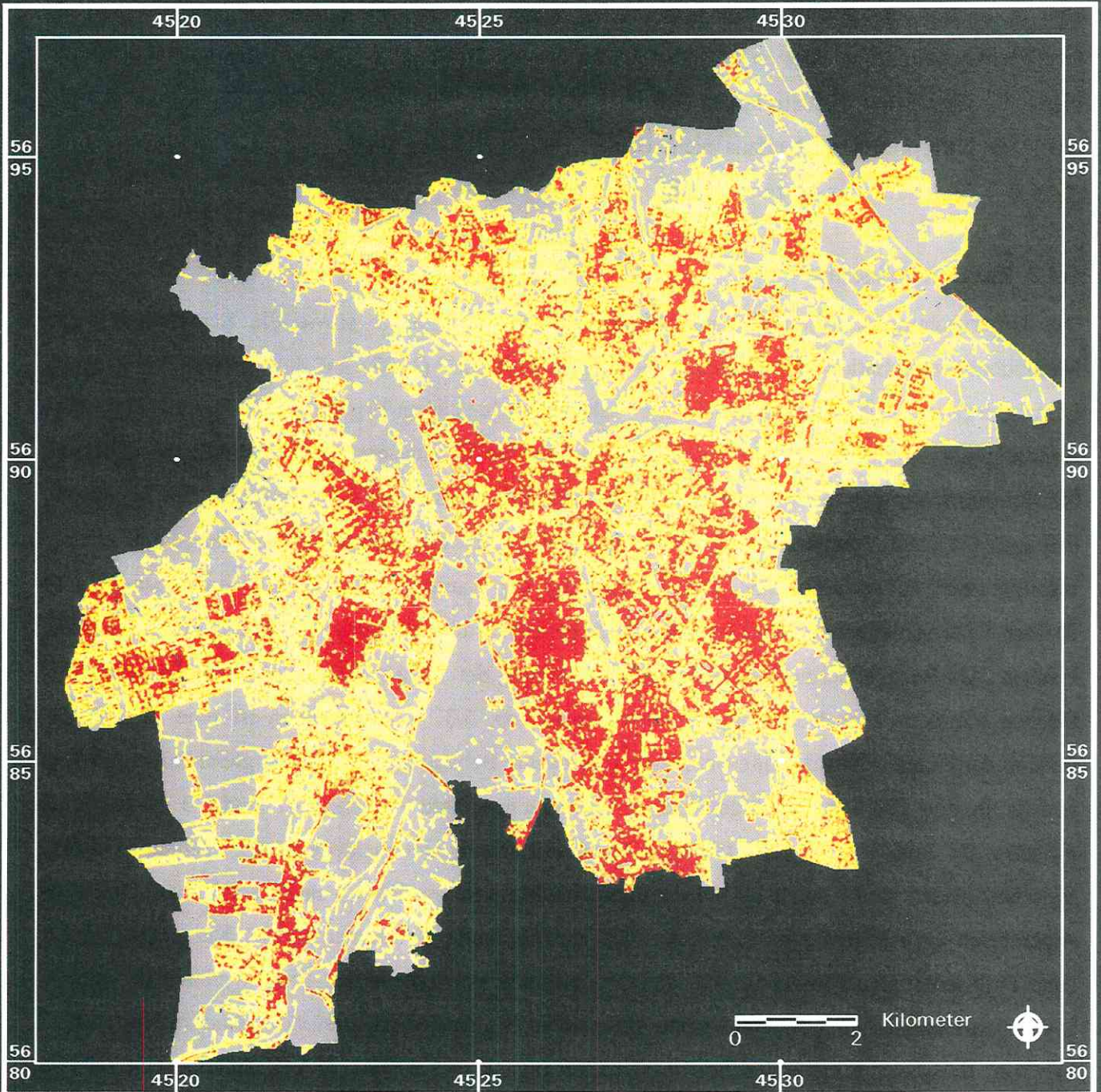
Die nähere Analyse ergibt bei dieser Anwendung ebenfalls Fehlzuweisungen. Während zum Beispiel der Bereich von Schleußig mit einer deutlichen und richtigen Trennung zwischen den dichter bebauten Flächen nördlich und den lockerer bebauten Flächen südlich des Schleußiger Weges wiedergegeben wird, fehlt die Unterscheidung zwischen der Ein- und Zweifamilienhausbebauung und den Kleingartensiedlungen in diesem Bereich. Letztere weisen laut der Berechnung sogar eine dichte Bebauung auf. Entsprechende Gegenerkundungen haben hierfür jedoch eine sehr lockere Bebauungsdichte ergeben. Ebenso wird die stark durchgrünte 'Vereinigte Siedlergemeinde Knautkleeberg' überwiegend der höchsten Klasse zugewiesen. Die westlich angrenzende Ackerfläche wird nicht als Freifläche erkannt. Ein weiteres Beispiel ist Grünau. Die Kantenganalyse läßt die Trennung zwischen

<sup>104</sup> Nächste Seite (S. 177) - Abb. 60: Kantenganalyse nach WEICHELT (1997) - Basis KVR-1000



# Bebauungsdichte der Stadt Leipzig

Ergebnis der Kantenanalyse nach Weichert für KVR-1000 1992



- Keine Bebauung
- Lockere Bebauung
- Mitteldichte Bebauung
- Dichte Bebauung



Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Digitale Bildverarbeitung und Kartographie:  
Dipl.-Geogr. V. Heinz (UFZ GmbH) u. Dr. H. Weichert (uve GmbH)



gefördert durch:  
Deutsche Agentur für  
Raumfahrtangelegenheiten  
(DARA GmbH)



Grünau-Siedlung und der sie im Norden, Westen und Osten umgebenden Großblockbebauung nicht zu. Zwar werden im östlichen Bereich die oberen beiden Klassen vermehrt zugewiesen, diese reichen aber in die Ein- und Zweifamilienhausbebauung hinein, während die dichter bebauten Flächen mit Großblockbebauung im Westen vermehrt die Zuweisung 'Lockere Bebauung' erfahren. Diese exemplarisch aufgeführten Defizite lassen sich über das gesamte Bild nachvollziehen, so daß es sich für eine Detailinterpretation ebenfalls nicht eignet. Die Information wird durch die verbesserte geometrische Auflösung nur begrenzt erhöht.

#### 5.4.5 Zusammenfassung

Die Untersuchungen haben den nur begrenzt möglichen Einsatz sowie die Schwierigkeit der Methodenübertragbarkeit der Kantenanalyse nach WEICHELT (1997) auf das Untersuchungsgebiet Leipzig ergeben. Aufgrund der zahlreichen, sehr unterschiedlichen Ergebnisse ist eine alleinige Verwendung der Methode für die Untersuchung von mit Urbanisierungsprozessen einhergehenden Flächenveränderungen nicht effektiv. Die verschiedenen, diskutierten Aspekte lassen den Schluß zu, daß auch mit einer Veränderung der Klassengrenzen und der Eingangsparameter keine detaillierteren Informationen zu erwarten sind. Die Abgrenzung der Kanten nach den zugrundeliegenden vier Klassen unterschiedlicher Bebauungsdichte zeigt Überschneidungen mit deutlich zuzuordnenden Flächen. Als Beispiel sei auf die weitläufige Zuweisung der Klasse 'Keine Bebauung' innerhalb der Flächen mit deutlicher Bebauung verwiesen (vgl. Kap. 5.3.1). Anzudenken ist eine Zusammenfassung der Klassen 'Mitteldichte Bebauung' und 'Dichte Bebauung', da sie in vergleichbaren Anteilen sowohl in den Flächen mit zugewiesener Überbauungsdichte zwischen 41 und 70 % als auch zwischen 71 und 100 % vertreten sind. Nachvollziehbare Unterschiede in der Bebauungsdichte zwischen diesen sind - auch bei Überprüfung mittels Referenzdaten - nicht erkennbar. Die oben angeführten Gründe bedingen zudem die nicht durchgeführte Verschneidung der Kantenanalyse mit einer multisensoralen Klassifizierung, die aber aufgrund der fehlerhaften Eingangsdaten der monospektralen Untersuchung ebenfalls keine akzeptablen Ergebnisse erwarten läßt. Andere Verfahren - wie zum Beispiel die hierarchische Klassifikation (vgl. HEINZ 1996a, S. 11), die Berechnung von Vegetationsindizes (vgl. NETZBAND et al. 1996 u. NETZBAND 1997) oder die reine visuelle Interpretation (vgl. HEINZ 1996a, S. 85) - lassen schon bei geringer geometrischer Auflösung mehr Details erkennen. Die gewünschte 'Mehrinformation' durch eine Erhöhung der geometrischen Auflösung sowie durch die Hinzunahme der Kanteninformation wird mit der Kantenanalyse bei der zugrundeliegenden Fragestellung im innerstädtischen Bereich nicht erzielt. Lediglich als zusätzlicher Datensatz für weitere Entscheidungsfindungen sowie für eine Gesamteinschätzung unterschiedlicher



Bereiche ist die Methode für den innerstädtischen Bereich bedingt geeignet. Zusammenfassen läßt sich somit, daß (s. Kap. 5.4.1 bis 5.4.4)

- die Methode der Kantenganalyse nach WEICHELT (1997) nicht auf den innerstädtischen Raum übertragen werden kann. Eine Methodenanpassung erscheint schwierig.
- die Methode der Kantenganalyse nach WEICHELT (1997) für die Untersuchung der mit Urbanisierungsprozessen einhergehenden Veränderung der Oberflächenbedeckung und der Ökologie nicht sinnvoll einsetzbar ist.
- aufgrund der aufgezeigten Fehlzuweisungen sich die Methode der Kantenganalyse nach WEICHELT (1997) nicht als Ausgangsbasis für eine weitere multispektrale Bearbeitung und / oder deren Verbesserung eignet.
- die Methode nach SPITZER (1996a) detailliertere Ergebnisse erzielt als die Methode der Kantenganalyse nach WEICHELT (1997).

## 5.5 Untersuchung der Wohnumgebung

Die folgenden Ausführungen sind größtenteils HEINZ et al. (1997a) entnommen.

### 5.5.1 Vegetationspotential

Die auf der wissensbasierten Klassifizierung des Normalized Difference Vegetation Index basierende Darstellung des Vegetationspotentials (s. Abb. 61<sup>105</sup>, S. 180) gibt die Dynamik der Vegetation bzw. in Abhängigkeit von der Phänologie auch den Durchgrünungsgrad wieder. Deutlich wird die schon bei der visuellen Interpretation ersichtliche Unterscheidung unterschiedlich stark durchgrünter Bereiche in Leipzig (s. HEINZ 1996a, S. 53). Allerdings erlaubt die rein visuelle Auswertung keine so genaue Differenzierung wie das NDVI-Bild von Leipzig mit zehn Klassen (vgl. Kap. 4.4). Wegen der zu erzielenden Übersichtlichkeit bei der Verschneidung der Daten zur Karte der Wohnumgebung sind nur drei Klassen wissensbasiert, in Anlehnung an die benötigte Klassenanzahl für die Wohnumgebung gebildet und auf eine weitere Differenzierung verzichtet worden.

Die stark durchgrünter Bereiche grenzen sich deutlich von ihrer Umgebung ab. Mit Hintergrundwissen lassen sich die Auenwälder (z. B. die Partheaue im Nordwesten der Stadt) erkennen. In die Klasse mit dem höchsten Durchgrünungsgrad fallen zudem einige Wiesen, Weiden und Ackerflächen, die sich vorwiegend im Süden von Leipzig befinden. Die stark verdichteten, innerstädtischen Bereiche, die Industrie- und Gewerbegebiete, Momentane Bebauungsgebiete und abgeerntete Felder haben den niedrigsten NDVI-Wert. Der mittlere NDVI-Wert wird den übrigen Flächen zugewiesen, zu denen neben den weniger stark verdichteten, bewohnten Randbereichen der Innenstadt mit dominanter Ein- und Zweifamilienhausbebauung und den Kleingartenanlagen auch die Bereiche innerhalb

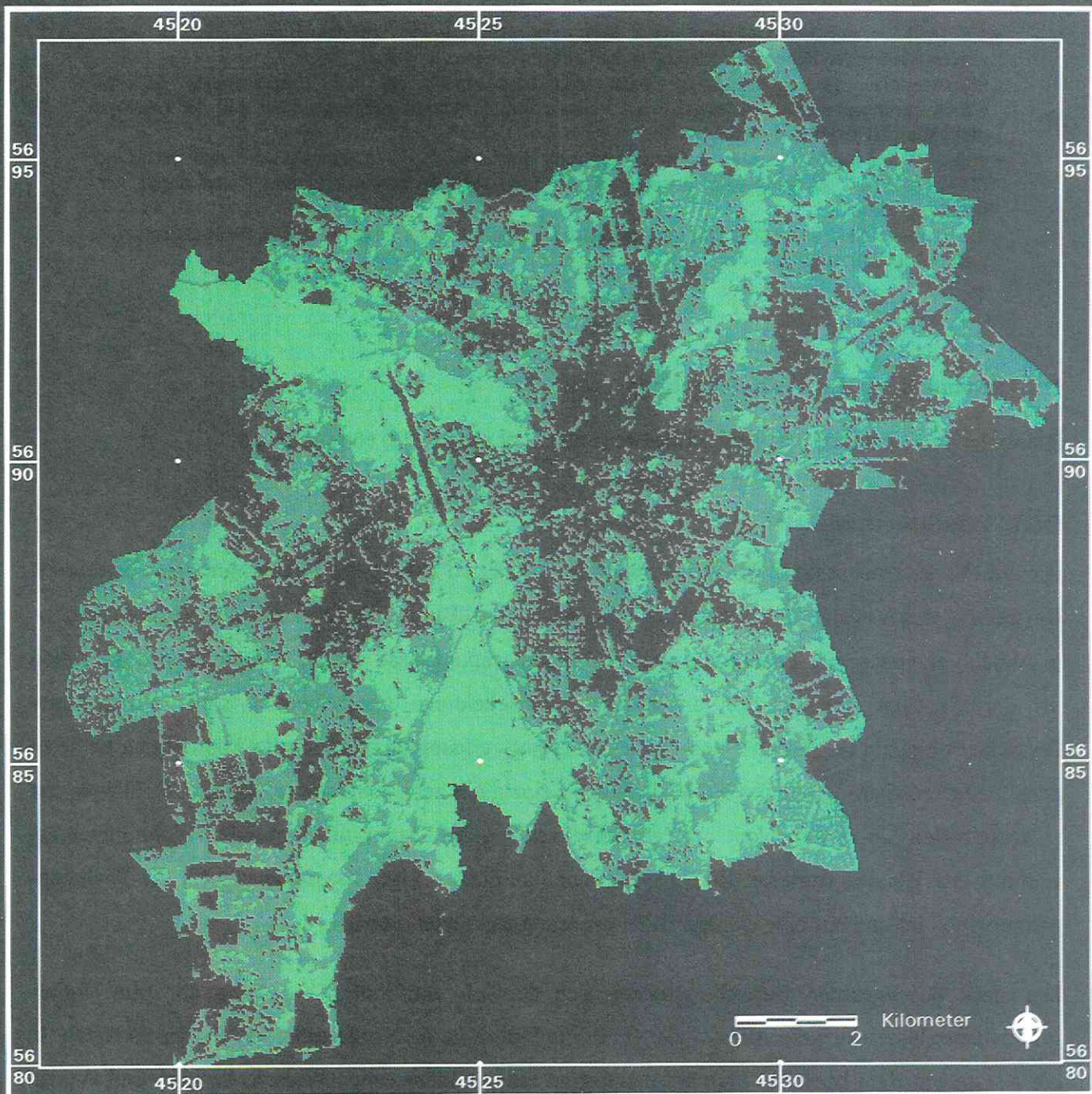
<sup>105</sup> Nächste Seite (S. 180) - Abb. 61: Vegetationspotential der Stadt Leipzig - Landsat-TM Juli 1994



# Vegetationspotential der Stadt Leipzig

Landsat-TM Juli 1994

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)



-  niedriger NDVI
-  mittlerer NDVI
-  hoher NDVI



Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Digitale Bildverarbeitung und Kartographie:  
Dipl.-Geogr. V. Heinz u. Eva Kneisel



gefördert durch:  
Deutsche Agentur für  
Raumfahrtangelegenheiten  
(DARA GmbH)



der Innenstadt mit zum Beispiel stark durchgrüntem Hinterhöfen sowie die Ackerflächen mit reifen Feldfrüchten zählen.

Aufgrund der starken Generalisierung lassen sich bestimmte Flächennutzungen auf der Grundlage des NDVI hier nicht zuordnen. Dies sei am Beispiel der Großblockbebauung verdeutlicht. Einerseits ist ein Unterschied zwischen der Großblockbebauung von Paunsdorf (im Osten der Stadt) und von Grünau (im Westen der Stadt) erkennbar, der sich in einem größeren prozentualen Flächenanteil an der niedrigsten Klasse in Paunsdorf äußert. Andererseits kommen vergleichbare Klassenzusammensetzungen beider auch bei anderen vorherrschenden Flächennutzungen vor. Die Abgrenzung von Grünau zur Ein- und Zweifamilienhausbebauung vom Ortsteil Grünau-Siedlung ist nur anhand der Klassenzusammensetzung des mittleren und hohen NDVI's beim Ortsteil Grünau-Siedlung im Vergleich zur Kombination aus niedrigem und mittlerem NDVI bei der Großblockbebauung zu erkennen.

Bezüglich der Untersuchung der Erkennbarkeit weiterer unterschiedlicher Flächennutzungen und der Vergleiche des Durchgrünungsgrades unterschiedlicher Ortsteile und Strukturtypen sei auf die Kapitel 3.5, 4.4.1 und 4.4.2 sowie auf HEINZ (1996a, S. 40) verwiesen.

Der Vollständigkeit halber ist in der Abb. 62<sup>106</sup> (s. S. 182) das Vegetationspotential auf der Basis von SPOT-XS in gleicher, wissensbasierter Einteilung in drei Klassen dargestellt. Deutlich wird wieder die höhere geometrische Auflösung, die sich in einer besseren Detailerkennbarkeit äußert. Insbesondere die bebauten Gebiete erhalten eine zusätzliche Information durch Linienstrukturen. Zur weiteren Interpretation sei hier auf die Kapitel 4.4.3 und 4.4.4 verwiesen.

### 5.5.2 Bevölkerungspotential

Die für die Erstellung der Wohnumgebung benötigten Daten des Bevölkerungspotentials sind in der Abb. 63<sup>107</sup> (s. S. 183) dargestellt. Die zugrundeliegende Klasseneinteilung wurde in Anlehnung an den Ortsteilkatalog und an die benötigte Klassenanzahl für die Wohnumgebung orientiert. Die niedrigste Klasse präsentiert die nicht oder nur sehr gering bewohnten Gebiete. Sie wird auch in den Bereichen ansonsten dicht besiedelter Ortsteile zugewiesen, in denen auf Grundlage der Bebauungsmaske keine Bebauung existiert. Die beiden anderen Klassen unterscheiden zwei unterschiedliche Bevölkerungsdichten. Eine weitere Unterteilung mußte infolge der benötigten Generalisierung unterbleiben, so daß zum Beispiel keine Unterscheidung der Gebiete mit Großwohnsiedlungen von denen mit Blockbebauung, Blockrandbebauung etc. möglich ist. Diese würde eine weitere Klasse

<sup>106</sup> Nächste Seite (S. 182) - Abb. 62: Vegetationspotential der Stadt Leipzig - SPOT-XS Juni 1994

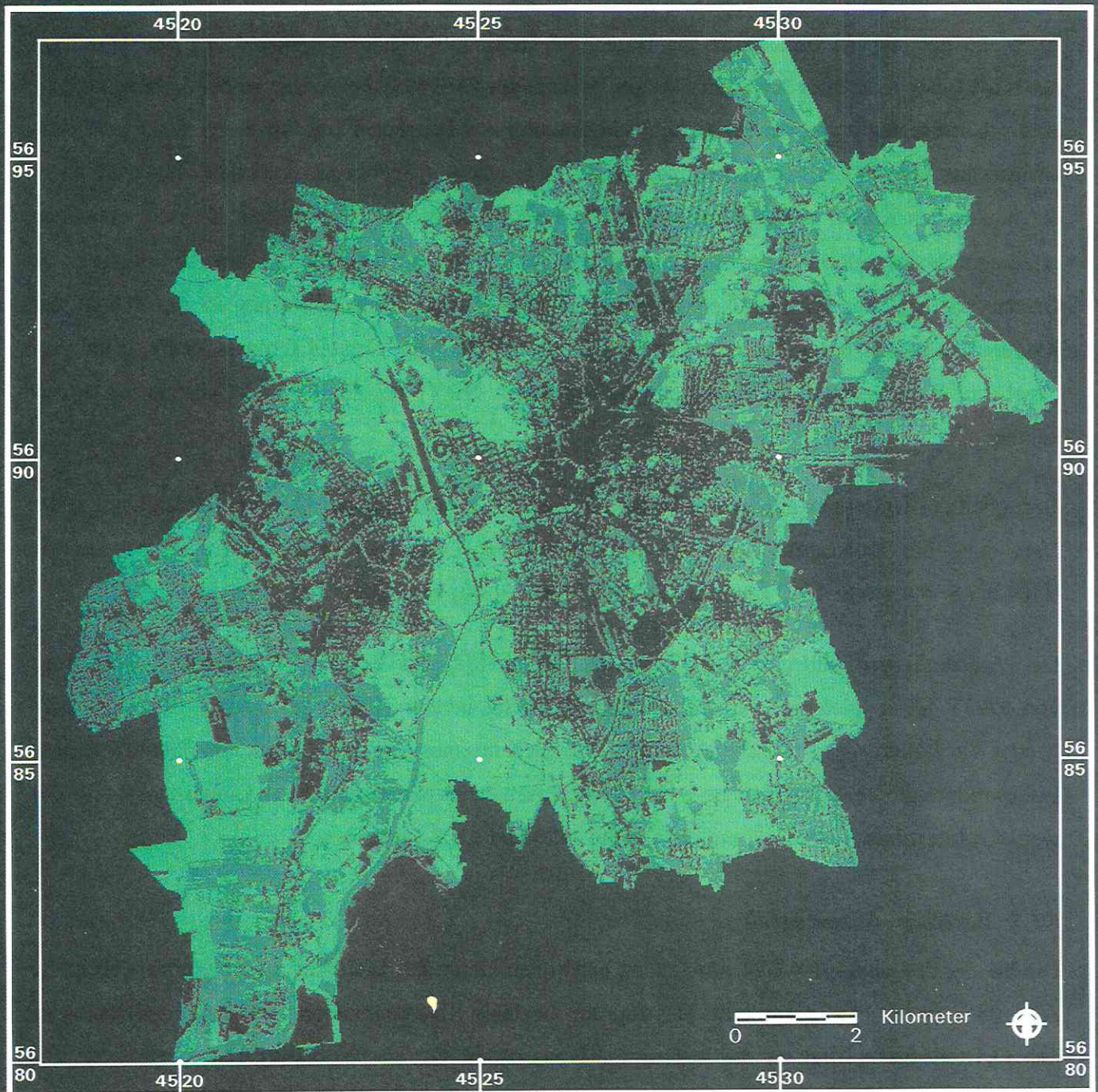
<sup>107</sup> Übernächste Seite (S. 183) - Abb. 63: Bevölkerungspotential der Stadt Leipzig - Landsat-TM Juli 1994



# Vegetationspotential der Stadt Leipzig

SPOT-XS Juni 1994

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)



-  niedriger NDVI
-  mittlerer NDVI
-  hoher NDVI



Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Digitale Bildverarbeitung und Kartographie:  
Dipl.-Geogr. V. Heinz u. Eva Kneisel



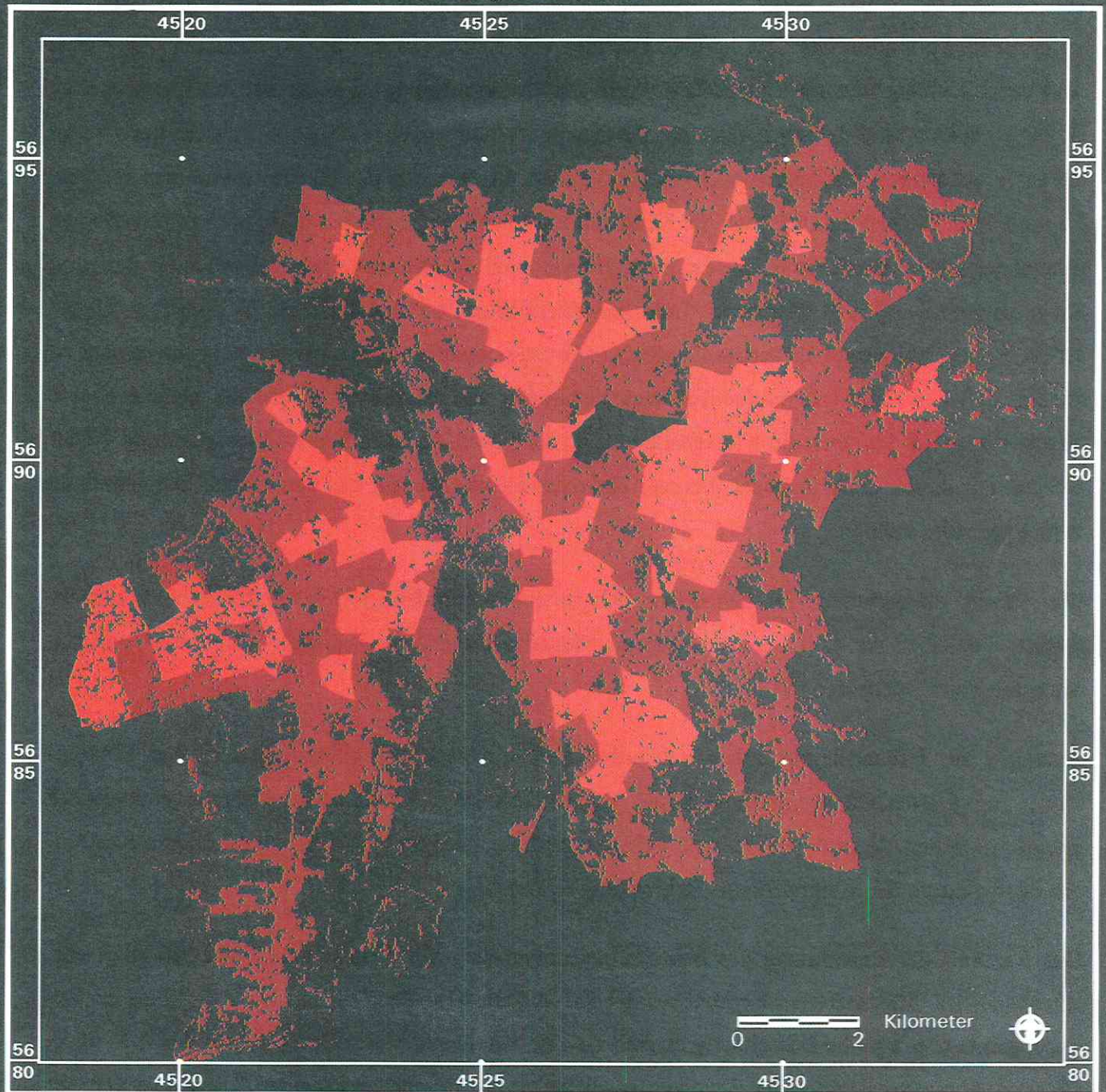
gefördert durch:  
Deutsche Agentur für  
Raumfahrtangelegenheiten  
(DARA GmbH)



# Bevölkerungspotential der Stadt Leipzig

Landsat-TM Juli 1994

Ortsteilkatalog 1995 (Daten von 1994)



- niedrige Bevölkerungsdichte ( $< 50 \text{ EW} / \text{km}^2$ )
- mittlere Bevölkerungsdichte ( $50 - 5000 \text{ EW} / \text{km}^2$ )
- hohe Bevölkerungsdichte ( $> 5000 \text{ EW} / \text{km}^2$ )



Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Digitale Bildverarbeitung und Kartographie:  
Dipl.-Geogr. V. Heinz u. Eva Kneisel



gefördert durch:  
Deutsche Agentur für  
Raumfahrtangelegenheiten  
(DARA GmbH)



sehr hoher Bevölkerungsdichte ermöglichen.

Die Gebiete mit einer starken Bevölkerungsdichte sind in ihrer Lage mit den Ergebnissen der visuellen Interpretation des Durchgrünungsgrades von HEINZ (1996a, S. 53) identisch. Allerdings wird durch Hinzunahme der statistischen Werte eine Unterscheidung zwischen den stark versiegelten Gewerbegebieten und den ebenfalls stark versiegelten Wohnbereichen möglich. Indirekt kann somit bei entsprechender Ortskenntnis auch ein Hinweis auf die Nutzung der Fläche entnommen werden. So wird zum Beispiel deutlich, daß die Kernstadt zwar stark versiegelt ist, in ihr aber relativ wenige Einwohner leben. Somit ist in diesem Bereich der Anteil an Bebauung mit gewerblicher Nutzung höher als zum Beispiel in Connewitz. Industriegebiete zeigen sich bei der Klassifikation (vgl. HEINZ 1996a, S. 16ff.) hingegen als bebaute Fläche und lassen sich nicht näher differenzieren. Interessant ist zudem, daß den beiden Großblockbebauungen Grünau und Paunsdorf jeweils die gleiche Klasse zugewiesen wird. Da aber die Klassenabgrenzung sehr grob ist, kann keine Unterscheidung beider Gebiete auf dieser Basis gemacht werden. Für diese Frage muß auf das statistische Datenmaterial zurückgegriffen werden.

Die 'kantig' abgegrenzten Flächen lassen sich auf die zugrundeliegenden Ortsteilgrenzen zurückführen. Sie zeigen die dem Datensatz zugrundeliegende Generalisierung, was es bei einer weiteren Interpretation zu beachten gilt.

Aussagen zur Urbanisierung lassen sich auf dieser Grundlage anhand unterschiedlicher Klassenzuweisung gleicher Flächen im temporalen Vergleich machen, die dann in die Wohnumgebungskarte integriert werden. Je nach gefordertem Feinheitsgrad der Analyse bedarf es einer höheren Klassenanzahl, die durch die Methode keine Begrenzung erfährt.

Das Ergebnis der Berechnung des Bevölkerungspotentials auf der Basis von SPOT-XS zeigt entsprechend des differenzierten Ergebnisses der Klassifikation (s. Kap. 3.4.3), deren Ergebnis als Bebauungsmaske mit in die Berechnung eingeflossen ist, ein detaillierteres Bild (s. Abb. 64<sup>108</sup>, S. 185). Die Zuordnung der Klassen der Bevölkerungsdichte zu den tatsächlich bebauten Klassen ist genauer und detaillierter als bei der Abb. 63 (s. S. 183) zu erkennen ist. Es kann abgeleitet werden, daß sich das Gesamtergebnis bei zunehmender Lagegenauigkeit der Bebauung, also bei erhöhter geometrischer Auflösung verbessert. Bezüglich der Erkennbarkeit einzelner Oberflächenstrukturen und des Differenzierens verschiedener Flächennutzungen aus der Darstellung der Bevölkerungsdichte gilt bei SPOT-XS das gleiche Ergebnis wie für die Basis Landsat-TM.

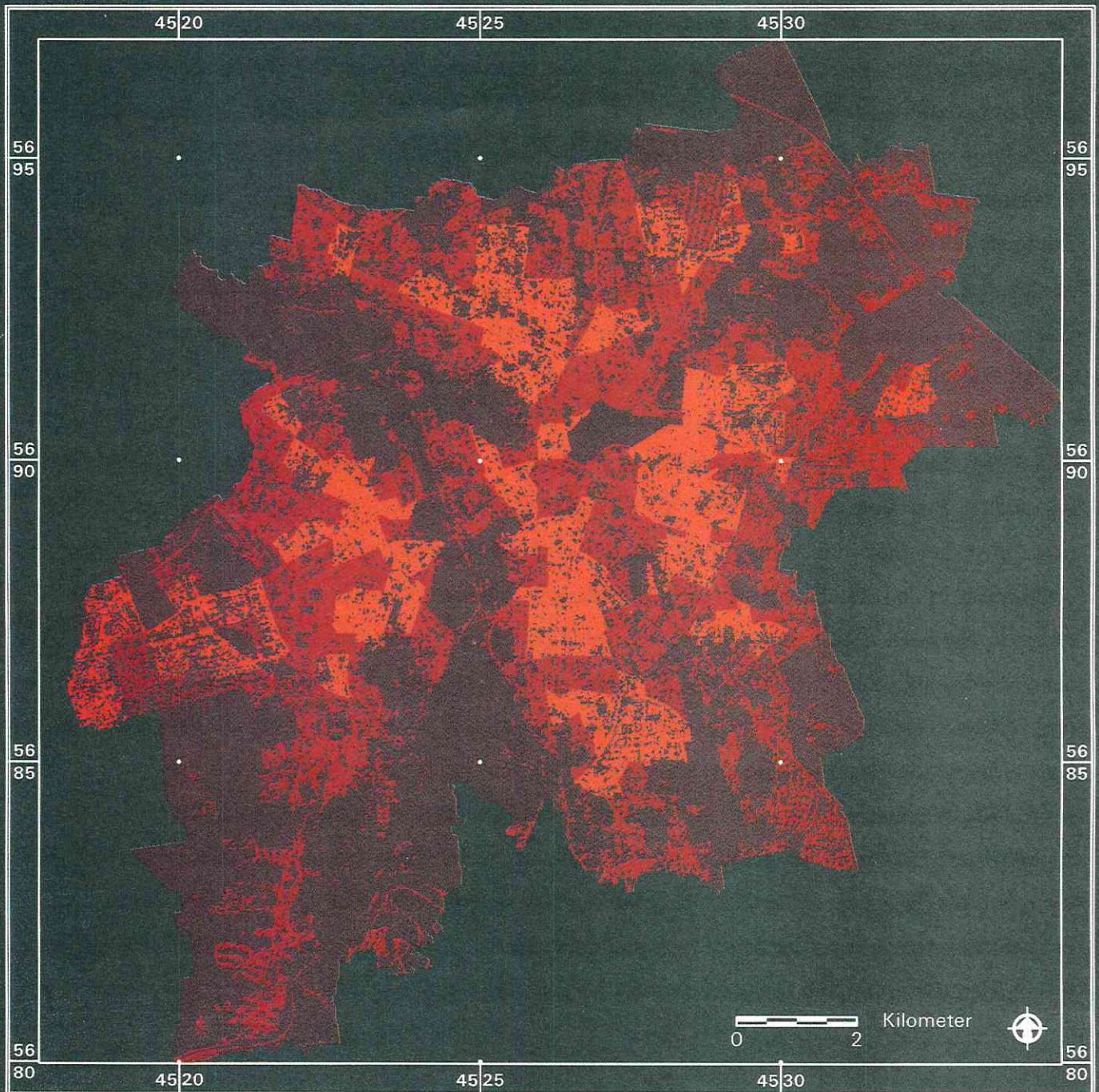
<sup>108</sup> Nächste Seite (S. 185) - Abb. 64: Bevölkerungspotential der Stadt Leipzig - SPOT-XS Juni 1994



# Bevölkerungspotential der Stadt Leipzig

SPOT-XS Juni 1994

Ortsteilkatalog 1995 (Daten von 1994)



- niedrige Bevölkerungsdichte (< 50 EW / km<sup>2</sup>)
- mittlere Bevölkerungsdichte (50 - 5000 EW / km<sup>2</sup>)
- hohe Bevölkerungsdichte (> 5000 EW / km<sup>2</sup>)



Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Digitale Bildverarbeitung und Kartographie:  
Dipl.-Geogr. V. Heinz u. Eva Kneisel



gefördert durch:  
Deutsche Agentur für  
Raumfahrtangelegenheiten  
(DARA GmbH)



### 5.5.3 Wohnumgebungspotential

Die Abb. 65<sup>109</sup> (s. S. 187) zeigt das Ergebnis der Berechnung des Wohnumgebungspotentials nach der in der Abb. 42 (s. S. 142) beschriebenen Methodik. Zum einen können aus der Abbildung die Informationen des Vegetationspotentials und zum anderen diejenigen des Bevölkerungspotentials getrennt entnommen werden (vgl. Abb. 61, S. 180 und Abb. 63, S. 183). Zudem läßt die überlagerte Darstellung mit neun Klassen die Wertung der Wohnumgebung zu (s. Tab. 30, S. 188). Die besten Kombinationen für die ökologische Komponente der Vegetation in Bezug zur Bevölkerung pro Fläche stellen die Klassen Zwei, Drei und Sechs dar. Die Klasse Drei ergibt sich aus der Kombination der Flächen, die ein niedriges Bevölkerungs- und ein hohes Vegetationspotential aufweisen. Es sind überwiegend diejenigen Flächen, die nicht versiegelt, stark durchgrünt und nicht bewohnt sind. Als solche erscheinen in der Abbildung insbesondere die Auengebiete (Waldflächen) und einige Acker- bzw. Wiesen- und Weideflächen. Aufgrund des späten Aufnahmetermins der Landsat-TM-Szene (Juli 1994) und der somit fortgeschrittenen Phänologie wird vielen Ackerflächen die Klasse Zwei zugeordnet. Ihre Vegetationsdynamik ist im Vergleich zum Auenwald geringer. Beide Klassen finden sich zudem innerhalb der überwiegend von Ein- und Zweifamilienhausbebauung geprägten Gebiete, die zumeist in den Randbereichen der städtischen Bebauung angesiedelt sind. Im Vergleich zu den übrigen bebauten Bereichen haben sie die ökologisch günstigere Klassenzuweisung und dementsprechend eine durchgrünere Wohnumgebung. Die schon bei der visuellen Interpretation (vgl. HEINZ 1996a, S. 48 - 53) ersichtlichen Linienstrukturen werden durch die Zuweisung zur Klasse Zwei oder Drei verdeutlicht. Ebenfalls ökologisch positiv zu bewerten ist die vergleichsweise seltene Klassenzuweisung zum hohen Vegetations- und mittleren Bevölkerungspotential (= Klasse 6) zu bewerten. Dominant ist die Klasse in den Gebieten der Ein- und Zweifamilienhausbebauung vertreten, wo die Klasse in der Nachbarschaft zur Klasse Drei vorkommt. Deutlich wird das Problem der genauen Abgrenzung der bewohnten und unbewohnten Bereiche in diesem Maßstab. Es werden auch Mischfälle erfaßt, die sowohl Bebauung als auch Durchgrünung aufweisen.

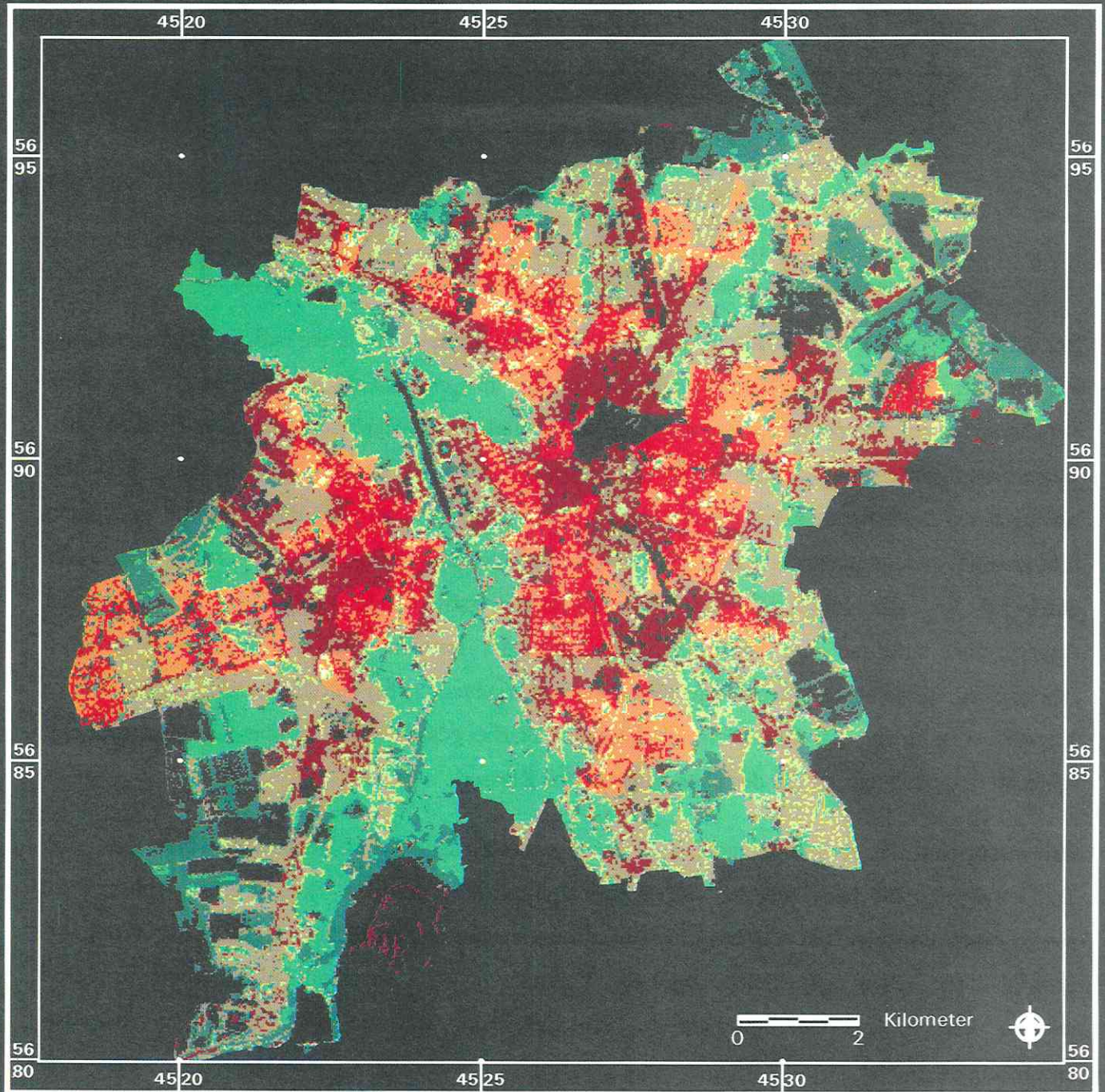
<sup>109</sup> Nächste Seite (S. 187) - Abb. 65: Wohnumgebung der Stadt Leipzig - Landsat-TM Juli 1994



# Die Wohnumgebung der Stadt Leipzig

Landsat-TM Juli 1994

Verschneidung von Bevölkerungspotential und Vegetationspotential



Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Digitale Bildverarbeitung und Kartographie:  
Dipl.-Geogr. V. Heinz u. E. Kneisel



gefördert durch:  
Deutsche Agentur für  
Raumfahrtangelegenheiten  
(DARA GmbH)



Tab. 30: Kombinationen des Wohnumgebungspotentials (eigener Entwurf)

| Klasse | Bevölkerungspotential | Vegetationspotential |
|--------|-----------------------|----------------------|
| 1      | niedrig               | niedrig              |
| 2      | niedrig               | mittel               |
| 3      | niedrig               | hoch                 |
| 4      | mittel                | niedrig              |
| 5      | mittel                | mittel               |
| 6      | mittel                | hoch                 |
| 7      | hoch                  | niedrig              |
| 8      | hoch                  | mittel               |
| 9      | hoch                  | hoch                 |

Bei der Interpretation der zur Klasse Eins zugeordneten Fläche muß die eigentliche Flächennutzung mit beachtet werden. Neben bereits abgeernteten oder im Reifestadium befindlichen Ackerflächen, Tagebaugebieten, Momentanen Bebauungsgebieten, Eisenbahnanlagen und weiteren Flächen ohne Vegetation werden mit dieser Klassenkombination auch die Wasserflächen erfaßt. Von der ökologischen Seite betrachtet bietet die Nähe zu Wasserflächen - je nach ihrer Qualität und ihrem Freizeitwert - eine zumeist positiv zu bewertende Wohnumgebung. Der Gleiskörper ist nicht durchgrünt und unbewohnt. Als Wohnumgebung ist er negativ einzuschätzen. Hingegen werden die Ackerflächen aufgrund ihres phänologischen Zustandes unterbewertet. Aufnahmen zu anderen Jahreszeiten würden ein höheres Vegetationspotential ergeben. Da bei der Untersuchung aber nur die Vegetation in Bezug zur Bevölkerungsdichte pro Fläche gesetzt wird, ist die Klassenzuordnung schlechter zu bewerten als die der oben aufgezählten Klassen.

Interessant sind die übrigen Gebiete, die den unbedeckten Boden der Bebauungsgebiete und zum Teil versiegelte Flächen innerhalb der Bebauungsstrukturen erfassen. Eine Wertung dieser zum momentanen Zeitpunkt ist durchaus negativ einzuschätzen. Der zeitliche Vergleich der Wohnumgebung in den Bebauungsgebieten würde eine Veränderung nach Abschluß der Bauarbeiten sichtbar machen. Die erfolgte Durchgrünung der Wohnumgebung wäre in einer veränderten Klassenzuweisung erkennbar.

Die Klassenkombinationen Vier, Fünf, Acht und Neun sind in ihrer ökologischen Wertigkeit vergleichbar zueinander. Die Klasse Neun tritt nur vereinzelt auf, da in der Regel der Versiegelungsgrad mit zunehmender Bevölkerungsdichte zu- und der Durchgrünungsgrad dementsprechend abnehmen. Einzelbereiche können somit auch als Fehler oder Mischpixel identifiziert werden. In die Klasse Vier mit einem niedrigen Vegetations- und einem mittleren Bevölkerungspotential fallen alle stark versiegelten Flächen, auf denen relativ wenige Leute wohnen. Charakteristisch für diese Klasse sind insbesondere die Industrie- und Gewerbegebiete, die von Wohnbebauung durchmischt oder umgeben



sind (z. B. der Nordosten des Hauptbahnhofes, das Gebiet entlang der Zschortauer Straße in Richtung Neue Messe, das Gebiet der Alten Messe, die Industriegebiete Plagwitz, Leipzig Lindenau und Leipzig-Industriegebiet West). Interessant ist in diesem Zusammenhang, daß durch die angewandte Methode die Industrie- und Gewerbegebiete von den Wohngebieten getrennt werden können. Insbesondere das Altindustriegebiet Plagwitz wird bei der Interpretation erkennbar, was die alleinige Betrachtung der Vegetationsdynamik nicht ermöglicht. Erst die Zusatzinformation der Bevölkerungsdichte liefert den entscheidenden Hinweis (vgl. Kap. 5.5.2, S. 181ff.).

Die Klassen Sieben und Acht kommen in der Regel in den dichter besiedelten Flächen von Leipzig vor, die von Zeilen-, Block- und Blockrandbebauung mit zum Teil durchgrüntem Innenhöfen dominiert werden. Sie liegen vorwiegend im Inneren der Stadt und werden von Flächen mit einer stärkeren Durchgrünung (entspricht einem höheren Vegetationspotential) umgeben. Auch der Großblockbebauung von Grünau wird diese Klasse zugewiesen. Interessant ist, daß beide Klassen überwiegend in der unmittelbaren Nachbarschaft zueinander auftreten. Diejenigen Flächen mit der Klassenzuweisung Sieben - hohes Bevölkerungs- und niedriges Vegetationspotential - sind in ihrer ökologischen Wertigkeit vom Gesichtspunkt der Durchgrünung her am schlechtesten einzuordnen. Ihre Dominanz liegt insbesondere in den Wohnbereichen der Innenstadt.<sup>110</sup> Auch diesmal läßt sich der unterschiedliche Charakter der Großblockbebauung in Paunsdorf und Grünau nachvollziehen (vgl. Abb. 44, S. 149). Aus dem ökologischen Gesichtspunkt heraus ist Paunsdorf schlechter als Grünau zu bewerten.

Die übrigen Bereiche, die sich an die stark verdichteten und stark bevölkerten Gebiete anschließen, werden der Klasse Fünf zugewiesen. Diese hat einen dominanten Anteil an der Fläche von Leipzig. Sie ist vorwiegend in den weniger dicht bevölkerten Gebieten mit dominanter Ein- und Zweifamilienhausbebauung und teilweise auch in den Kleingartenbereichen anzutreffen.

Die statistische Auswertung der Flächenanteile der einzelnen Klassen des Wohnumgebungspotentials auf der Basis von Landsat-TM zeigt - entsprechend der oben erfolgten visuellen Auswertung - die Dominanz der Klasse Fünf im Stadtgebiet Leipzig. Ebenfalls stark vertreten ist die Klassenkombination des niedrigen Bevölkerungs- und hohen Vegetationspotentials. Mit Ausnahme der Klassen Sechs und Neun sind die übrigen Klassen alle ähnlich stark vertreten. Eine hohe Bevölkerungsdichte bei gleichzeitig starker Durchgrünung kommt infolge der oben erwähnten Begründung am seltensten vor.

<sup>110</sup> Dazu zählen die Ortsteile Plagwitz, nördliches Schleußig, Gohlis-Süd (südlich der Bundesstraße 6 und zwischen der Virchow- und der Delitzscher Straße (Zentrum Nord)), das Zentrum Nord im Westen des Hauptbahnhofes, Neuschönefeld und Volkmarisdorf (Zentrum Ost), der Süden der Stadt (Leipzig-Süd, Teile von Connewitz und das Musikerviertel), der Norden von Stötteritz und Paunsdorf.



Eine differenziertere Zuordnung der einzelnen Klassen zu den verschiedenen bebauten Bereichen ergibt die z. B. aus den Kapiteln 3.4 und 3.5.2 bekannte Verknüpfung der Daten mit den Flächen der Strukturtypen (s. Tab. 31, S. 191). Dargestellt sind die Klassenanteile der Wohnumgebung der Flächen gleicher Strukturtypen mit ihrer mittleren ökologischen Wertigkeit. Da sich die Wohnumgebung aus der Berechnung der Vegetationsdynamik in Kombination zur Bebauung zusammensetzt, die beide mit in die Berechnung der Überbauungsdichte (vgl. Kap. 3.3) eingeflossen sind, spiegeln sich hier im wesentlichen die auf die Strukturtypen übertragenen Ergebnisse der Überbauungsdichte wider (vgl. Kap. 3.4). Während die nicht durch Bebauung geprägten Strukturtypen ihre deutlichen Maxima bei den Klassen des niedrigen Bevölkerungspotentials mit unterschiedlichem Vegetationspotential haben (Klassen 1, 2, 3), werden die bebauten Strukturtypen zumeist zur Klasse Fünf, Sieben oder Acht zugeordnet - die ökologische Wertigkeit ist entsprechend niedriger. In Ergänzung zur visuellen Interpretation der Wohnumgebung (vgl. Abb. 65, S. 187) ist der Tab. 31 (s. S. 191) zudem die Verteilung der Anteile der Wohnumgebungsklassen innerhalb der definierten Flächeneinheiten zu entnehmen, wodurch die Strukturtypen wiederum mit einer ökologischen Komponente versehen werden. Unterschiedlich bebaute Bereiche lassen sich direkt miteinander vergleichen. So ist die Wohnumgebung in Bereichen mit der Zuordnung zur Klasse Fünf von der Durchgrünung im Verhältnis zur Einwohnerdichte her besser einzuschätzen als die der Zuordnung Sieben oder Acht (vgl. oben).

Das Wohnen im Strukturtyp der Geschlossenen Blockbebauung ist aus der Sicht der hier untersuchten Wohnumgebung am ungünstigsten zu bewerten. Die Klasse Sieben verzeichnet ein deutliches Maximum. Mit einer jeweils besseren Wohnumgebung schließen sich die Strukturtypen der Geschlossenen Blockrandbebauung, der Großwohnsiedlungen, der Offenen Blockrandbebauung, der Offenen Blockbebauung und der Zeilenbebauung an. Die beiden zuletzt genannten Strukturtypen weisen bereits einen dominanten Anteil an der Klasse Fünf auf, haben allerdings nicht zu vernachlässigende Anteile an den Klassen Sieben (nur Offene Blockbebauung) und Acht. In den übrigen bebauten Strukturtypen ist die Bevölkerungsdichte geringer, so daß die Klassen Sieben bis Neun nur geringe Anteile - zumeist unter 10 % - aufweisen. Die stark versiegelten Industrie- und Gewerbeflächen, die Verkehrsflächen und die Kerngebiete haben mit einem dominanten Flächenanteil an der Klasse Vier eine deutlich andere statistische Verteilung der Flächenanteile als die übrigen genannten Strukturtypen. Keine Trennung ist hingegen zwischen der Ein- und Zweifamilienhausbebauung und den Kleingärten möglich. Der Grund ist in der groben Klassenabgrenzung der Bevölkerungszahl zu finden. Eine detailliertere Klassifizierung dieser würde ein ebenfalls detaillierteres Ergebnis in der Unterscheidbarkeit der Strukturtypen ergeben. Allerdings würde somit die Übersichtlichkeit für eine visuelle Interpretation gestört werden.



Tab. 31: Wohnumgebungspotential der Strukturtypen - Basis Landsat-TM (eigene Berechnung)

| Strukturtyp                                                 | Klassenanteile des Wohnumgebungspotentials [%] |       |       |       |       |       |       |       |      | Summe  |
|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|--------|
|                                                             | 1                                              | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9    |        |
| Offene Blockbebauung                                        | 1,49                                           | 0,79  | 0,99  | 19,21 | 24,73 | 2,53  | 24,56 | 24,10 | 1,59 | 100,00 |
| Geschlossene Blockbebauung                                  | 0,92                                           | 0,26  | 0,07  | 20,13 | 9,93  | 0,60  | 49,39 | 18,13 | 0,56 | 100,00 |
| Offene Blockrandbebauung                                    | 0,90                                           | 0,59  | 0,58  | 13,12 | 22,24 | 1,66  | 20,48 | 37,74 | 2,68 | 100,00 |
| Geschlossene Blockrandbebauung                              | 1,56                                           | 1,07  | 1,79  | 13,72 | 17,44 | 1,74  | 30,84 | 29,58 | 2,26 | 100,00 |
| Zeilenbebauung                                              | 0,59                                           | 3,39  | 1,85  | 7,62  | 39,32 | 4,55  | 8,11  | 31,84 | 2,73 | 100,00 |
| Großwohnsiedlungen und mehrgeschossiger Wohnungsbau ab 1960 | 6,18                                           | 8,91  | 0,93  | 5,32  | 9,71  | 0,32  | 25,72 | 42,04 | 0,86 | 100,00 |
| Ehemalige Dorfkerne                                         | 3,22                                           | 10,57 | 10,29 | 11,47 | 53,15 | 11,09 | 0,18  | 0,04  | 0,00 | 100,00 |
| Stark versiegelte Industrie- und Gewerbeflächen             | 19,48                                          | 3,03  | 1,23  | 37,23 | 20,94 | 1,55  | 11,59 | 4,62  | 0,34 | 100,00 |
| Gering versiegelte Industrie- und Gewerbeflächen            | 21,20                                          | 7,54  | 2,77  | 17,7  | 31,86 | 3,86  | 4,93  | 9,73  | 0,40 | 100,00 |
| Sport-/ Spiel-/ und Freizeitanlagen                         | 3,67                                           | 21,21 | 32,48 | 7,06  | 23,82 | 6,26  | 0,94  | 4,04  | 0,53 | 100,00 |
| Friedhöfe                                                   | 0,12                                           | 7,65  | 29,35 | 2,30  | 23,67 | 23,63 | 0,28  | 7,77  | 5,25 | 100,00 |
| Öffentliche Einrichtungen                                   | 9,51                                           | 11,44 | 5,95  | 20,87 | 29,33 | 4,72  | 7,52  | 9,80  | 0,86 | 100,00 |
| Einkaufszentren                                             | 89,17                                          | 0,45  | 0,00  | 10,37 | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 100,00 |
| Kleingartenanlagen                                          | 0,82                                           | 4,01  | 8,32  | 2,29  | 62,67 | 10,94 | 0,56  | 8,77  | 1,60 | 100,00 |
| Verkehrsflächen                                             | 19,64                                          | 3,88  | 1,29  | 30,68 | 18,01 | 2,25  | 13,38 | 10,55 | 0,32 | 100,00 |
| Park- und Grünanlagen                                       | 1,72                                           | 13,98 | 40,83 | 3,54  | 19,40 | 9,40  | 2,61  | 7,24  | 1,29 | 100,00 |
| Kerngebiete                                                 | 3,27                                           | 0,10  | 0,00  | 72,10 | 7,69  | 0,20  | 12,82 | 3,82  | 0,00 | 100,00 |
| Villen                                                      | 0,58                                           | 6,29  | 18,84 | 4,39  | 31,80 | 11,69 | 4,41  | 18,45 | 3,55 | 100,00 |
| Ein- und Zweifamilienhausbebauung                           | 0,79                                           | 4,31  | 4,56  | 3,08  | 64,42 | 11,55 | 0,78  | 9,41  | 1,10 | 100,00 |
| Brach- und Umwidmungsflächen                                | 19,78                                          | 35,64 | 23,46 | 2,93  | 13,47 | 1,99  | 0,87  | 1,72  | 0,14 | 100,00 |
| Landwirtschaftlich genutzte Flächen                         | 30,12                                          | 36,44 | 20,06 | 1,58  | 10,02 | 1,53  | 0,03  | 0,19  | 0,04 | 100,00 |
| Technische Ver- und Entsorgungsflächen                      | 10,33                                          | 17,68 | 15,79 | 6,09  | 28,36 | 8,52  | 3,55  | 8,65  | 1,03 | 100,00 |
| Aufschüttungs-, Abgrabungs- und Entsorgungsflächen          | 61,98                                          | 7,64  | 12,72 | 7,75  | 6,48  | 3,44  | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 100,00 |
| Waldflächen                                                 | 0,42                                           | 3,43  | 86,95 | 0,50  | 5,34  | 2,72  | 0,06  | 0,40  | 0,18 | 100,00 |
| Wasserflächen                                               | 64,09                                          | 14,52 | 7,69  | 5,81  | 6,72  | 1,15  | 0,00  | 0,01  | 0,00 | 100,00 |

Bei dieser allgemeinen Bewertung werden auch die Untersuchungen der Nachbarschaftsverhältnisse und der absoluten Lage innerhalb eines betrachteten Strukturtypes nicht mit einbezogen. Dies würde die komplexe, visuelle Interpretation der Karte der Wohnumgebung mit einer überlagerten Karte der Grenzen der Strukturtypen ermöglichen.



Veränderungen der Bevölkerungsdichte und des Durchgrünungsgrades unter temporalen Gesichtspunkten im Hinblick auf Urbanisierungsprozesse lassen sich mit Hilfe dieser Methode insbesondere durch die Analyse unterschiedlich zugeordneter Klassen der Wohnumgebung erkennen. Da auch diese Untersuchungen - wie die Methodik zur Berechnung der Überbauungsdichte (vgl. Kap. 3.3) - eine gute Trennbarkeit zwischen den bebauten und den nicht bebauten Flächen sowie eine Differenzierung zwischen den bebauten Flächen zulässt, können Veränderungen der Oberflächenbedeckung im Zuge von Urbanisierungsprozessen erkannt werden. Dies betrifft insbesondere die Veränderungen von vorher nicht bebauten Flächen zu nun bebauten Flächen sowie auch die vorher bebauten und nun nicht bebauten Flächen (also Neubau und Abriß von Häusern). Bei einem Neubau würde die Klassenzuweisung von vorher Eins, Zwei oder Drei in Fünf, Sieben oder Acht wechseln, da dies die häufigsten Klassen bei der Einordnung der Bebauung sind. Bei einem Abriß von Häusern, einer Entdichtung und durchgeführten Durchgrünung von Gebieten würden die Klassenzuordnungen dementsprechend in die andere Richtung wechseln (s. Tab. 35, S. 201). Somit können auch Veränderungen innerhalb der bebauten Gebiete anhand der flächenhaften Klassenverteilung erkannt werden. Diese Richtlinie kann insbesondere auf die bebauten Gebiete mit Ausnahme der stark versiegelten Industrie- und Gewerbegebiete sowie der Einkaufszentren übertragen werden. Bei den stark versiegelten Industrie- und Gewerbegebieten kann neben der Zuweisung zur Klasse Fünf mit einer höheren Wahrscheinlichkeit die zur Klasse Vier erfolgen. Für die Einkaufszentren kann keine Anweisung gegeben werden, wie sich ein entsprechender Neubau in einer veränderten Klassenzuweisung im temporalen Vergleich äußert, da sich das im Beispiel erfaßte einzige Einkaufszentrum (Paunsdorf Center) zum Aufnahmezeitpunkt in der Endphase seiner Entstehung befand. Dementsprechend hat diese Fläche die Zuordnung zur Klasse Eins mit niedriger Bevölkerungsdichte und einer geringen Durchgrünung erhalten. Da auch die unbewachsenen Acker-, die Wasser- und die Brach- und Umwidmungsflächen in dieser Klasse hohe Flächenanteile zeigen, lassen sich mit dieser Methode alleine zudem keine momentanen Bebauungsgebiete erkennen.

Eine weitere Kombinationsmöglichkeit für die Einschätzung der ökologischen Wertigkeit von Leipzig bietet die Kombination der Wohnumgebung mit den Statistischen Bezirken. Die Überlagerung beider Datensätze (vgl. Kapitel 5.2.3) ergibt die statistische Verteilung der einzelnen Klassen innerhalb der Flächen der Statistischen Bezirke. Die am häufigsten auftretende Klasse verdeutlicht die dominante Wohnumgebung innerhalb der abgegrenzten Flächeneinheit. Mittelwerte können in diesem speziellen Fall nicht betrachtet werden, da die Klasseneinteilung zweidimensional und nicht hierarchisch ist. Abzuleiten ist aus der Tab. 32 (s. S. 194) im wesentlichen die Häufung der Verteilungen innerhalb der Klassen Drei, Fünf, Sieben und Acht, wie sie auch der Abb. 66 (s. S. 195) zu entnehmen ist. Hier kommt nun der genaue Flächenbezug innerhalb der Einheiten der Statistischen



Bezirke hinzu. Das Beispiel Grünau selektierend läßt sich deutlich der Unterschied zwischen den von Großblockbebauung dominierten Bereichen Grünau-Ost und Grünau-Mitte und dem durch Ein- und Zweifamilienhausbebauung geprägten Ortsteil Grünau-Siedlung erkennen. Während letzterer in die Klasse Fünf fällt, wird der Großblockbebauung die ökologisch schlechter zu bewertende Klasse Acht zugewiesen.

Aufgrund der häufigsten Klassenzuweisung (s. Tab. 32, S. 194) lassen sich relative Aussagen zur Wohnumgebung innerhalb der und zwischen den Statistischen Bezirken machen. So sind aufgrund der Verteilung der Verhältnisse der Bevölkerungsdichte zum Durchgrünungsgrad die Statistischen Bezirke mit einem dominanten Flächenanteil an der Klasse Drei am besten zu bewerten (zum Beispiel Wahren und Leutzsch), wobei jedoch die Verteilung der übrigen Klassen zu beachten ist. Probstheida und Kleinzschocher hingegen haben ebenfalls ihren häufigsten Anteil an der Klasse Drei, verzeichnen aber auch nicht zu vernachlässigende Anteile an der Klasse Fünf. Die Statistischen Bezirke mit der dominanten Klassenzuweisung Zwei befinden sich zumeist in den Stadtrandbereichen. Beispiele hierfür sind Thekla und Knauthain-Hartmannsdorf. Beim Zentrum Nord-Ost spiegelt sich der große Flächenanteil der Eisenbahnanlage in der fast 60-prozentigen Flächenzuweisung zur Klasse Eins wieder. Das Zentrum ist relativ gut zu beurteilen, da zwei Drittel der Fläche der Klasse Vier zugewiesen werden. Deutlich zur ökologisch positiv zu bewertenden Klasse Fünf können die Statistischen Bezirke Sellerhausen-Stünz, Meusdorf, Grünau-Siedlung und Wahren mit jeweils über 50 % Flächenanteil gezählt werden. Sehr schlecht in der Beurteilung fallen hingegen die Statistischen Bezirke Neustadt-Neuschönefeld, Volkmarisdorf und Gohlis-Mitte aus (Klasse Sieben oder Acht).

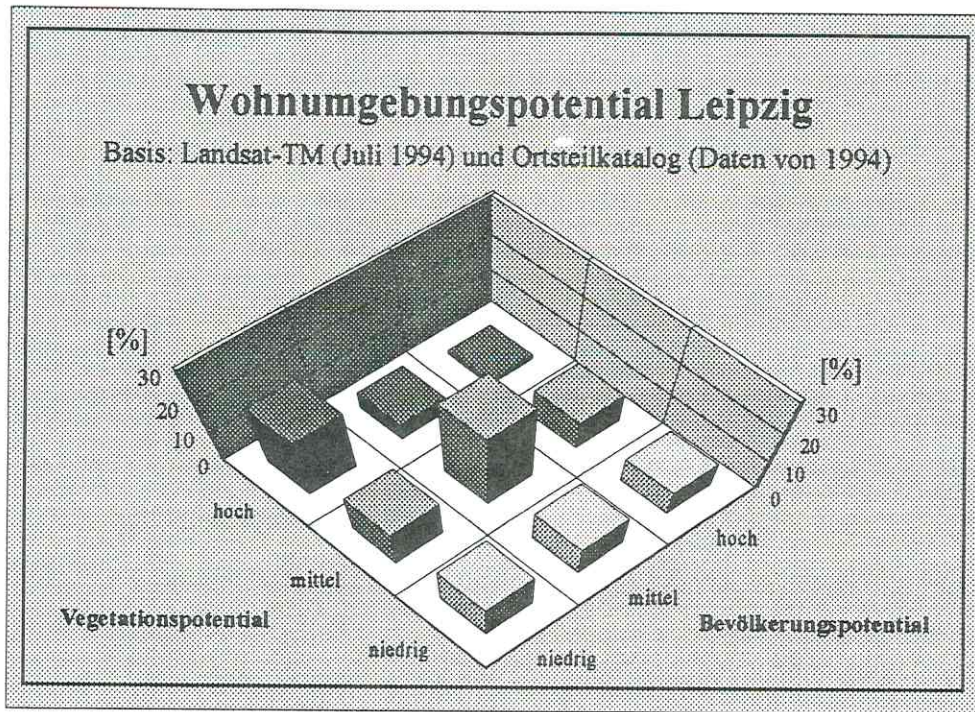


**Tab. 32: Häufigste Klasse der Wohnumgebung innerhalb der Statistischen Bezirke - Basis Landsat-TM und SPOT-XS (eigene Berechnung)**

| Ortsteil                   | Wohn-<br>umgebungs-<br>potential<br>Basis Landsat-TM<br>[Majority/Majority %] | Wohn-<br>umgebungs-<br>potential<br>Basis SPOT-XS<br>[Majority/Majority %] |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Zentrum                    | 4 / 77,6                                                                      | 4 / 73,4                                                                   |
| Zentrum-Ost                | 1 / 59,8                                                                      | 1 / 56,9                                                                   |
| Zentrum-Südost             | 4 / 33,1                                                                      | 4 / 32,4                                                                   |
| Zentrum-Süd                | 7 / 29,1                                                                      | 7 / 28,0                                                                   |
| Zentrum-West               | 5 / 26,5                                                                      | 5 / 21,1                                                                   |
| Zentrum-Nordwest           | 3 / 41,4                                                                      | 3 / 40,4                                                                   |
| Zentrum-Nord               | 4 / 35,7                                                                      | 4 / 32,4                                                                   |
| Schönefeld-<br>Abtnaundorf | 5 / 25,2                                                                      | 5 / 24,8                                                                   |
| Schönefeld-Ost             | 1 / 26,8                                                                      | 1 / 24,4                                                                   |
| Mockau-Süd                 | 5 / 44,4                                                                      | 5 / 42,8                                                                   |
| Mockau-Nord                | 5 / 26,2                                                                      | 5 / 22,8                                                                   |
| Thekla                     | 2 / 31,5                                                                      | 3 / 31,8                                                                   |
| Portitz                    | 5 / 31,0                                                                      | 3 / 49,4                                                                   |
| Neustadt-<br>Neuschönefeld | 7 / 66,9                                                                      | 7 / 60,7                                                                   |
| Volkmarisdorf              | 7 / 50,7                                                                      | 7 / 45,7                                                                   |
| Anger-Crottendorf          | 5 / 35,8                                                                      | 5 / 34,2                                                                   |
| Sellerhausen-Stünz         | 5 / 51,0                                                                      | 5 / 45,5                                                                   |
| Paunsdorf                  | 5 / 27,1                                                                      | 5 / 24,2                                                                   |
| Heiterblick                | 2 / 52,5                                                                      | 3 / 44,6                                                                   |
| Reudnitz-Thonberg          | 7 / 29,8                                                                      | 7 / 29,3                                                                   |
| Stötteritz                 | 5 / 33,7                                                                      | 5 / 31,7                                                                   |
| Probstheida                | 3 / 30,1                                                                      | 3 / 37,8                                                                   |
| Meusdorf                   | 5 / 56,1                                                                      | 5 / 52,3                                                                   |
| Südvorstadt                | 7 / 37,0                                                                      | 7 / 34,5                                                                   |
| Connewitz                  | 3 / 57,4                                                                      | 3 / 55,2                                                                   |

| Ortsteil                    | Wohn-<br>umgebungs-<br>potential<br>Basis Landsat-TM<br>[Majority/Majority %] | Wohn-<br>umgebungs-<br>potential<br>Basis SPOT-XS<br>[Majority/Majority %] |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Marienbrunn                 | 8 / 45,6                                                                      | 8 / 33,7                                                                   |
| Lößnig                      | 8 / 41,7                                                                      | 8 / 35,9                                                                   |
| Dölitz-Dösen                | 3 / 36,3                                                                      | 3 / 38,2                                                                   |
| Schleußig                   | 3 / 37,3                                                                      | 3 / 36,7                                                                   |
| Plagwitz                    | 7 / 36,2                                                                      | 7 / 35,2                                                                   |
| Kleinzschocher              | 3 / 27,1                                                                      | 3 / 26,3                                                                   |
| Großzschocher               | 1 / 32,2                                                                      | 3 / 34,5                                                                   |
| Knauthain-<br>Hartmannsdorf | 2 / 30,0                                                                      | 2 / 32,0                                                                   |
| Schönau                     | 2 / 33,3                                                                      | 3 / 29,1                                                                   |
| Grünau-Ost                  | 8 / 39,3                                                                      | 8 / 36,3                                                                   |
| Grünau-Mitte                | 8 / 45,0                                                                      | 8 / 44,6                                                                   |
| Grünau-Siedlung             | 5 / 66,9                                                                      | 5 / 56,4                                                                   |
| Lausen-Grünau               | 7 / 40,1                                                                      | 8 / 44,1                                                                   |
| Grünau-Nord                 | 8 / 41,7                                                                      | 8 / 40,6                                                                   |
| Lindenau                    | 7 / 36,0                                                                      | 7 / 31,9                                                                   |
| Altlingenau                 | 7 / 24,7                                                                      | 7 / 22,9                                                                   |
| Neulindenau                 | 5 / 35,0                                                                      | 5 / 33,8                                                                   |
| Leutzsch                    | 3 / 45,6                                                                      | 3 / 43,3                                                                   |
| Möckern                     | 5 / 37,5                                                                      | 5 / 34,2                                                                   |
| Wahren                      | 3 / 52,4                                                                      | 3 / 50,1                                                                   |
| Gohlis-Süd                  | 8 / 29,2                                                                      | 8 / 25,7                                                                   |
| Gohlis-Mitte                | 8 / 54,8                                                                      | 8 / 46,1                                                                   |
| Gohlis-Nord                 | 5 / 32,3                                                                      | 5 / 27,6                                                                   |
| Eutritzsch                  | 5 / 36,4                                                                      | 5 / 33,2                                                                   |
|                             |                                                                               |                                                                            |





*Abb. 66: Flächenanteil des Wohnumgebungspotentials Leipzig - Basis Landsat-TM (eigene Berechnung)*

Aussagen lassen sich somit einerseits zur Wohnumgebung innerhalb einer definierten Flächeneinheit und andererseits zur Umgebung der betrachteten Flächeneinheit ableiten. Für eine ökologische Einschätzung der Wohnumgebung ist neben der Betrachtung einer Fläche auch die Umgebung dieser wichtig. Flächen mit einem schlechten Wohnumgebungspotential, die in der unmittelbaren Umgebung ökologisch bessere Klassenzuweisungen haben, sind in ihrer Wohnqualität besser zu bewerten als solche, die in ihrer Nachbarschaft ebenfalls ein schlechtes Wohnumgebungspotential haben. In diesem Zusammenhang sind die Flächengrößen und die Entfernungen zueinander wichtig. Der Randbereich der Flächen mit relativ schlechter Wohnqualität, der in unmittelbarer Nachbarschaft zu Flächen mit einer besseren Wohnqualität liegt, ist insgesamt besser zu bewerten als solcher inmitten einer großen Fläche relativ schlecht eingestufte Wohnumgebung.

Hervorzuheben ist bei allen diesen Betrachtungen immer, daß hier lediglich die Vegetation als ökologische Komponente betrachtet wird, die alleine keine Aussage zur unmittelbaren Wohnqualität geben kann. Sie stellt lediglich eine Komponente zur Beurteilung dieser dar. Zudem müssen bei der Bewertung der Maßstabsbereich und der Grad der Generalisierung berücksichtigt werden. Mit zunehmender geometrischer Auflösung und kleineren Flächeneinheiten ist eine Verbesserung des Ergebnisses zu erzielen (vgl. Kap. 5.5.4).

Die Übertragung der Methodik auf die Datenbasis von SPOT-XS läßt gegenüber Landsat-TM eine deutlich verbesserte Detailgenauigkeit aufgrund der höheren geometrischen Auflösung des SPOT-



XS erkennen (s. Abb. 67<sup>111</sup>, S. 197; vgl. Abb. 65, S. 187). Die Wohnumgebungspotentiale der unterschiedlichen bebauten Bereiche scheinen relativ ähnlich zu sein. Auffallend ist die andere Anordnung der einzelnen Klassen mit mittlerem und hohem Bevölkerungspotential. Unterschiedliche Strukturen - insbesondere Linien - treten deutlicher hervor, wie es auch die vergleichende visuelle Interpretation von SPOT-XS und Landsat-TM ergeben hat (s. Kap. 3.4.1 u. HEINZ 1996a, S. 48 - 53). Die unterschiedlich dicht bebauten und bewohnten Bereiche, die auf der Basis von Landsat-TM durch die Kombination unterschiedlicher Klassenzuweisungen im Bild ersichtlich sind (vgl. Abb. 65, S. 187), lassen sich auch in der Wohnumgebungskarte auf der Basis von SPOT-XS nachvollziehen. Hierzu zählen zum Beispiel die unterschiedlichen Charaktere der überwiegend durch Ein- und Zweifamilienhausbebauung und der durch Großblockbebauung geprägten Gebiete. Deutliche Unterschiede zwischen beiden Abbildungen zeigen sich in den nicht von Bebauung geprägten Randbereichen der Stadt. Infolge der um einen Monat früheren Aufnahme von SPOT-XS (vgl. Kap. 1.5) lag eine andere Phänologie vor. Die meisten Felder waren noch im Reifestadium und nicht abgeerntet. Dies zeigt sich im höheren Flächenanteil der Klasse Drei.

---

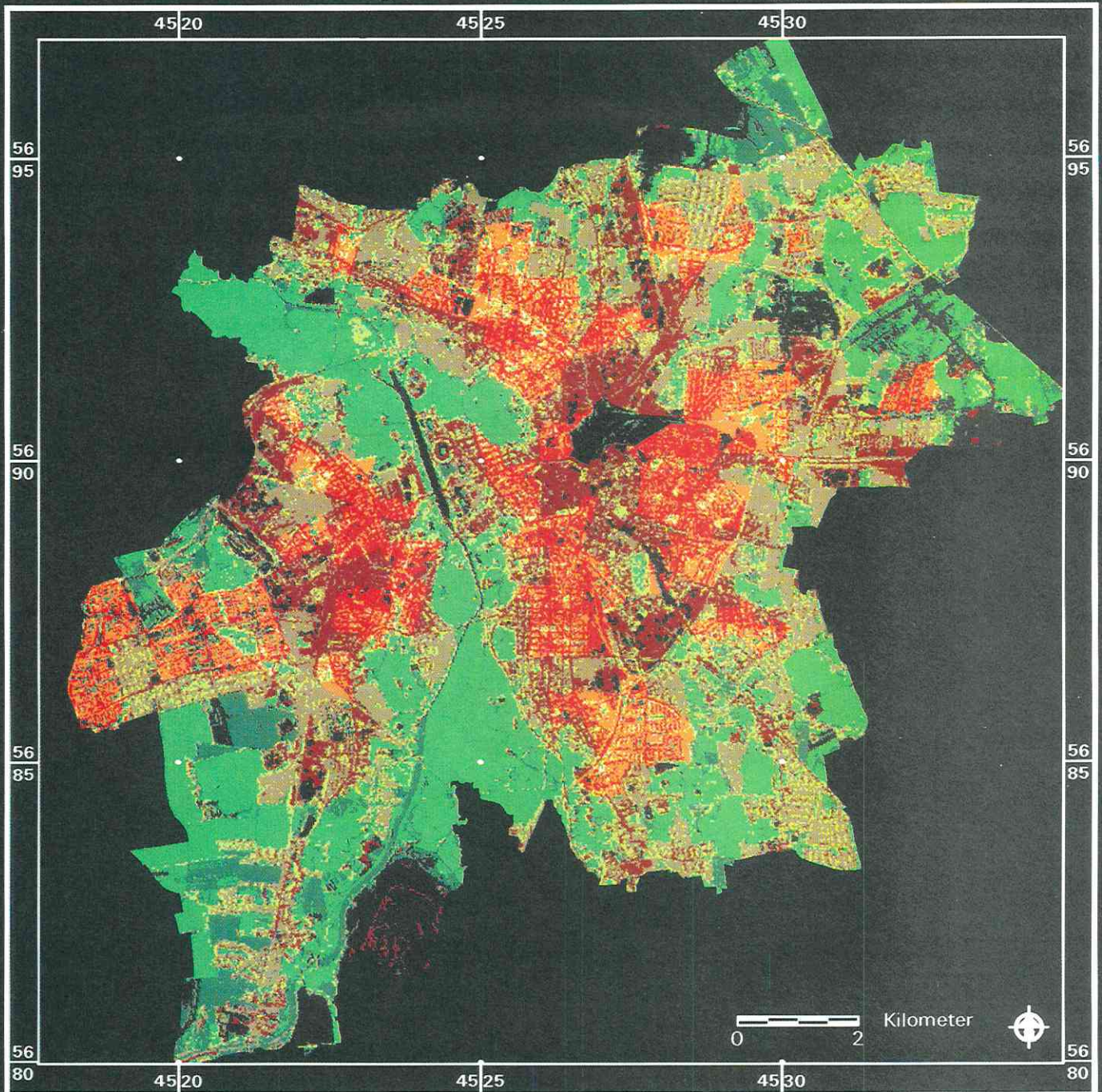
<sup>111</sup> Nächste Seite (S. 197) - Abb. 67: Wohnumgebung der Stadt Leipzig - SPOT-XS Juni 1994



# Die Wohnumgebung der Stadt Leipzig

SPOT-XS Juni 1994

Verschneidung von Bevölkerungspotential und Vegetationspotential



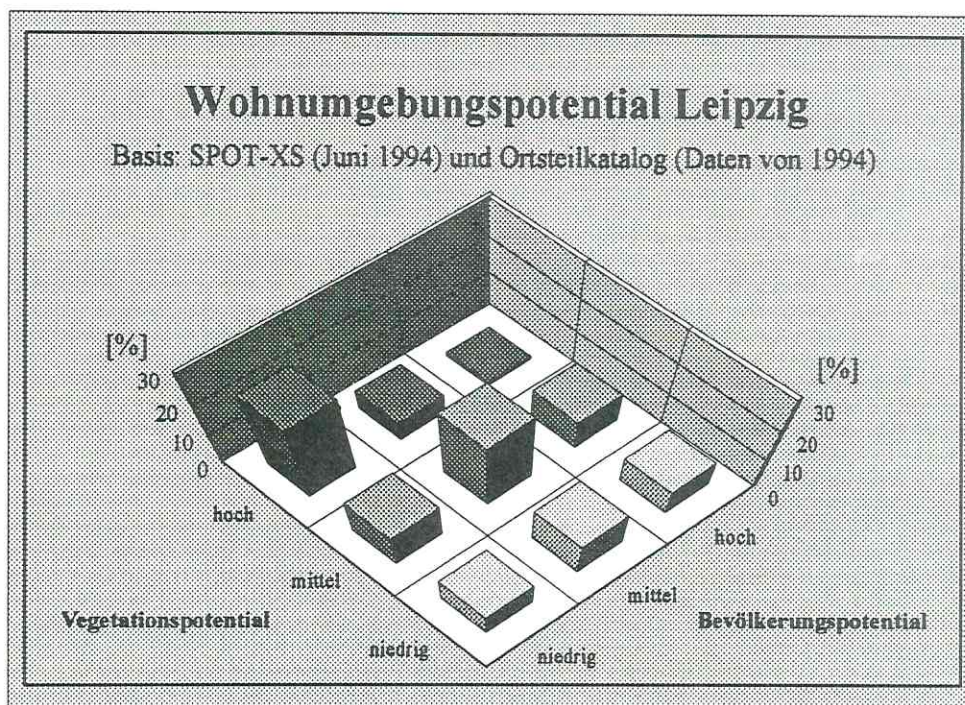
Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Digitale Bildverarbeitung und Kartographie:  
Dipl.-Geogr. V. Heinz u. E. Kneisel



gefördert durch:  
Deutsche Agentur für  
Raumfahrtangelegenheiten  
(DARA GmbH)



In der Abb. 68 (s. S. 198) ist die prozentuale Flächenverteilung des Wohnumgebungspotentials für Leipzig auf der Basis von SPOT-XS dargestellt. Die Klassenverteilung ist ähnlich der auf der Basis von Landsat-TM (vgl. Abb. 66, S. 195). Die maximalen Flächenanteile liegen auch hier in den Klassen mit hohem Vegetations- und niedrigem Bevölkerungspotential sowie mit mittlerem Vegetations- und Bevölkerungspotential. Die Klassen Eins, Zwei, Vier, Sieben und Acht haben alle ähnlich große Anteile an der Fläche Leipzigs. Die beiden Klassen mit hohem Vegetations- und mittlerem sowie hohem Bevölkerungspotential sind beidemal ähnlich stark vertreten. Während das Minimum bei beiden Berechnungen in die Klasse mit hohem Bevölkerungs- und Vegetationspotential fällt, ist der maximale Prozentwert bei SPOT-XS in der Klasse Drei und bei Landsat-TM in der Klasse Fünf. Diese Unterschiede bzw. vergleichbaren Verhältnisse lassen sich auch in der Gegenüberstellung der Prozentanteile nachvollziehen (s. Tab. 34, S. 200).



**Abb. 68: Flächenanteil des Wohnumgebungspotentials Leipzig - Basis SPOT-XS (eigene Berechnung)**

Die Übertragung der Ergebnisse des Wohnumgebungspotentials auf der Basis SPOT-XS auf die Strukturtypen ist in der Tab. 33 (s. S. 199) dargestellt. Der Vergleich mit der Tab. 31 (s. S. 191) ergibt auch hier eine ähnliche Werteverteilung. Ausnahmen bilden die Strukturtypen Offene Blockbebauung, Brach- und Umwidmungsflächen und Landwirtschaftlich genutzte Flächen. Während sich die Unterschiede der am häufigsten auftretenden Klassen bei den letzten beiden Strukturtypen wieder auf die verschiedenen Aufnahmezeitpunkte zurückführen lassen (im Juni war das Vegetationspotential deutlich höher), ist die Verschiebung des Majority bei der Offenen Blockbebauung auf die höhere



geometrische Genauigkeit der zugrundeliegenden SPOT-XS-Aufnahme zurückzuführen. Die Klassen Vier, Fünf, Sieben und Acht treten bei beiden Ergebnissen in diesem Strukturtyp vergleichsweise häufig auf. Somit wird die Offene Blockbebauung nicht von einer bestimmten Klassenzuweisung dominiert, sondern setzt sich aus relativ gleichen Flächenanteilen der oben genannten Klassen zusammen.

**Tab. 33: Wohnumgebungspotential der Strukturtypen - Basis SPOT-XS (eigene Berechnung)**

| Strukturtyp                                                 | Klassenanteile des Wohnumgebungspotentials [%] |       |       |       |       |       |       |       |      | Summe  |
|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|--------|
|                                                             | 1                                              | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9    |        |
| Offene Blockbebauung                                        | 1,22                                           | 1,14  | 0,92  | 20,49 | 20,71 | 5,27  | 24,50 | 21,81 | 3,95 | 100,00 |
| Geschlossene Blockbebauung                                  | 0,89                                           | 0,29  | 0,08  | 18,89 | 10,34 | 1,43  | 45,24 | 20,92 | 1,93 | 100,00 |
| Offene Blockrandbebauung                                    | 0,83                                           | 0,83  | 0,41  | 14,31 | 18,29 | 4,43  | 22,26 | 32,24 | 6,41 | 100,00 |
| Geschlossene Blockrandbebauung                              | 1,50                                           | 1,31  | 1,61  | 14,73 | 14,54 | 3,61  | 31,49 | 26,15 | 5,04 | 100,00 |
| Zeilenbebauung                                              | 0,86                                           | 3,42  | 1,54  | 11,46 | 32,56 | 7,47  | 11,08 | 26,44 | 5,15 | 100,00 |
| Großwohnsiedlungen und mehrgeschossiger Wohnungsbau ab 1960 | 5,59                                           | 8,51  | 1,93  | 5,59  | 8,62  | 1,14  | 25,69 | 39,63 | 3,30 | 100,00 |
| Ehemalige Dorfkerne                                         | 3,01                                           | 9,71  | 11,36 | 17,42 | 42,65 | 15,64 | 0,14  | 0,07  | 0,00 | 100,00 |
| Stark versiegelte Industrie- und Gewerbeflächen             | 17,74                                          | 4,26  | 1,74  | 35,93 | 20,01 | 3,78  | 10,70 | 5,17  | 0,68 | 100,00 |
| Gering versiegelte Industrie- und Gewerbeflächen            | 19,28                                          | 8,48  | 3,76  | 20,63 | 25,36 | 7,42  | 6,05  | 7,57  | 1,45 | 100,00 |
| Sport-/ Spiel-/ und Freizeitanlagen                         | 4,47                                           | 22,38 | 30,51 | 9,75  | 18,33 | 9,06  | 1,10  | 3,50  | 0,91 | 100,00 |
| Friedhöfe                                                   | 0,50                                           | 14,62 | 22,00 | 3,97  | 29,09 | 16,53 | 0,77  | 7,66  | 4,86 | 100,00 |
| Öffentliche Einrichtungen                                   | 8,94                                           | 10,86 | 7,09  | 22,42 | 24,93 | 7,58  | 7,57  | 8,79  | 1,82 | 100,00 |
| Einkaufszentren                                             | 87,76                                          | 1,86  | 0,00  | 10,02 | 0,35  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 100,00 |
| Kleingartenanlagen                                          | 0,60                                           | 5,77  | 6,79  | 3,57  | 63,00 | 9,34  | 0,90  | 8,58  | 1,45 | 100,00 |
| Verkehrsflächen                                             | 18,69                                          | 4,40  | 1,72  | 30,02 | 16,62 | 4,30  | 12,11 | 11,02 | 1,11 | 100,00 |
| Park- und Grünanlagen                                       | 2,59                                           | 12,82 | 41,11 | 5,51  | 14,32 | 12,50 | 3,05  | 6,00  | 2,09 | 100,00 |
| Kerngebiete                                                 | 3,07                                           | 0,27  | 0,03  | 66,45 | 11,89 | 1,64  | 11,52 | 4,90  | 0,23 | 100,00 |
| Villen                                                      | 1,10                                           | 8,22  | 16,40 | 7,72  | 25,94 | 14,22 | 6,41  | 14,77 | 5,22 | 100,00 |
| Ein- und Zweifamilienhausbebauung                           | 0,56                                           | 5,03  | 4,07  | 8,43  | 55,98 | 14,63 | 2,11  | 7,33  | 1,86 | 100,00 |
| Brach- und Umwidmungsflächen                                | 18,49                                          | 23,46 | 36,93 | 3,95  | 9,00  | 5,44  | 1,05  | 1,29  | 0,39 | 100,00 |
| Landwirtschaftlich genutzte Flächen                         | 5,90                                           | 30,27 | 50,45 | 2,22  | 6,99  | 3,91  | 0,05  | 0,13  | 0,08 | 100,00 |
| Technische Ver- und Entsorgungsflächen                      | 7,68                                           | 17,98 | 18,15 | 7,66  | 23,21 | 12,10 | 3,50  | 7,74  | 1,98 | 100,00 |
| Aufschüttungs-, Abgrabungs- und Entsorgungsflächen          | 61,31                                          | 7,29  | 13,74 | 7,86  | 3,86  | 5,94  | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 100,00 |
| Waldflächen                                                 | 0,82                                           | 5,38  | 84,60 | 1,07  | 3,91  | 3,59  | 0,09  | 0,34  | 0,22 | 100,00 |
| Wasserflächen                                               | 69,77                                          | 10,05 | 6,49  | 7,06  | 5,07  | 1,56  | 0,01  | 0,00  | 0,00 | 100,00 |



Interessant bei der Übertragung der Ergebnisse der Wohnumgebungsberechnung auf der Grundlage von SPOT-XS auf die Flächeneinheiten der Statistischen Bezirke ist die relativ gute Übereinstimmung mit den Klassenzuweisungen auf der Basis von Landsat-TM (s. Tab. 32, S. 194). Lediglich sechs Statistische Bezirke werden anderen Klassen zugewiesen, das heißt, daß der Majority-Wert bei diesen Ausnahmen zumeist eine Klasse höher ist. Da dies hauptsächlich die Klassen Zwei und Drei betrifft, ist der Grund auch hier der Einfluß der Vegetation (unterschiedliche Aufnahmezeitpunkte).

*Tab. 34: Wohnumgebungspotential Leipzig - Vergleich der Flächenanteile auf Basis Landsat-TM und SPOT-XS (eigene Berechnung)*

| Kombination | Flächenanteil [%]<br>Basis Landsat-TM | Flächenanteil [%]<br>Basis SPOT-XS |
|-------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| 1           | 12                                    | 8                                  |
| 2           | 12                                    | 11                                 |
| 3           | 19                                    | 24                                 |
| 4           | 10                                    | 11                                 |
| 5           | 24                                    | 21                                 |
| 6           | 5                                     | 6                                  |
| 7           | 8                                     | 8                                  |
| 8           | 9                                     | 9                                  |
| 9           | 1                                     | 1                                  |

#### 5.5.4 Zusammenfassung

Die Untersuchungen haben gezeigt, daß die entwickelte Methode gut auf den urbanen Raum anwendbar und auf unterschiedliches Fernerkundungsmaterial übertragbar ist. Eine Erhöhung der geometrischen Auflösung führt zu einer Verbesserung des Ergebnisses. Aber bereits grobe Klasseneinteilungen und geringe geometrische Auflösungen erzielen gute Aussagemöglichkeiten. Mit der Methode werden die Vorteile der Fernerkundung (Aktualitätsgrad, Kostenvorteil, hohe Repetitionsrate, etc.) ausgenutzt und können auf eine relativ einfache Art in die Planung integriert werden. Durch die Verknüpfung von Methoden der Raster- und Vektordatenverarbeitung erfahren sowohl statistische als auch fernerkundliche Daten gegenseitig eine sinnvolle Ergänzung. Durch die Möglichkeit der kombinierten Betrachtung und Auswertung wird die Bevölkerungsstatistik mit einem räumlichen sowie einem ökologischen Bezug verknüpft. Die reinen Zahlen erhalten wertvolle Zusatzinformationen. Insbesondere die Bevölkerungsveränderungen und die mit diesen verbundenen Veränderungen der Ökologie können mit der vorgestellten Methode im zeitlichen Vergleich erkannt und analysiert werden. Arbeitsintensive, nachträgliche Datenüberlagerungen und das Erstellen diverser Arbeitskarten können somit vermieden werden. Eine fundierte Grundlage für das Erkennen von Problembereichen und eine diese beachtende gerichtete Planung werden bereits bei der monotemporalen Untersuchung unterstützt.



Andererseits können die ökologischen Veränderungen temporal auf ihre Ursache hin überprüft werden. Liegt beispielsweise in einer Raumeinheit eine Veränderung des ökologischen Potentials vor, gibt das dargestellte Bevölkerungspotential einen Aufschluß über eine mögliche, diese begründende Veränderung (vgl. z. B. Tab. 35, S. 201). Zudem verdeutlicht die Darstellungsweise die direkte Abhängigkeit zwischen der Bevölkerungsentwicklung und mit ihr einhergehenden Veränderungen der Oberflächenbedeckung. Unterschiedliche Auswirkungen von Neuansiedlungen von Gewerbe und Wohnbebauung können verdeutlicht werden.

*Tab. 35: Häufige Veränderung der Klassenzuweisung des Wohnumgebungspotentials bei Urbanisierungsprozessen (eigener Entwurf)*

| Veränderung                               | Klasse<br>vorher | Klasse<br>nachher |
|-------------------------------------------|------------------|-------------------|
| Neubau von Wohnbebauung                   | 1, 2, 3          | 5, 7, 8           |
| Abriß; Entdichtung; Durchgrünung          | 5, 7, 8          | 1, 2, 3           |
| Neubau von Industrie- und Gewerbegebieten | 1, 2, 3          | 4, (5)            |

Ein wesentlicher Vorteil der Methode ist die Möglichkeit, je nach der Fragestellung die unterschiedlichsten Raumeinheiten der Betrachtung zugrunde zu legen. Die Klassenabgrenzungen - wie im vorliegenden Fall mit jeweils drei Klassen vorgeführt - können variabel angepaßt und das Ergebnis somit detailliert in verschiedenen Maßstabsebenen aufbereitet werden.

Zusammenfassend ermöglicht die Methode insbesondere die folgenden Anwendungen (s. Kap. 5.5.1 bis 5.5.3):

- Eine multitemporale Auswertung zweier Wohnumgebungskarten führt zum raumzeitlichen Erkennen von Urbanisierungsprozessen. Während Fernerkundungsdaten nur mit Urbanisierungsprozessen einhergegangene Veränderungen der Oberflächenbedeckung aufzeigen, wird mit der Methode eine GIS-Verknüpfung mit statistischen Bevölkerungszahlen und direktem Flächenbezug erzielt. Veränderungen in der Bevölkerungsdichte pro Fläche sind genauso erkennbar, wie die durch diese induzierte Abnahme der Durchgrünung bei Neubauten.
- Mit der Methode können im multitemporalen Vergleich Bebauungsgebiete, Brachflächen und Landwirtschaftliche Nutzflächen erkannt und bebaute von nicht bebauten Flächen getrennt werden. Bebauungszunahmen mit nachfolgender Durchgrünung sowie Durchgrünungsmaßnahmen an sich und Entsiegelungen sind weitere nachvollziehbare Vorgänge, die sich in veränderten Klassenzuweisungen widerspiegeln (s. Tab. 35, S. 201).
- Die Überlagerung der Wohnumgebung mit definierten Flächeneinheiten (z. B. der Flächennutzung) ermöglicht eine Auswertung dieser bezüglich der Bevölkerungsdichte, des Durchgrünungsgrades sowie der Wohnumgebung an sich. Neben der allgemeinen und statistischen Bewertung jeder einzelnen Fläche (z. B. durchschnittliche oder häufigste Wohnumgebung) können auch Nachbarschaftsverhältnisse analysiert werden. Flächen schlechter Wohnumgebung in der unmittelbaren Umgebung ökologisch besserer Klassenzuweisungen haben eine positivere Wohnqualität als solche, die auch in ihrer Nachbarschaft ein schlechtes Wohnumgebungspotential aufweisen. Randbereiche von Flächen mit relativ schlechter Wohnqualität in unmittelbarer Nachbarschaft zu Flächen besserer Wohnqualität sind insgesamt besser zu bewerten als Bereiche inmitten einer großen Fläche mit zugeordneter schlechter Wohnumgebung.



Daneben gilt es, die folgenden Problembereiche und Grenzen der Methode zu kennen, um so das Ergebnis entsprechend werten zu können:

- Allen Berechnungen liegt eine Generalisierung und eine für die einfließende Klassifikation der Fernerkundungsdaten jeweils zu ermittelnde Wahrscheinlichkeit zugrunde.
- Probleme liegen in der geometrischen Auflösung und im Maßstabsbereich. Neben Generalisierungen treten auch Mischfälle (Mischpixel) auf, die sowohl Bebauung als auch Durchgrünung erfassen. Mit einer Erhöhung der geometrischen Auflösung und einer Verkleinerung der Flächeneinheiten ist die Genauigkeit des Ergebnisses zu verbessern.
- Die alleinige Betrachtung der Vegetation kann keine allgemein gültige Aussage zur Wohnqualität liefern. Sie ist lediglich eine ökologische Komponente zur Beurteilung dieser.
- Bei der multitemporalen Auswertung bedarf es aufgrund der verschiedenen Phänologiezustände sowie der unterschiedlichen atmosphärischen Verhältnisse zu den Aufnahmezeiten einer zeitaufwendigen und schwierigen Korrektur bzw. Kalibration der Grauwerte als Basis für die Berechnung des NDVI.

## 5.6 Schlußfolgerungen

Die in diesem Kapitel vorgestellten speziellen Untersuchungen der Ökologie im urbanen Raum mit Fernerkundungsdaten haben gezeigt, daß die Einsatzbereiche der Fernerkundung für die Untersuchung von Urbanisierungsprozessen und ihrer ökologischen Folgen zahlreich sind und über normale, herkömmliche Verfahren hinausgehen. Von Bedeutung ist, daß die Grenzen und Möglichkeiten der einzelnen Methoden erkannt und beachtet werden, wozu die durchgeführten Untersuchungen einen wichtigen Beitrag leisten sollen. Es läßt sich somit ableiten, daß vor allem die Berechnung der Überbauungsdichte (s. Kap. 5.3) und die Untersuchung der Wohnumgebung (s. Kap. 5.5) gut für die Untersuchung der Urbanisierungsprozesse allgemein und ihrer ökologischen Folgen im Speziellen - die Veränderungen der Überbauungsdichte bzw. des Durchgrünungsgrades - geeignet sind. Insbesondere die Verschneidungen der Raster- mit den Vektordaten definierter Flächeneinheiten ermöglichen neben der Lokalisierung von Veränderungen der Oberflächenbedeckung die Ergänzung dieser mit ökologischen Komponenten sowie die innere Differenzierung der interessierenden Bereiche. Während bei der Untersuchung der Wohnumgebung durch die unterschiedliche Klassenzuweisung im temporalen Vergleich Hinweise auf Urbanisierungsprozesse abgeleitet werden können (vgl. Kap. 5.5.3), ermöglicht bei der Berechnung der Überbauungsdichte die vorgestellte Methode die Lokalisierung der Urbanisierungsprozesse in definierten Raumeinheiten (vgl. Kap. 5.3.3). Beide Methoden ergänzen sich wiederum gegenseitig.

Insgesamt läßt sich ableiten, daß sich die vorgestellten Untersuchungen zur Erkundung von Urbanisierungsprozessen und ihrer ökologischen Folgen bei der Analyse der Ist-Situation und der Planung einsetzen lassen. Dabei darf nicht der Anspruch der Vollständigkeit und absoluten Genauigkeit bei der Datengewinnung erhoben werden. Fernerkundungsdaten eignen sich hingegen für zusätzliche



und ergänzende Erhebungen, die insbesondere wichtige Einsatzbereiche in der Datenfortführung zwischen den Aufnahmen mit herkömmlichen Methoden sowie in der Ableitung und Erstellung thematischer Karten mit einem Gesamtüberblick eröffnen. Jeder potentielle Anwender muß für sich und seine spezifische Fragestellung die beste Methode oder die Kombination mehrerer Methoden auswählen. Mit der zukünftigen Entwicklung in der Fernerkundung wird zudem ein weiterer Schritt hin zur verbesserten Auflösung, das heißt hin zum größeren Maßstab getan. Diese Aspekte der geometrischen Auflösung und der Einsatzmöglichkeiten der Fernerkundung in der Planung werden in den Kapiteln 6 und 7 näher behandelt.







## 6. Ausblick (neue Sensoren und Erwartungen)

Die in dieser Arbeit vorgestellten Methoden und Ergebnisse zur Untersuchung von Urbanisierungsprozessen und ihrer ökologischen Folgen mit Fernerkundungsmethoden sowie der Erkennbarkeit unterschiedlicher Oberflächenbedeckungen bieten einen umfassenden Überblick über unterschiedliche Fernerkundungsdatenprodukte verschiedener sensoraler, spektraler, geometrischer und zeitlicher Auflösungen (vgl. Kap. 1.5). Dabei hat sich gezeigt, daß die verschiedenen Auflösungen häufig eine Begrenzung bei der Detailerkennbarkeit sowie den Einsatzmöglichkeiten darstellen.

Bei der visuellen Interpretation können mit einer zunehmenden geometrischen Auflösung mehr Details unterschieden werden. Allerdings stehen heute insbesondere monospektrale Sensoren mit einer hohen geometrischen Auflösung multispektralen Datenprodukten mit geringerer Bodenaufklärung gegenüber. Die sich hierbei anbietenden Datenverschneidungen ergeben ein verbessertes Ergebnis für die Fragestellung. Zudem werden von den Anwendern größere Maßstabsebenen gefordert.

Hinderlich ist weiterhin die temporale Auflösung. Wie sich gezeigt hat, ist von den heutigen operationellen Fernerkundungsplattformen pro Jahr für den mitteleuropäischen Raum mit durchschnittlich einer Aufnahme zu rechnen. Die relativ geringen Repetitionsraten stehen der häufigen Wolkenbedeckung gegenüber.

Diese Hauptdefizite - die geometrische und die temporale Auflösung - werden in naher Zukunft verringert werden. Wie die Tab. 36 (s. S. 206) auszugsweise darstellt, werden zu den herkömmlichen - und zudem gealterten - Sensoren wie Landsat-TM und SPOT neue, operationelle Sensoren in eine Umlaufbahn gebracht. Sie sind insbesondere in ihrer geometrischen und temporalen Auflösung gegenüber den herkömmlichen Datenprodukten im Vorteil und eröffnen somit ein neues und weites Anwendungsspektrum, das es zu erforschen gilt. Es werden bessere und neue Anwendungsmöglichkeiten erwartet. Insbesondere durch die vergrößerte Maßstabsebene wird wahrscheinlich auch die Akzeptanz der Fernerkundungsdaten in der Praxis größer.

Allerdings dürfen die neuen Daten nicht von vornherein überschätzt werden. Neuerungen erfordern auch die Entwicklung neuer Methoden. Wie sich in der bisherigen Praxis sowie auch in dieser Arbeit gezeigt hat, werden die Bildverarbeitungsprozesse mit zunehmender geometrischer Auflösung schwieriger. So reichen zum Beispiel einfache überwachte Klassifikationen nach dem Prinzip der größten Wahrscheinlichkeit nicht mehr aus. Neue Probleme kommen hinzu. Mit einer Steigerung der geometrischen Auflösung werden Schatten sichtbar, die Kanten- und Linieninformation muß mit beachtet werden, eine geometrische Entzerrung sollte die Höheninformation der Geländeoberfläche mit



einbeziehen, etc.. Wie zum Beispiel im Kapitel 3.4.3 und 3.4.5 anhand des Vergleiches von SPOT-XS und Landsat-TM dargestellt, steigt mit einer zunehmenden geometrischen Auflösung nicht unbedingt die Ergebnislösung. Oftmals ist eine visuelle Interpretation in größeren Maßstäben geeigneter. Für diese einfache und etablierte Fernerkundungsmethodik ist eine Erweiterung durch die neuen Datenprodukte zu erwarten.

*Tab. 36: Ausgewählte Parameter künftiger hochauflösender Erdbeobachtungssatelliten (verändert nach JÜRGENS 1996, S. 10)<sup>112</sup>*

| System                       | Early Bird                                                                    | Quick Bird                                                                    | Orb View                                                                                           | Space Imaging                                                                                      |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vorgesehener Starttermin     | 1996                                                                          | 1998                                                                          | Ende 1997                                                                                          | Ende 1997                                                                                          |
| Flughöhe                     | 470 km                                                                        | 600 km                                                                        | 460 km                                                                                             | 680 km                                                                                             |
| Geometrische Auflösung       | 3 m pan<br>15 m ms                                                            | 0,82 m pan<br>3,28 m ms                                                       | 1 m pan<br>2 m pan<br>4 m ms                                                                       | 1 m pan<br>2 m ms                                                                                  |
| Radiometrische Auflösung     | 8 bit                                                                         | 11 bit                                                                        | 8 bit                                                                                              | 11 bit                                                                                             |
| Breite des Aufnahmestreifens | 3 km pan<br>15 km ms                                                          | 22 km pan<br>22 km ms                                                         | 8 km pan<br>8 km ms                                                                                | 11 km                                                                                              |
| Spektralkanäle               | 450 - 800 nm pan<br>500 - 590 nm Grün<br>610 - 680 nm Rot<br>790 - 890 nm nIR | 450 - 900 nm pan<br>520 - 600 nm Grün<br>630 - 690 nm Rot<br>760 - 900 nm nIR | 450 - 900 nm pan<br>450 - 520 nm Blau<br>520 - 600 nm Grün<br>630 - 690 nm Rot<br>760 - 900 nm nIR | 450 - 900 nm pan<br>450 - 520 nm Blau<br>520 - 600 nm Grün<br>630 - 690 nm Rot<br>760 - 900 nm nIR |
| Wiederholrate                | 1,5 - 2,5 Tage                                                                | 1,5 - 2,5 Tage                                                                | < 3 Tage                                                                                           | 1 - 3 Tage                                                                                         |

Grenzen bei der Anwendung der neuen Daten in der Praxis liegen derzeit noch in der Hardware. Wie die Tab. 37 (s. S. 206) veranschaulicht, vergrößern sich mit zunehmender geometrischer Auflösung der Speicherbedarf und damit auch die Rechenzeiten. Eine heute standardmäßige Festplattengröße von wenigen Gigabytes wird in ihrer Kapazität schnell erschöpft. Diesbezüglich darf auf die rasante Entwicklung auf diesem Sektor gehofft werden, damit die neuen Daten allumfassend zur Anwendung kommen können.

*Tab. 37: Datengröße in Abhängigkeit von der geometrischen Auflösung (eigene Berechnung)*

| Geometrische Auflösung [m] | Datengröße [Megabyte]<br>(ein Kanal, 20 x 20 km) |
|----------------------------|--------------------------------------------------|
| 1                          | 400                                              |
| 2                          | 100                                              |
| 5                          | 16                                               |
| 10                         | 4                                                |
| 20                         | 1                                                |
| 30                         | 0,45                                             |

Nach wie vor bleiben die Vorteile der Fernerkundung erhalten, die insbesondere den Gesamtüberblick, das digitale Datenformat mit der Integrationsmöglichkeit in ein GIS und den Vorteilen der Digitalen Bildverarbeitung, die vergleichsweise geringen Kosten, die hohe Repetitionsrate, die spektrale Auflösung und die schnelle Datenverfügbarkeit betreffen. Letztere soll bei den Neuentwick-

<sup>112</sup> Weitere Ausführungen sind JÜRGENS (o. J.) zu entnehmen.



lungen sogar noch verbessert werden. Der Anwender kann die gewünschten Daten bestellen und erhält sie innerhalb weniger Tage nach der Aufnahme.

Ein erster Schritt hin zu verbesserten Maßstabsbereichen wird mittlerweile durch die operationellen Daten des indischen Sensors IRS-1C<sup>113</sup> sowie durch die ersten verfügbaren Daten des MOMS-2P erreicht. Beide Datenprodukte sind nicht in das Projekt integriert worden, da keine Daten während der entsprechenden, dem Projekt vorgegebenen Arbeitsphasen von Leipzig für den definierten Untersuchungszeitraum zur Verfügung standen. Bis zum Ende der Projektarbeit lagen zudem missionsbedingt keine Daten von MOMS-2P vor. Die ersten Aufnahmen des IRS-1C von Leipzig hingegen konnten erst Ende 1996 beschafft werden. Sie waren fehlerbehaftet, haben einen phänologisch relativ späten Aufnahmezeitpunkt und zudem eine gegenüber Landsat-TM verringerte radiometrische Auflösung. Deswegen und aufgrund des damals schon weit vorangeschrittenen Projektes sind die Daten nicht mehr integriert worden. Der Vollständigkeit halber sei an dieser Stelle auf die Aufnahmeparameter beider eingegangen (s. Tab. 38, S. 207).

Tab. 38: Aufnahmeparameter von MOMS-2P und IRS-1C (eigener Entwurf)

| Aufnahmeparameter                     | MOMS-2P                                                                                                                   | IRS-1C                                                                                                          |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Start</b>                          | 05. 1996                                                                                                                  | 28. 12. 1995                                                                                                    |
| <b>Swath [km]</b>                     | 90 - 105 (1 - 4 u. 6 - 7)<br>44 - 50 (5)                                                                                  | 70 (PAN)<br>142 (LISS-III, VNIR)<br>148 (LISS-III, SWIR)                                                        |
| <b>Spektrale Auflösung [µm]</b>       | 0,45 - 0,51 (1)<br>0,53 - 0,58 (2)<br>0,65 - 0,68 (3)<br>0,77 - 0,82 (4)<br>0,51 - 0,77 (5)<br>0,52 - 0,76 (6, 7; Stereo) | 0,50 - 0,75 (PAN)<br>0,52 - 0,59 (LISS-III, VNIR)<br>0,62 - 0,68<br>0,77 - 0,86<br>1,55 - 1,70 (LISS-III, SWIR) |
| <b>Radiometrische Auflösung [bit]</b> | 8                                                                                                                         | 6 (PAN, 64 Grautöne)<br>7 (LISS-III, 128 Grautöne)                                                              |
| <b>Geometrische Auflösung [m]</b>     | 15,9 - 18 m (1 - 4 u. 6 - 7)<br>5,3 - 6,0 m (5)                                                                           | 5,8 (PAN)<br>23,6 (LISS-III, VNIR)<br>70,8 (LISS-III, SWIR)                                                     |
| <b>Flughöhe [km]</b>                  | 390 - 420                                                                                                                 | 817                                                                                                             |
| <b>Inklination [°]</b>                | +/- 51,6                                                                                                                  | 98,69 (sonnensynchron)                                                                                          |
| <b>Repetitionsrate [d]</b>            | unterschiedlich                                                                                                           | 24 (Wiederholung: 5)                                                                                            |
| <b>Kamera</b>                         | MOMS-2P Kamera                                                                                                            | CCD Kamera                                                                                                      |
| <b>Möglicher Maßstab</b>              | 1 : 25 000                                                                                                                | 1 : 10 000 (PAN)<br>1 : 25 000 (LISS-III)                                                                       |
| <b>Operationalisierung</b>            | vorgesehen                                                                                                                | vorhanden                                                                                                       |
| <b>Stereomöglichkeit</b>              | vorhanden                                                                                                                 | vorhanden (bei PAN)                                                                                             |
| <b>Anmerkungen</b>                    | bisher keine Daten von Leipzig<br>aufgrund vieler Probleme auf der<br>MIR-Station                                         | erste Daten von Leipzig vom<br>23. 08. 1996                                                                     |

<sup>113</sup> Eine gute Zusammenfassung bietet hierzu RAGHAVSWAMY et al. (1996).



Insgesamt lassen die Neuentwicklungen ein Voranschreiten der Integration der Fernerkundung in die Praxis erwarten. Die Möglichkeiten sind heute noch nicht ausgenutzt, so daß die Zukunft auch weiterhin interessante Entwicklungen ergeben wird.



## 7. Ableitung von Methodiken und Planungshilfen für die Analyse der Urbanisierung mit Fernerkundungsmethoden

Entsprechend der im Kapitel 1.1 aufgeführten Zielstellung des Projektes werden in den nachfolgenden Tabellen und Abbildungen die Ergebnisse der Untersuchungen der Erkennbarkeit von unterschiedlichen Oberflächenbedeckungen, von Urbanisierungsprozessen und ihrer ökologischen Folgen mittels unterschiedlicher Fernerkundungsdatenprodukte methodisch zusammengefaßt und dargestellt. Dabei sind in der Tab. 39 (s. S. 209) Fernerkundungsdatenprodukte aus der Gesamtarbeit ausgewählt und zusammengestellt, die - mit einem jeweiligen Querverweis auf die erfolgten Untersuchungen - den Zugang zu der Tab. 40 (s. S. 210) bis zur Tab. 43 (s. S. 211) ermöglichen. Dort sind für diese Fernerkundungsdatenprodukte jeweils die Erkennbarkeiten für unterschiedliche Oberflächenstrukturen der Strukturtypen (s. Tab. 40, S. 210) und der Funktionalen Strukturtypen (s. Tab. 41), für unterschiedliche ökologische Faktoren (s. Tab. 42, S. 211) sowie für ausgewählte Urbanisierungsprozesse (s. Tab. 43, S. 211) zusammengefaßt bzw. in drei Stufen bewertet.

**Tab. 39: Numerierung der Fernerkundungsdatenprodukte für die Tab. 40 bis Tab. 43 (eigener Entwurf)**

| Nr. | Fernerkundungsdatenprodukt                                       | Querverweis auf Kapitel im Text |
|-----|------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| 1   | Landsat-TM: Kanalkombination 4 / 5 / 3 - Visuelle Interpretation | Kap. 3.3; HEINZ 1996a           |
| 2   | Landsat-TM :Hierarchische Klassifikation                         | Kap. 3.3; HEINZ 1996a           |
| 3   | Landsat-TM: Raster-GIS-Verknüpfung                               | Kap. 3.3; HEINZ 1996a           |
| 4   | SPOT-XS: Kanalkombination 3 / 2 / 1 - Visuelle Interpretation    | Kap. 3.4.1                      |
| 5   | SPOT-XS: Hauptkomponentenbild                                    | Kap. 3.4.2                      |
| 6   | SPOT-XS: Hierarchische Klassifikation                            | Kap. 3.4.3                      |
| 7   | SPOT-XS: Klassifikation mit EBIS                                 | Kap. 3.4.4                      |
| 8   | Landsat-TM + SPOT-PAN: Verschneidungsprodukt                     | Kap. 3.5.2                      |
| 9   | SPOT-XS + SPOT-PAN: Verschneidungsprodukt                        | Kap. 3.5.2                      |
| 10  | SPOT-XS + KVR-1000: Verschneidungsprodukt                        | Kap. 3.5.2                      |
| 11  | KFA-1000 + KVR-1000: Verschneidungsprodukt                       | Kap. 3.5.2                      |
| 12  | Landsat-TM: Kanal 6 - Visuelle Interpretation                    | Kap. 4.3.1                      |
| 13  | Landsat-TM: Kanal 6 - Raster-GIS-Verknüpfung                     | Kap. 4.3.2                      |
| 14  | Thermalscanneraufnahme: Visuelle Interpretation                  | Kap. 4.3.3                      |
| 15  | Landsat-TM: NDVI - Visuelle Interpretation                       | Kap. 4.4.1                      |
| 16  | Landsat-TM: NDVI - Raster-GIS-Verknüpfung                        | Kap. 4.4.2                      |
| 17  | SPOT-XS: NDVI - Visuelle Interpretation                          | Kap. 4.4.3                      |
| 18  | SPOT-XS: NDVI - Raster-GIS-Verknüpfung                           | Kap. 4.4.4                      |
| 19  | SPOT-PAN: Visuelle Interpretation                                | Kap. 5.4.1                      |
| 20  | KFA-1000: Visuelle Interpretation                                |                                 |
| 21  | KVR-1000 Visuelle Interpretation                                 |                                 |
| 22  | SPOT-XS + SPOT-PAN: Überbauungsdichte                            | Kap. 5.3                        |
| 23  | SPOT-PAN: Kantenganalyse                                         | Kap. 5.4.1 - 5.4.3              |
| 24  | KVR-1000: Kantenganalyse                                         | Kap. 5.4.4                      |
| 25  | Landsat-TM: Vegetationspotential                                 | Kap. 5.5.1                      |
| 26  | Landsat-TM: Bevölkerungspotential                                | Kap. 5.5.2                      |
| 27  | Landsat-TM: Wohnumgebungspotential                               | Kap. 5.5.3                      |
| 28  | SPOT-XS: Vegetationspotential                                    | Kap. 5.5.1                      |
| 29  | SPOT-XS: Bevölkerungspotential                                   | Kap. 5.5.2                      |
| 30  | SPOT-XS: Wohnumgebungspotential                                  | Kap. 5.5.3                      |



**Tab. 40: Erkennbarkeit ausgewählter Oberflächenstrukturen in unterschiedlichen Fernerkundungsdatenprodukten - Oberflächen der Strukturtypen (eigener Entwurf)**

- Bezeichnung der Fernerkundungsdatenprodukte entsprechend der Tab. 39 -  
 - = nicht erkennbar; o = teilweise erkennbar / erkennbar mit Zusatzinformationen; + = gut erkennbar

| Strukturtyp                    | Fernerkundungsdatenprodukt |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |
|--------------------------------|----------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|
|                                | 1                          | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |   |
| Kerngebiete                    | o+                         | -  | -o | o+ | o  | -  | -  | o+ | o  | +  | +  | o+ | o  | o+ | -o | -o | -o | -o | -o | -  | o+ | o+ | -  | -  | -  | o  | -  | o  | o  | -  | o |
| Offene Blockbebauung           | o                          | -  | -o | o  | o  | -  | -  | o  | o  | o+ | +  | -  | -o | -o | -o | -o | -o | -o | -o | -  | o+ | o+ | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | - |
| Geschlossene Blockbebauung     | o                          | -  | -o | o  | o  | -  | -  | o  | o  | o+ | +  | -  | -o | -o | -o | -o | -o | -o | -o | -  | o+ | o+ | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | - |
| Offene Blockrandbebauung       | o                          | -  | -o | o  | o  | -  | -  | o  | o  | o+ | +  | -  | -o | -o | -o | -o | -o | -o | -o | -  | o+ | o+ | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | - |
| Geschl. Blockrandbebauung      | o                          | -  | -o | o  | o  | -  | -  | o  | o  | o+ | +  | -  | -o | -o | -o | -o | -o | -o | -o | -  | o+ | o+ | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | - |
| Zeilenbebauung                 | o                          | -  | -o | o  | o  | -  | -  | o  | o  | o+ | +  | -  | -o | -o | -o | -o | -o | -o | -o | -  | o+ | o+ | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | - |
| Großwohnsiedlungen             | +                          | +  | o  | +  | +  | -  | -  | +  | +  | +  | +  | -o | o  | o+ | o  | o  | o  | o  | +  | +  | +  | -  | -  | -  | o  | -o | o  | o  | -o | o  | - |
| 1- u. 2- Fam.-hausbebauung     | +                          | +  | o  | +  | +  | -  | -  | +  | +  | +  | +  | o  | o  | o+ | o  | o+ | o  | o+ | o  | +  | +  | -  | -  | -  | o  | -o | o  | o  | -o | o  | - |
| Villen                         | o                          | -  | -o | o  | o  | -  | -  | o  | o  | o  | o  | -  | -o | -o | -o | -o | -o | -o | -o | -  | o  | o  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | - |
| Ehemalige Dorfkerne            | -                          | -  | -o | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  |   |
| Ger. vers. Ind.- u. Gew.-Fl.   | -                          | -  | -o | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  |   |
| Stark vers. Ind.- u. Gew.-Fl.  | +                          | +  | o  | +  | +  | -  | -  | +  | +  | +  | +  | -o | o  | o+ | o  | o+ | o  | o+ | o  | +  | +  | -  | -  | -  | o  | -o | o  | o  | -o | o  | - |
| Öffentliche Einrichtungen      | -                          | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  |   |
| Einkaufszentren                | o                          | -  | o  | o  | o  | -  | -  | o  | o  | o  | o  | o  | o  | o  | o  | o  | o  | o  | o  | o+ | o  | -  | -  | -  | o  | -o | o  | o  | -o | o  | - |
| Techn. Ver- u. Ents.-Anlagen   | -                          | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  |   |
| Verkehrsflächen                | +                          | -  | -o | +  | +  | -  | -  | +  | +  | +  | +  | o  | o  | o+ | -o | o  | -o | o  | o  | +  | +  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | - |
| Park- u. Grünanlagen           | +                          | o+ | o  | +  | +  | o+ | -o | +  | +  | +  | +  | o  | o  | o+ | o+ | o  | o+ | o  | -o | +  | o  | o  | -  | -  | o  | -o | o  | o  | -o | o  | - |
| Kleingartenanlagen             | +                          | o+ | o  | +  | +  | o+ | -o | +  | +  | +  | +  | o  | o  | o+ | o  | o  | o  | o  | o  | +  | o  | -  | -  | -  | o  | -o | o  | o  | -o | o  | - |
| Friedhöfe                      | o+                         | o  | -o | o+ | o  | o  | -  | o+ | o+ | +  | +  | -o | -o | o  | o  | o  | o  | o  | -  | o+ | o  | -  | -  | -  | o  | -  | o  | o  | -  | o  | - |
| Sport-, Spiel- u. Freizeitanl. | -o                         | -  | -  | -o | -o | -  | -  | o  | o  | o  | o  | -  | -o | -o | -o | -o | -o | -o | -o | o  | o  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | - |
| Landwirt. Nutzflächen          | +                          | +  | o  | +  | +  | +  | o+ | +  | +  | +  | +  | o+ | o  | o+ | o+ | o+ | o+ | o+ | o  | +  | o  | o  | -  | -  | o  | -o | o  | o  | -o | o  | - |
| Waldflächen                    | +                          | +  | o  | +  | +  | +  | o+ | +  | +  | +  | +  | o+ | o  | o+ | o+ | o+ | o+ | o+ | o  | +  | o  | o  | -  | -  | o+ | -o | o+ | o+ | -o | o+ | - |
| Wasserflächen                  | +                          | +  | o  | +  | +  | +  | +  | +  | +  | +  | +  | o+ | o  | o+ | o  | o+ | o  | o+ | -o | +  | -o | o  | -  | -  | o  | -o | o  | o  | -o | o  | - |
| Brach- u. Umnutzungsflächen    | o+                         | o  | o  | o+ | o  | o  | o  | o  | o  | o  | o  | o  | o  | o  | o  | o  | o  | o  | -o | o+ | o  | -  | -  | -  | o  | -  | o  | o  | -  | o  | - |
| Aufsch., Abgr.- u. Ents.-Fl.   | o                          | -o | -o | o  | o  | -o | o+ | o  | o  | o  | o+ | o  | o  | o  | o  | o  | o  | o  | -o | o+ | o  | -  | -  | -  | o  | -  | o  | o  | -  | o  | - |

**Tab. 41: Erkennbarkeit ausgewählter Oberflächenstrukturen in unterschiedlichen Fernerkundungsdatenprodukten - Oberflächen der Funktionalen Strukturtypen (eigener Entwurf)**

- Bezeichnung der Fernerkundungsdatenprodukte entsprechend der Tab. 39 -  
 - = nicht erkennbar; o = teilweise erkennbar / erkennbar mit Zusatzinformationen; + = gut erkennbar

| Funktionaler Strukturtyp                             | Fernerkundungsdatenprodukt |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|------------------------------------------------------|----------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|                                                      | 1                          | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| Zentrumsbereich                                      | +                          | o  | o+ | +  | +  | o+ | -  | +  | +  | +  | +  | o  | -o | o+ | o+ | o  | o+ | o  | o  | +  | o+ | o+ | -  | -  | o  | -  | o  | o  | -  | o  |
| Zentrumsnäher Bereich                                | -                          | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  |
| Ber. dominierender Wohnfkt.                          | o+                         | o  | o+ | o+ | o+ | o  | -  | o+ | o+ | o+ | o+ | o  | -o | o+ | o+ | o  | o+ | o  | o  | o+ | o+ | o+ | -  | -  | o  | -  | o  | o  | -  | o  |
| Mischgebiet mit Wohnfunktion                         | o+                         | o  | o+ | o+ | o+ | o  | -  | o+ | o+ | o+ | o+ | o  | -o | o+ | o+ | o  | o+ | o  | o  | o+ | o+ | o+ | -  | -  | o  | -  | o  | o  | -  | o  |
| Ortsteilz. auf überreg. Achse                        | -                          | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  |
| Ortsteilz. außerh. überreg. A.                       | -                          | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  |
| Ortsteilz. in Randlage                               | -                          | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  |
| Ber. auf überreg. A. in Cityn.                       | o                          | o  | o  | o  | o  | o  | -  | o  | o  | o  | o  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -o | o  | -o | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  |
| Neubauwohngebiet                                     | o+                         | o+ | o+ | o+ | o+ | o+ | -  | o+ | o+ | o+ | o+ | o  | o  | o+ | o  | o  | o  | o  | -o | o+ | -  | o+ | -  | -  | -o | o  | o  | -o | o  | o  |
| Wohn. m. dichter Bebauung                            | +                          | +  | o+ | +  | +  | o+ | -  | +  | +  | +  | +  | o+ | o  | +  | o+ | o  | o+ | o  | o  | o+ | o+ | +  | -  | -  | o+ | o+ | o+ | o+ | o+ | o+ |
| Wohn. in Citynähe                                    | +                          | o  | o+ | +  | +  | o+ | -  | +  | +  | +  | +  | o  | -o | o+ | o+ | o  | o+ | o  | o  | +  | o+ | o+ | -  | -  | o  | -  | o  | o  | -  | o  |
| Wohn. m. Einzelhausbbg.                              | +                          | +  | o+ | +  | +  | +  | -  | +  | +  | +  | +  | o  | o  | o+ | o  | o  | o  | o  | o+ | +  | o+ | +  | -  | -  | o+ | o  | +  | o+ | o  | +  |
| Wohn. ländlicher Prägung                             | +                          | +  | +  | +  | +  | +  | -  | +  | +  | +  | +  | o  | o  | +  | o  | o  | o  | o  | o  | +  | o+ | +  | -  | -  | o  | -o | o+ | o  | -o | o+ |
| Wohn. mit unikalem Baustil                           | -                          | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  |
| Wohn. m. Industriegebiet                             | o                          | -  | o  | o  | o  | -  | -  | o  | o  | o  | o  | -  | -  | o  | -  | -  | -  | -  | -o | o  | -o | -  | -  | -  | -  | o  | o  | -  | o  | o  |
| Industrie- und Gewerbegebiet                         | +                          | -  | o  | +  | +  | -  | -  | +  | +  | +  | +  | -o | -  | o  | -o | -  | -o | -  | -o | o  | -o | -  | -  | -  | -  | o  | o  | -  | o  | o  |
| Verkehrsgebiet                                       | +                          | -  | o  | +  | +  | -  | -  | +  | +  | +  | +  | o  | -o | +  | o  | -o | -  | -o | o  | o+ | o  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  |
| Geb. öffentl. Einrichtungen                          | -                          | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  |
| Sondergebiet                                         | -                          | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  |
| Naturmah beeinflusstes Areal                         | o                          | o  | o  | o  | o  | o  | -  | o  | o  | o  | o  | -o | -o | o  | -o | -o | -o | -o | -  | -o | -  | -  | -  | -  | -o | -  | -o | -o | -  | -o |
| Technogen beeinflusstes Areal                        | -                          | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  |
| Innerstädt. Erholungsgebiet                          | +                          | +  | o+ | +  | +  | +  | -  | +  | +  | +  | +  | o  | -o | +  | o+ | o  | o+ | o  | -o | o  | -o | o  | -  | -  | o  | -  | o  | o  | -  | o  |
| Entsorgungsgebiet                                    | -                          | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  |
| Landwirtschaftliche Nutzfläche                       | +                          | +  | +  | +  | +  | +  | -  | +  | +  | +  | +  | o  | -o | o+ | o  | -o | o  | -o | o  | +  | o  | -  | -  | o+ | o  | o+ | o+ | o  | o+ |    |
| Großfl. gepl. Nutzungsind. - Gewerbe                 | -                          | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  |
| Großfl. gepl. Nutzungsind. - Wohnungsneubau          | -                          | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  |
| Großfl. gepl. Nutzungsind. - Naherholungsgebiet      | -                          | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  |
| Großfl. gepl. Nutzungsind. - Öffentliche Einrichtung | -                          | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  |
| Gewässerfläche                                       | +                          | +  | +  | +  | +  | +  | -o | +  | +  | +  | +  | o  | o  | o+ | o  | -o | o  | -o | -  | o+ | -  | -  | -  | -  | -o | -  | -o | -o | -  | -o |



**Tab. 42: Erkennbarkeit ausgewählter ökologischer Faktoren in unterschiedlichen Fernerkundungsdatenprodukten - Klima, Vegetation und weitere (eigener Entwurf)**

- Bezeichnung der Fernerkundungsdatenprodukte entsprechend der Tab. 39 -  
 - = nicht erkennbar; o = teilweise erkennbar / erkennbar mit Zusatzinformationen; + = gut erkennbar

|                            | Fernerkundungsdatenprodukt |   |    |   |    |    |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |
|----------------------------|----------------------------|---|----|---|----|----|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|
| Ökologischer Faktor        | 1                          | 2 | 3  | 4 | 5  | 6  | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |   |
| Oberflächenstrahlungstemp. | -                          | - | -  | - | -  | -  | - | - | - | -  | -  | -  | +  | +  | +  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  |   |
| Erwärmung                  | -                          | - | -  | - | -  | -  | - | - | - | -  | -  | -  | +  | +  | +  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  |   |
| Abkühlung                  | -                          | - | -  | - | -  | -  | - | - | - | -  | -  | -  | +  | +  | +  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  |   |
| Klimaanierungsgebiet       | -                          | - | -  | - | -  | -  | - | - | - | -  | -  | -  | -  | -  | 0  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  |   |
| Wärmeinsel                 | -                          | - | -  | - | -  | -  | - | - | - | -  | -  | -  | 0  | 0  | +  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  |   |
| Frischluftschneise         | -                          | - | -  | - | -  | -  | - | - | - | -  | -  | -  | 0  | -  | 0  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  |   |
| Ventilationsbahn           | -                          | - | -  | - | -  | -  | - | - | - | -  | -  | -  | 0  | -  | +  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  |   |
| Vegetation                 | +                          | + | 0+ | + | 0+ | 0+ | - | + | + | +  | +  | 0+ | 0  | 0+ | +  | 0+ | +  | 0+ | -  | -  | -  | -  | -  | -  | 0  | -  | 0  | 0  | -  | 0  |   |
| Durchgrünungsgrad          | +                          | + | 0+ | + | +  | 0+ | - | + | + | +  | +  | 0+ | 0  | 0+ | +  | 0+ | +  | 0+ | -  | -  | -  | -  | -  | 0  | -  | +  | +  | +  | -  | +  |   |
| Vegetationsdynamik         | +                          | + | 0+ | + | +  | 0+ | - | + | + | +  | +  | 0+ | -  | -  | -  | +  | 0+ | +  | 0+ | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | - |
| Versiegelung               | +                          | + | 0+ | + | +  | 0+ | - | + | + | +  | +  | 0+ | 0  | 0+ | +  | 0+ | +  | 0+ | -  | -  | -  | -  | +  | -  | +  | -  | +  | +  | -  | +  |   |

**Tab. 43: Erkennbarkeit ausgewählter Urbanisierungsprozesse in unterschiedlichen Fernerkundungsdatenprodukten - Urbanisierungsprozesse und ökologische Folgen (eigener Entwurf)**

- Bezeichnung der Fernerkundungsdatenprodukte entsprechend der Tab. 39 -  
 - = nicht erkennbar; o = teilweise erkennbar / erkennbar mit Zusatzinformationen; + = gut erkennbar

| Urbanisierungsprozeß       | Fernerkundungsdatenprodukt |    |    |   |   |    |    |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----------------------------|----------------------------|----|----|---|---|----|----|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|                            | 1                          | 2  | 3  | 4 | 5 | 6  | 7  | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| Veränd. d. Oberflächenbed. | +                          | o+ | o+ | + | + | +  | -o | + | + | +  | +  | o+ | o+ | +  | +  | o+ | +  | o+ | -o | +  | o  | +  | -  | -  | +  | -o | +  | +  | -  | +  |
| Neubau                     | +                          | o+ | +  | + | + | o+ | -o | + | + | +  | +  | o+ | o+ | +  | +  | o+ | +  | o+ | -o | +  | +  | +  | -  | -  | +  | -o | +  | +  | -  | +  |
| Entkernung                 | +                          | +  | o+ | + | + | o  | -  | + | + | +  | +  | o+ | o+ | +  | +  | o+ | +  | o+ | -  | +  | +  | +  | -  | -  | +  | -  | +  | +  | -  | +  |
| Versiegelung               | +                          | +  | o+ | + | + | o  | -  | + | + | +  | +  | o+ | o+ | +  | +  | o+ | +  | o+ | -  | +  | -  | +  | -  | -  | +  | -  | +  | +  | -  | +  |
| Entsiegelung               | +                          | +  | o+ | + | + | o  | -  | + | + | +  | +  | o+ | o+ | +  | +  | o+ | +  | o+ | -  | +  | -  | +  | -  | -  | +  | -  | +  | +  | -  | +  |
| Veränd. d. Funktion d. Fl. | -                          | -  | -  | - | - | -  | -  | - | - | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  |    |

Diese Übersichten ermöglichen einen Vergleich zwischen den einzelnen Fernerkundungsmethoden und bieten über die Querverweise in der Tab. 39 (s. S. 209) die Möglichkeit, sich mit den spezifischen Problemen einer jeden Methode explizit zu befassen. Für eine zusätzliche und unmittelbare Vergleichsmöglichkeit ist in der Anlage eine Kartenserie zum 'Abbildungsverhalten der Oberflächenbedeckung der Strukturtypen in ausgewählten Fernerkundungsdatenprodukten' für optimierte Maßstäbe aufgeführt.<sup>114</sup> Diese umfassen überwiegend die in der Tab. 39 (s. S. 209) aufgeführten Fernerkundungsdatenprodukte. Der jeweils bezeichnete Strukturtyp befindet sich immer in der Mitte der kleinen Abbildungen (s. Pfeile).

Beide Ergebniszusammenfassungen gestalten sich sehr umfangreich und ergänzen sich gegenseitig. Es fehlt jedoch eine komplexe Darstellung, in der allgemein bekannte und einfache Fernerkundungsmethoden für die Fragestellung anwenderbezogen zusammengefaßt werden. Dies soll mit Hilfe der vier, ebenfalls im Anhang vorgestellten Graphiken (s. Kap. 10.2 - 10.5) geschehen.

<sup>114</sup> Ihre Kartenummerierung ist der Tab. 44 (s. S. 212) zu entnehmen.



Tab. 44: Kartennumerierung für die Kartenserie 'Abbildungsverhalten der Oberflächenbedeckung der Strukturtypen in ausgewählten Fernerkundungsdatenprodukten' (s. Anhang; eigener Entwurf)

|                                                          |                                                  | Strukturtypen              |                               |                                   |                                   |                                   |
|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
|                                                          |                                                  | Kerngebiete                | Zeilenbebauung                | Gering vers. Ind.-u. Gew.-Flächen | Verkehrsflächen                   | Landwirtschaftliche Nutzflächen   |
|                                                          |                                                  | Offene Blockbebauung       | Großwohnsiedlungen            | Stark vers. Ind.-u. Gew.-Flächen  | Park- und Grünanlagen             | Waldflächen                       |
|                                                          |                                                  | Geschlossene Blockbebauung | 1- u. 2- Familienhausbebauung | Öffentliche Einrichtungen         | Kleingartenanlagen                | Wasserflächen                     |
|                                                          |                                                  | Offene Blockrandbebauung   | Villen                        | Einkaufszentren                   | Friedhöfe                         | Brach- u. Umwidmungsflächen       |
| Titel                                                    | Fernerkundungsprodukt                            | Geschl. Blockrandbebauung  | Ehemalige Dorfkerne           | Techn. Ver- u. Entsorgungsanl.    | Sport-, Spiel- u. Freizeitanlagen | Aufsch.-, Abgr.- u. Ents.-Flächen |
| Strukturtypen im Landsat-TM-Bild                         | Landsat-TM Kanalkombination 4 / 5 / 3            | 0101                       | 0102                          | 0103                              | 0104                              | 0105                              |
|                                                          | Hierarchische Klassifikation                     |                            |                               |                                   |                                   |                                   |
|                                                          | Normalized Difference Vegetation Index           |                            |                               |                                   |                                   |                                   |
| Strukturtypen im SPOT-XS-Bild                            | SPOT-XS Kanalkombination 3 / 2 / 1               | 0201                       | 0202                          | 0203                              | 0204                              | 0205                              |
|                                                          | Hierarchische Klassifikation                     |                            |                               |                                   |                                   |                                   |
|                                                          | Normalized Difference Vegetation Index           |                            |                               |                                   |                                   |                                   |
| Strukturtypen im SPOT-PAN, KFA-1000 und KVR-1000-Bild    | SPOT-PAN                                         | 0301                       | 0302                          | 0303                              | 0304                              | 0305                              |
|                                                          | KFA-1000                                         |                            |                               |                                   |                                   |                                   |
|                                                          | KVR-1000                                         |                            |                               |                                   |                                   |                                   |
| Strukturtypen in Verschneidungsprodukten                 | Verschneidungsprodukt Landsat-TM + SPOT-PAN      | 0401                       | 0402                          | 0403                              | 0404                              | 0405                              |
|                                                          | Verschneidungsprodukt SPOT-XS + SPOT-PAN         |                            |                               |                                   |                                   |                                   |
|                                                          | Verschneidungsprodukt SPOT-XS + KVR-1000         |                            |                               |                                   |                                   |                                   |
| Strukturtypen und ihre Oberflächenstrahlungstemperaturen | Landsat-TM Kanal 6                               | 0501                       | 0502                          | 0503                              | 0504                              | 0505                              |
|                                                          | Thermalscanneraufnahme (DAEDALUS) Abendaufnahme  |                            |                               |                                   |                                   |                                   |
|                                                          | Thermalscanneraufnahme (DAEDALUS) Morgenaufnahme |                            |                               |                                   |                                   |                                   |
| Strukturtypen und ihr Wohnumgebungs-potential            | Bevölkerungspotential                            | 0601                       | 0602                          | 0603                              | 0604                              | 0605                              |
|                                                          | Vegetationspotential                             |                            |                               |                                   |                                   |                                   |
|                                                          | Wohnumgebungs-potential                          |                            |                               |                                   |                                   |                                   |
| Strukturtypen und ihre Überbauungsdichte                 | KVR-1000                                         | 0701                       | 0702                          | 0703                              | 0704                              | 0705                              |
|                                                          | Überbauungsdichte nach SPITZER, F. (1996a)       |                            |                               |                                   |                                   |                                   |
|                                                          | Überbauungsdichte nach WEICHELT, H (1997)        |                            |                               |                                   |                                   |                                   |



Damit ist - im Gegensatz zu den beiden bisher aufgeführten, methodischen Zusammenfassungen - eine gute Basis für jeden einzelnen potentiellen Anwender vorhanden, die Integrationsmöglichkeit der Fernerkundung in die Praxis bzw. in die Planungsabläufe frage- und themenspezifisch für sich abzuwägen und zu entscheiden. Die Vorteile der vier Graphiken liegen in ihrer komplexen Verbindung von Maßstabsebenen, Fernerkundungsdaten und -methoden zu den interessierenden Oberflächen als Untersuchungsgegenstand und dem multi- oder monotemporalen Interesse bis hin zum Geographischen Informationssystem. Durch die thematische Verteilung in Flächennutzungskategorien, stadträumliche Merkmale, ökologisch relevante Oberflächen und ökologisch relevante Oberflächeninformationen wird die Anwendbarkeit dieser Graphiken für einen breiten Nutzerkreis ermöglicht. In Verbindung mit der Tab. 39 (s. S. 209) bis Tab. 44 (s. S. 212) sowie der Kartenserie im Anhang und den Querverweisen auf die einzelnen Kapitel dieser Arbeit steht hiermit ein umfangreiches Gerüst zur Verfügung, mit dem die Fragen der Integrationsmöglichkeit von unterschiedlichen

- Fernerkundungsdaten,
- Fernerkundungsmethoden und
- Fernerkundungsdatenprodukten

zur Untersuchung von Urbanisierungsprozessen und ihrer ökologischen Folgen in die Planung geklärt werden können.

Wichtig zu erwähnen ist, daß die hier zur Verfügung gestellten Hilfsmittel immer vor dem Hintergrund der üblichen Problembereiche und Grenzen der Fernerkundung zu bewerten sind. Dazu zählen als wichtigste - noch einmal zusammengefaßt und ergänzt um die möglichen Probleme beim Nutzer - die in der Tab. 45 (s. S. 213) dargestellten.

**Tab. 45: Problembereiche und Grenzen bei der Anwendung der Fernerkundung (eigener Entwurf)**

| <b>Probleme in der Fernerkundung</b>                               | <b>Probleme beim potentiellen Nutzer</b>       |
|--------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Geometrische Auflösung                                             | Datenverfügbarkeit                             |
| Spektrale Auflösung                                                | Verfügbarkeit von Ground-Trouth-Daten          |
| Temporale Auflösung                                                | Finanzen                                       |
| Spektrale und atmosphärische Datenangleichung                      | Know-how                                       |
| Geometrische Entzerrung                                            | Technische Ausrüstung                          |
| Abbildung von Oberflächenbedeckungen ohne Hinweis auf die Funktion | Aufgeschlossenheit gegenüber der Fernerkundung |
| Generalisierungen bei Klassifikationen etc.                        | Maßstab                                        |
| Ableitung relativer Aussagen                                       | Detailgenauigkeit                              |
| Datenverfügbarkeit                                                 | etc.                                           |
| etc.                                                               |                                                |



Hingewiesen werden muß zudem darauf, daß es für die Untersuchung der Urbanisierungsprozesse und ihrer ökologischen Folgen eine spezielle Methodik nicht gibt. Je nach dem gewünschten Ziel, der Finanzsituation und dem Know-how des Bearbeiters bedarf es einer themenspezifischen Auswahl bzw. Anpassung der Methodiken, der Datenprodukte und der Maßstabsbereiche, wobei dieses Kapitel und nicht zuletzt diese Arbeit helfen soll.

Die vorgestellten Anwendungsmöglichkeiten der verschiedenen Fernerkundungsdaten für den Bereich der Erkundung von Urbanisierungsprozessen haben eine große Komplexität und vielfache Extraktionsmöglichkeiten durch unterschiedliche Herangehensweisen gezeigt. Aus diesem Grunde der Vielfalt der Möglichkeiten sind in den Flußdiagrammen (s. Kap. 10.2 bis 10.5) verschiedene mögliche Einsatzbereiche der unterschiedlichen Sensoren und die für den Erhalt eines gewünschten Ergebnisses nötigen Bildverarbeitungsschritte dargestellt. Die dargestellten Graphiken sollen dem Planer die Integration der Fernerkundung in seinen Planungsablauf ermöglichen. Das Diagramm kann hierfür von verschiedenen Seiten betrachtet werden, weswegen keine Richtungspfeile vorhanden sind. Die Bereiche 'Geographisches Informationssystem', 'zeitlicher Aspekt', 'Flächennutzungskategorien', 'Schritte der Bildverarbeitung', 'Sensoren' und 'Maßstabsbereiche' sind miteinander verknüpft und stellen jeder für sich einen Startpunkt dar.

Eine mögliche Herangehensweise und deren Komplexität sei an einem Beispiel vorgestellt (s. Flußdiagramm im Kap. 10.2): Einen Planer interessiert die Einzelhausbebauung, die er im Bereich der Flächennutzungskategorien als Startpunkt benutzt. Er sieht, daß eine monotemporale Betrachtung ausreicht und die Daten in ein GIS einfließen können. Innerhalb des GIS kann er für die Kleingartenanlagen den IST-Zustand analysieren sowie den SOLL-Zustand modellieren. Aber auch die Extraktion von vorhandenen Daten aus einem GIS für die weitere Analyse ist möglich, womit das Diagramm von links nach rechts gelesen wird. Vom Punkt 'Kleingartenanlagen' kann nun der Weg über die Verarbeitungsschritte der Fernerkundung hin zu den Sensoren verfolgt werden. Er endet an verschiedenen Stellen - zum Beispiel über die visuelle Interpretation und die radiometrische und geometrische Entzerrung (Grundvoraussetzung zur Einbindung in ein GIS und zur Datenverschneidung) hin zum Sensor Landsat-TM. Auf diesem Weg können Referenzdaten und Maskierungen hinzugenommen werden. Die Arbeit mit Landsat-TM ermöglicht eine Maßstabsebene von 1 : 50 000. Benötigt der Planer hingegen einen größeren Maßstab, so benutzt er die entsprechend höher auflösenden Sensoren als neuen Startpunkt. Nun wird der Weg zurück zur Flächennutzungskategorie verfolgt. Anhand des Diagramms können somit die für den Erhalt zufriedenstellender Ergebnisse notwendigen Arbeitsschritte der Bildverarbeitung nachvollzogen werden. Eine Integration der Fernerkundung in den Planungsablauf wird nunmehr ermöglicht (HEINZ 1997a).



## 8. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Für die Überprüfung der Einsatzmöglichkeiten von Fernerkundungsmethoden für das Monitoring von Urbanisierungsprozessen ist die eingehende Analyse der Erkennbarkeit unterschiedlicher, stadtspezifischer Oberflächen in den einzelnen fernerkundungsmethodischen Verarbeitungsstadien sehr wichtig. Nur dadurch kann der Zugang zur Ableitung sinnvoller Methoden sowie von Vor- und Nachteilen dieser und ihrer Grenzen und Möglichkeiten genau erfolgen. Dementsprechend ist in der Arbeit ein Schwerpunkt auf diese Thematik gelegt worden, wobei auch die durchaus wichtige visuelle Interpretation nicht vernachlässigt worden ist. Ist es doch gerade diese, die zum Teil bei der themenspezifischen Interpretation mehr Information liefert als ein hochkompliziert und zeitintensiv bearbeitetes Fernerkundungsdatenprodukt. Im Hinblick auf die heutige wirtschaftliche Situation werden gerade einfache und billige Methoden für die Anwendung in der Praxis gesucht, wozu diese Arbeit - nicht zuletzt durch das Kapitel 7 - eine Hilfestellung bieten soll.

Die Stadtregion Leipzig hat sich als gutes Arbeitsgebiet für das methodische Monitoring von Urbanisierungsprozessen mit Fernerkundungsmethoden erwiesen. Die untersuchten Urbanisierungsprozesse laufen in den Neuen Bundesländern, und damit auch in Leipzig, innerhalb kürzester Zeitspannen ab, so daß sich hier die Erforschung der Nutzbarkeit der Fernerkundung für die Untersuchung von Urbanisierungsprozessen im kurzen Zeitraum von zwei Jahren angeboten hat. Die Datenfülle, die für diesen Zeitrahmen beschafft werden konnte bzw. vorlag, unterstützt die Wichtigkeit und Möglichkeiten der Integration von Fernerkundungsmethoden in die Praxis. Insbesondere bei der heutzutage vermehrt in den Vordergrund tretenden Stadtökologie, die nicht unwesentlich durch die ablaufenden Urbanisierungsprozesse beeinflußt wird, ist der durch die Fernerkundungsdatenprodukte gewährleistete, räumliche und aktuelle Bezug eine wichtige Grundlage für aktuelle Flächennutzungsanalysen und gerichtete Raumplanungen.

Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen haben zahlreiche Ergebnisse ergeben, die einerseits eine anwendungsorientierte und andererseits eine fernerkundungsmethodische Komponente haben. Sie lassen sich wie folgt zusammenfassen:



- Die **Erkennbarkeit urbaner Oberflächenstrukturen** mit Fernerkundungsmethoden ist umfassend untersucht, dargestellt und diskutiert worden. Die Analyse der Erkennbarkeit von Elementen im Satellitenbild, die direkt oder indirekt auf einen Urbanisierungsprozeß hinweisen sind anhand unterschiedlicher Fernerkundungsdatenprodukte getestet worden (s. Kap. 3). Oberflächenstrukturen lassen sich in verschiedenen Fernerkundungsdatenprodukten in Abhängigkeit von der geometrischen und spektralen Auflösung unterschiedlich gut erkennen. Speziell die Flächennutzungen der Innenstädte zeichnen sich durch eine hohe spektrale Inhomogenität aus, die bei höherer Auflösung zunimmt (ACHEN 1993, S. 54). Nutzungsbestimmte Oberflächenstrukturen eignen sich im Gegensatz zu funktionsbestimmten Oberflächenstrukturen für die Untersuchung mit Fernerkundungsmethoden. Eine spezielle Untersuchungsmethodik für urbane Oberflächenstrukturen gibt es nicht. Sie muß jeweils themen- und anwenderspezifisch ausgewählt werden. Die Ergebnisse sind insbesondere in den Kapiteln 3.3, 3.4.5, 3.6 und im Kap. 7 zusammengefaßt.
- Das **Monitoring der Urbanisierungsprozesse**, speziell die mit Fernerkundungsmethoden erkennbaren Urbanisierungsprozesse in Raum und Zeit sind untersucht, dargestellt und diskutiert worden (s. Kap. 3, 4, u. 5). Dabei konnten neben der Überprüfung der Einsatzmöglichkeiten von Fernerkundungsdaten für die Raumbesichtigung des Ist-Zustandes multitemporale und -sensorale Datenverschneidungen in Abhängigkeit von den zur Verfügung stehenden Daten durchgeführt und unterschiedliche Methodiken untersucht werden (s. Kap. 3.3, 3.4, 3.5, 5.3.3 u. 5.5.4). In Abhängigkeit von der Datenlage, der geometrischen Auflösung und dem gewünschten Maßstab ist das Monitoring der Urbanisierungsprozesse mit Fernerkundungsmethoden möglich. Im weiteren gelten die Aussagen für die Erkennbarkeit urbaner Oberflächenstrukturen. Die Güte der einzelnen Ergebnisse kann insbesondere den Kapiteln 3.3, 3.4.1, 3.5, 5.3.3, 5.5.3, 5.6 und 7 entnommen werden.
- Bei der **Untersuchung der Ökologie in urbanisierten Räumen** stand die Betrachtung, Darstellung und Diskussion der ökologischen, aus den verwendeten Fernerkundungsdaten zu selektierenden Komponenten durch Berechnung von Indizes im Vordergrund. Der Ist-Zustand und die mit Urbanisierungsprozessen einhergehende Veränderung der Ökologie - speziell der Vegetation als Maß für die Versiegelung bzw. Durchgrünung und der Oberflächenstrahlungstemperatur - waren Gegenstand der Arbeit. Die ökologischen Verhältnisse und - bei entsprechender Datenlage - deren Veränderungen sind ermittelt, lokalisiert, charakterisiert und in ihrer Flächenausdehnung bestimmt worden (s. Kap. 4 u. 5.5.1). Mit den unterschiedlichen Fernerkundungsdatenprodukten können ökologische Merkmale definierter Raumeinheiten erfaßt, die Veränderungen der Ökologie in Abhängigkeit verschiedener Faktoren (z. B. Maßstab) erkannt und Rückschlüsse auf das Vorhandensein bestimmter Oberflächenstrukturen geschlossen werden (s. Kap. 4.5, 5.5.4 u. 7).
- Zur Untersuchung der Ökologie in urbanisierten Räumen diente gleichfalls die **Entwicklung und Anwendung spezieller Methoden** für die Untersuchungen der Flächenverdichtung und der ökologischen Wohnumgebung (s. Kap. 5). Die Methoden, Darstellung und Diskussion der Ergebnisse, die Vor- und Nachteile und die Grenzen und Möglichkeiten werden in den Kapiteln 5.3.4, 5.4.5, 5.5.4, 5.6 u. 7 zusammengefaßt. Insbesondere die Untersuchung der Überbauungsdichte und der Wohnumgebung haben interessante Anwendungsmöglichkeiten ergeben.
- Der kurze **Ausblick auf neue Sensoren** stellt die zu erwartenden neuen Sensoren dar und schätzt die Einsatzmöglichkeiten dieser ein (s. Kap. 6). Die Zukunft wird neu entwickelten Sensoren gehören, die auch neuer Methodiken bedürfen. Die geplanten höheren Auflösungen bringen aber nicht nur Vorteile (z. B. bessere Detailerkennbarkeit, höhere Repetitionsrate, etc.), sondern auch Nachteile mit sich (z. B. höherer Speicherbedarf, erschwerte geometrische Entzerrung, umfangreichere Methoden, etc.).
- Die **Ableitung von Methoden und Planungshilfen** dient der Ergebniszusammenfassung der Arbeit für eine Erleichterung der Integration der Fernerkundung in die Praxis (s. Kap. 7). Durch die Erarbeitung von Planungshilfen wird die Auswahl des Datenmaterials für bestimmte, die Urbanisierung betreffende Fragestellungen unterstützt.

Die fernerkundungsmethodischen Ergebnisse, die zum Teil bereits bei der Zusammenfassung für den Ausblick auf neue Sensoren und für die Ableitung von Methoden und Planungshilfen integriert sind, umfassen insbesondere



- die **Methodenentwicklung**. Es sind möglichst einfache und anwendungsfreundliche Methoden für die Fragestellung entwickelt und erprobt worden (s. Kap. 3.2, 3.4.2, 3.4.4, 3.5.1, 4.2, 4.3.2, 4.4.2, 4.4.4, 5.2, 5.3.3, 5.4.3, 5.5, 5.6 u. 7). Sie haben alle verschiedene Vor- und Nachteile und ergänzen sich zumeist gegenseitig. Darüber hinaus darf die visuelle Interpretation nicht vernachlässigt werden (vgl. oben).
- die **Methodenabgrenzung und den -vergleich**. Dabei sind die Vor- und Nachteile sowie die Grenzen und Möglichkeiten herausgearbeitet worden. Unterschiedliche Methoden der Bildverarbeitung und Interpretation wurden miteinander verglichen und die Ergebnisse gegenübergestellt (s. Kap. 3.4.5, 3.5.1, 4.5, 5.3.4, 5.4.3, 5.4.5, 5.5.4, 5.6 u. 7). Hierbei sei insbesondere auf das Kap. 7 verwiesen.
- den **Test verschiedener Sensoren**. Um einem methodischen Anspruch gerecht zu werden, ist versucht worden, das Thema möglichst umfassend zu bearbeiten. Neben verschiedenster Methoden sind auch verschiedenste Sensoren auf ihre Vor- und Nachteile sowie Grenzen und Möglichkeiten hin überprüft worden (s. Kap. 3.3, 3.4, 4.3, 4.4, 5.4.1, 5.4.4 u. 7). Die Sensoren haben eine unterschiedliche Güte für ihren Einsatz bei der Bearbeitung der Themenstellung. Eine Kombination verschiedener Sensoren führt häufig zu einer Ergebnisverbesserung.

Die im digitalen Datenformat vorliegenden Ergebnisdaten werden in ein Geographisches Informationssystem integriert. Insbesondere durch die zur Verfügung stehende Meta-Datenbank wird der schnelle und einfache Zugriff zu den erarbeiteten Daten ermöglicht. Der potentielle Anwender kann über die in dieser Arbeit vorgestellten Abbildungen hinaus die Möglichkeiten der Integration der verschiedenen Methodiken in seinen Arbeitsablauf einschätzen. Ihm helfen dabei die direkt möglichen Vergleiche sowie die Vorteile der Datenverarbeitung. Dieser ermöglichte eigene Test bietet eine zusätzliche, wichtige Entscheidungshilfe für den potentiellen Anwender.

Die Studie über die Erkennbarkeit von Urbanisierungsprozessen und ihrer ökologischen Folgen für den sehr interessanten, weil von starken Umstrukturierungen betroffenen, vielfältigen Raum der Stadtregion Leipzig hat zahlreiche interessante Ergebnisse und vielfältige Einsatzmöglichkeiten der verschiedensten Fernerkundungsmethodiken vorgestellt. Die unterschiedlichen Grenzen, aber auch die Möglichkeiten müssen erkannt und bewertet werden können, um die Integration in die Praxis zu unterstützen und voranzutreiben. Dies wird mit dieser Arbeit möglich (s. Kap. 7). Jede Anwendung für sich hat ihre - vorgestellten - Vor- und Nachteile. Deshalb ist es auch nicht das Ziel der Fernerkundung und somit auch dieser Arbeit, durch Methodiken erprobte Planungsabläufe zu ersetzen. Vielmehr ist gezeigt worden, daß sich die Fernerkundung als eine zusätzliche Methode ergänzend eignet. Auch im Hinblick auf die immer weiter voranschreitende technische Entwicklung wird die Zukunft der computergestützten Arbeit gehören. Diesem Aspekt wird die Arbeit ebenso gerecht. Es bleibt zu hoffen, daß die zukünftige Entwicklung stärker auf die Bedürfnisse des Anwenders abgestimmt werden, so daß die Vorteile der Fernerkundung noch besser für den einzelnen nutzbar werden.







## 9. Literaturverzeichnis

- ACHEN, M. (1993): Untersuchungen über Nutzungsmöglichkeiten von Satellitenbilddaten für eine ökologisch orientierte Stadtplanung am Beispiel Heidelberg. - (= Heidelberger geographische Arbeiten, H. 91), Heidelberg
- ADAM, K. (1985): Die Stadt als Ökosystem. - Geographische Rundschau 37, H. 5, S. 214 - 225
- ADAM, K. (1988): Stadtökologie in Stichworten. - (= HIRT's Stichwörterbücher), Unterägeri, Schweiz
- ATKINSON, P.; CUSHINE, J.; TOWNSHEND, J. R. G. (1985): Improving Thematic Mapper land cover classification using Filtered Data. - International Journal of Remote Sensing, Vol. 6, No. 6, pp. 955 - 961
- BÄHR, H.-P. (Hrsg.; 1995): Digitale Bildverarbeitung. Anwendung in Photogrammetrie und Fernerkundung. - Karlsruhe
- BAESTLEIN, A. u. BERKEFELD, D. (1988): Bodenversiegelung im Siedlungsbereich. Einführung und Kurzfassungen - In: BfLR (Hrsg.): Bodenversiegelung im Siedlungsbereich. - (= Informationen zur Raumentwicklung, H. 8/9, S. I - X), Bonn
- BANZHAF, E. (1998): Methodische Grundlagen. Fernerkundung. - In: Banzhaf, E.; Kasperidus, H. D. (Hrsg.): Erfassung und Auswertung der Landnutzung und ihrer Veränderungen mit Methoden der Fernerkundung und geographischen Informationssystemen im Raum Leipzig-Halle-Bitterfeld. - (= UFZ-Bericht Nr. 2/1998, S. 17 - 28), Leipzig
- BERGER, M. (1995): Methoden zur räumlichen Erfassung der "städtischen Wärmeinsel" mit Hilfe eines Geographischen Informationssystems (GIS) am Beispiel der Stadt Düsseldorf. - Trier, Diplomarbeit
- BERLEKAMP, L.-R.; PRANZAS, N. (1992): Erfassung und Bewertung von Bodenversiegelungen unter hydrologisch-stadtplanerischen Aspekten am Beispiel eines Teilraums von Hamburg. - Hamburg, Dissertation
- BLAUROCK, K.-H.; BREITFELD, B. u. RÖSNER, W. (1986): Nutzungsmöglichkeiten multispektraler Flugzeugaufnahmen für die Erfassung von Veränderungen der Flächennutzung. - In: Direktor des Zentralinstituts für Physik der Erde Potsdam (Hrsg.): 3. Konferenz Fernerkundung. Stand und Entwicklungstendenzen. Leipzig, 5. - 7. Dezember 1984. - (= Veröffentlichungen des Zentralinstituts für Physik der Erde, Nr. 82, S. 58 - 65), Potsdam
- BÖHM, P.; BREUSTE, J.; HEYN, C. u. WICKOP, E. (1996): Karte der Strukturtypen der Stadt Leipzig, 1 : 50 000. - Leipzig
- BÖHM, P.; BREUSTE, J.; KINDLER, A.; u. a. (1994): Karte der Strukturtypen der Stadt Leipzig, 1 : 50 000. - Leipzig
- BREUER, T.; GLÄBER, C. u. JÜRGENS, C. (Hrsg.; 1997): Fernerkundung in urbanen Räumen. Beiträge des DGPF-Arbeitskreises „Interpretation von Fernerkundungsdaten“ vom 17. - 18. April 1997 in Regensburg. - (= Regensburger Geographische Schriften, H. 28), Regensburg
- BREUSTE, J. (1994): Ökologische Aspekte der Stadtentwicklung Leipzigs. - Geographische Rundschau 46, H. 9, S. 508 - 514
- BREUSTE, J. (1996): Der suburbane Raum als neue Kulturlandschaft. - In: Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH (Hrsg.): 2. Leipziger Symposium Stadtökologie. „Ökologische Aspekte der Suburbanisierung“. Abstracts. 13. - 14. Juni 1996. - Leipzig, S. 7 - 8
- BREUSTE, J.; KEIDEL, Th. MEINEL, G.; MÜNCHOW, B.; NETZBAND, M.; SCHRAMM, M. (1996): Erfassung und Bewertung des Versiegelungsgrades befestigter Flächen. - (= UFZ-Bericht Nr. 12/1996), Leipzig
- Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau (Hrsg.; 1993): Baulandbericht 1993. - Bonn-Bad Godesberg
- CZERANKA, M. (1993): Multitemporale Satellitenbilddauswertung als Hilfsmittel der räumlichen Analyse und Planung am Beispiel von Groß-Kairo. - (= Vechtaer Studien zur Angewandten Geographie und Regionalwissenschaft, Bd. 9, S. 13 - 18), Vechta
- DUHME, F. u. PAULEIT, S. (1994): Strukturtypenkartierung als Instrument der räumlich-integrativen Analyse und Bewertung der Umweltbedingungen in München. Teil 2: Erprobung der Strukturtypenkartierung in einem Testgebiet. - Freising, unveröffentlichter Forschungsbericht
- Erdas Inc. (Edt.; 1994): The ERDAS Field Guide. - Atlanta, Georgia, USA
- Eurostat (Hrsg.; 1993): Fernerkundungsprogramm. Pilotprojekt Fernerkundung und Statistik der Städte. Bericht der Abschlusssitzung des Projektes am 08. 11. 1993. - Paris



- FISCHER, D. (1989): Einsatz von Fernerkundungssystemen für Aufgaben des Umweltschutzes. - In: Markwitz, W. u. Winter, R. (Hrsg.): Fernerkundung. Daten und Anwendungen. - Karlsruhe, S. 31 - 44
- FISCHER, P. (1995): Bevölkerungsbewegung in Sachsen. - Stadt Leipzig (Hrsg.): Statistische Woche Leipzig. 25. - 29. Sept. 1995. Tagungsführer. - Leipzig, S. 45
- FORSTER, B. (1983): Some Urban Measurements from Landsat Data. - Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 49, No. 12, pp. 1693 - 1707
- FROTSCHER, W. (1989): Kennzeichnung von Freiflächen der Stadtregion Halle mittels Fernerkundungsdaten. - (= Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften, Bd. 14, S. 75 - 87), Gotha
- GATZWEILER, H.-P. (1995): Die Bedeutung der Außen- und Binnenwanderung für die Entwicklung der Siedlungsstruktur. - In: Stadt Leipzig (Hrsg.): Statistische Woche Leipzig. 25. - 29. Sept. 1995. Tagungsführer. - Leipzig, S. 71
- Geosystems GmbH (Hrsg.; o. J.): Evidence-based Interpretation of Satellite Images. User Manual. - Germering, unveröffentlicht
- GÖDDECKE-STELLMANN, J. (1995): Die Stadtregion - ein neues Abgrenzungsmodell. - In: Stadt Leipzig (Hrsg.): Statistische Woche Leipzig. 25. - 29. Sept. 1995. Tagungsführer. - Leipzig, S. 37
- GOMARASCA, M. A.; BRIVIO, P. A.; PAGNONI, F. and GALLI, A. (1993): One century of land use changes in the metropolitan area of Milan. - International Journal of Remote Sensing, Vol. 14, No. 2, pp. 211 - 223
- GORMSEN, N. (1996): Leipzig - Stadt, Handel, Messe. Die städtebauliche Entwicklung der Stadt Leipzig als Handels- und Messestadt. - In: Mayr, A. u. Grimm, Fr.-D. (Hrsg.): Daten-Fakten-Literatur zur Geographie Europas. - (= Veröffentlichung des Institutes für Länderkunde, H. 3), Leipzig
- GOßMANN, H. (1989): Satelliten-Fernerkundung. - Geographischen Rundschau 41, 12, S. 674 - 681
- GREEN, K.; KEMPKA, D. a. LACKEY, L. (1994): Using Remote Sensing to Detect and Monitor Land-Cover and Land-Use Change. - Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 60, No. 3, pp. 331 - 337
- GRENZDÖRFFER, G. (1997): Multiskalige Betrachtungen einer Stadt - am Beispiel der Hansestadt Rostock. - (= Abstract der DGPF-Frühjahrstagung am 17. und 18. 04. 1997 in Regensburg des Arbeitskreises „Interpretation von Fernerkundungsdaten“, o. S.), Regensburg
- HANSCHKE, U. (1995): Flächentypen. Eine Beschreibung der im Umweltinformationssystem (UIS) der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz erfaßten und verwalteten Flächentypen. - Berlin, unveröffentlicht
- HASSENPFUG, W.; FINK, W.; HOFFELNER, G. etc. (1987): Landnutzungskartierung nach Satellitendaten. Methodenstudie am Beispiel des Blattes Neumünster der Topographischen Übersichtskarte 1 : 200 000. - (= ARL, Beiträge, Bd. 92), Hannover
- HEINRICH, D. u. HERGT, M. (1991): dtv-Atlas zur Ökologie. - München
- HEINZ, V. (1996a): Die Flächennutzung der Stadt Leipzig im klassifizierten Landsat-TM-Bild. - (= UFZ-Bericht Nr. 9/1996), Leipzig
- HEINZ, V. (1996b): Leipzig im Satellitenbild. - (= Leipziger Blätter, Sonderheft 1996, S. 84 - 87), Leipzig
- HEINZ, V. (1996c): Nutzung von Fernerkundungsdaten zur Untersuchung von Urbanisierungsprozessen und ihrer ökologischen Folgen. - In: Marek, K.-H. (Hrsg.): Anwendung der Weltraum-Fernerkundung in Verwaltung und Wirtschaft. - (= Proceedings des ILA-Kolloquiums 1996, Berlin, 15. Mai 1996, S. 117 - 125), Berlin / Potsdam
- HEINZ, V. (1997a): Einsatz von SPOT-Daten für die Erkundung von Urbanisierungsprozessen. - ZPF 3/97, S. 105 - 108
- HEINZ, V. (1997b): Vergleich ausgewählter Einsatzmöglichkeiten von SPOT-Daten für die Erkundung von Urbanisierungsprozessen. - ZPF 2/97, S. 49 - 58
- HEINZ, V. (1998a): Ausgewählte Fernerkundungsmethoden zur Erfassung von Urbanisierungsprozessen. - In: Banzhaf, E.; Kasperidus, H. D. (Hrsg.): Erfassung und Auswertung der Landnutzung und ihrer Veränderungen mit Methoden der Fernerkundung und geographischen Informationssystemen im Raum Leipzig-Halle-Bitterfeld. - (= UFZ-Bericht Nr. 2/1998, S. 37 - 52), Leipzig



- HEINZ, V. (1998b): Erkennbarkeit von Urbanisierungsprozessen in klassifizierten Landsat-5-TM Bildern am Beispiel der Stadtregion Leipzig. - In: Banzhaf, E.; Kasperidus, H. D. (Hrsg.): Erfassung und Auswertung der Landnutzung und ihrer Veränderungen mit Methoden der Fernerkundung und geographischen Informationssystemen im Raum Leipzig-Halle-Bitterfeld. - (= UFZ-Bericht Nr. 2/1998, S. 113 - 126), Leipzig
- HEINZ, V. u. KNEISEL, E. (1997a): Untersuchungen des Wohnumfeldes durch Kombination von Fernerkundungs- und GIS-Methoden. - In: Breuer, T.; Gläßer, C. u. Jürgens, C. (Hrsg.): Fernerkundung in urbanen Räumen. Beiträge der Frühjahrstagung des DGPF-Arbeitskreises „Interpretation von Fernerkundungsdaten“ vom 17. - 18. April 1997 in Regensburg. - (= Regensburger Geographische Schriften 28), Regensburg, S. 25 - 33
- HEINZ, V. u. MAURER, U. (1996): Die Flächennutzung der Stadt Leipzig im klassifizierten SPOT-XS-Bild. - Leipzig, unveröffentlicht
- HEINZ, V. u. SPITZER, F. (1997b): Mögliche Anwendungen der aus Fernerkundungsdaten berechneten Überbauungsdichte - dargestellt am Beispiel der Stadt Leipzig. - PFG 2/97, S. 85 - 92
- HENGELHAUPT, U. (1987): Experimentelle Anwendung von Methoden der digitalen Bildverarbeitung zur geographischen Analyse und kartographischen Darstellung der Flächennutzung. - Leipzig, Dissertation
- HERFERT, G. (1994): Suburbanisierung der Bevölkerung in Großstadtregionen Sachsens. Erste Trends nach dem politischen Wandel (mit Kartenbeilage). - Europa Regional 2, H. 3, S. 10 - 19
- HERFERT, G. (1995): Suburbanisierung der Bevölkerung in ostdeutschen Großstadtregionen. - In: Stadt Leipzig (Hrsg.): Statistische Woche Leipzig, 25. - 29. Sept. 1995. Tagungsführer. - Leipzig, S. 38
- HERFERT, G. (1996): Wohnsuburbanisierung in Großstadtregionen der neuen Bundesländer 1990 - 1994. - In: Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH (Hrsg.): 2. Leipziger Symposium Stadtökologie. „Ökologische Aspekte der Suburbanisierung“. Abstracts. 13. - 14. Juni 1996. - Leipzig, S. 11 - 12
- HEYN, C. (1996): Stadtstrukturtypenkatalog für Leipzig (Projekt "Regionalisierte Umweltqualitätsziele auf der Basis von Stadtstrukturtypen"). - Leipzig, Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, Projektbereich Urbane Landschaften - unveröffentlicht
- HILL, J. u. HOSTERT, P. (1997): Die kombinierte Anwendung von spektraler Entmischung und GIS als Ansatz zum Monitoring mediterranen Städtewachstums. - (= Abstract der DGPF-Frühjahrstagung am 17. und 18. 04. 1997 in Regensburg des Arbeitskreises „Interpretation von Fernerkundungsdaten“, o. S.), Regensburg
- HILZ, M.; BAYER, Th. (1997): Bestimmung der Stadtflächenversiegelung aus hochauflösenden ATM-Flugzeugscanner-Aufnahmen. - (= Abstract der DGPF-Frühjahrstagung am 17. und 18. 04. 1997 in Regensburg des Arbeitskreises „Interpretation von Fernerkundungsdaten“, o. S.), Regensburg
- Institut für Ingenieur- und Tiefbau GmbH, Geschäftsbereich Stadt- und Regionalentwicklung (USBECK, H.) u. UFZ Leipzig-Halle GmbH (KABISCH, S.) (Hrsg.; 1992): Ökonomische, soziale und ökologische Entwicklungsbedingungen und -perspektiven in der Stadtregion Leipzig. - Leipzig
- Industrieanlagen-Betriebsgesellschaft mbH (Hrsg.; 1993): Stadtklimauntersuchung. Leipzig mit Umland. Klimatopkarte 1 : 25 000. - Ottobrunn
- JENSEN, J. R. (1983): Urban/Suburban Land Use Analysis. - In: Colwell, R. (Edi.): American Society of Photogrammetry. - Falls Church, Virginia, pp. 1571 - 1605
- JENSEN, J. R. (1986): Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective. - Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- JÜRGENS, C. (o. J.): Satellitenfernerkundung - Ein Überblick über derzeitige und zukünftige Aufnahmeinstrumente. - Regensburg, unveröffentlicht
- JÜRGENS, C. (1996): Neue Erdbeobachtungs-Satelliten liefern hochauflösende Bilddaten für GIS-Anwendungen. - GIS 6/1996, S. 10
- JÜRGENS, C. (1997): Bestimmung von Siedlungsflächen in ländlichen Räumen anhand von Satellitenbilddaten. - (= Abstract der DGPF-Frühjahrstagung am 17. und 18. 04. 1997 in Regensburg des Arbeitskreises „Interpretation von Fernerkundungsdaten“, o. S.), Regensburg
- KAUFMANN, K.-U. u. BUCHROITHNER, M. F. (1994): Herstellung und Anwendungsmöglichkeiten von Satellitenbildkarten durch digitale Kombination von Landsat-TM- und KWR-1000-Daten. - ZPF 4/1994, S. 133 - 137
- KERL, I. (1992): Land-Use Monitoring with Landsat-TM-Data in the Trier Area. - (= Proceedings of the 5th European Erdas Users Group Meeting, May 25 - 27, 1992), Priem am Chiemsee



- KNAPP (1996): Kartierung von Flächennutzungsänderungen mittels Landsat-TM-Daten. - IÖR Info Nr. 1, Feb. 1996, o. S.
- KOCH, W.; KONRAD, V.; MÜLLER, U.; USBECK, B. (1996): Stadtklima Leipzig: Analyse und Visualisierung von Lufttemperatur-, Flächenversiegelungs- und Thermaldaten (Landsat-TM). - In: ESRI Gesellschaft für Systemforschung und Umweltplanung mbH (Hrsg.): Tagungsband. Deutsche Anwenderkonferenz 11. - 13. März 1996. - Kranzberg
- KOMP, K.-U. u. BÜKER, C. (1994): Russische KWR-1000-Aufnahmen als Ergänzung von Landsat-TM-Daten. Hochauflösende panchromatische Aufnahmen im Vergleich mit Multispektralbildern - Klassifizierung ländlicher und städtischer Gebiete. - In: ComMunic GmbH (Hrsg.): Dokumentation zu Informationsmanagement und -logistik. 30. Mai - 01. Juni 1994, ICC, Berlin. - Nürnberg
- KONECNY, G. (1995): Satelliten-Fernerkundung und Kartographie. - GIS 2/1995, S. 3 - 12
- KONRAD, V. (1995): Die Flächennutzung der Stadt Leipzig im klassifizierten Landsat-TM-Bild. - Leipzig, unveröffentlicht
- KRAUSE, K.-H. (1988): Konzeption einer komplexen Flächennutzungskartierung unter ökologischen Aspekten im Maßstab 1 : 50 000. - (= Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften, Bd. 13, S. 67 - 89), Gotha
- KRESSLER, F. u. STEINNOCHER, K. (1995): Einsatz der Fernerkundung zur Überprüfung der Realnutzung im Raum Wien mittels Spectral Mixture Analysis. - In: Institut für Geographie der Universität Salzburg (Hrsg.): Online-Tagungsband zur AGIT 1995. - Salzburg
- KRÖNERT, R. (1981): Geographischer Hintergrund für die Untersuchung der Flächennutzung mit Methoden der Geofernerkundung. - (= Institut für Geographie und Geoökologie der Akademie der Wissenschaften der DDR. Wissenschaftliche Mitteilungen 5, S. 47 - 56), Leipzig
- KRÖNERT, R. (1983): Dechiffrierung von Siedlungsflächen nach aerokosmischen Aufnahmen. - (= Institut für Geographie und Geoökologie der Akademie der Wissenschaften der DDR. Wissenschaftliche Mitteilungen 7, S. 111 - 118), Leipzig
- KRÖNERT, R. (1986): Nutzung von Daten der Fernerkundung in der Geographie. - In: Direktor des Zentralinstituts für Physik der Erde Potsdam (Hrsg.): 3. Konferenz. Fernerkundung. Stand und Entwicklungstendenzen. Leipzig, 5. - 7. Dezember 1984. - (= Veröffentlichungen des Zentralinstituts für Physik der Erde, Nr. 82, S. 12 - 21), Potsdam
- KRÖNERT, R. (1991a): Bilanz zur Erkundung der Landnutzung mit Fernerkundungsdaten am Institut für Geographie und Geoökologie Leipzig (IGG). - In: Direktor des Zentralinstituts für Physik der Erde Potsdam (Hrsg.): 6. Konferenz. Fernerkundung. Stand und Entwicklungstendenzen. Fernerkundung für die Umweltüberwachung. - (= Veröffentlichungen des Zentralinstituts für Physik der Erde, Nr. 118, Teil 1, S. 189 - 205), Potsdam
- KRÖNERT, R. (1991b): Erkundung von städtischen Siedlungsstrukturen mit Fernerkundungsmethoden. - ZPF 5/1991, S. 177 - 179
- KRÖNERT, R. u. BANZHAF, E. (1998): Gebietsbeschreibung Raum Leipzig-Halle-Bitterfeld. - In: Banzhaf, E.; Kasperidus, H. D. (Hrsg.): Erfassung und Auswertung der Landnutzung und ihrer Veränderungen mit Methoden der Fernerkundung und geographischen Informationssystemen im Raum Leipzig-Halle-Bitterfeld. - (= UFZ-Bericht Nr. 2/1998, S. 7 - 16), Leipzig
- KRÖNERT, R.; HENGELHAUPT, U.; SCHMIDT, I. u. a. (1983): Geographisch-kartographische Analyse der Flächennutzung nach multispektralen Luftbildern und Satellitenaufnahmen. - Petermanns Geographische Mitteilungen, H. 3, S. 181 - 190
- LEAK, St. M.; VENUGOPAL, G. (1990): Thematic Mapper Thermal Infrared Data in Discrimination Selected Urban Features. - International Journal of Remote Sensing, Vol. 11, No. 5, p. 841 - 857
- LESER, H.; HAAS, H.-D.; MOSIMANN, T.; PAESLER, R. (1985): Diercke Wörterbuch der Allgemeinen Geographie, Bd. 1 A - M, Bd. 2 N - Z. - Braunschweig
- LIETH, H.; KRUSE, M.; STEGMAN, S. u. MINTRUP, K. (1989): Untersuchungen über die Quantität und Qualität der Bodenversiegelung eines Teiles der Stadt Osnabrück. - (= Beiträge der Arbeitsgruppe Systemforschung der Universität Osnabrück, 5), Osnabrück
- LILIENTHAL, H. (1998): Flächenhafte Erfassung von Strahlungstemperaturen aus Fernerkundungsdaten. - In: Banzhaf, E.; Kasperidus, H. D. (Hrsg.): Erfassung und Auswertung der Landnutzung und ihrer Veränderungen mit Methoden der Fernerkundung und geographischen Informationssystemen im Raum Leipzig-Halle-Bitterfeld. - (= UFZ-Bericht Nr. 2/1998, S. 29 - 36), Leipzig



- LILLESAND, Th. M.; KIEFER, R. W. (1987): Remote Sensing and Image Interpretation. - Wiley & Sons Inc., United, States of America
- LILLESAND, Th. M.; KIEFER, R. W. (1994): Remote Sensing and Image Interpretation. - Wiley & Sons Inc., United, States of America
- LIST, F. K.; BAUER, C.; MUNIER, C. u. a. (1991a): Multispektrale und multitemporale Landnutzungsklassifizierung Brandenburg/Berlin 1 : 50 000 aus Landsat-TM-, SPOT- und Kosmos KFA-1000-Daten. - In: DFLRV (Hrsg.): Tagungsband: 7. Nutzerseminar des DFD der DLR. - (= DLR-Mitteilung 91-09), Köln, S. 40 - 41
- LIST, F. K.; MEISSNER, B. u. BANKWITZ, P. (1991b): Digitale Klassifizierung von Landoberflächen aus multitemporalen Daten von Landsat-TM, SPOT-HRV und Kosmos KFA-1000: Probeblatt Brandenburg/Berlin 1 : 50 000. - ZPF 1/1991, S. 15 - 17
- LÖFFLER, E. (1985): Geographie und Fernerkundung. - (= Teubner Studienbücher), Stuttgart
- LÖFFLER, E. (1994): Geographie und Fernerkundung. - (= Teubner Studienbücher), Stuttgart
- LOHMANN, G. (1991): An Evidential Reasoning Approach to the Classification of Satellite Images. - (= DLR-FB 91-29), Köln
- LOHMANN, G. (1992): Evidenzbasierte Klassifizierung von Satellitenbilddaten. - In: DFVLR (Hrsg.): Tagungsband 8. Nutzerseminar des DFD der DLR. - (= DLR-Mitteilung 92-09), Köln, S. 72 - 73
- LOHMANN, G. (1994): Evidenz-basierte Interpretation von Satellitenbilddaten. - In: GEOSYSTEMS GmbH (Hrsg.): Beiträge zum Geosystems User Group Meeting 1994 vom 20. - 21. Juni 1994 in Feldafing. - Germering, S. 6 - 9
- MAREK, K.-H.; PILARSKI, M. u. SCHMIDT, K. (1994): Zur Nutzung von Fernerkundungsdaten für das regionale Umweltmonitoring. - In: ComMunic GmbH (Hrsg.): Dokumentation zu Informationsmanagement und -logistik. 30. Mai - 01. Juni 1994, ICC, Berlin. - Nürnberg
- MARKGRAF, O. u. USBECK, H. (1981): Bestimmung des Urbanisierungsgrades von Gemeinden mit Hilfe der Faktorenanalyse, dargestellt am Beispiel des Umlandes von Schwerin. - PGM 4/81, S. 245 - 252
- MARKWITZ, W. u. WINTER, R. (Hrsg.; 1989): Fernerkundung. Daten und Anwendungen. Leitfaden 1. Beiträge der Interessengemeinschaft Fernerkundung (IGFE). - Karlsruhe
- MAUS, O. (1994): Gemeinde- und stadtteilweise Raumbbeobachtung mit Landsat- und Luftbilddaten. - In: ComMunic GmbH (Hrsg.): Dokumentation zu Informationsmanagement und -logistik. 30. Mai - 01. Juni 1994, ICC, Berlin. - Nürnberg
- MEINEL, G. u. GÖSSEL, J. (1997): Stadsiedlungsflächenvergleiche und siedlungsstrukturelle Untersuchungen auf Basis von CORINE Landcover Daten. - (= Abstract der DGPF-Frühjahrstagung am 17. und 18. 04. 1997 in Regensburg des Arbeitskreises „Interpretation von Fernerkundungsdaten“, o. S.), Regensburg
- MEINEL, G. u. KNAPP, C. (1995): Kartierung von Flächennutzungsänderungen mittels Landsat-TM-Daten - Methodische Untersuchungen im Raum Dresden. - In: Geosystems GmbH (Hrsg.): Vorträge der ERDAS-Anwender beim Geosystems User Group Meeting 1995 vom 17. - 19. Oktober 1995 in Feldafing. - Germering, S. 55 - 62
- MEINEL, G.; KNAPP, C.; GÖSSEL, J.; u. a. (1996): Kartierung von Flächennutzungsänderungen mittels Landsat-TM-Daten - Methodische Untersuchungen im Raum Dresden. - ZPF 5/1996, S. 163 - 175
- MOLLER-JENSEN, L. (1990): Knowledge-Based Classification of an Urban Area Using Texture and Context Information in Landsat-TM imagery. - Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 56, No. 6, pp. 899 - 904
- MÜNCHOW, B. u. KEIDEL, T. (1996): Erfassung der Bodenversiegelung in Stadtstrukturtypen. - In: Breuste, J. et. al. (Hrsg.): Erfassung und Bewertung des Versiegelungsgrades befestigter Flächen. - (= UFZ-Bericht Nr. 12/1996), Leipzig
- NASR, A. H. a. EMBABI, N. S. (1992): „Terrain Classification of two urban regions in U.A.E.. Using Landsat TM Data and Erdas System“. - (= Proceedings of the 5th European Erdas Users Group Meeting, May 25 - 27, 1992), Priem am Chiemsee
- NETZBAND, M. (1996): Fernerkundung von Versiegelungseigenschaften städtischer Oberflächen. - IÖR Info, Nr. 1, Feb. 1996, o. S.
- NETZBAND, M. (1997): Aspekte städtischer Versiegelungserhebung einschließlich GIS-analytischer Weiterverarbeitung. - (= Abstract der DGPF-Frühjahrstagung am 17. und 18. 04. 1997 in Regensburg des Arbeitskreises „Interpretation von Fernerkundungsdaten“, o. S.), Regensburg



- NETZBAND, M. u. MEINEL, G. (1995): Erarbeitung von Übersichtskarten zur Versiegelungsintensität. - In: Geosystems GmbH (Hrsg.): Vorträge der ERDAS-Anwender beim Geosystems User Group Meeting 1995 vom 17. - 19. Oktober 1995 in Feldafing. - Germering, S. 75 - 80
- NETZBAND, M. u. MEINEL, G. (1996): Erarbeitung von Übersichtskarten zur Versiegelungsintensität mit verschiedenen Fernerkundungsmethoden. - In: Breuste, J.; Keidel, Th. Meinel, G.; Münchow, B.; Netzband, M.; Schramm, M. (Hrsg.): Erfassung und Bewertung des Versiegelungsgrades befestigter Flächen. - (= UFZ-Bericht Nr. 12/ 1996, S. V-1 - V-60), Leipzig
- NEUMANN, H.; USBECK, B.; USBECK, H. (1994): Weiche Standortfaktoren und Flächennutzung. - (= UFZ-Bericht Nr. 3/1994), Leipzig
- OLBRICH, G. (1991): Abgrenzung des Siedlungsbereichs von Heidelberg mit Hilfe von Landsat-5-Thematic-Mapper-Daten. - In: DFLRV (Hrsg.): Tagungsband: 7. Nutzerseminar des DFD der DLR. - (= DLR-Mitteilung 91-09), Köln, S. 50 - 52
- Projektgruppe unter Leitung des Regierungspräsidiums Leipzig, Referat R0 (Hrsg.; 1993): Raumordnerisches Strukturkonzept Leipzig-Ost. - Leipzig
- QUIEL, F. (1986): Landnutzungskartierung mit Landsat-Daten. - (= Fernerkundung in Raumordnung und Städtebau, H. 17), Bonn
- RADHAKRISHNAN, K.; ADIGA, S.; VARADAN, G.; DIWAKAR, P. G. (1996): Enhanced geographic information system application using IRS-1C data potential for urban utility mapping and modelling. - Current Science, Vol. 70, No. 7, 10. April 1996, pp. 629 - 637
- RAGHAVSWAMY, V.; PATHAN, S. K.; PAM MOHAN, P.; BHANDERI, R. J.; PRIYA, P. (1996): IRS-1C applications for urban planning and development. - Current Science, Vol. 70, No. 7, 10. April 1996, pp. 582 - 588
- Regionaler Planungsverband Westsachsen (Hrsg.; 1996): Regionalplanung in Westsachsen. - Grimma
- RICHTER, R. (1996): Korrektur von Atmosphäreneinflüssen in multispektralen Satellitenbilddaten. - In: Geosystems GmbH (Hrsg.): Geosystems Fachtagung 1996. Strategien zur Verbesserung von digitalen Klassifikationen: Preprocessing und Klassifikationsalgorithmen in Theorie und Praxis. 24. u. 25. Juni 1996. - Germering
- SCHMIDT, A. (1993): Konsequenzen aus Belastungen, Freiflächenverbrauch und stadtökologischen Erkenntnissen für eine ökologisch orientierte Stadtentwicklung. - In: ILS (Hrsg.): Beiträge zur Stadtökologie. - (= ILS-Schriften, H. 71, S. 15 - 25), Dortmund
- SCHMIDT, G. (1981): Physisch-geographische Struktur und landeskultureller Wandel im Leipziger Land. - (= Geographische Berichte, H. 1, S. 19 - 36), Gotha / Leipzig
- SCHMIDT, I. u. USBECK, B. (1990): Kennzeichnung des geoökologischen Zustands der Stadtregion Leipzig mit Hilfe von Fernerkundungsdaten. - In: Institut für Geographie und Geoökologie Leipzig (Hrsg.): Ausgewählte geoökologische Entwicklungsbedingungen Nordwest-Sachsens (ehemaliger Bezirk Leipzig). - (= Wissenschaftliche Mitteilungen des Institutes für Geographie und Geoökologie 34, S. 175 - 192), Leipzig
- SCHMIDT, R. (1996): Strukturelle Veränderungen im suburbanen Raum von Oberzentren der neuen Länder. - In: Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH (Hrsg.): 2. Leipziger Symposium Stadtökologie. „Ökologische Aspekte der Suburbanisierung“. Abstracts. 13. - 14. Juni 1996. - Leipzig, S. 22
- SCHUBERT, W. (1990): Vergleich des Auflösungsvermögens verschiedener Aufnahmesysteme für die Fernerkundung. - Vermessungstechnik 38, H. 9, S. 296 - 298
- Senator für Stadt und Umland Berlin (Hrsg.; 1988): Forschung und Entwicklung. Satellitenfernerkundung zur Erfassung der Bodenversiegelung Berlins. - Stadt und Umwelt, 7/1988, S. 46
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz der Stadt Berlin (Hrsg.; 1993): Erläuterungen zu der Karte Versiegelung. - In: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz und Technologie (Hrsg.): Umweltatlas Berlin. Karte 01.02, Bd. 1, Berlin
- SIEBERT, A. u. STRATHMANN, F. W. (1990): Kosmos-KFA-1000. Ein hochauflösender Sensor zur Dokumentation von Raum- und Umweltveränderungen. - Die Geowissenschaften 8, S. 347 - 354
- SINGH, A. (1989): Digital Change Detection Techniques Using Remotely-Sensed Data. - International Journal of Remote Sensing, Vol. 10, No. 6, pp. 989 - 1003
- SMIATEK, G. (1994): Methode der dreifachen Stichprobe zur Erfassung der Flächennutzung aus Landsat-TM-Daten. - ZPF 3/94, S. 83 - 89
- SMITH, C.; PHYDEN, N.; COLE, P. (1994): ERDAS FIELD GUIDE. - Buford Highway



- SPACETEC Datengewinnung GmbH u. Industrieanlagen-Betriebsgesellschaft mbH (1993): Stadtklimauntersuchung Leipzig, Abschlußbericht Mai 1993 (im Auftrag der Stadtverwaltung Leipzig, Amt für Umweltschutz. - Freiburg, Ottobrunn, Leipzig, unveröffentlicht)
- SPITZER, F. (1996a): Klassifikation bebauter Flächen und Bestimmung der Bebauungsdichte im Raum Regensburg anhand multitemporaler und multisensoraler Satellitenbilddaten. - Universität Regensburg, Diplomarbeit, unveröffentlicht
- SPITZER, F. (1996b): Wissensbasierte hierarchische Klassifikationsstrategie zur Bestimmung der Bebauungsdichte der Stadt Regensburg. - In: Geosystems GmbH (Hrsg.): Geosystems Fachtagung 1996. Strategien zur Verbesserung von digitalen Klassifikationen in Theorie und Praxis. 24. u. 25. Juni 1996. - Germering
- SPITZER, F. (1997): Bestimmung der Überbauungsdichte aus digitalen Satellitenbilddaten. - ZPF 2/97, S. 42 - 48
- Stadt Leipzig, Amt für Umweltschutz, Abteilung Naturschutz (Hrsg.; 1994): Karte 'Stadtbiotopkartierung Leipzig. Biotoptypen' 1 : 10 000. - Leipzig
- Stadt Leipzig, Der Oberbürgermeister, Amt für Statistik und Wahlen (Hrsg.; 1995a): Ortsteilkatalog 1995. - Leipzig
- Stadt Leipzig, Der Oberbürgermeister, Dezernat Planung und Bau (Hrsg.; 1995b): Stadt Leipzig. Flächennutzungsplan. Juni 1994. - Leipzig
- Stadt Leipzig, Dezernat für Stadtentwicklung und Raumplanung (Hrsg.; 1994): Flächennutzungsplan Stadt Leipzig. Entwurf November 1993. - Leipzig
- STÄTTER, C. u. STEINNOCHER, K. (1994): Ein hierarchischer Klassifikationsansatz zur Erfassung von Landnutzung aus multitemporalen Landsat-TM Daten. - (= Salzburger Geographische Materialien, H. 21, S. 683 - 691), Salzburg
- STARK, U. (1994): Einsatz von Satellitendaten für die Stadt- und Regionalplanung. - In: UTECH Berlin u. WIB (Hrsg.): Fernerkundung und Geo-Informationssysteme - Instrumente der ökologischen Planung. Tagungsunterlagen, Seminar 18. - Berlin, o. S.
- STEINERT, M. (1994): Optimale Aufbereitung von KFA-1000-Szenen zur digitalen Auswertung. - In: DFLRV (Hrsg.): Tagungsband: 10. Nutzerseminar des DFD der DLR. - (= DLR-Mitteilung 94-07), Köln, S. 63 - 67
- STEINNOCHER, K. (1997): Texturanalyse zur Detektion von Siedlungsgebieten in hochauflösenden panchromatischen Satellitenbilddaten. - In: Dollinger, F. u. Strobl, J. (Hrsg.): Angewandte Geographische Informationsverarbeitung IX. - (= Salzburger Geographische Materialien, H. 26), Salzburg
- STIES, M. (1997): Auswertung von Flugzeugscanner-Bilddaten für die Kartierung von Oberflächenstrukturen besiedelter Gebiete. - (= Abstract der DGPF-Frühjahrstagung am 17. und 18. 04. 1997 in Regensburg des Arbeitskreises „Interpretation von Fernerkundungsdaten“, o. S.), Regensburg
- STOYE, H. (1990): Mittelmaßstäbige Landschaftsgliederung der Stadtregion Leipzig. - In: Institut für Geographie und Geoökologie Leipzig (Hrsg.): Ausgewählte geoökologische Entwicklungsbedingungen Nordwest-Sachsens (ehemaliger Bezirk Leipzig). - Leipzig
- STRATHMANN, F.-W. (Hrsg.; 1990): Taschenbuch zur Fernerkundung. - Karlsruhe
- TOM, C. H. a. MILLER, L. D. (1984): An automated land-use mapping comparison of the Bayesian maximum likelihood and linear discriminant analysis algorithmus. - Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, No. 50, pp. 193 - 207
- USBECK, B. (1989): Rechnergestützte Analyse des Zustandes der Flächennutzung in der Stadtregion Leipzig im großen und mittleren Maßstab. - In: Akademie der Wissenschaften der DDR, IGG (Hrsg.): Flächennutzung in der Großstadtregion Leipzig. - (= Wissenschaftliche Mitteilungen 30, S. 7 - 18), Leipzig
- USBECK, B. (1995): Flächennutzungsstruktur und ihre Veränderung in Leipzig und dem engeren Umland 1992 - 1994. - In: Usbeck, H.; Büro für Stadt- und Regionalentwicklung GmbH (USBECK GmbH) u. Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH (Hrsg.): Regionalentwicklung - Flächennutzung - weiche Standortfaktoren in der Stadtregion Leipzig. Abschlußbericht. Teil VII. - Leipzig
- USBECK, B. u. HOFFMANN, J. (1995): Karte 'Landkreis Leipzig - Nutzungsänderung - nach Luftbildern vom 26. 06. 1992' 1 : 150 000. - Leipzig
- USBECK, B. u. HOFFMANN, J. (1995): Karte 'Landkreis Leipzig - Nutzungsänderung - nach Luftbildern vom 25. 06. 1994' 1 : 150 000. - Leipzig
- USBECK, B.; KINDLER, A.; HARTMANN, H.; u. a. (1992a): Karte der Flächennutzung 1992 Leipzig und Umland 1 : 25 000. - Leipzig



- USBECK, B.; KINDLER, A.; HARTMANN, H.; u. a. (1992b): Karte der Funktionalen Strukturtypen der Stadt Leipzig 1 : 50 000. - Leipzig
- USBECK, B.; KINDLER, A.; HARTMANN, H.; u. a. (1992c): Karte der Versiegelung der Funktionalen Strukturtypen der Stadt Leipzig 1 : 50 000. - Leipzig
- USBECK, H. u. NEUMANN, H. (1995): Aspekte des wirtschaftlichen und räumlichen Strukturwandels in deutschen Großstadregionen - Deindustrialisierung, Schrumpfung und Funktionsverlust. - In: Stadt Leipzig (Hrsg.): Statistische Woche Leipzig. 25. - 29. Sept. 1995. Tagungsführer. - Leipzig, S. 25
- WEBER, C.; HIRSCH, J. (1992): Some urban measurement from SPOT data: urban life quality indices. - International Journal of Remote Sensing, Vol. 13, No. 17, pp. 3251 - 3261
- WEICHELT, H. (1997): Erfassung ökologisch relevanter Zustandsparameter in anthropogen stark beanspruchten Gebieten auf der Grundlage von PRIRODA-Multisensor-Daten. Forschungsbericht zum Thema 50 EE 9403. - Potsdam, unveröffentlicht
- WIENEKE, F. (1988): Satellitenbilddauswertung - Methodische Grundlagen und ausgewählte Beispiele. - (= Münchener Geographische Abhandlungen, Bd. A38), München
- WIRTH, P. (1992): Flächenbedarf und ökologische Risiken - Aktuelle Planungen im Umland von Dresden und Leipzig. - Standort 3/92



## **10. Anhang**

### **10.1 Kartenserie: Abbildungsverhalten der Oberflächenbedeckung der Strukturtypen in ausgewählten Fernerkundungsdatenprodukten**



# Strukturtypen im Landsat-TM-Bild

Kerngebiete

Offene  
Blockbebauung

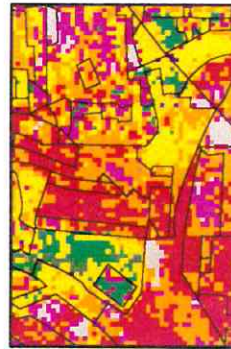
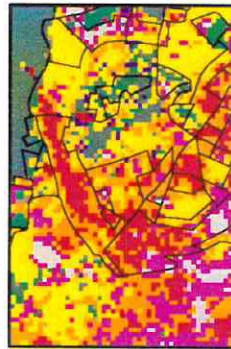
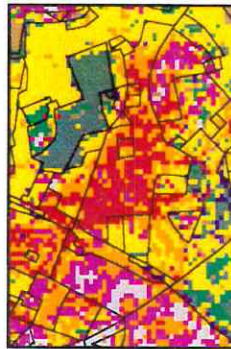
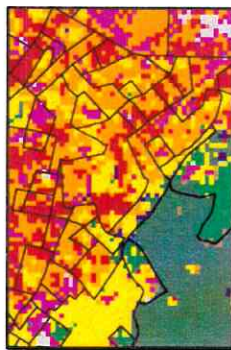
Geschlossene  
Blockbebauung

Offene  
Blockrandbebauung

Geschlossene  
Blockrandbebauung



Landsat-TM  
Kanalkombi-  
nation 4/5/3

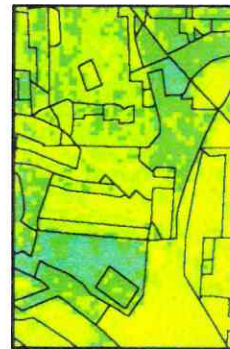
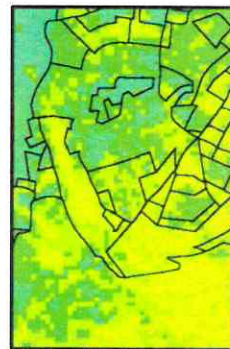
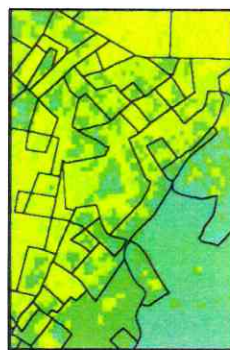


Hierarchische  
Klassifikation

Wasserflächen  
Waldflächen  
Sonstige Grünflächen

Ackerland  
Großblockbebauung  
Flächen ohne Vegetation

Flächen hoher Verdichtung  
Flächen mittlerer Verdichtung  
Flächen geringer Verdichtung



Normalized  
Difference  
Vegetation  
Index

Niedrigster NDVI  
Sehr niedriger NDVI  
Niedriger NDVI

Mittlerer NDVI  
Hoher NDVI  
Sehr hoher NDVI

Höchster NDVI



Zeilenbebauung



Großwohnsiedlungen



1- und 2-Familienhausbebauung



Villen

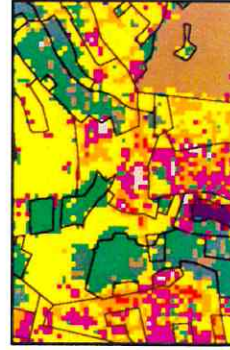
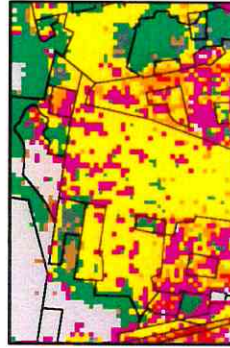
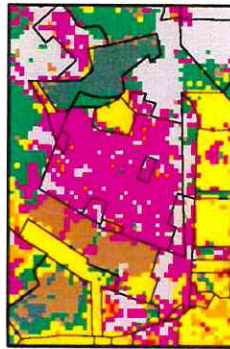
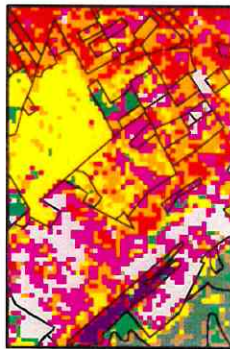


Ehemalige Dorfkerne



Landsat-TM  
Kanalkombi-  
nation 4/5/3

Hierarchische  
Klassifikation

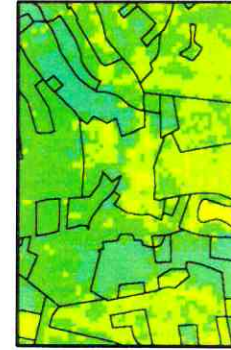
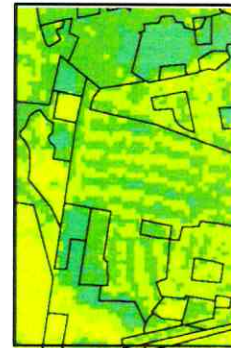


Wasserflächen  
Waldflächen  
Sonstige Grünflächen

Ackerland  
Großblockbebauung  
Flächen ohne Vegetation

Flächen hoher Verdichtung  
Flächen mittlerer Verdichtung  
Flächen geringer Verdichtung

Normalized  
Difference  
Vegetation  
Index



Niedrigster NDVI  
Sehr niedriger NDVI  
Niedriger NDVI

Mittlerer NDVI  
Hoher NDVI  
Sehr hoher NDVI

Höchster NDVI

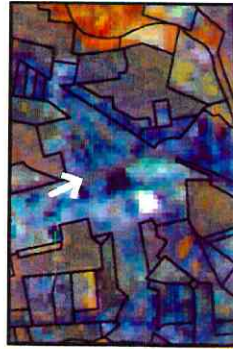


# Strukturtypen im Landsat-TM-Bild

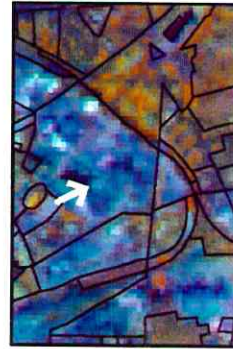
Gering versiegelte Industrie- und Gewerbeflächen



Stark versiegelte Industrie- und Gewerbeflächen



Öffentliche Einrichtungen



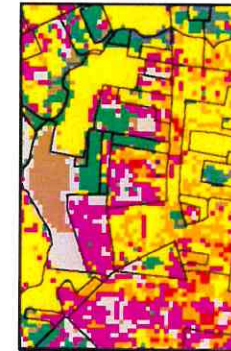
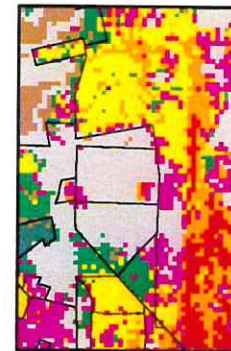
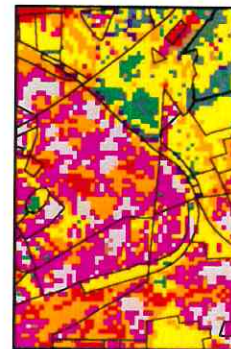
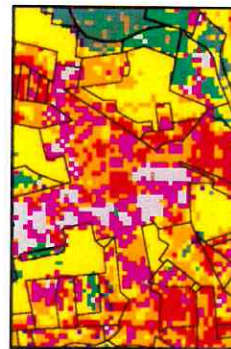
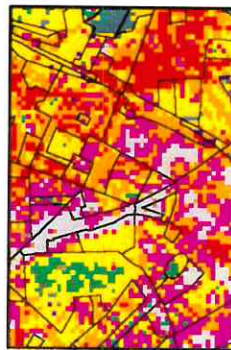
Einkaufszentren



Technische Ver- und Entsorgungsanlagen



Landsat-TM  
Kanalkombi-  
nation 4/5/3

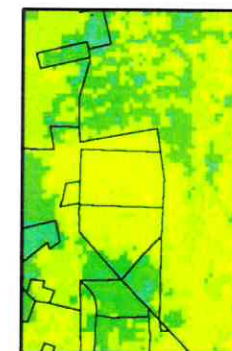
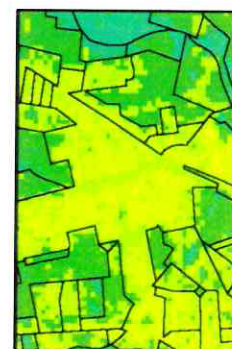


Hierarchische  
Klassifikation

Wasserflächen  
Waldflächen  
Sonstige Grünflächen

Ackerland  
Großblockbebauung  
Flächen ohne Vegetation

Flächen hoher Verdichtung  
Flächen mittlerer Verdichtung  
Flächen geringer Verdichtung



Normalized  
Difference  
Vegetation  
Index

Niedrigster NDVI  
Sehr niedriger NDVI  
Niedriger NDVI

Mittlerer NDVI  
Hoher NDVI  
Sehr hoher NDVI

Höchster NDVI



Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Signale Bildverarbeitung und Kartographie;  
Dipl.-Geogr. Vera Heinz



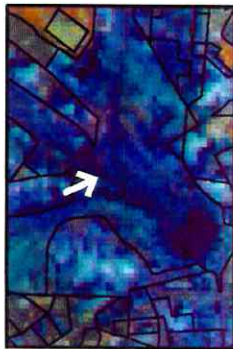
gefördert durch:  
Deutsche Agentur für  
Raumfahrtangelegenheiten  
(DARA GmbH)



Kilometer



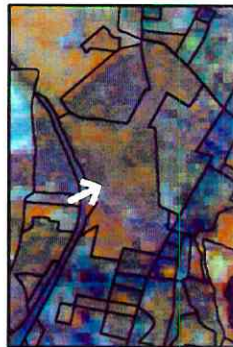
Verkehrsflächen



Park- und Grünanlagen



Kleingartenanlagen



Friedhöfe

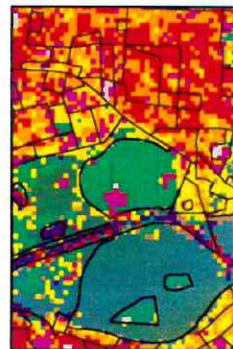
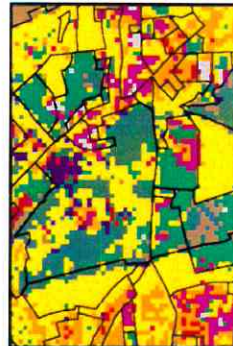
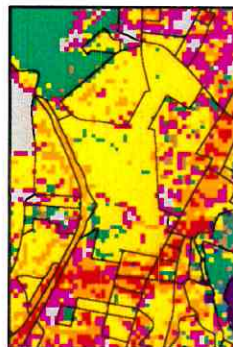
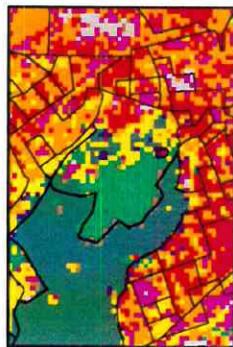
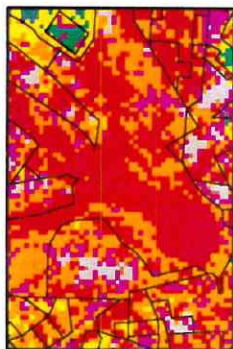


Sport-, Spiel- und Freizeitanlagen



Landsat-TM  
Kanal Kombi-  
nation 4/5/3

Hierarchische  
Klassifikation

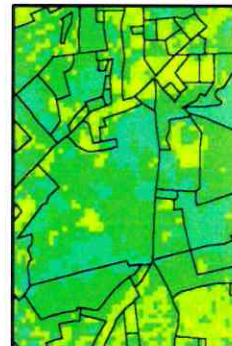
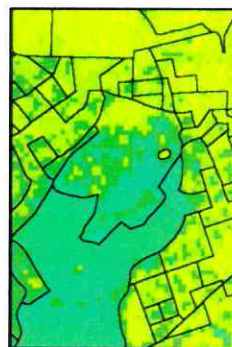
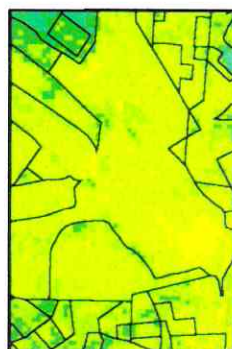


Wasserflächen  
Waldflächen  
Sonstige Grünflächen

Ackerland  
Großblockbebauung  
Flächen ohne Vegetation

Flächen hoher Verdichtung  
Flächen mittlerer Verdichtung  
Flächen geringer Verdichtung

Normalized  
Difference  
Vegetation  
Index



Niedrigster NDVI  
Sehr niedriger NDVI  
Niedriger NDVI

Mittlerer NDVI  
Hoher NDVI  
Sehr hoher NDVI

Höchster NDVI



Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Digitale Bildverarbeitung und Kartographie  
Dipl.-Geogr. Vera Henz



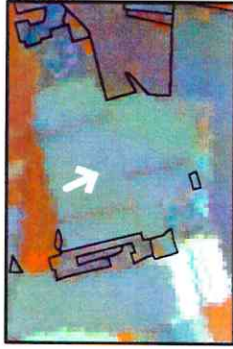
gefördert durch:  
Deutsche Agentur für  
Raumfahrtangelegenheiten  
(DARA GmbH)



Kilometer



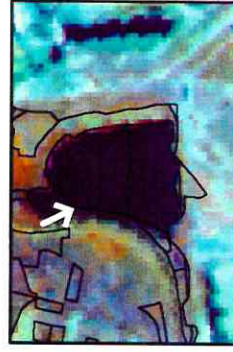
Landwirtschaftliche  
Nutzflächen



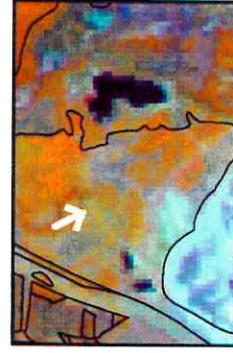
Waldflächen



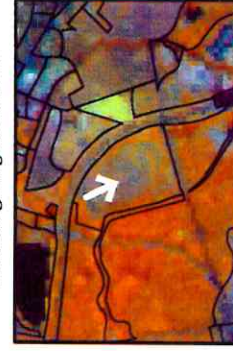
Wasserflächen



Brach- und Um-  
widmungsflächen

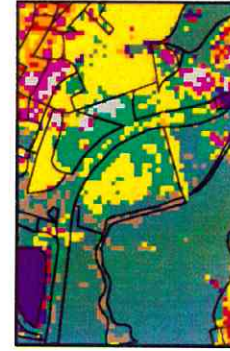
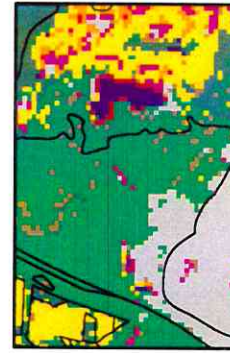
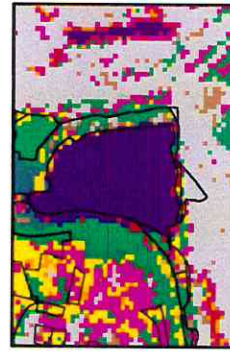
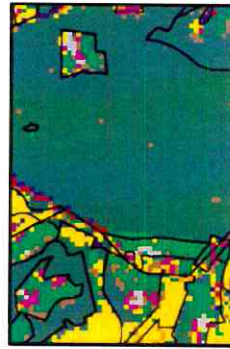


Aufschüttungs-,  
Abgrabungs- und  
Entsorgungsflächen



Landsat-TM  
Kanal Kombi-  
nation 4/5/3

Hierarchische  
Klassifikation

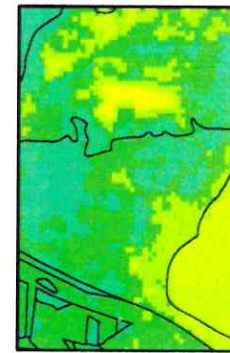
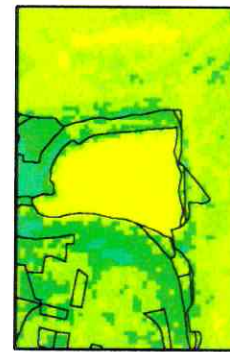
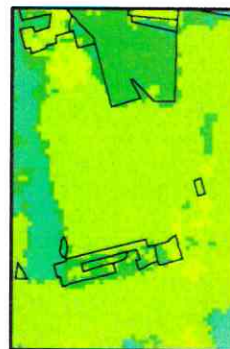


Wasserflächen  
Waldflächen  
Sonstige Grünflächen

Ackerland  
Großblockbebauung  
Flächen ohne Vegetation

Flächen hoher Verdichtung  
Flächen mittlerer Verdichtung  
Flächen geringer Verdichtung

Normalized  
Difference  
Vegetation  
Index



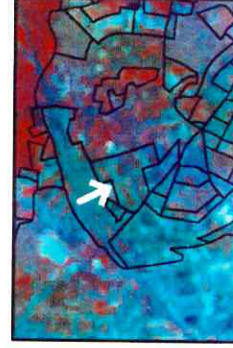
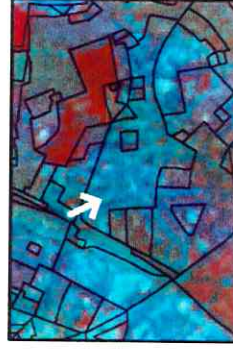
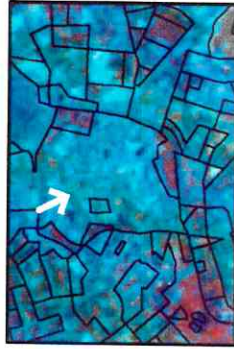
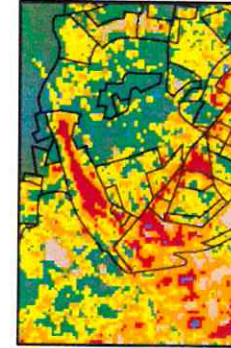
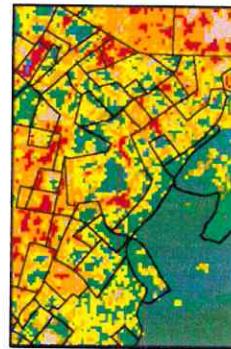
Niedrigster NDVI  
Sehr niedriger NDVI  
Niedriger NDVI

Mittlerer NDVI  
Hoher NDVI  
Sehr hoher NDVI

Höchster NDVI



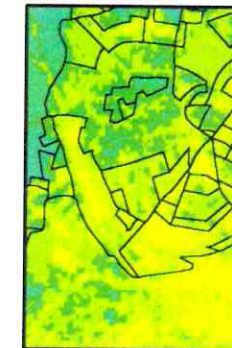
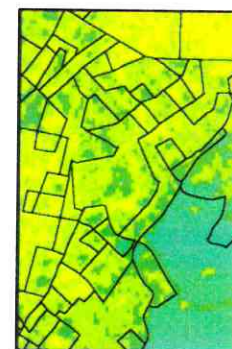
Kerngebiete

Offene  
BlockbebauungGeschlossene  
BlockbebauungOffene  
BlockrandbebauungGeschlossene  
BlockrandbebauungSPOT-XS  
Kanaalkombi-  
nation 3/2/1Hierarchische  
Klassifikation

Wasserflächen  
Waldflächen  
Sonstige Grünflächen

Ackerland  
Großblockbebauung  
Flächen ohne Vegetation

Flächen hoher Verdichtung  
Flächen mittlerer Verdichtung  
Flächen geringer Verdichtung

Normalized  
Difference  
Vegetation  
Index

Niedrigster NDVI  
Sehr niedriger NDVI  
Niedriger NDVI

Mittlerer NDVI  
Hoher NDVI  
Sehr hoher NDVI

Höchster NDVI



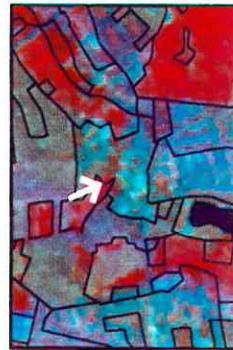
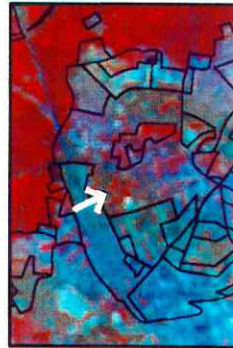
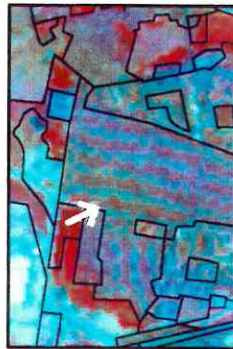
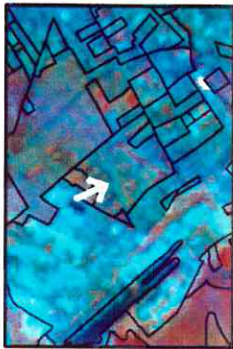
Zeilenbebauung

Großwohnsiedlungen

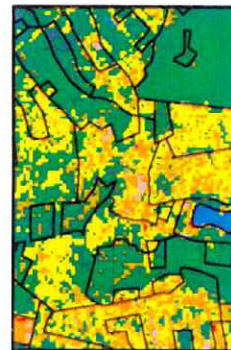
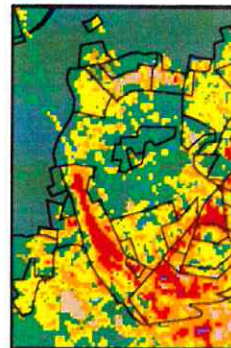
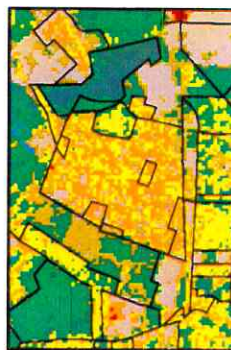
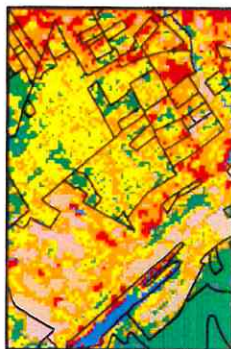
1- und 2-Familienhausbebauung

Villen

Ehemalige Dorfkerne



SPOT-XS  
Kanalkombi-  
nation 3/2/1

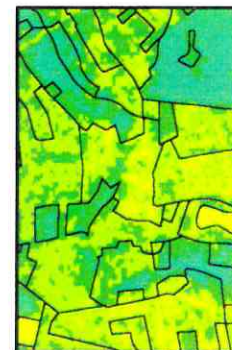
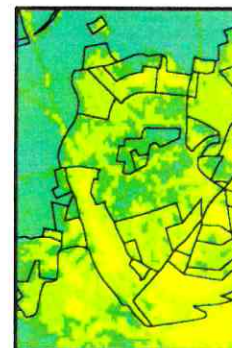
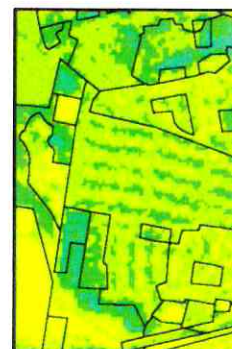
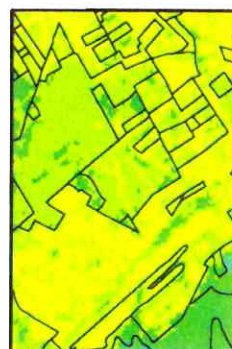


Hierarchische  
Klassifikation

Wasserflächen  
Waldflächen  
Sonstige Grünflächen

Ackerland  
Großblockbebauung  
Flächen ohne Vegetation

Flächen hoher Verdichtung  
Flächen mittlerer Verdichtung  
Flächen geringer Verdichtung



Normalized  
Difference  
Vegetation  
Index

Niedrigster NDVI  
Sehr niedriger NDVI  
Niedriger NDVI

Mittlerer NDVI  
Hoher NDVI  
Sehr hoher NDVI

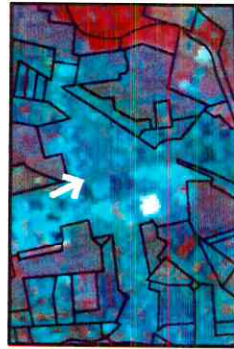
Höchster NDVI



Gering versiegelte Industrie- und Gewerbeflächen



Stark versiegelte Industrie- und Gewerbeflächen



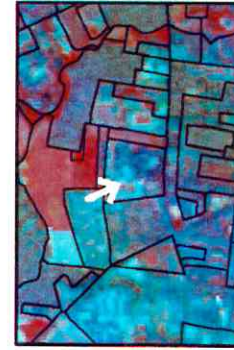
Öffentliche Einrichtungen



Einkaufszentren

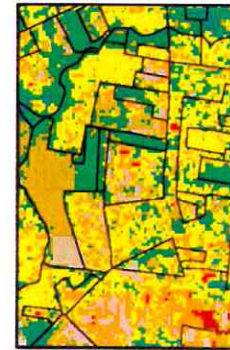
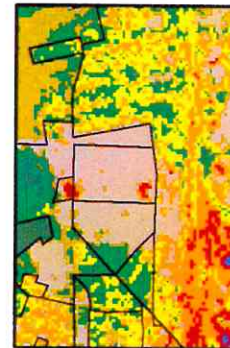
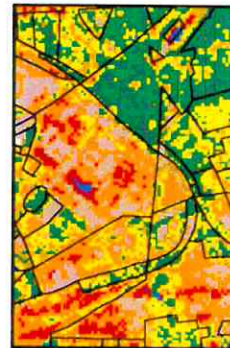


Technische Ver- und Entsorgungsanlagen



SPOT-XS  
Kanalkombi-  
nation 3/2/1

Hierarchische  
Klassifikation

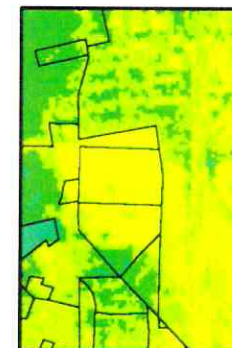
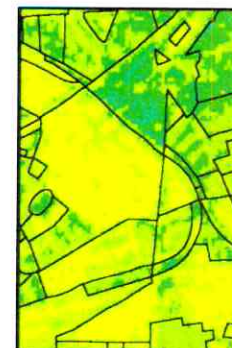
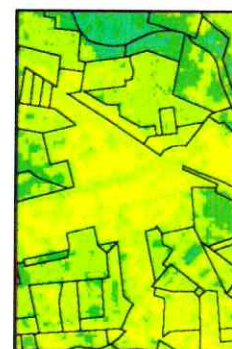


Wasserflächen  
Waldflächen  
Sonstige Grünflächen

Ackerland  
Großblockbebauung  
Flächen ohne Vegetation

Flächen hoher Verdichtung  
Flächen mittlerer Verdichtung  
Flächen geringer Verdichtung

Normalized  
Difference  
Vegetation  
Index



Niedrigster NDVI  
Sehr niedriger NDVI  
Niedriger NDVI

Mittlerer NDVI  
Hoher NDVI  
Sehr hoher NDVI

Höchster NDVI



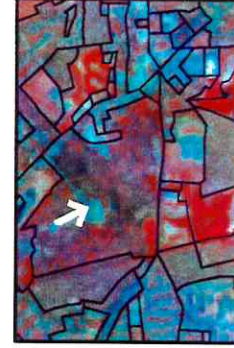
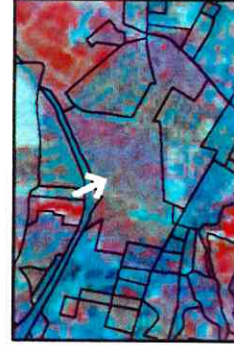
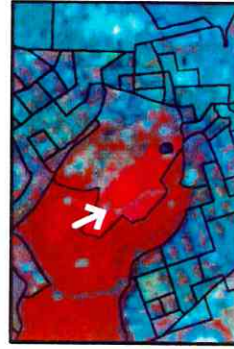
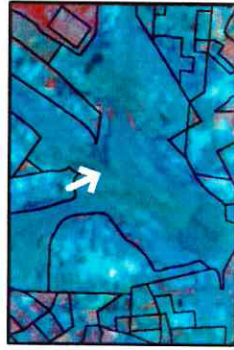
Verkehrsflächen

Park- und Grünanlagen

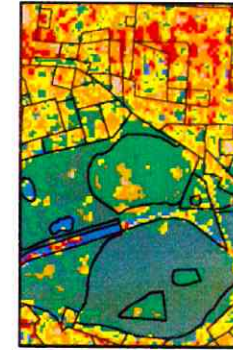
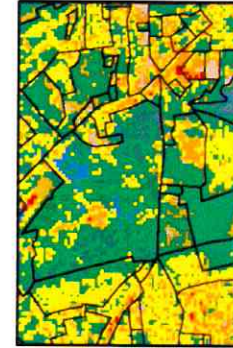
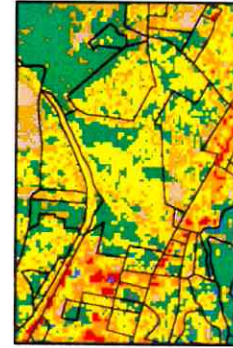
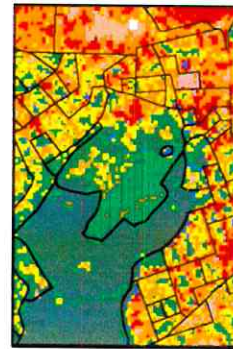
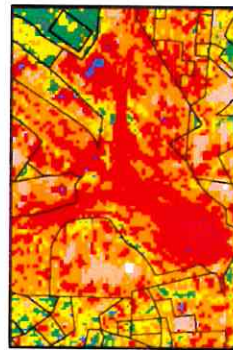
Kleingartenanlagen

Friedhöfe

Sport-, Spiel- und Freizeitanlagen



SPOT-XS  
Kanaalkombi-  
nation 3/2/1

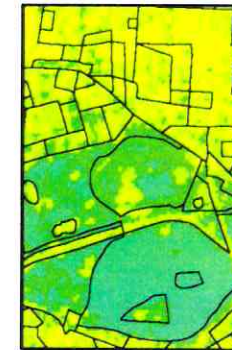
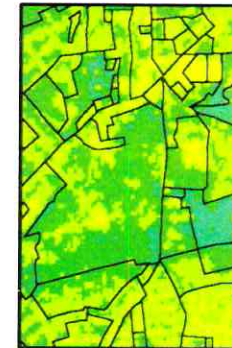
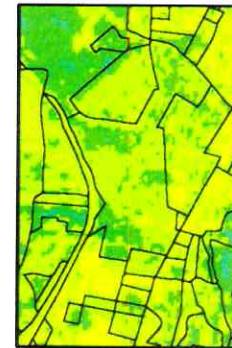
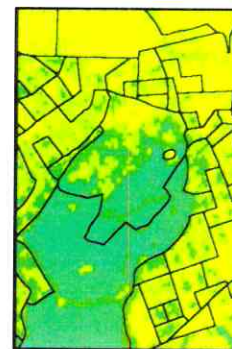


Hierarchische  
Klassifikation

Wasserflächen  
Waldflächen  
Sonstige Grünflächen

Ackerland  
Großblockbebauung  
Flächen ohne Vegetation

Flächen hoher Verdichtung  
Flächen mittlerer Verdichtung  
Flächen geringer Verdichtung



Normalized  
Difference  
Vegetation  
Index

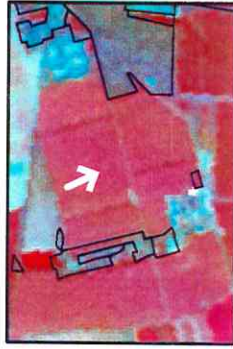
Niedrigster NDVI  
Sehr niedriger NDVI  
Niedriger NDVI

Mittlerer NDVI  
Hoher NDVI  
Sehr hoher NDVI

Höchster NDVI



Landwirtschaftliche  
Nutzflächen



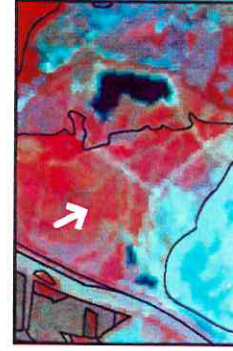
Waldflächen



Wasserflächen



Brach- und Um-  
widmungsflächen

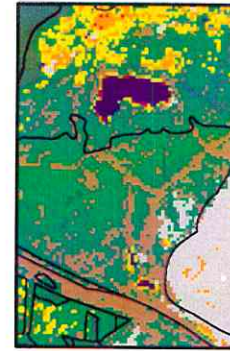
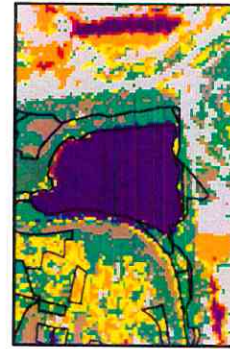


Aufschüttungs-,  
Abgrabungs- und  
Entsorgungsflächen



SPOT-XS  
Kanalkombi-  
nation 3/2/1

Hierarchische  
Klassifikation

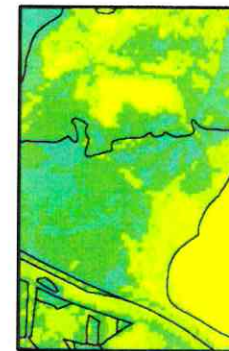
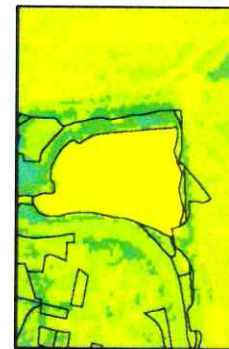
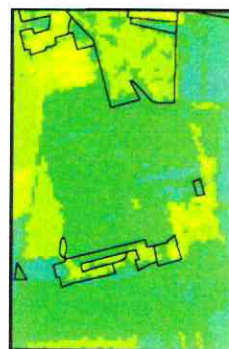


Wasserflächen  
Waldflächen  
Sonstige Grünflächen

Ackerland  
Großblockbebauung  
Flächen ohne Vegetation

Flächen hoher Verdichtung  
Flächen mittlerer Verdichtung  
Flächen geringer Verdichtung

Normalized  
Difference  
Vegetation  
Index



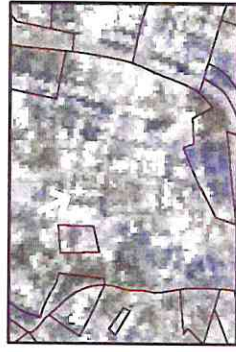
Niedrigster NDVI  
Sehr niedriger NDVI  
Niedriger NDVI

Mittlerer NDVI  
Hoher NDVI  
Sehr hoher NDVI

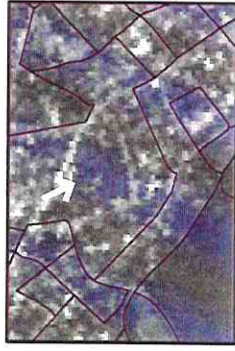
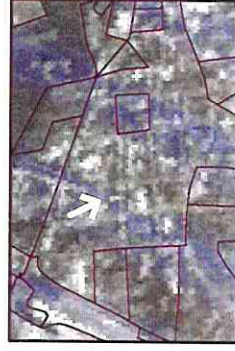
Höchster NDVI



Kerngebiete

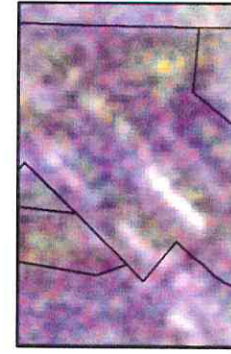
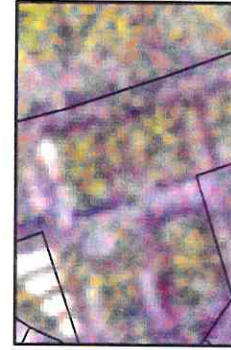
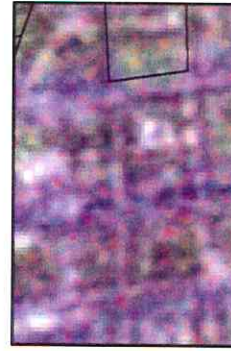
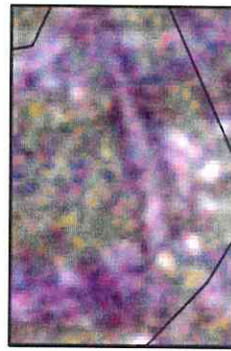
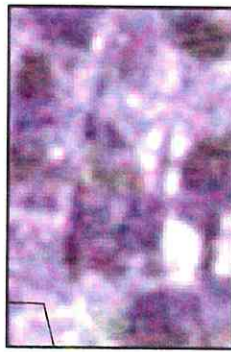


SPOT-PAN

Offene  
BlockbebauungGeschlossene  
BlockbebauungOffene  
BlockrandbebauungGeschlossene  
Blockrandbebauung

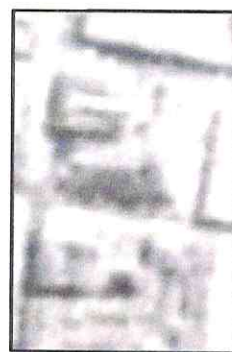
Meter  
0 500

KFA-1000



Meter  
0 200

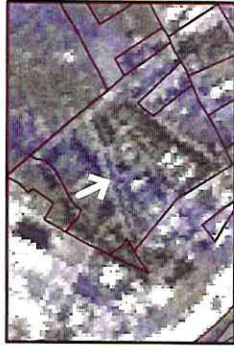
KVR-1000



Meter  
0 100

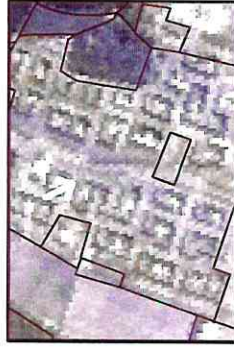


Zeilenbebauung

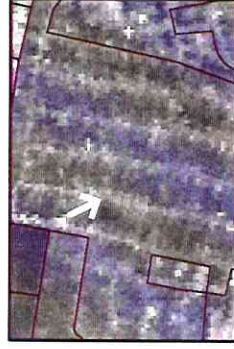


SPOT-PAN

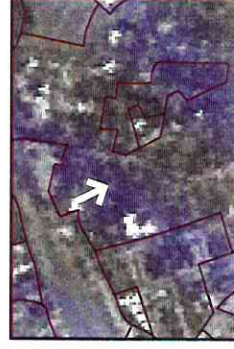
Großwohnsiedlungen



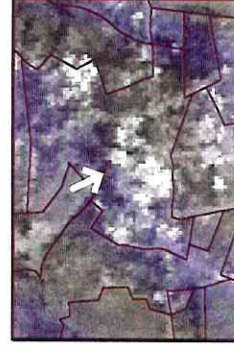
1- und 2-Familienhausbebauung



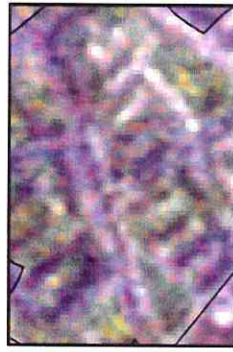
Villen



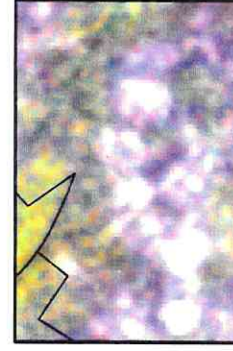
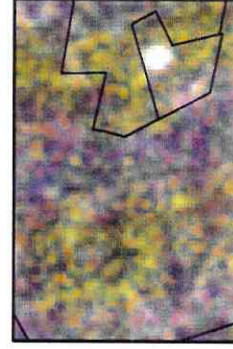
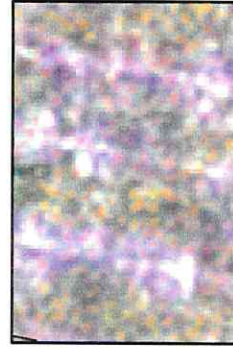
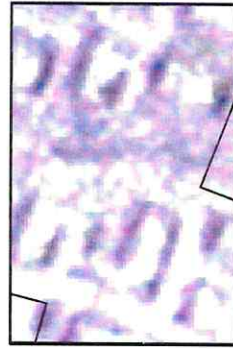
Ehemalige Dorfkerne



Meter  
0 500



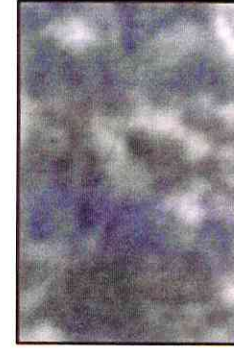
KFA-1000



Meter  
0 200



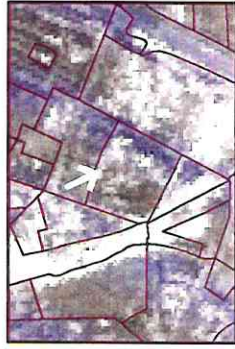
KVR-1000



Meter  
0 100

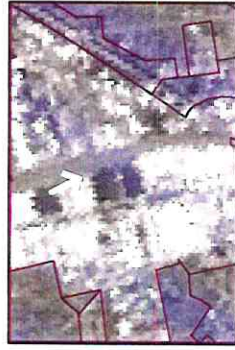


Gering versiegelte Industrie-  
und Gewerbeflächen

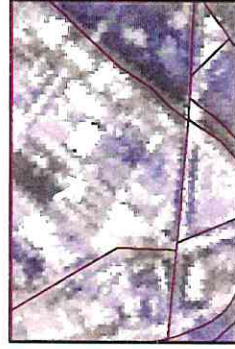


SPOT-PAN

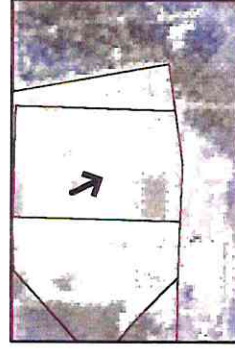
Stark versiegelte Industrie-  
und Gewerbeflächen



Öffentliche  
Einrichtungen



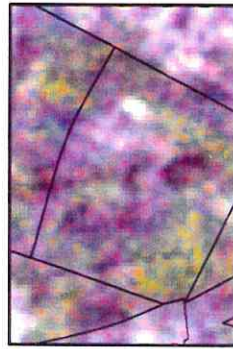
Einkaufszentren



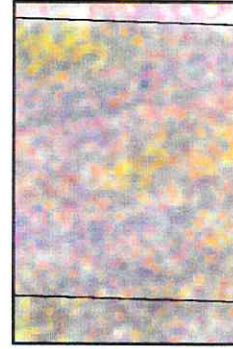
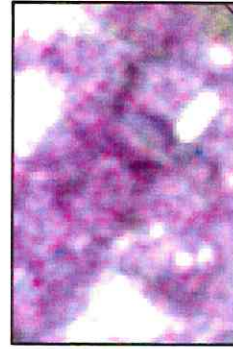
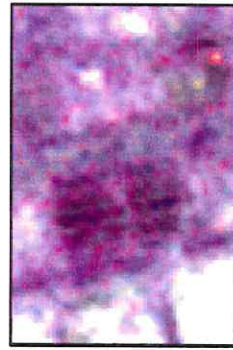
Technische Ver- und  
Entsorgungsanlagen



Meter  
0 500



KFA-1000



Meter  
0 200



KVR-1000



Meter  
0 100

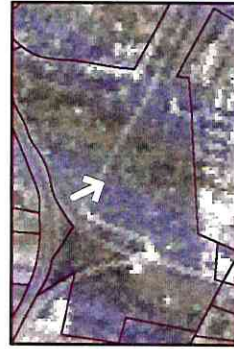
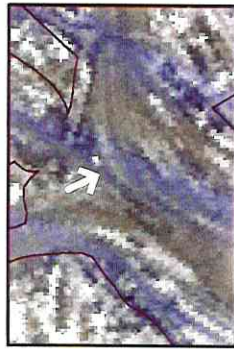


Verkehrsflächen

Park- und Grünanlagen

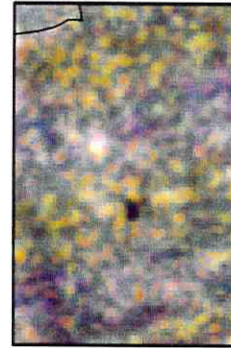
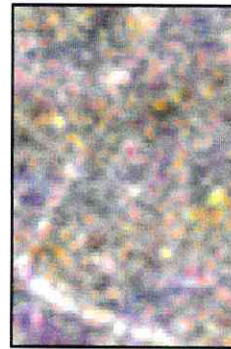
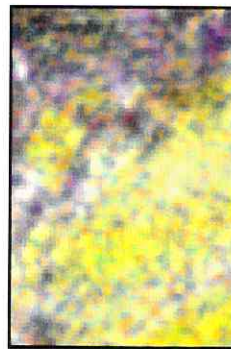
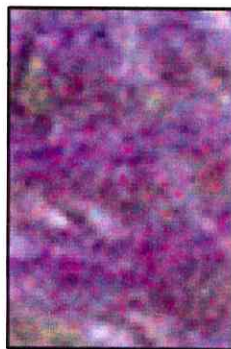
Kleingartenanlagen

Friedhöfe

Sport-, Spiel- und  
Freizeitanlagen

SPOT-PAN

Meter  
0 500



KFA-1000

Meter  
0 200



KVR-1000

Meter  
0 100



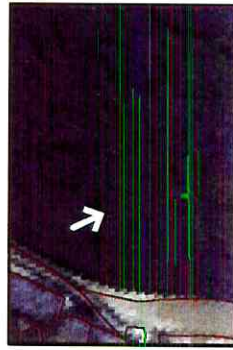
# 0305

## Strukturtypen im SPOT-PAN-, KFA-1000- und KVR-1000-Bild

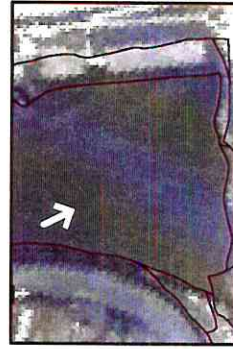
Landwirtschaftliche  
Nutzflächen



Waldflächen



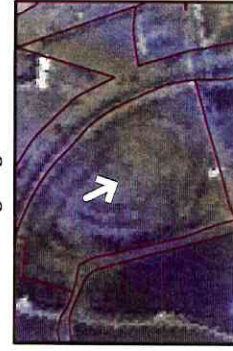
Wasserflächen



Brach- und Um-  
widmungsflächen

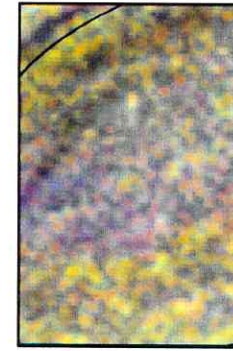
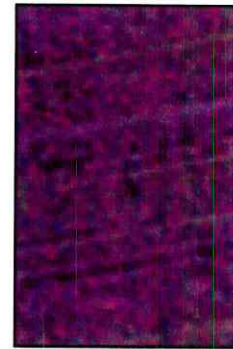
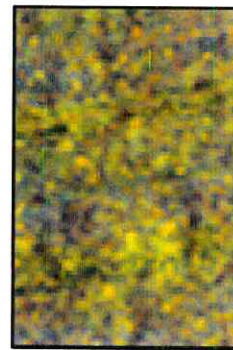


Aufschüttungs-,  
Abgrabungs- und  
Entsorgungsflächen



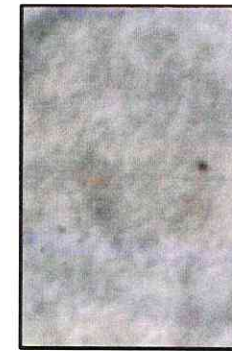
SPOT-PAN

Meter  
0 500



KFA-1000

Meter  
0 200



KVR-1000

Meter  
0 100



Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Digitale Bildverarbeitung und Kartographie  
Dipl.-Geogr. Vera Heinz



gefördert durch:  
Deutsche Agentur für  
Raumfahrtangelegenheiten  
(DARA GmbH)





## Strukturtypen in Verschnittungsprodukten

Kerngebiete



Offene  
Blockbebauung

Geschlossene  
Blockbebauung



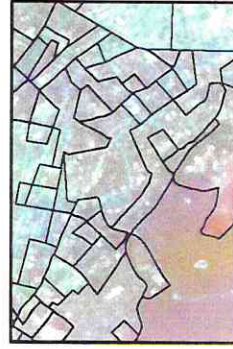
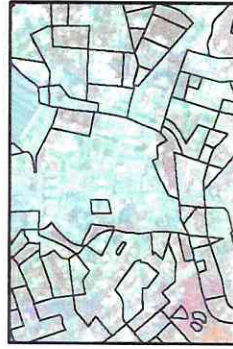
Offene  
Blockrandbebauung



Geschlossene  
Blockrandbebauung



Verschnittungs-  
produkt  
LandSat-TM +  
SPOT-PAN



Verschnittungs-  
produkt  
SPOT-XS +  
SPOT-PAN



Verschnittungs-  
produkt  
SPOT-XS +  
KVR-1000

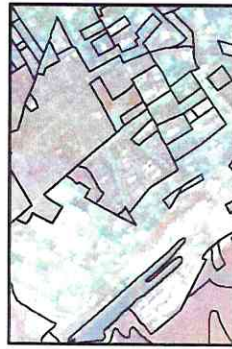


Zeilenbebauung

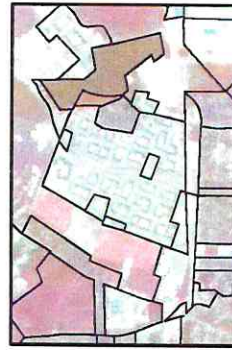
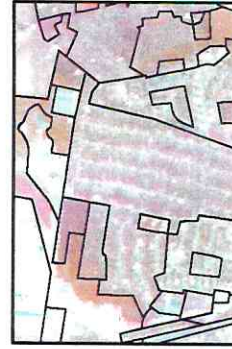


Verschneidungs-  
produkt  
Landsat-TM +  
SPOT-PAN

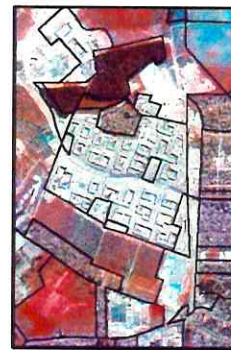
Großwohnstiedlungen



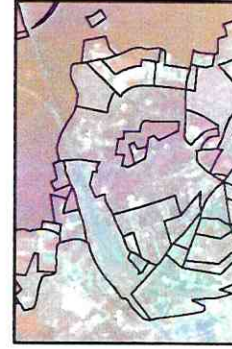
Verschneidungs-  
produkt  
SPOT-XS +  
SPOT-PAN

1- und 2-Familien-  
hausbebauung

Verschneidungs-  
produkt  
SPOT-XS +  
KVR-1000



Villen

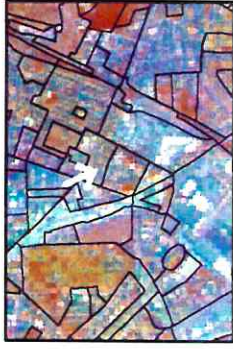


Ehemalige Dorfkerne





Gering versiegelte Industrie-  
und Gewerbeflächen



Verschneidungs-  
produkt  
Landsat-TM +  
SPOT-PAN

Stark versiegelte Industrie-  
und Gewerbeflächen



Öffentliche  
Einrichtungen



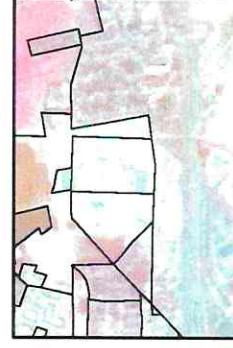
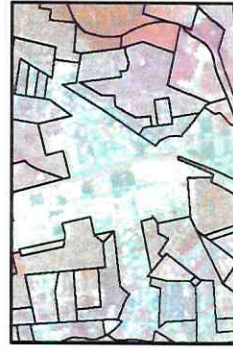
Einkaufszentren



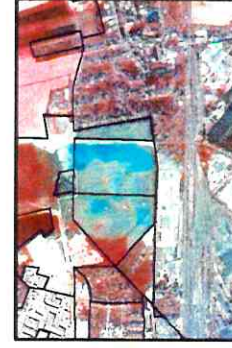
Technische Ver- und  
Entsorgungsanlagen



Verschneidungs-  
produkt  
SPOT-XS +  
SPOT-PAN



Verschneidungs-  
produkt  
SPOT-XS +  
KVR-1000





# Strukturtypen in Verschneidungsprodukten

Verkehrsflächen



Verschneidungs-  
produkt  
Landsat-TM +  
SPOT-PAN

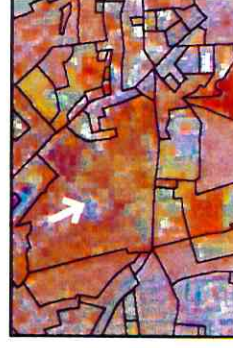
Park- und Grünanlagen



Kleingartenanlagen



Friedhöfe



Sport-, Spiel- und  
Freizeitanlagen



Verschneidungs-  
produkt  
SPOT-XS +  
SPOT-PAN



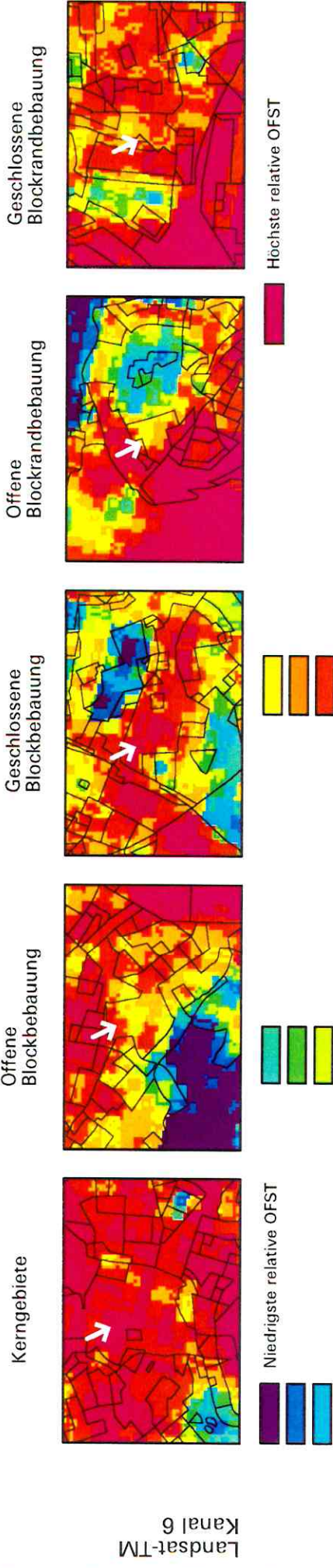
Verschneidungs-  
produkt  
SPOT-XS +  
KVR-1000









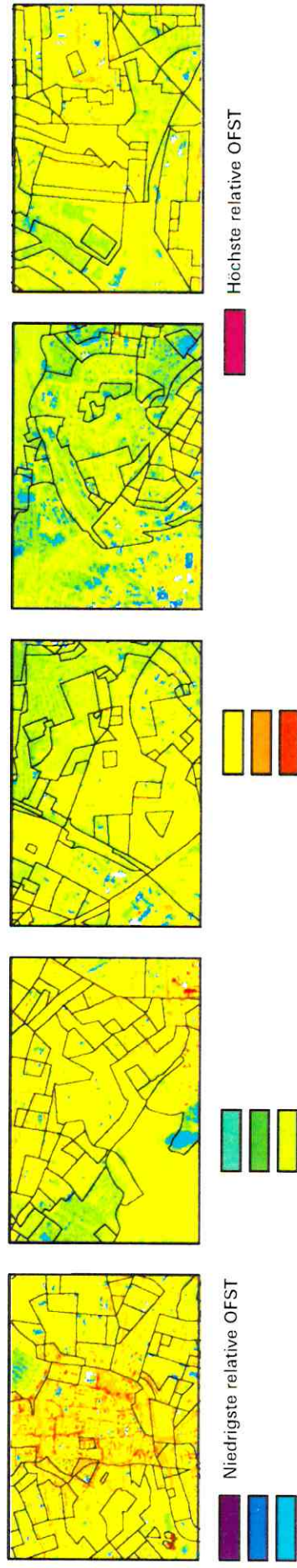


Thermal-scanner-  
aufnahme  
(DAEDALUS)  
Abendaufnahme\*



\* Die Daten wurden freundlicherweise von der Stadt Leipzig, Amt für Umweltschutz zur Verfügung gestellt.

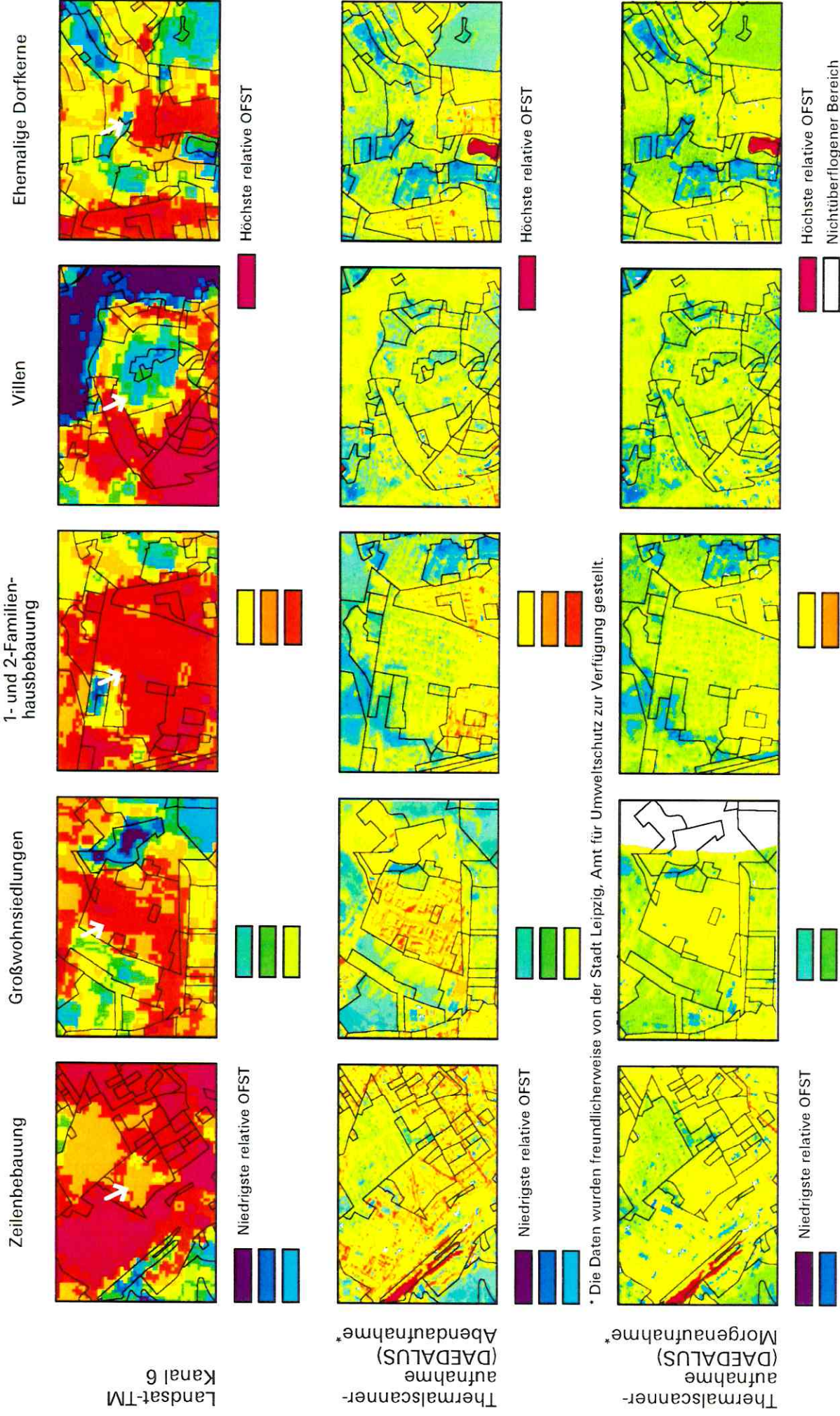
Thermal-scanner-  
aufnahme  
(DAEDALUS)  
Morgenaufnahme\*



\* Die Daten wurden freundlicherweise von der Stadt Leipzig, Amt für Umweltschutz zur Verfügung gestellt.



# 0502 Strukturtypen und ihre Oberflächenstrahlungstemperaturen (OFST)



\* Die Daten wurden freundlicherweise von der Stadt Leipzig, Amt für Umweltschutz zur Verfügung gestellt.

\* Die Daten wurden freundlicherweise von der Stadt Leipzig, Amt für Umweltschutz zur Verfügung gestellt.



Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Digitale Bildverarbeitung und Kartographie:  
Dipl.-Geogr. Vera Heinz



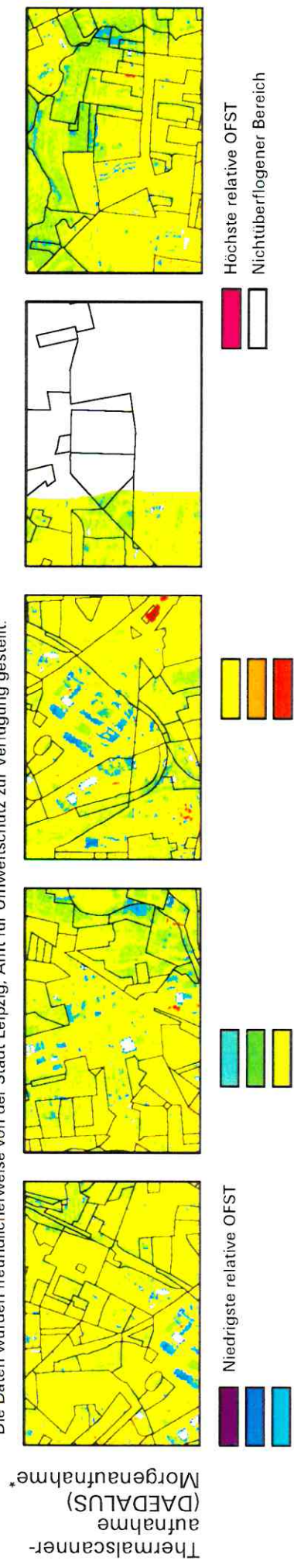
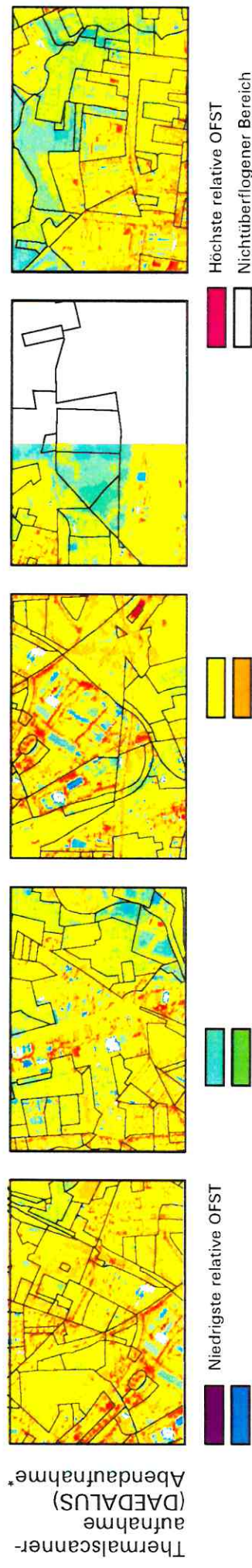
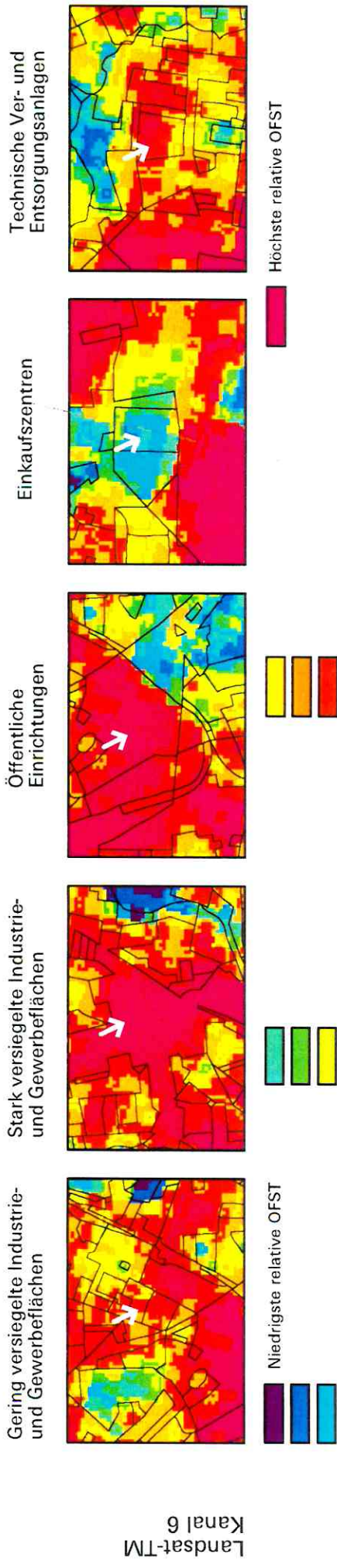
gefördert durch:  
Deutsche Agentur für  
Raumfahrtangelegenheiten  
(DARA GmbH)



Kilometer



# 0503 Strukturtypen und ihre Oberflächenstrahlungstemperaturen (OFST)



\* Die Daten wurden freundlicherweise von der Stadt Leipzig, Amt für Umweltschutz zur Verfügung gestellt.

\* Die Daten wurden freundlicherweise von der Stadt Leipzig, Amt für Umweltschutz zur Verfügung gestellt.



Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Digitale Bildverarbeitung und Kartographie;  
Dipl.-Geogr. Vera Heinz



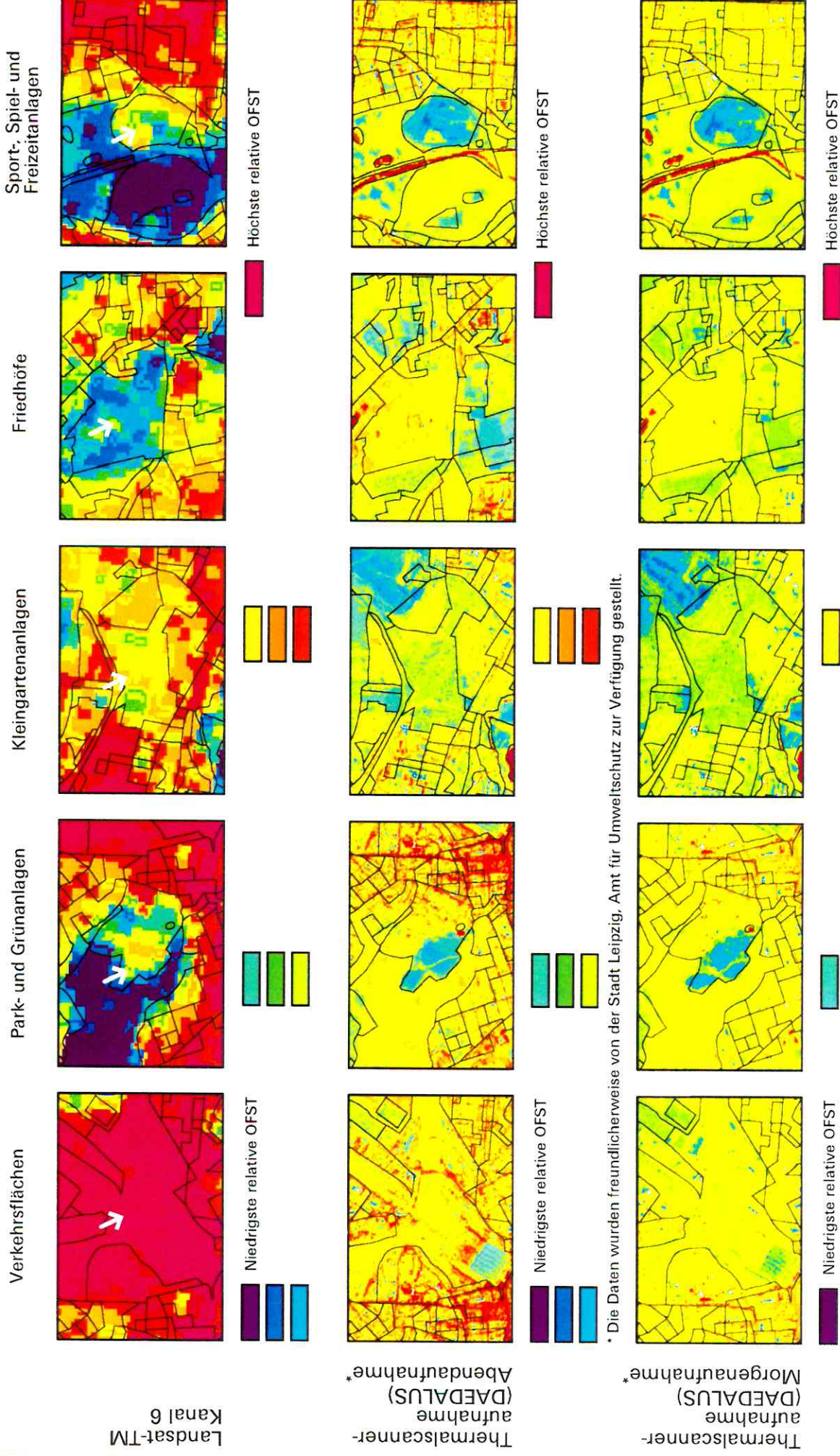
gefördert durch:  
Deutsche Agentur für  
Raumfahrtangelegenheiten  
(DARA GmbH)



Kilometer



# 0504 Strukturtypen und ihre Oberflächenstrahlungstemperaturen (OFST)



\* Die Daten wurden freundlicherweise von der Stadt Leipzig, Amt für Umweltschutz zur Verfügung gestellt.

\* Die Daten wurden freundlicherweise von der Stadt Leipzig, Amt für Umweltschutz zur Verfügung gestellt.



Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Digitale Bildverarbeitung und Kartographie:  
Dipl.-Geogr. Vera Heinz



gefördert durch:  
Deutsche Agentur für  
Raumfahrtangelegenheiten  
(DARA GmbH)



Kilometer



# 0505 Strukturtypen und ihre Oberflächenstrahlungstemperaturen (OFST)

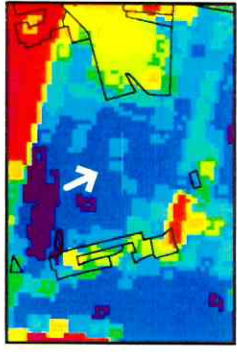
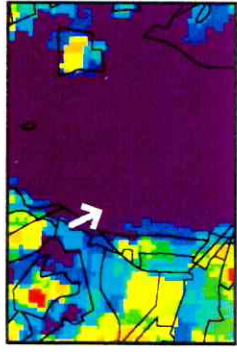
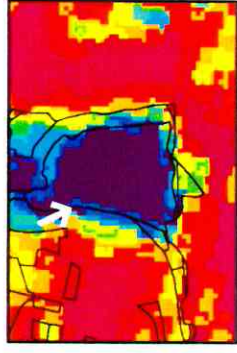
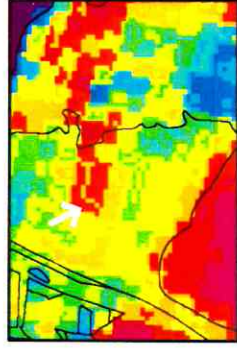
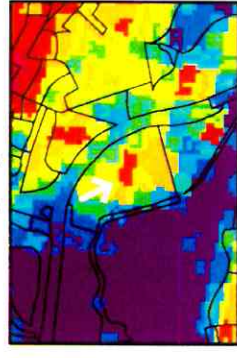
Aufschüttungs-,  
Abgrabungs- und  
Entsorgungsflächen

Brach- und Um-  
widmungsflächen

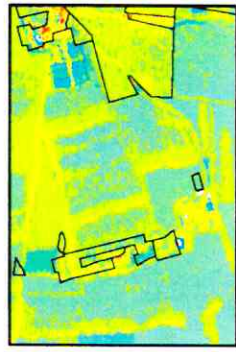
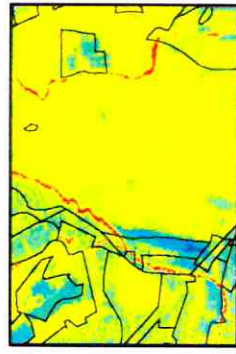
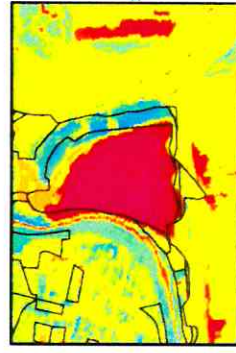
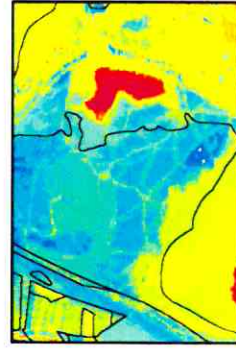
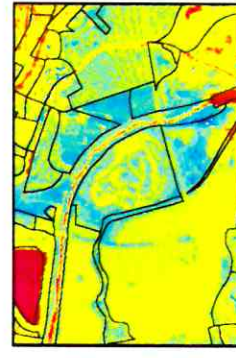
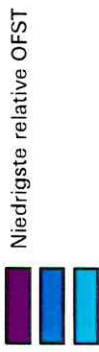
Wasserflächen

Waldflächen

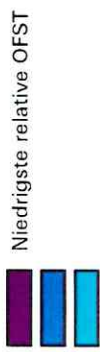
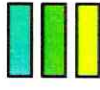
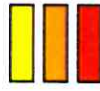
Landwirtschaftliche  
Nutzflächen



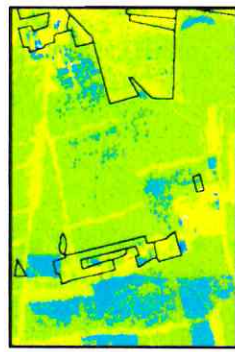
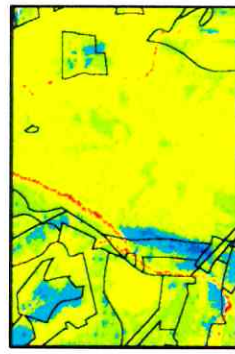
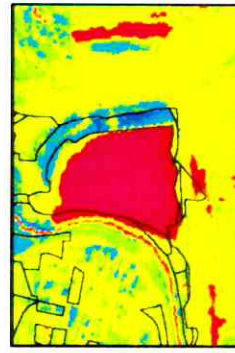
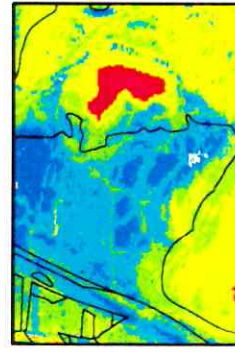
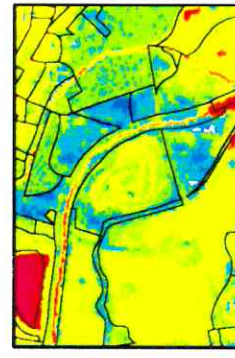
Höchste relative OFST



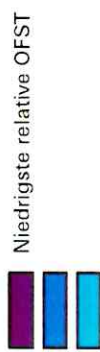
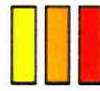
Höchste relative OFST



\* Die Daten wurden freundlicherweise von der Stadt Leipzig, Amt für Umweltschutz zur Verfügung gestellt.



Höchste relative OFST



\* Die Daten wurden freundlicherweise von der Stadt Leipzig, Amt für Umweltschutz zur Verfügung gestellt.



Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Digitale Bildverarbeitung und Kartographie;  
Dipl.-Geogr. Vera Heinz



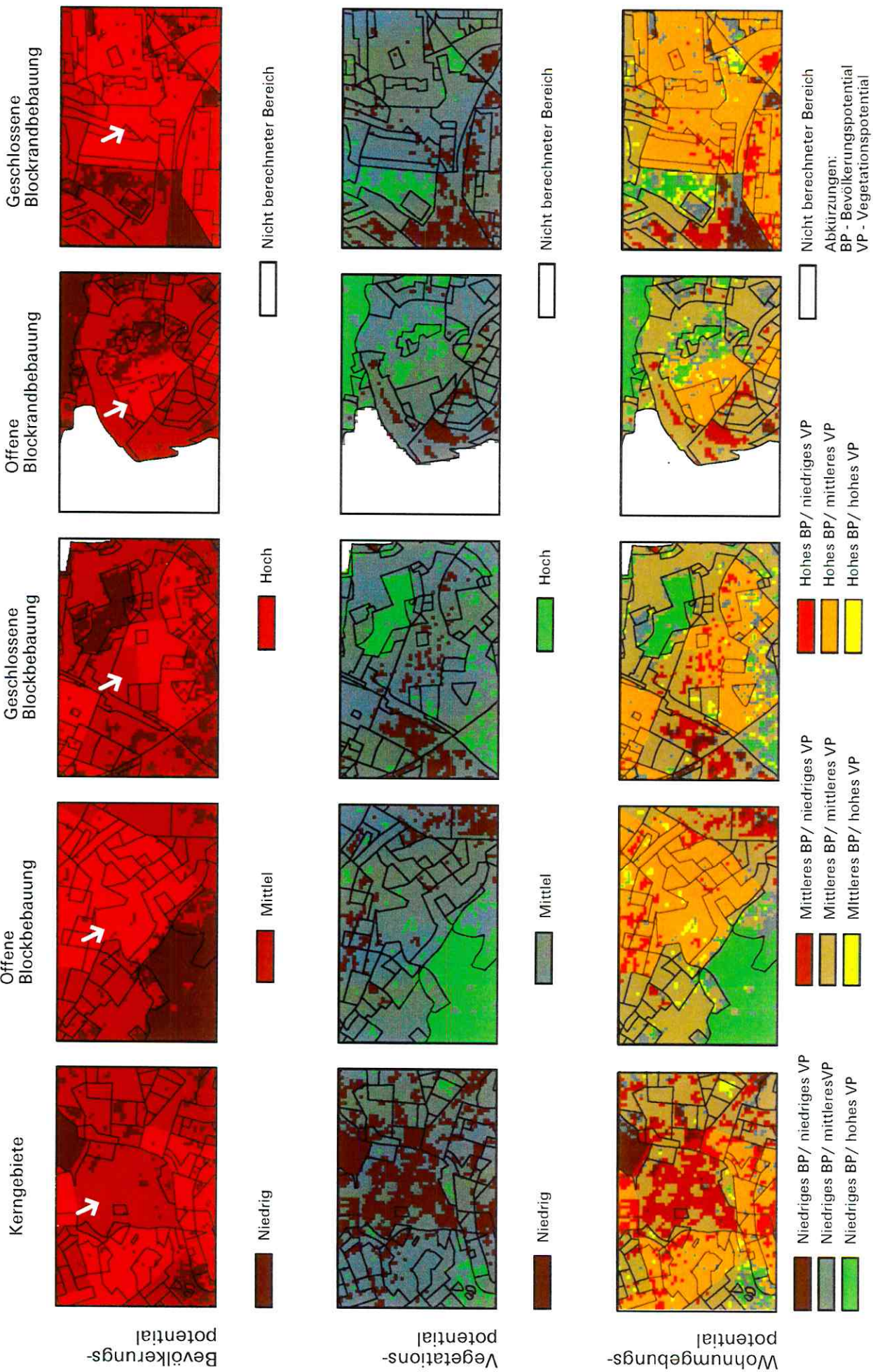
gefördert durch:  
Deutsche Agentur für  
Raumfahrtangelegenheiten  
(DARA GmbH)



Kilometer



## Strukturtypen und ihr Wohnungspotential





## Strukturtypen und ihr Wohnungspotential

Zeilenbebauung

Bevölkerungs-  
potential

Niedrig



Großwohnsiedlungen



Mittel

1- und 2-Familien-  
hausbebauung

Hoch



Villen



Nicht berechneter Bereich



Ehemalige Dorfkern



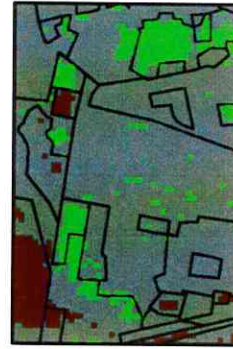
Nicht berechneter Bereich

Vegetations-  
potential

Niedrig



Mittel



Hoch



Nicht berechneter Bereich



Nicht berechneter Bereich

Wohnungs-  
potential

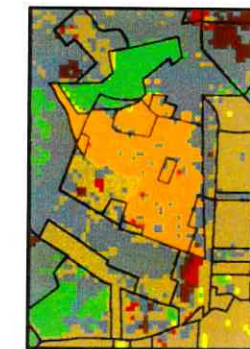
Niedriges BP/ niedriges VP



Niedriges BP/ mittleres VP



Niedriges BP/ hohes VP



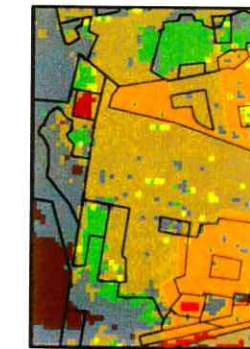
Mittleres BP/ niedriges VP



Mittleres BP/ mittleres VP



Mittleres BP/ hohes VP



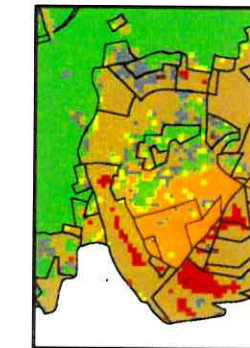
Hohes BP/ niedriges VP



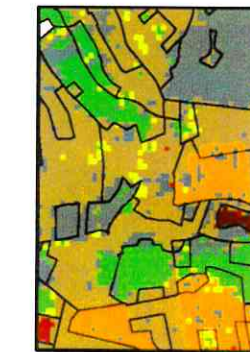
Hohes BP/ mittleres VP



Hohes BP/ hohes VP



Nicht berechneter Bereich



Nicht berechneter Bereich



Abkürzungen:

BP - Bevölkerungspotential

VP - Vegetationspotential



Gering versiegelte Industrie-  
und Gewerbeflächen

Niedrig

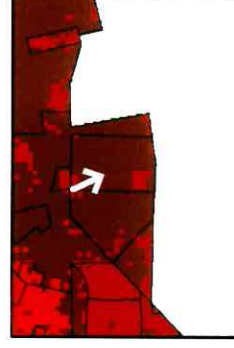
Stark versiegelte Industrie-  
und Gewerbeflächen

Mittel

Öffentliche  
Einrichtungen

Hoch

Einkaufszentren

Technische Ver- und  
Entsorgungsanlagen

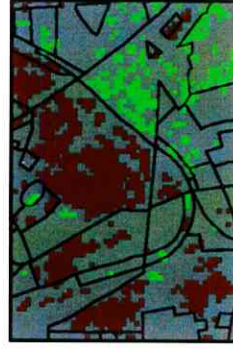
Nicht berechneter Bereich

Bevölkerungs-  
potential

Niedrig



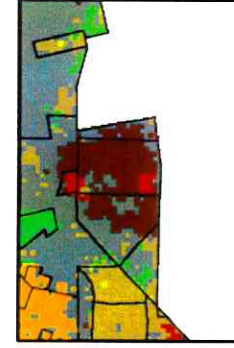
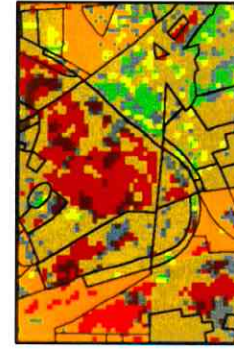
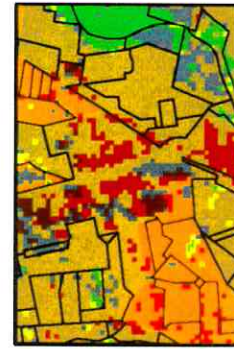
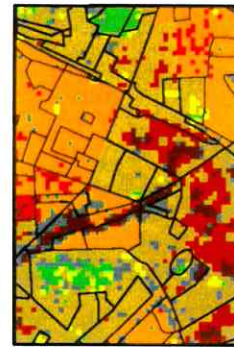
Mittel



Hoch



Nicht berechneter Bereich

Vegetations-  
potentialWohnungs-  
potential

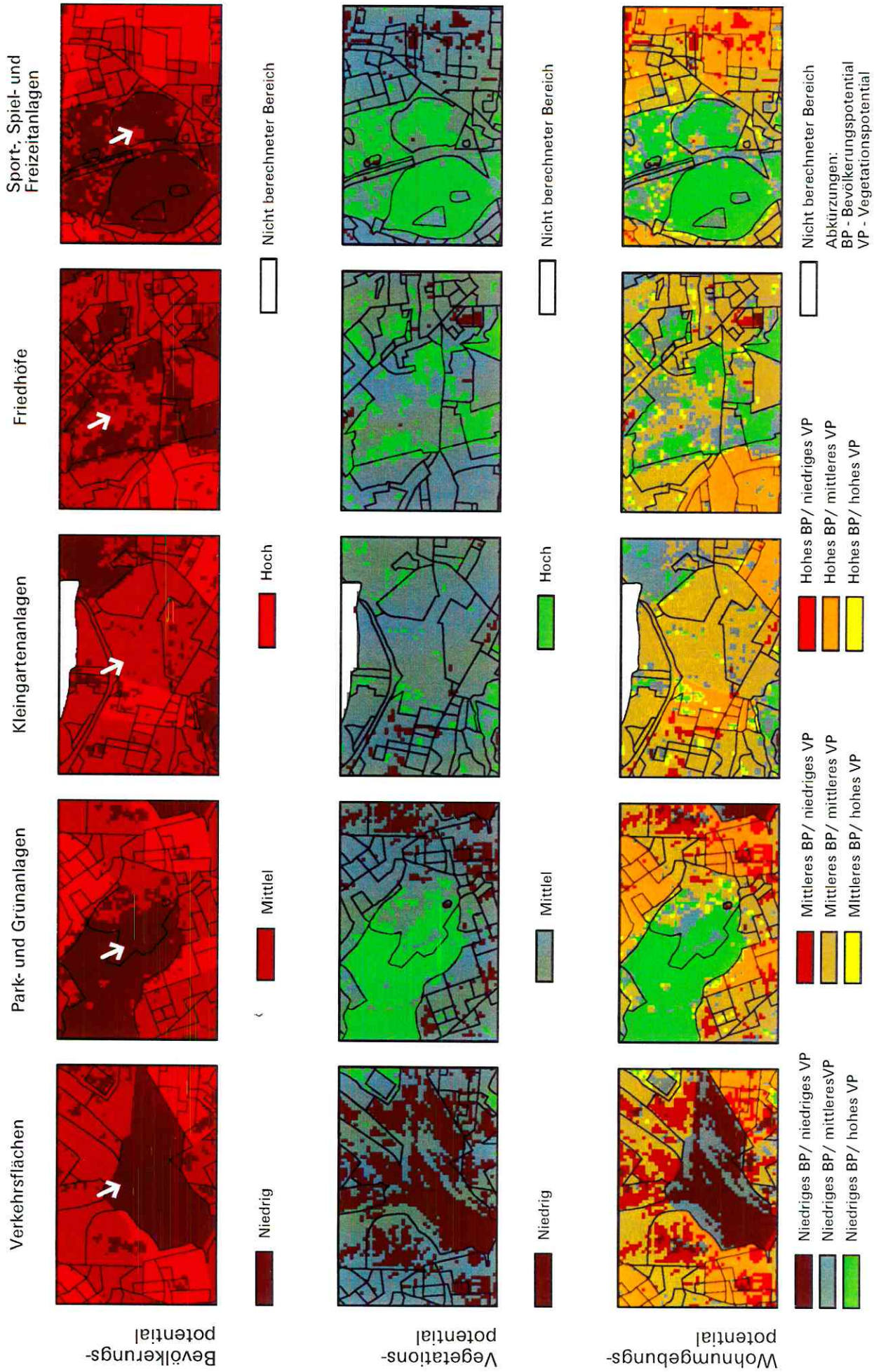
Niedriges BP/ niedriges VP  
Niedriges BP/ mittleres VP  
Niedriges BP/ hohes VP

Mittleres BP/ niedriges VP  
Mittleres BP/ mittleres VP  
Mittleres BP/ hohes VP

Hohes BP/ niedriges VP  
Hohes BP/ mittleres VP  
Hohes BP/ hohes VP

Nicht berechneter Bereich  
Abkürzungen:  
BP - Bevölkerungspotential  
VP - Vegetationspotential







Landwirtschaftliche  
NutzflächenBevölkerungs-  
potential

Niedrig



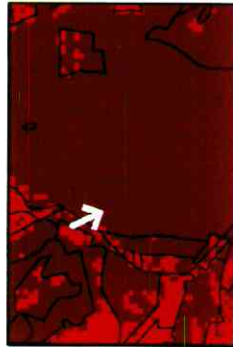
Mittel



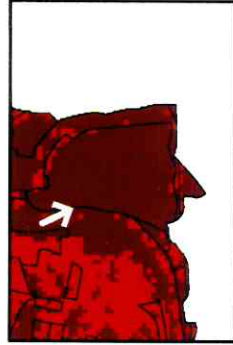
Hoch



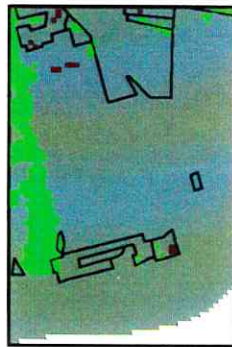
Waldflächen



Wasserflächen

Brach- und Um-  
widmungsflächenAufschüttungs-,  
Abgrabungs- und  
Entsorgungsflächen

Nicht berechneter Bereich

Vegetations-  
potential

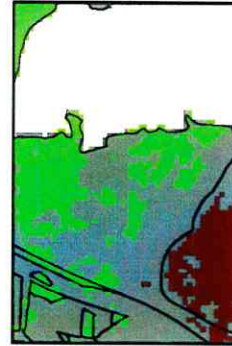
Niedrig



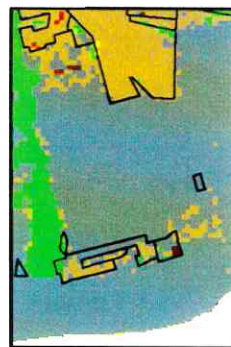
Mittel



Hoch



Nicht berechneter Bereich

Wohnungs-  
potential

Niedriges BP/ niedriges VP



Niedriges BP/ mittleres VP



Niedriges BP/ hohes VP



Mittleres BP/ niedriges VP



Mittleres BP/ mittleres VP



Mittleres BP/ hohes VP



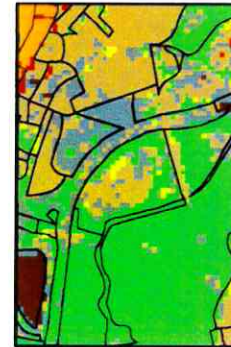
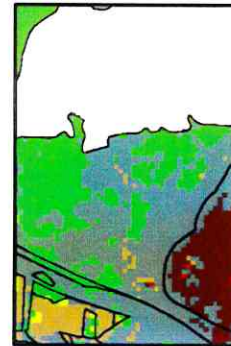
Hohes BP/ niedriges VP



Hohes BP/ mittleres VP



Hohes BP/ hohes VP



Nicht berechneter Bereich



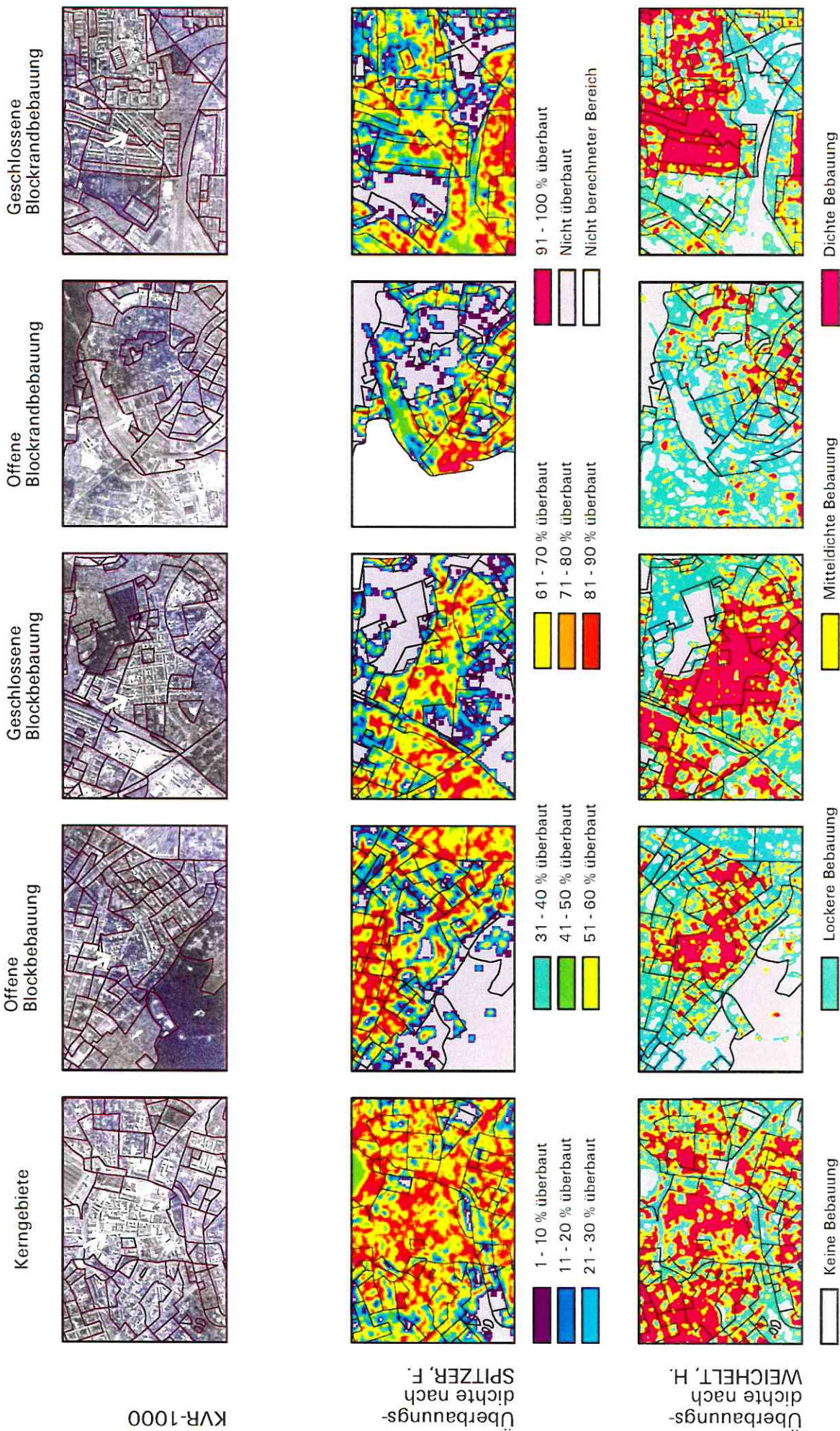
Abkürzungen:

BP - Bevölkerungspotential

VP - Vegetationspotential



# Strukturtypen und ihre Überbauungsdichte





## Strukturtypen und ihre Überbauungsdichte

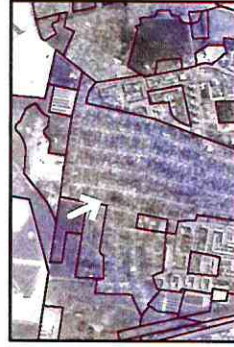
Zeilenbebauung



Großwohnsiedlungen



1- und 2-Familienhausbebauung



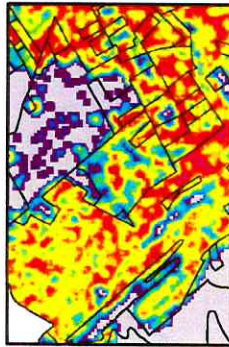
Villen



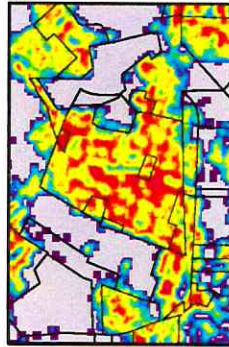
Ehemalige Dorfkern



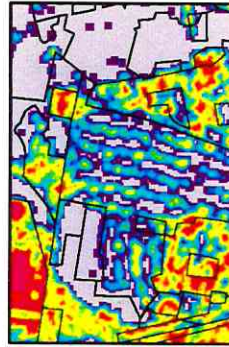
KVR-1000

Überbauungs-  
dichte nach  
SPITZER, F.

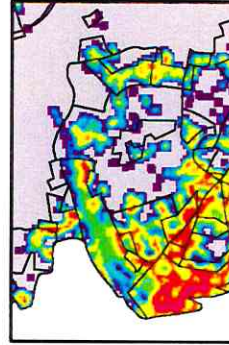
1 - 10 % überbaut  
11 - 20 % überbaut  
21 - 30 % überbaut



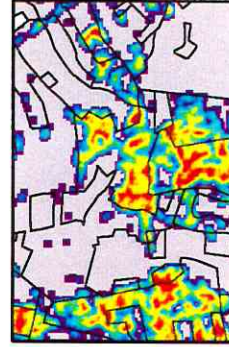
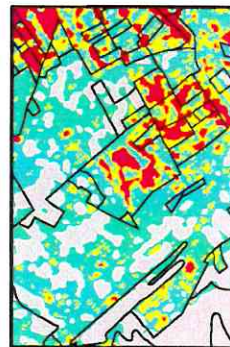
31 - 40 % überbaut  
41 - 50 % überbaut  
51 - 60 % überbaut



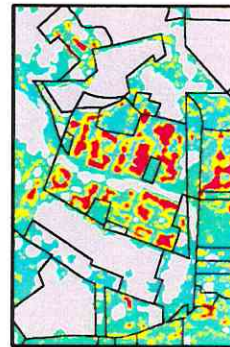
61 - 70 % überbaut  
71 - 80 % überbaut  
81 - 90 % überbaut



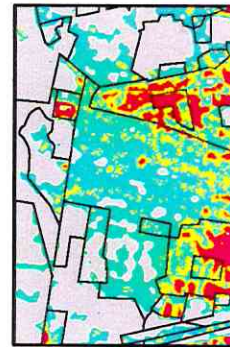
91 - 100 % überbaut  
Nicht überbaut  
Nicht berechneter Bereich

Überbauungs-  
dichte nach  
WEICHELT, H.

Keine Bebauung



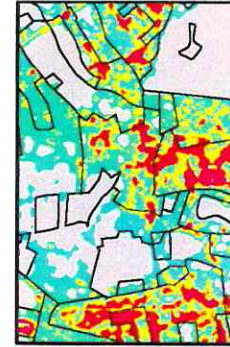
Lockere Bebauung



Mitteldichte Bebauung



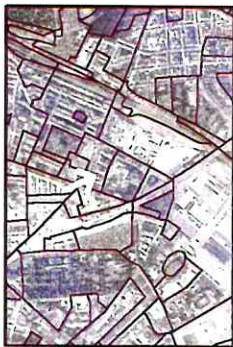
Dichte Bebauung



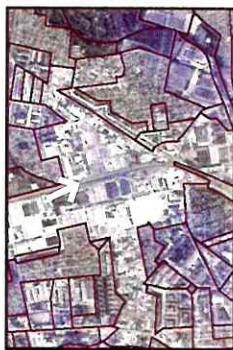


# Strukturtypen und ihre Überbauungsdichte

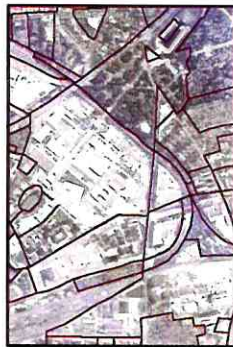
Gering versiegelte Industrie- und Gewerbeflächen



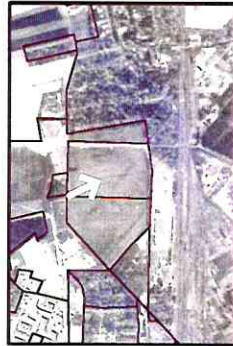
Stark versiegelte Industrie- und Gewerbeflächen



Öffentliche Einrichtungen



Einkaufszentren

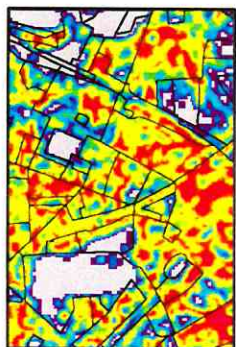


Technische Ver- und Entsorgungsanlagen

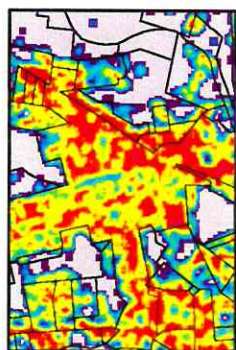


KVR-1000

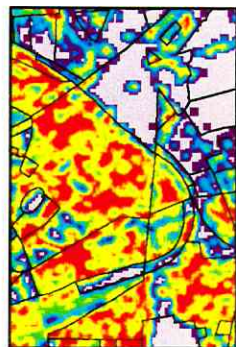
Überbauungs-  
dichte nach  
SPITZER, F.



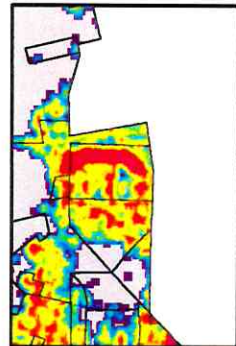
1 - 10 % überbaut  
11 - 20 % überbaut  
21 - 30 % überbaut



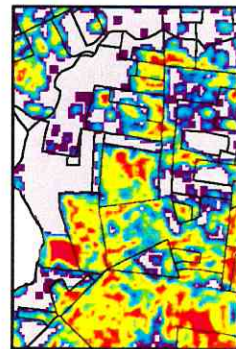
31 - 40 % überbaut  
41 - 50 % überbaut  
51 - 60 % überbaut



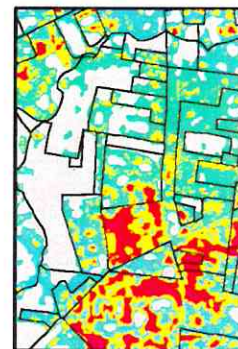
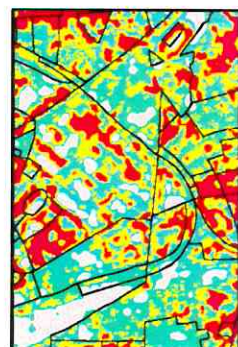
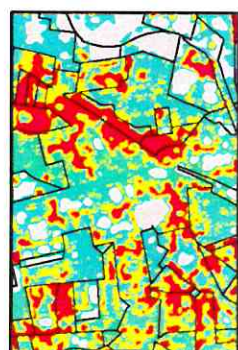
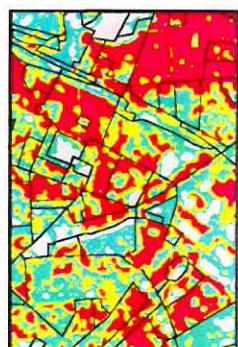
61 - 70 % überbaut  
71 - 80 % überbaut  
81 - 90 % überbaut



91 - 100 % überbaut  
Nicht überbaut  
Nicht berechneter Bereich



Überbauungs-  
dichte nach  
WEICHELT, H.



Keine Bebauung

Lockere Bebauung

Mitteldichte Bebauung

Dichte Bebauung



Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Digitale Bildverarbeitung und Kartographie:  
Dipl.-Geogr. Vera Heinz



gefördert durch:  
Deutsche Agentur für  
Raumfahrtangelegenheiten  
(DARA GmbH)



Kilometer



## Strukturtypen und ihre Überbauungsdichte

Verkehrsflächen

Park- und Grünanlagen

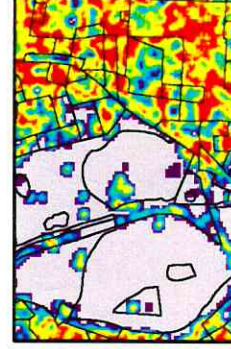
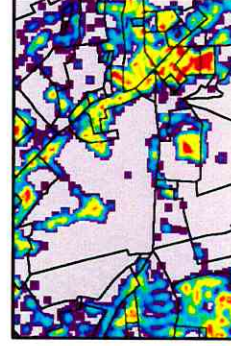
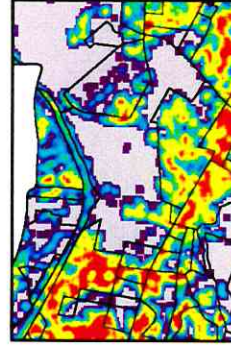
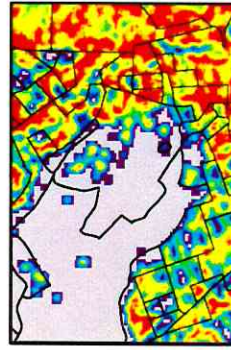
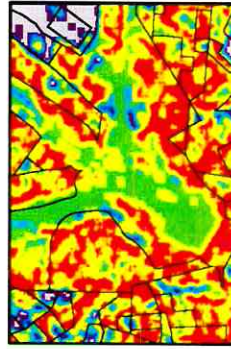
Kleingartenanlagen

Friedhöfe

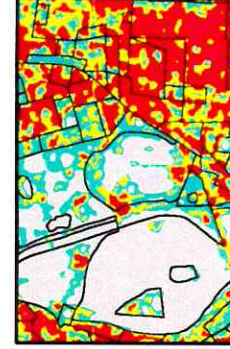
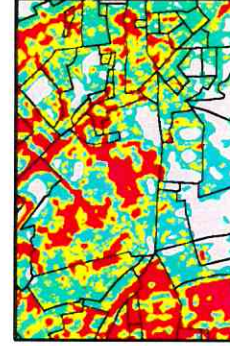
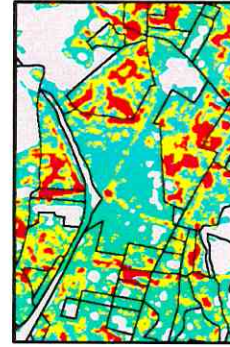
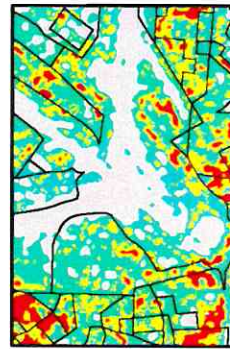
Sport-, Spiel- und  
Freizeitanlagen



KVR-1000



Überbauungs-  
dichte nach  
SPITZER, F.



Überbauungs-  
dichte nach  
WEICHELDT, H.

Keine Bebauung

Lockere Bebauung

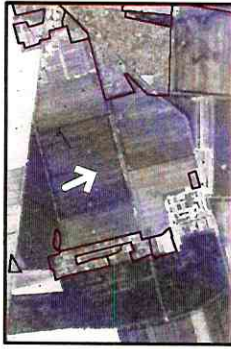
Mitteldichte Bebauung

Dichte Bebauung



# Strukturtypen und ihre Überbauungsdichte

Landwirtschaftliche Nutzflächen



Waldflächen



Wasserflächen



Brach- und Umwidmungsflächen

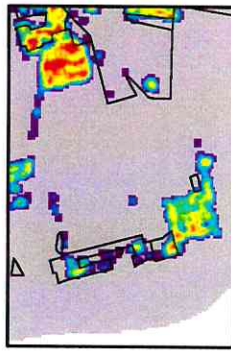


Aufschüttungs-, Abgrabungs- und Entsorgungsflächen



KVR-1000

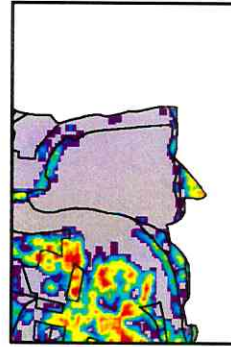
Überbauungs-  
dichte nach  
SPITZER, F.



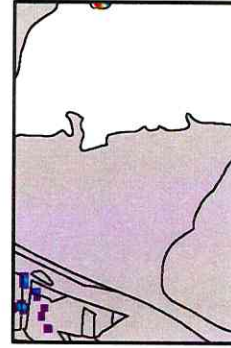
1 - 10 % überbaut  
11 - 20 % überbaut  
21 - 30 % überbaut



31 - 40 % überbaut  
41 - 50 % überbaut  
51 - 60 % überbaut

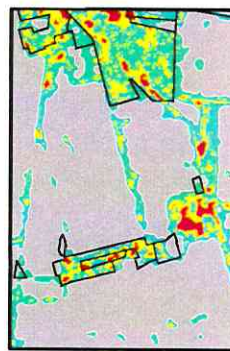


61 - 70 % überbaut  
71 - 80 % überbaut  
81 - 90 % überbaut

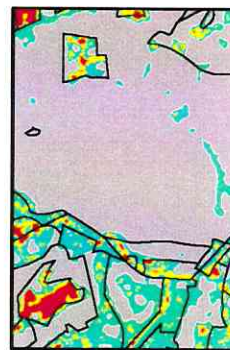


91 - 100 % überbaut  
Nicht überbaut  
Nicht berechneter Bereich

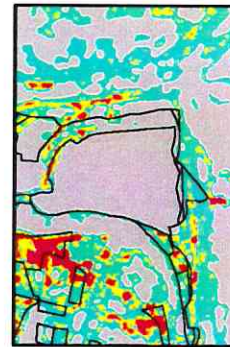
Überbauungs-  
dichte nach  
WEICHELT, H.



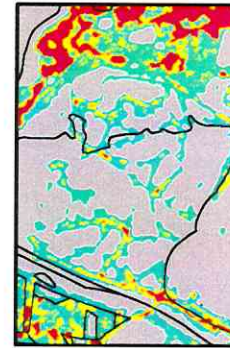
Keine Bebauung



Lockere Bebauung



Mitteldichte Bebauung



Dichte Bebauung

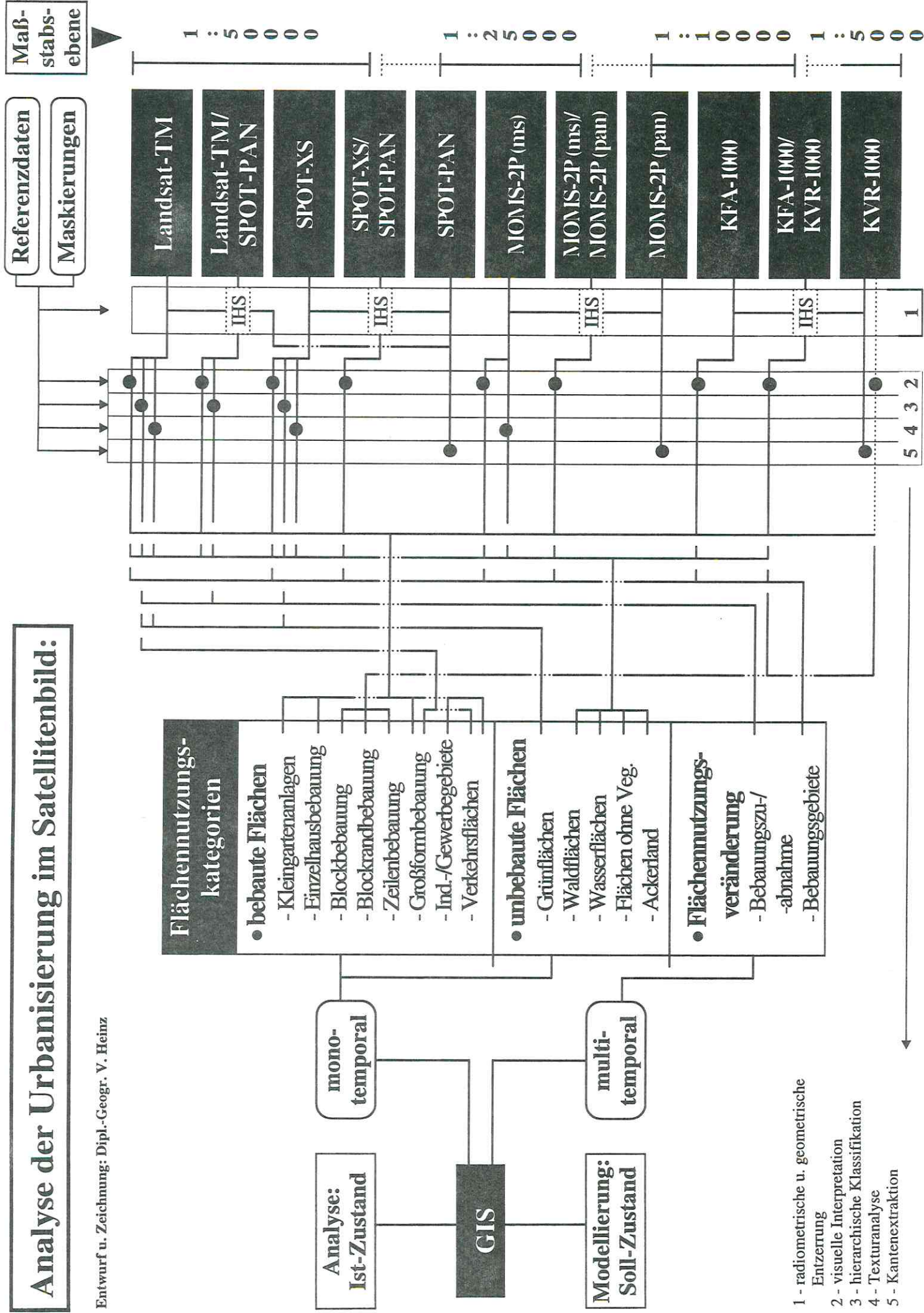


## **10.2 Flußdiagramm: Planungshilfe für die Anwendung der Fernerkundung bei der Untersuchung von Flächennutzungskategorien**



# Analyse der Urbanisierung im Satellitenbild:

Entwurf u. Zeichnung: Dipl.-Geogr. V. Heinz



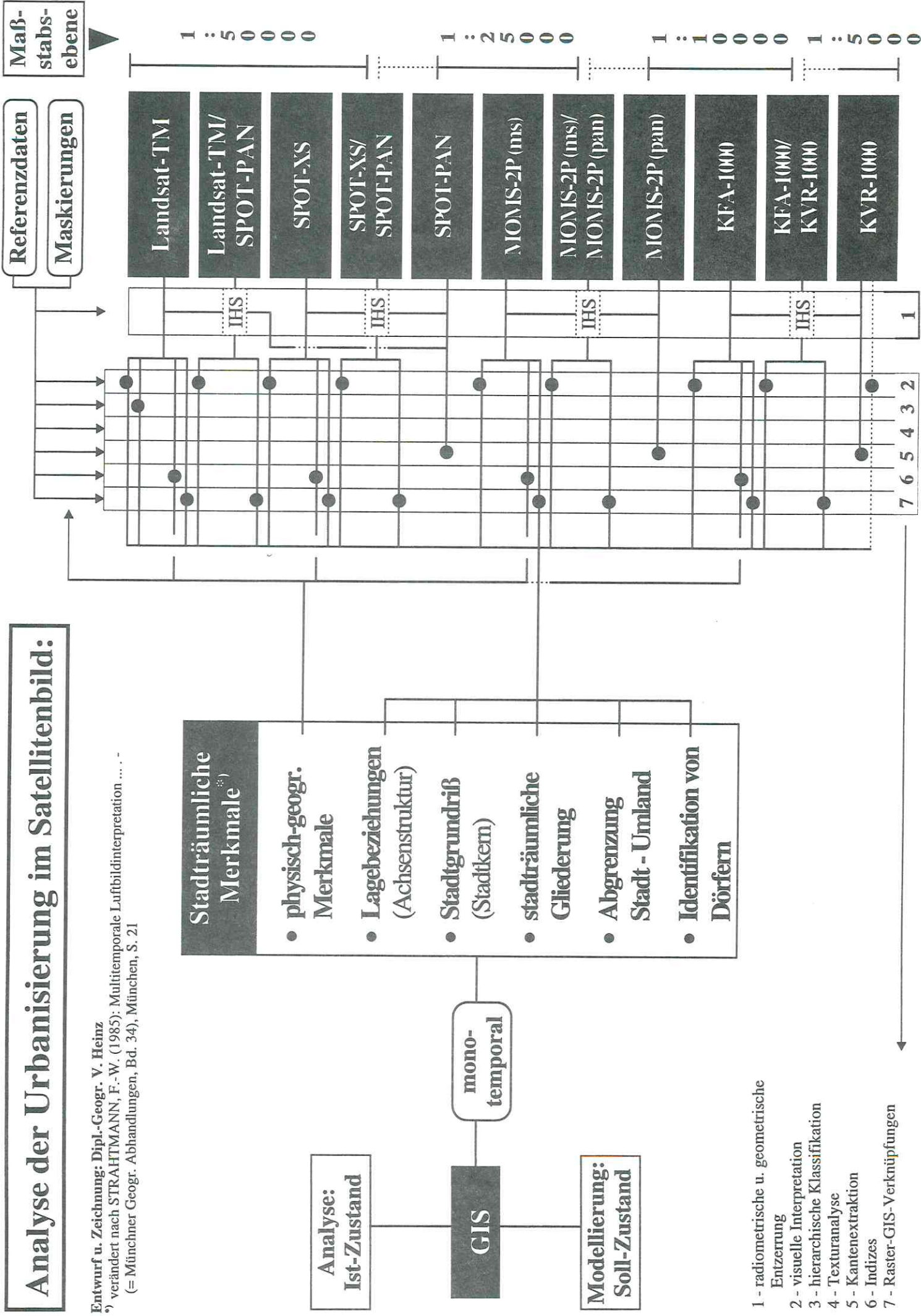


### **10.3 Flußdiagramm: Planungshilfe für die Anwendung der Fernerkundung bei der Untersuchung von stadträumlichen Merkmalen**



# Analyse der Urbanisierung im Satellitenbild:

Entwurf u. Zeichnung: Dipl.-Geogr. V. Heinz  
 \*) verändert nach STRAHTMANN, F.-W. (1985): Multitemporale Luftbildinterpretation ... (= Münchner Geogr. Abhandlungen, Bd. 34), München, S. 21





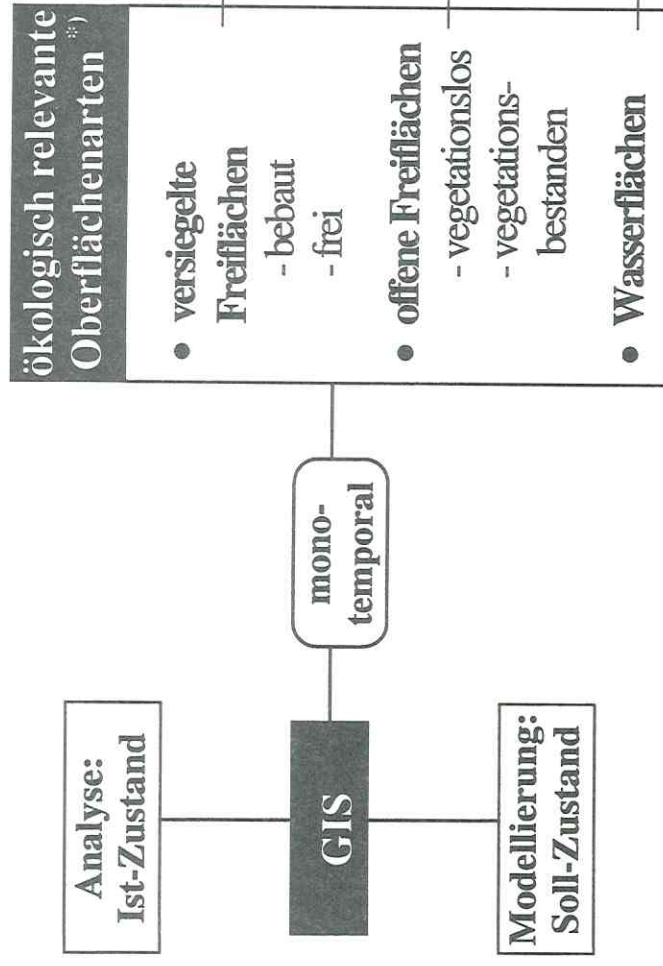
#### **10.4 Flußdiagramm: Planungshilfe für die Anwendung der Fernerkundung bei der Untersuchung ökologisch relevanter Oberflächen**



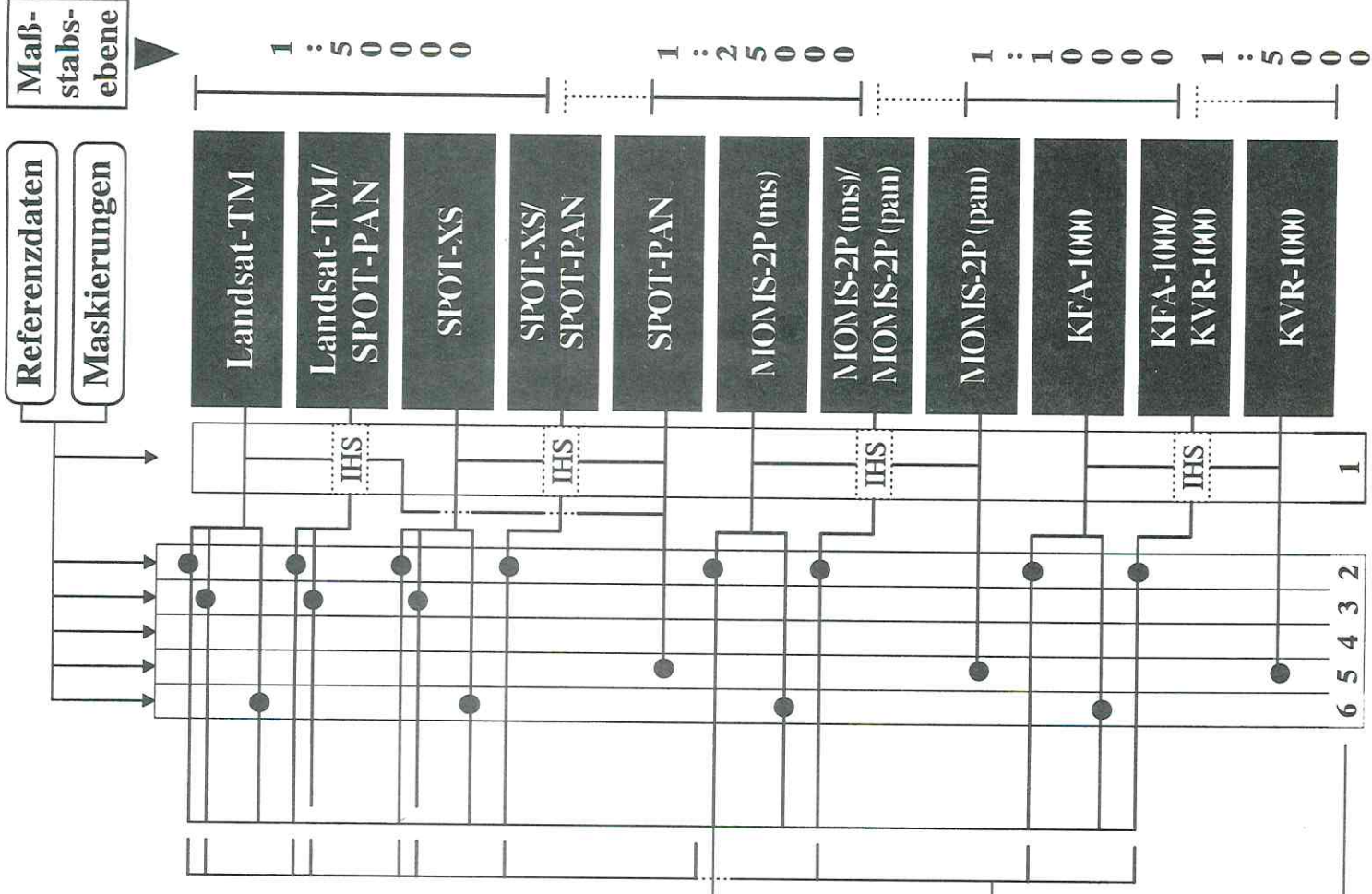
# Analyse der Urbanisierung im Satellitenbild:

Entwurf u. Zeichnung: Dipl.-Geogr. V. Heinz

\*) verändert nach FROTSCHER, W. (1991): Methoden u. Probleme der Luftbildauswertung ... (= Zentralinstitut f. Physik d. Erde, Nr. 118), Potsdam, S. 160 - 175



- 1 - radiometrische u. geometrische Entzerrung
- 2 - visuelle Interpretation
- 3 - hierarchische Klassifikation
- 4 - Texturanalyse
- 5 - Kantenextraktion
- 6 - Indizes





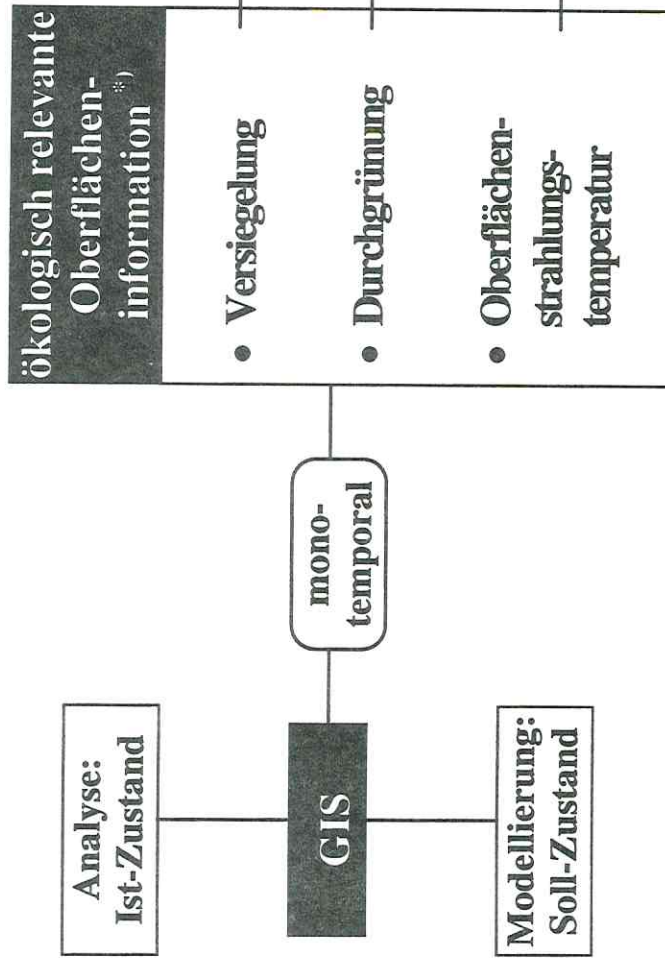
### **10.5 Flußdiagramm: Planungshilfe für die Anwendung der Fernerkundung bei der Untersuchung ökologisch relevanter Oberflächeninformation**



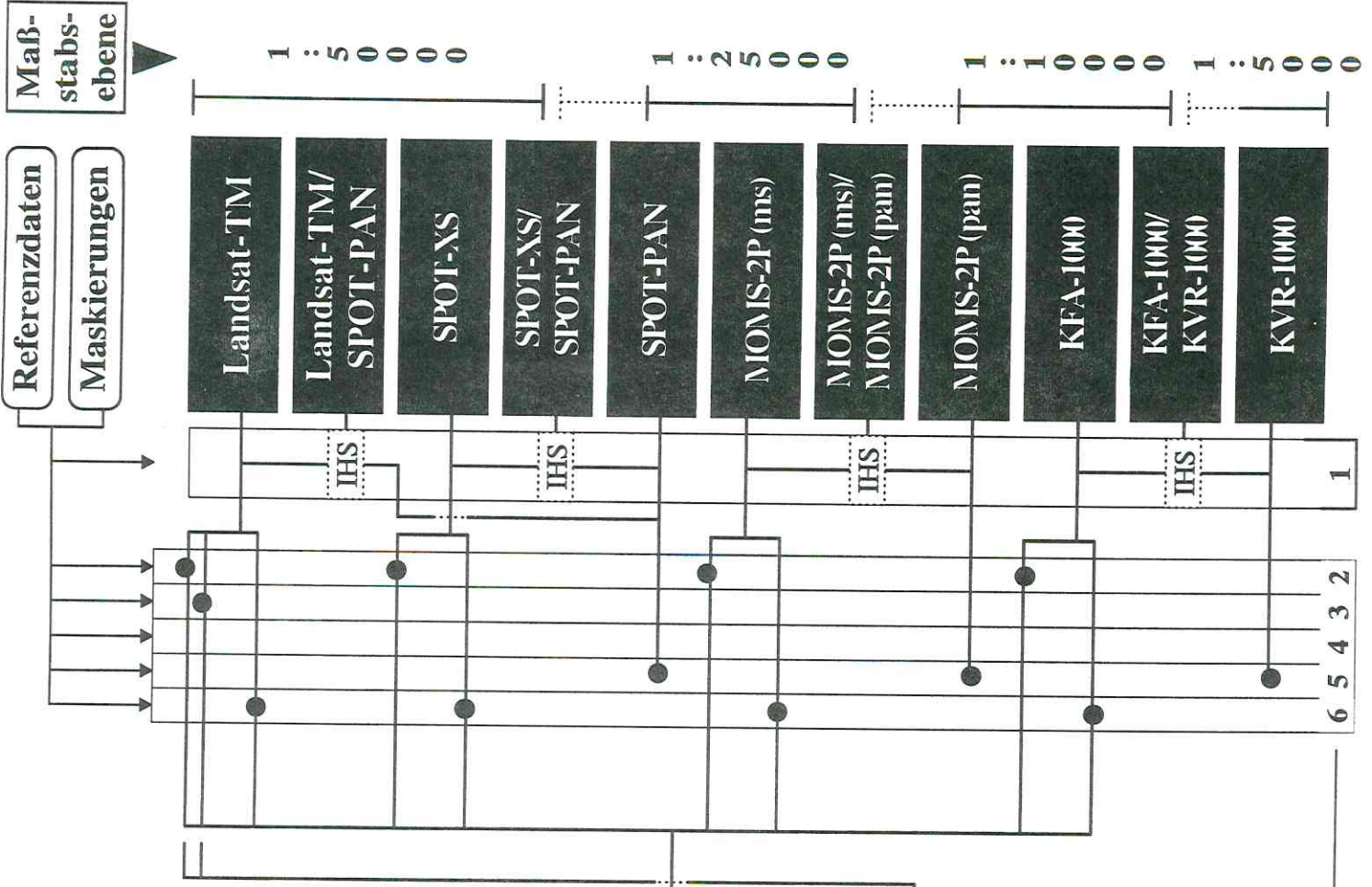
# Analyse der Urbanisierung im Satellitenbild:

Entwurf u. Zeichnung: Dipl.-Geogr. V. Heinz

\*) verändert nach FROTSCHER, W. (1991): Methoden u. Probleme der Luftbildauswertung ... (= Zentralinstitut f. Physik d. Erde, Nr. 118), Potsdam, S. 160 - 175



- 1 - radiometrische u. geometrische Entzerrung
- 2 - visuelle Interpretation
- 3 - hierarchische Klassifikation
- 4 - Texturanalyse
- 5 - Kantenextraktion
- 6 - Indizes





UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Permoserstraße 15  
D-04318 Leipzig  
Telefon 0341/235-2166  
Telefax 0341/235-2511