

Handbuch zu den Konzepten der Informationssysteme für Bodenbedeckung und -nutzung



EUROPÄISCHE
KOMMISSION



THEMENKREIS 5
Landwirtschaft
und
Fischerei

5

Zahlreiche weitere Informationen zur Europäischen Union sind verfügbar über Internet, Server Europa (<http://europa.eu.int>).

Bibliografische Daten befinden sich am Ende der Veröffentlichung.

Luxemburg: Amt für amtliche Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaften, 2001

ISBN 92-894-0431-0

© Europäische Gemeinschaften, 2001

Printed in Luxembourg

GEDRUCKT AUF CHLORFREI GEBLEICHTEM PAPIER

INHALTSVERZEICHNIS

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | EINLEITUNG | 5 |
| 2 | DEFINITION ALLGEMEINER BEGRIFFE | 9 |
| 2.1 | BODEN..... | 11 |
| 2.2 | BODENOBJEKTE..... | 12 |
| | <i>Objekte heterogener Struktur</i> | 12 |
| 2.3 | BODENBEDECKUNG UND -NUTZUNG..... | 13 |
| 2.3.1. | <i>Wechselbeziehung zwischen Bodenbedeckung und Bodennutzung</i> | 14 |
| 2.4 | VERÄNDERUNG VON BODENBEDECKUNG UND -NUTZUNG..... | 15 |
| 3 | KLASSIFIKATIONSSYSTEME | 17 |
| 3.1 | DEFINITIONEN..... | 19 |
| 3.1.1. | <i>Klassifikationen</i> | 19 |
| 3.1.2. | <i>Nomenklaturen</i> | 19 |
| 3.1.3. | <i>Legenden</i> | 20 |
| 3.1.4. | <i>Auf dem Weg zu Klassifikationssystemen</i> | 20 |
| 3.2 | KLASSIFIKATIONSSYSTEME..... | 21 |
| 3.2.1. | <i>Eine Annäherung an die Realität</i> | 21 |
| 3.2.2. | <i>Ein Kompromiss</i> | 22 |
| 3.2.3. | <i>Einige Eigenschaften</i> | 22 |
| 3.3 | BESTEHENDE ANSÄTZE BEI KLASSIFIKATIONSSYSTEMEN..... | 25 |
| 3.3.1. | <i>Hierarchische Systeme</i> | 25 |
| 3.3.2. | <i>Nichthierarchische Systeme</i> | 27 |
| 4 | HILFSMITTEL ZUR DATENERFASSUNG | 31 |
| 4.1 | FERNERKUNDUNGSBILDER..... | 33 |
| 4.1.1 | <i>Definition</i> | 33 |
| 4.1.2 | <i>Prinzipien</i> | 33 |
| 4.1.3 | <i>Der Messprozess: Abtastung</i> | 35 |
| 4.1.4 | <i>Fernerkundungsbilder: Eigenschaften</i> | 38 |
| 4.1.5 | <i>Digitale Bildverarbeitung</i> | 44 |
| 4.1.6 | <i>Bildanalyse</i> | 44 |
| 4.1.7 | <i>Vor- und Nachteile von Fernerkundungsbildern</i> | 45 |
| 4.2 | LUFTAUFNAHMEN..... | 46 |
| 4.2.1 | <i>Prinzipien</i> | 46 |
| 4.2.2 | <i>Arten von Luftaufnahmen</i> | 47 |
| 4.2.3 | <i>Grundlegende Aspekte der Interpretation von Luftaufnahmen</i> | 49 |
| 4.2.4 | <i>Vor- und Nachteile</i> | 49 |
| 4.3 | STICHPROBENERHEBUNGEN — FLÄCHENSTICHPROBEN..... | 50 |
| 4.3.1 | <i>Prinzipien</i> | 50 |
| 4.3.2 | <i>Vor- und Nachteile</i> | 53 |
| 4.4 | ADMINISTRATIVE DATEN..... | 54 |
| 4.4.1. | <i>Datenintegration mittels administrativer und statistischer Register</i> | 54 |
| 4.4.2. | <i>Prinzipien</i> | 54 |
| 4.4.3. | <i>Vor- und Nachteile</i> | 55 |
| 5 | INFORMATIONSANFORDERUNGEN — DATENSPEZIFIKATION | 57 |
| 5.1 | WAS IST DIE ERFORDERLICHE „INFORMATIONSEBENE“?..... | 59 |
| 5.2 | MEHRZWECKINFORMATIONSSYSTEME..... | 63 |
| 6 | DATENBEARBEITUNG UND -MANIPULATION | 65 |
| 6.1 | GENERALISIERUNG UND AGGREGATION..... | 67 |
| 6.1.1 | <i>Generalisierung</i> | 67 |
| 6.1.2. | <i>Aggregierung</i> | 68 |
| 6.2 | DATENINTEGRATION..... | 69 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 6.2.1. | <i>Phasen der Datenintegration</i> | 70 |
| 6.2.2. | <i>Probleme der Datenintegration</i> | 72 |
| 7 | QUALITÄT | 77 |
| 7.1 | METADATEN..... | 79 |
| 7.2 | BEURTEILUNG DER GENAUIGKEIT..... | 80 |
| 8 | FACHSPEZIFISCHE DEFINITIONEN — EINIGE GRUNDLAGEN | 83 |
| 8.1 | KARTEN..... | 85 |
| 8.1.1. | <i>Kategorien von Karten</i> | 85 |
| 8.1.2. | <i>Kategorisierung von Karten nach ihrem Inhalt</i> | 85 |
| 8.1.3. | <i>Kategorisierung von Karten nach ihrem Ursprung</i> | 85 |
| 8.1.4. | <i>Kategorisierung von Karten nach dem Erstellungsprozess</i> | 86 |
| 8.1.5. | <i>Kategorisierung von Karten nach ihrem Maßstab</i> | 86 |
| 8.1.6. | <i>Beispiele</i> | 87 |
| 8.2 | KARTEN IN DER STATISTIK..... | 89 |
| 8.2.1. | <i>Kartierung von Statistiken</i> | 89 |
| 8.2.2. | <i>Karten oder geographische Daten als Input für die Statistik</i> | 90 |
| 8.3. | GEODÄTISCHES UND REGIONALES BEZUGSSYSTEM | 92 |
| 8.3.1. | <i>Geodätisches Bezugssystem</i> | 92 |
| 8.3.2. | <i>Regionale Bezugssysteme</i> | 96 |
| 8.4 | MAßSTAB..... | 98 |
| 8.5. | EINHEITEN..... | 100 |
| 8.5.1 | <i>Karteneinheiten</i> | 100 |
| 8.5.2 | <i>Kartierungseinheit</i> | 100 |
| 8.5.3. | <i>Kleinste lesbare Einheit</i> | 100 |
| 8.5.4. | <i>Beobachtungseinheit</i> | 101 |
| 8.5.5. | <i>Darstellungseinheit</i> | 101 |
| 8.6. | GEOCODIERTE STATISTIKEN UND GEOGRAPHISCHE INFORMATIONEN | 102 |
| 8.7. | GEOREFERENZIERUNG, GEOCODIERUNG..... | 104 |
| 8.7.1 | <i>Georeferenzierung</i> | 104 |
| 8.7.2. | <i>Geocodierung</i> | 105 |
| 9 | LITERATUR | 107 |

1. EINLEITUNG

1 EINLEITUNG

Dieses Handbuch soll Fachleute und Laien auf technische, methodische und begriffliche Unterschiede von Informationssystemen zur Bodenbedeckung und -nutzung aufmerksam machen und sie dafür sensibilisieren.

Es soll zu einem besseren Verständnis, zu einer objektiveren Validierung aktueller Informationen und zur erforderlichen Sensibilisierung für ein harmonisiertes Informationssystem über Bodenbedeckung und -nutzung auf europäischer Ebene beitragen.

Um dieses Ziel zu erreichen, konzentriert sich das Handbuch auf:

- die Definition grundlegender Begriffe (Boden, Bodenbedeckung, Bodennutzung),
- die Erläuterung grundlegender Konzepte und Prinzipien für wesentliche Elemente von Informationssystemen zur Bodenbedeckung und -nutzung (z. B. Klassifikationssysteme, Hilfsmittel zur Datenerfassung),
- die Erklärung, Definition und Beschreibung von Fachausdrücken, die oft unbeachtet bleiben, aber für den Informationsgewinn grundlegend sind, und
- das Aufzeigen von Datenanforderungen und damit zusammenhängenden Problemen.

Das Handbuch bietet Fachleuten und Laien ein gemeinsames Verständnis und eine einheitliche Sprache für verschiedene Elemente von Informationssystemen zur Bodennutzung und -bedeckung.

2. DEFINITION ALLGEMEINER BEGRIFFE

2 DEFINITION ALLGEMEINER BEGRIFFE

2.1 Boden

„Boden“ ist ein weltweit häufig verwendeter Begriff, für den allerdings selten Definitionen angeführt werden.

Die abteilungsübergreifende Arbeitsgruppe für Bodennutzungsplanung IDWG-LUP der FAO schlug 1994 folgende Definition vor: *„Ein abgrenzbares Gebiet der terrestrischen Erdoberfläche, das alle Attribute der Biosphäre unmittelbar über und unter dieser Oberfläche umfasst, einschließlich derjenigen des Klimas nahe der Oberfläche, Boden- und Geländeformen, Oberflächenhydrologie, einschließlich seichter Seen, Flüsse und Sumpfgebiete, der oberflächennahen Sedimentschichten und der dazugehörigen Grundwasser- und geohydrologischen Reserven, der Pflanzen- und Tierpopulationen, der menschlichen Siedlungsmuster und physischen Ergebnisse vergangener und gegenwärtiger menschlicher Aktivitäten (Terrassierung, Wasserspeicher- oder Entwässerungsstrukturen, Straßen, Gebäude usw.).“*

Die Frage des zu berücksichtigenden Bereichs wird über diese Definition ebenfalls eingeführt: „alle Attribute der Biosphäre unmittelbar über und unter der Oberfläche“. Bei der Bodenbedeckung ist diese Frage leicht zu lösen: das Bezugsgebiet für den Boden liegt über der Oberfläche (siehe Definitionen im nächsten Kapitel). Bei der Bodennutzung ist die Lage komplexer: aus pragmatischer Sicht und in Anbetracht der Bedeutung und Wichtigkeit der Aspekte einer Mehrfachnutzung in „städtischen“ Gebieten in Hinblick auf ihren wirtschaftlichen Wert sollte „Boden“ auch Nutzungen auf ober- und unterirdischen Niveaus umfassen. Besondere Probleme können bei Erzlagerstätten, Tunnels unter städtischen Gebieten, Wasserressourcen, Pilzgeflechten im Boden usw. auftreten. Umfassen zum Beispiel Gebiete, die zur Erdölförderung genutzt werden, das gesamte Förderungsfeld (und in gewissem Maße die gesamte Erdölzuteilung) oder nur die Bohrstelle selbst?

Um die Anzahl potentieller Probleme gering zu halten, wird angeregt, die Anwendung auf angemessene Fälle einzuschränken. Es wird vorgeschlagen, „städtische“ Nutzungen auf ober- und unterirdischem Niveau zuzulassen (im Falle von Gebäuden mit Geschäften im Erdgeschoss, Wohnungen und Büros darüber und einer Tiefgarage darunter). Das wichtigste Problem betrifft somit die Gewinnung natürlicher Ressourcen (einschließlich Wasservorräte). Angesichts dieser Schwierigkeit (auch in Hinblick auf die Sammlung entsprechender Daten) wird vorgeschlagen, die Ausdehnung solcher Nutzungen auf ihre physischen Auswirkungen auf Bodenniveau zu beschränken (Erdölbohrstelle, Pilzkultur usw.). Dieses Prinzip kann für jegliche Nutzungsarten verallgemeinert werden.

Aufgrund des Kontextes globaler Informationssysteme zur Bodenbedeckung und -nutzung und aufgrund der Schwierigkeiten bei der klaren Abgrenzung zwischen Boden- und Wasserflächen (insbesondere bei Feuchtgebieten) wird eine **Ausweitung des Begriffes „Boden“ auf Binnengewässer und Wattgebiete** empfohlen.

Dieser Ansatz und Definitionsvorschlag ist von den Konzepten, die von Statistikern zur Bestimmung der genutzten Landfläche für statistische Zwecke verwendet werden, klar zu trennen. Eurostat hat kürzlich vorgeschlagen (EUROSTAT 1999), für statistische Zwecke das Konzept „Landfläche“ zu verwenden und somit Seen, Flüsse und Küstengebiete auszuschließen. Dies ist zum Beispiel im Zusammenhang mit der Berechnung der Bevölkerungsdichte leicht verständlich, da ein Staat wie die Niederlande zu 17 % aus Wasserflächen besteht. Der Ansatz von Eurostat beruht auf der Notwendigkeit, harmonisierte statistische Daten bereitzustellen, was am besten durch die Berechnung der Bevölkerungsdichte veranschaulicht werden kann (die Zahlen für die Niederlande würden sich drastisch ändern, wenn man die Wasserflächen bei der Gesamtfläche des Landes berücksichtigt).

2.2 Bodenobjekte

Während die Frage von Einheiten oder Objekten in vielen wissenschaftlichen Gebieten keine Probleme bereitet, trifft dies beim Boden nicht ganz zu: die Bedeutung von „Objekt“ ist ein komplexes Problem, da die kategoriale Klassifikation eines Teils der Erdoberfläche voraussetzt, dass die Flächen räumlich klar abgegrenzt sind (DUHAMEL und VIDAL 1998). Objekte sind leicht erkennbar, wenn es sich um Parzellen von Ackerland oder verbaute Gebiete handelt, da diese physische Grenzen aufweisen. Die Grenzen verschwimmen jedoch in naturnahen oder natürlichen Gebieten. In Übergangszonen sind die Abgrenzungsprobleme noch größer. Im Mittelmeergebiet gibt es zum Beispiel fließende Übergänge im biophysischen Kontinuum zwischen Wald, Buschwerk und trockenem Grünland. Ferner treten Abgrenzungsprobleme auf, wenn Definitionen von Kategorien auf der Grundlage von Bedeckungs- oder Nutzungsanteilen verwendet werden.

Objekte heterogener Struktur

Es gibt drei Arten der Heterogenität beim Boden:

- Räumliche Heterogenität „durch Gegenüberstellung“, die sehr stark vom Maßstab und den Beobachtungseinheiten abhängt. Statistiker wenden die Prorata-Regel an (im Fall von Mehrfachnutzungen und natürlichen Biotopen). Viele „Nomenklaturen“ versuchen dieses Problem durch die Schaffung von Mischklassen zu lösen, die Legenden erforderlich machen, da sie gegen den Grundsatz der Vermeidung von Überschneidungen verstoßen.



Abbildung 2.1: Gegenüberstellung von Bedeckung und Nutzung

- Räumliche Heterogenität in der dritten Dimension entsteht durch eine „Überlagerung“ verschiedener Bedeckungen oder Nutzungen. Ungeachtet der bei der Beobachtung verwendeten Auflösung ist eine Regel für Entscheidungen zur Differenzierung mehrerer Bedeckungen oder Nutzungen in der dritten Dimension erforderlich. Eine höhere Auflösung wirkt sich bei der Beobachtung von Überlagerungen überhaupt nicht aus: Mischformen in der dritten Dimension sind daher unabhängig vom gewählten Maßstab. Statistiker wenden auch hier wieder die Prorata-Regel an (im Fall von Ackerbau in Kombination mit von Bäumen bedeckten Flächen). Manchmal werden spezifische Regeln, wie das Dominanzprinzip, verwendet: zum Beispiel vorherrschende städtische Nutzung.



Abbildung 2.2: Veranschaulichung der Überlagerung

- Zeitlich heterogene Bedeckungen oder Nutzungen sind vom Beobachtungszeitraum dt stark abhängig. Agrarstatistiker verwenden die Regel der Hauptkulturpflanze, die durch den größten wirtschaftlichen Wert bestimmt wird. Wenn diese Regel nicht anwendbar ist, wird anstatt dessen die Kulturpflanze gewählt, die am längsten auf der Parzelle verbleibt.

2.3 Bodenbedeckung und -nutzung

In vielen bestehenden Informationssystemen werden die Begriffe „Bodenbedeckung“ und „Bodennutzung“ vermengt, da die natürliche und naturnahe Vegetation als Bodenbedeckung, landwirtschaftliche und städtische Flächen hingegen als Bodennutzung bezeichnet werden. Dies sind jedoch zwei verschiedene Aspekte, und die Unterscheidung zwischen Bodenbedeckung und Bodennutzung ist von grundlegender Bedeutung, auch wenn dies oft ignoriert oder vergessen wird. Eine Verwechslung und mehrdeutige Verwendung dieser beiden Begriffe führt zu Problemen in der Praxis, insbesondere wenn Daten dieser beiden verschiedenen Dimensionen abgestimmt, verglichen und/oder kombiniert werden sollen.

Die **Bodenbedeckung** entspricht einer physischen Beschreibung des Raums, *der beobachteten (bio-)physischen Bedeckung der Erdoberfläche* (DI GREGORIO und JANSEN 1997). Sie gibt an, was über dem Boden liegt oder ihn gerade bedeckt. Durch diese Beschreibung kann man mehrere biophysische Kategorien unterscheiden — im Wesentlichen Vegetationsflächen (Bäume, Büsche, Felder, Wiesen), unbewachsene Flächen (auch wenn dies eigentlich bedeutet, dass eine Bedeckung fehlt), harte Oberflächen (Felsen, Gebäude) sowie feuchte Gebiete und Gewässer (weite Wasserflächen und -läufe, Feuchtgebiete). Diese Definition wirkt sich auf die Erstellung von Klassifikationssystemen, auf die Datensammlung und auf Informationssysteme im Allgemeinen aus. Man sagt, dass die Bodenbedeckung „beobachtet“ wird. Dies kann durch mehrere „Beobachtungsquellen“ mit unterschiedlichem Abstand zur Erdoberfläche erfolgen: mit freiem Auge, durch Luftbilder oder über Satellitensensoren.

Bei der **Bodennutzung** werden in der Literatur verschiedene Ansätze vorgeschlagen, wobei zwei große „Schulen“ unterschieden werden können. Die Bodennutzung in Hinblick auf die *funktionale Dimension* entspricht der Beschreibung von Gebieten bezüglich ihres sozioökonomischen Zwecks: Wohn-, Industrie- oder Gewerbeflächen, land- oder forstwirtschaftliche Gebiete, Erholungs- oder Schutzgebiete usw. Verbindungen zur Bodenbedeckung sind möglich; man kann von der Bodennutzung eventuell auf die Bodenbedeckung schließen und umgekehrt. Doch oft ist die Situation komplex, wodurch die Verbindung nicht so offensichtlich ist. Ein anderer Ansatz, der als *sequentiell* bezeichnet wird, wurde insbesondere für die Landwirtschaft entwickelt. Seine Definition bezieht sich auf eine Reihe von Schritten der Bodenbearbeitung, die Menschen mit der Absicht ausführen, Erzeugnisse und/oder einen Nutzen durch die Verwendung von Bodenressourcen zu erhalten. Ein Beispiel dafür wäre Pflügen, Säen, Jäten, Düngen und Ernten (MÜCHER et al. 1993).

Im Gegensatz zur Bodenbedeckung ist die Bodennutzung schwierig zu „beobachten“. Es ist oft nicht leicht zu bestimmen, ob Grünland landwirtschaftlich genutzt wird oder nicht. Die Information aus der Beobachtungsquelle kann unzureichend sein und ergänzende Angaben erfordern. Bei der landwirtschaftlichen Nutzung können diese von Bauern stammen, die zum Beispiel angeben, ob Rinder vorhanden sind und ob diese weiden. Es ist auch möglich, Merkmale vor Ort heranzuziehen, die auf die Anwesenheit oder Abwesenheit von Rindern hinweisen. Beim FUNKTIONALEN Ansatz kann eine Schlussfolgerung aufgrund der Bodenbedeckung hilfreich sein. Beim SEQUENTIELLEN Ansatz wird eine erschöpfendere Erfassung verschiedener Attribute benötigt, zum Beispiel zu mehreren Zeitpunkten. Im Folgenden wird der Begriff „Bodennutzung“ im Sinne des funktionalen Ansatzes verwendet.

2.3.1. Wechselbeziehung zwischen Bodenbedeckung und Bodennutzung

Hier kann ein sehr nützlicher Vergleich mit den Ansätzen der Güterklassifikation gezogen werden, bei denen Objekte nach ihrem Material und ihrer Funktion eingestuft werden.

Manchmal können **funktionale Aspekte** aufgrund von **biophysischen Faktoren** bestimmt werden (DUHAMEL und VIDAL 1998). Bei einer Parzelle, die von einem Weizenfeld bedeckt wird, kann man von einer landwirtschaftlichen Nutzung ausgehen. Analog dazu kann man den biophysischen Aspekt vom funktionalen Aspekt ableiten. Ein forstwirtschaftlich genutztes Gebiet wird wohl einer biophysischen Klasse des Typs „Baum“ entsprechen. In anderen Fällen kann eine biophysische Kategorie jedoch einer großen Anzahl funktionaler Kategorien entsprechen. Bei mit Gras bewachsenen Flächen kann es sich zum Beispiel um einen Rasen in einem städtischen Umfeld, um das Rollfeld eines Flughafens, eine angelegte Wiese, eine Magerweide, einen Golfplatz — oder sogar das Dach einer isländischen Kirche handeln. Aber auch ein und dieselbe funktionale Klasse kann sich über mehrere biophysische Kategorien erstrecken: so besteht zum Beispiel ein Wohngebiet aus Rasenflächen, Gebäuden, asphaltierten Straßen, Bäumen und kahlem Boden.

Methodische und fachliche Argumente sprechen für eine systematische Trennung der beiden Ansätze. Auch wenn es bei einer Analyse der Nutzerbedürfnisse und der möglichen Kosten einer parallelen Datenerfassung schwierig ist, die Verwendung und Verwaltung von Daten, die aus zwei separaten Ansätzen stammen, zu rechtfertigen, kann anhand des folgenden adaptierten Beispiels (LUND 1998) veranschaulicht werden, wie wichtig es ist, diese beiden Dimensionen zu kennen.

Nehmen wir an, dass das folgende Informationssystem ausschließlich die Dimension der Bodenbedeckung zu verschiedenen Zeitpunkten beobachtet:

| | t1 | t2 | t3 | t4 |
|-----------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| BODEN- BEDECKUNG | BÄUME (Kastanien) | BÄUME (Kastanien) | BÄUME (Kastanien) | BÄUME (Kastanien) |

Die Abfolge BÄUME > BÄUME > BÄUME > BÄUME führt zu der einfachen Interpretation, dass sich im berücksichtigten Zeitraum t1-t4 nichts verändert hat.

Betrachten wir nun dasselbe Gebiet mit Hilfe eines Informationssystems, das sich nur auf die Bodennutzung konzentriert:

| | t1 | t2 | t3 | t4 |
|---------------------------|---------------------------|---|---------------------------------|-----------------|
| BODEN- NUTZUNG | Forstwirtschaft (Holz) | Landwirtschaft (Produktion von Kastanien) | Landwirtschaft (Weidefläche) | Forstwirtschaft |

Die allgemeine Abfolge von FORSTWIRTSCHAFT > LANDWIRTSCHAFT > LANDWIRTSCHAFT > FORSTWIRTSCHAFT könnte leicht so ausgelegt werden, dass zwischen t1 und t2 eine Abholzung und zwischen t3 und t4 eine Aufforstung erfolgte. Durch die größere Detailliertheit der Abfolge „Holz > Produktion von Kastanien > Weidefläche > Forstwirtschaft“ erhält man ein klareres Bild der möglichen Bodenbedeckung: zwischen t1 und t2 ist klar, dass „Holz“ und „Produktion von Kastanien“ der Bodenbedeckung „Bäume“ entspricht, was zwischen t2 und t3 (Produktion von Kastanien > Weidefläche) nicht mehr so eindeutig ist.

| | t1 | t2 | t3 | t4 |
|-----------------------------|---------------------------|---|---------------------------------|----------------------|
| BODEN- BEDECKUNG | BÄUME (Kastanien) | BÄUME (Kastanien) | BÄUME (Kastanien) | BÄUME (Kastanien) |
| BODEN- NUTZUNG | Forstwirtschaft (Holz) | Landwirtschaft (Produktion von Kastanien) | Landwirtschaft (Weidefläche) | Forstwirtschaft |

Daraus kann man den Schluss ziehen, dass die parallele Erfassung von Bodenbedeckung und -nutzung falsche Interpretationen oder Rückschlüsse aus Bodenbedeckung und -nutzung verhindert und in Bezug auf den Informationsgehalt eine Reichhaltigkeit bietet, die für viele Anwendungen nützlich ist.

2.4 Veränderung von Bodenbedeckung und -nutzung

Bodennutzungs- und Bodenbedeckungsklassen stellen Analyseeinheiten dar, die es erlauben, eine erste quantitative Beziehung zwischen menschlichen Aktivitäten, Umweltauswirkungen und ihrer geographischen (räumlichen) Dimension herzustellen. Informationen über Veränderungen bei Bodenbedeckung und/oder -nutzung sind durch die Integration der zeitlichen Dimension von besonderem Wert.

Dies ist sowohl für Politiker — zur Bewertung bodenpolitischer Maßnahmen — als auch Forscher — zur Aufdeckung der zugrundeliegenden Ursachen und Folgen — von allgemeinem Interesse.

Bei der Änderung von Bodenbedeckung und -nutzung werden häufig zwei große Kategorien unterschieden: Umwandlung und Modifikation (STOTT, A. und HAINES-YOUNG, R. 1996; ALUN, J. und CLARK, J. 1997; BAULIES, X.I. und SZEJWACH, G. 1997):

- Die **Umwandlung** bezeichnet den Wechsel von einer Bedeckungs- oder Nutzungskategorie zu einer anderen (z. B. von Wald zu Grünland).
- Die **Modifikation** stellt eine Veränderung innerhalb einer Nutzungs- oder Bedeckungskategorie (z. B. von natürlich zu künstlich bewässertem Ackerland) aufgrund eines Wandels bei den physischen oder funktionalen Attributen dar.

Der Nutzen der reinen Bedeckungs- und Nutzungsdaten wird durch die Analyse, Ermittlung und Beschreibung laufender Prozesse erheblich gesteigert.

Auf der Grundlage von Informationen über Veränderungen bei Bodenbedeckung und -nutzung können bestimmte Prozesse erkannt werden, die auch als einfache Indikatoren herangezogen werden könnten. Einige dieser Prozesse sind:

Intensivierung

Ein Ablauf, der einen Übergang von Bedeckungs- und Nutzungstypen im Zusammenhang mit einer Nutzung niedriger Intensität zu einer höheren Intensität darstellt (z. B. naturnahe Gebiete — Ackerland).

Extensivierung

Ein Ablauf, der einen Übergang von einem Bedeckungs- oder Nutzungstyp in Verbindung mit einer Nutzung hoher Intensität zu niedriger Intensität darstellt (z. B. melioriertes Grünland — naturnahe Bedeckung).

Aufforstung

Ein Ablauf, der die Anpflanzung oder natürliche Regeneration von Bäumen darstellt.

Abholzung

Ein Ablauf, der die Rodung von Bäumen darstellt.

Erschließung

Ein Ablauf, bei dem offenes Land für städtische, industrielle oder Verkehrsnutzungen umgestaltet wird.

Rekultivierung

Ein Ablauf, bei dem bisher erschlossene Gebiete wieder in offenes Land umgewandelt werden (z. B. Rekultivierung von Abbauflächen).

Diese Prozesse können in Bezug auf die Ausrichtung (Umwandlung oder Modifikation), Ausmaß (Größe der Veränderung) und Geschwindigkeit (Tempo der Veränderung) weiter kategorisiert werden.

Zu beachten ist, dass der zusätzliche Nutzen der Angaben über Bedeckungs- und Nutzungsänderungen sowie der Ermittlung der ablaufenden Prozesse und Indikatoren von der thematischen und räumlichen Detailliertheit der Bedeckungs- und Nutzungsinformationen stark abhängt. Es muss darauf hingewiesen werden, dass Angaben zur Bodenbedeckung und -nutzung im Allgemeinen quantitative Informationen liefern (z. B. Bedeckungs-/Nutzungskategorien, Flächenschätzungen). Zusätzliche Aussagen zu qualitativen Merkmalen (z. B. landwirtschaftliche Praxis, ökologischer Wert) sind zur ausreichenden Beschreibung der damit zusammenhängenden Prozesse erforderlich.

Dies betrifft auch die Analyse der Antriebskräfte, die einer Veränderung der Bodenbedeckung und -nutzung zugrunde liegen, zum Beispiel wirtschaftliche, politische, gesellschaftliche, umweltbezogene und andere Kräfte. Da diese vielfältig sind und in Wechselwirkung zueinander stehen, ist ihre Analyse äußerst komplex.

3. KLASSIFIKATIONSSYSTEME

3 KLASSIFIKATIONSSYSTEME

3.1 Definitionen

Im Bereich von Klassifikation, Nomenklatur und Taxonomie werden viele Ausdrücke mit verschiedenen Bedeutungen verwendet. Oft werden sie auch austauschbar benutzt, was zu vielen Mehrdeutigkeiten für die Leser und die Nutzer von Informationen in einem bestimmten Fachbereich führt. Die Bedeutung dieser Begriffe stammt häufig aus den Naturwissenschaften, wie zum Beispiel aus der Biologie, Botanik und Zoologie.

3.1.1. Klassifikationen

Der Begriff „Klassifikation“ wird von Wissenschaftlern universell mit einer Bedeutung verwendet, die historisch mit der Klassifikation der Organismen in einer alten aristotelischen Tradition verbunden ist. Er ist jedoch mehrdeutig, da er mit den folgenden zwei Hauptbedeutungen verwendet wird (SUTCLIFFE, 1993):

- Einerseits bezeichnet er das Festlegen einer Einteilung aller Objekte im Diskursuniversum U (Ausführung der Anweisung „Klassifiziere die Objekte“), was zu einer **Klassifikation aller Objekte** führt, wobei das Endergebnis die Organisation der Unterklassen von U ist.
- Andererseits bezeichnet man damit auch die Verwendung der so erstellten Klassifikation, bei der man über die Zugehörigkeit einzelner Objekte entscheidet (Ausführung der Anweisung „klassifiziere das Objekt X“). Dieser **Einstufungsprozess** wird in der Fernerkundung als Klassifikation bezeichnet.

Die weit verbreitete Standarddefinition der Klassifikation von SOKAL (1974) in Anlehnung an SIMPSON (1961) lautet: „*das Ordnen oder Einteilen von Organismen in Gruppen oder Sets auf der Grundlage ihrer Beziehungen*“. Diese Definition wurde dadurch, dass der Begriff „Organismen“ durch „Objekte“ ersetzt wurde, verallgemeinert. Dies entspricht dem Prozess der Erstellung einer Klassifikation aller Objekte, deckt aber weder den Einstufungsprozess noch die Benennung von Gruppen noch die Regeln für die Anwendung dieser Bezeichnungen ausdrücklich ab. Außerdem steht der Begriff „Beziehung“, wie er in der Biologie verwendet wird, für zwei Arten von Beziehungen: Affinitäten in Hinblick auf Ähnlichkeiten, die anhand des Charakters der Organismen beurteilt werden (so genannte phänetische Beziehungen), und Abstammungsbeziehungen (so genannte phyletische Beziehungen), die im gegenständlichen Fachbereich keine Entsprechung haben.

3.1.2. Nomenklaturen

Nomenklaturen sind Listen von Kategorien, in denen Informationen in stark kondensierter Form zusammengefasst werden, während gleichzeitig die Wahrung eines maximalen Informationsgehalts angestrebt wird. Eine Nomenklatur deckt für gewöhnlich ein bestimmtes Interessensgebiet (das Diskursuniversum nach SUTCLIFFE) ab. Definitionen von Nomenklaturen in der Biologie befassen sich mit dem legalistischen Aspekt der Taxonomie, nämlich mit der Benennung von Gruppen und Organismen sowie den Regeln für die Anwendung dieser Namen.

3.1.3. Legenden

Legenden werden häufig mit Klassifikationssystemen und Nomenklaturen verwechselt. Prinzipiell ist eine Legende die Anwendung einer Nomenklatur für einen speziellen Zweck, zum Beispiel thematische Landkarten, d. h. die Verwendung einer definierten Skala und entsprechender Kartierungseinheiten. Während Nomenklaturen erschöpfend sind und das gesamte „Diskursuniversum“ oder Fachgebiet abdecken, stellen Legenden eine Auswahl, einen Teil der Nomenklatur dar. Einige Klassen der Nomenklatur können dabei direkt verwendet werden, andere werden ausgelassen und wieder andere werden gemäß den Mindestanforderungen für eine lesbare Darstellung zu kombinierten Kategorien (Mischklassen) zusammengefasst. Klassifikationssysteme sind vom Maßstab und der kartographischen Darstellung unabhängig und sollten dies auch sein, während dies bei den Legenden nicht zutrifft. In gewissem Maße teilen Klassifikationssysteme Arten der Bodenbedeckung oder -nutzung ein, wohingegen Legenden das Gebiet anhand bestimmter Attribute oder Variablen der Bodenbedeckung und/oder -nutzung unterteilen. CORINE Land Cover schlägt zum Beispiel eine „Nomenklatur“ vor, die eigentlich eine Legende ist, bei der es durch Mischklassen Überlappungen der einzelnen Klassen gibt.

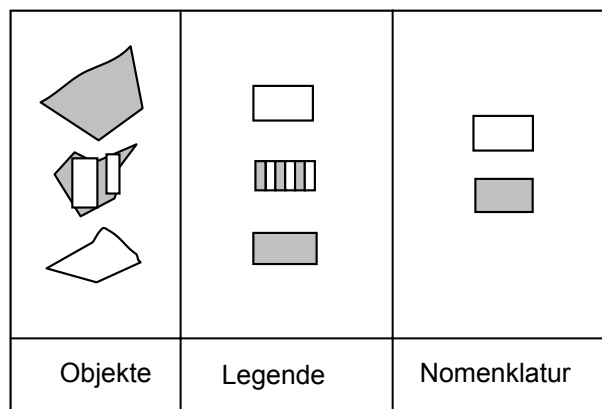


Abbildung 3.1: Objekte, Legenden und Nomenklaturen

3.1.4. Auf dem Weg zu Klassifikationssystemen

Angesichts solcher überlappender Definitionen und in Anbetracht der Notwendigkeit der Entwicklung grundlegender Mittel zur Strukturierung von Informationen und zur Erleichterung der Kommunikation und des Austauschs unter Nutzern in einem bestimmten Fachgebiet (in diesem Fall im Bereich der Bodenbedeckung und -nutzung) muss man wissen, welche Funktionen ein „Klassifikationssystem“ benötigt, um die Anforderungen der Wissenschaftler und Nutzer zu erfüllen. Drei Hauptfunktionen werden vorgeschlagen (vorwiegend nach SUTCLIFFE 1993):

Klassifikation = Zuordnung aller Objekte in einer hierarchischen Reihe von verschachtelten Kategorien, die so angeordnet wurden, dass sie ihre Beziehungen zueinander aufzeigen.

Nomenklatur = Benennung und Beschreibung der Objektgruppen. Das Endergebnis ist eine Liste von Namen und Beschreibungen, die durch Eins-zu-eins-Beziehungen miteinander verbunden sind und in der Regel gemäß dem Aufbau der erarbeiteten Klassifikation dargestellt werden.

Einstufung = Zuordnung eines Individuums zu einer bereits klassifizierten und benannten Gruppe. Mit anderen Worten gesagt, wird dabei die erstellte Klassifikation verwendet, um über die Zugehörigkeit einzelner Objekte zu einer Klasse zu entscheiden.

Daher wird empfohlen, den Begriff „**Klassifikationssystem**“ mit folgender Bedeutung zu verwenden:

- Abgrenzung eines Diskursuniversums (U), d. h. Bodenbedeckung und -nutzung (FACHGEBIET);

- die Erstellung einer Klassifikation aller Objekte im Diskursuniversum (U), was zur Strukturierung von Unterklassen von U über eine hierarchische Reihe von verschachtelten Kategorien führt, die so angeordnet werden, dass sie Beziehungen zueinander aufzeigen (KLASSIFIKATION);
- ein System für die Benennung und Beschreibung von Gruppen in Verbindung mit dem Aufbau der so erstellten Klassifikation (NOMENKLATUR);
- Verfahren für die Zuordnung jeglicher Objekte zu einer einzigen der zuvor klassifizierten und benannten Gruppen (EINSTUFUNG).

3.2 Klassifikationssysteme

3.2.1. Eine Annäherung an die Realität

Klassifikationssysteme sind Hilfsmittel, die ausgewählte Aspekte der realen Welt beschreiben. Die gewählten Kategorien stellen keinen eindimensionalen, sondern einen mehrdimensionalen Teil der realen Welt dar. Die Aufteilung der realen Welt durch ein Klassifikationssystem hebt bestimmte Aspekte der Wirklichkeit hervor: ein und dieselbe Realität kann durchaus mit Hilfe mehrerer Klassifikationen beschrieben werden (DUPRAT 1972).

Im Allgemeinen werden Klassifikationssysteme in Baumform, d. h. mit einer hierarchischen Struktur, präsentiert. In einem hierarchischen System werden Objekte in eine Reihe von Gruppen eingeteilt, die einer Abfolge von Kategorien mit verschiedenem Rang zugewiesen werden. Die Objektgruppen werden durch Auswahl gemeinsamer Merkmale definiert, die eine Ähnlichkeit zwischen den Objekten derselben Gruppe und Unterschiede zu den Objekten anderer Gruppen bestimmen. Jede dieser aufeinander folgenden Unterteilungen bedeutet, dass „objektive“ Merkmale berücksichtigt wurden, und bedingt eine bewusste Entscheidung. Verschiedene Nutzer wollen das Interessensgebiet auf einer bestimmten Ebene vielleicht nach unterschiedlichen Kriterien einteilen. Dies führt zu gravierenden Schwierigkeiten beim Vergleich von Informationen, da eine Klasse, die in einem System als eindeutig betrachtet wird, in einem auf anderen Grundsätzen beruhenden Klassifikationssystem auf zwei oder mehr Kategorien aufgeteilt wird. Es ist zum Beispiel unmöglich, eine Klassifikation von Bäumen, bei der *belaubte* und *benadelte* Arten unterschieden werden, mit einer exakt in Einklang zu bringen, in der nur die Kategorien *laubabwerfende* und *immergrüne* Arten enthalten sind (WYATT 1997).

Ferner ist zu beachten, dass eine Kategorie einer Klassifikation in Bezug auf ein Merkmal (monothetische Klasse) oder zwei Merkmale oder ... kein Merkmal (nach dem von Biologen vorgeschlagenen Konzept polythetischer Klassen) homogen sein kann. Wenn der Aggregationsprozess über ein gewisses Signifikanzniveau hinausgeht, dann stellen die Kategorien praktisch keine sinnvollen Einheiten mehr dar: dies träfe zum Beispiel bei einem Aggregat zu, bei dem landwirtschaftliche und städtische Flächen in einem Klassifikationssystem vermischt würden.

Ein Klassifikationssystem ist daher das Ergebnis einer Struktur und einer Ordnung, die von einem Wertesystem ausgeht und eine bestimmte Absicht erkennen lässt. Der Zweck, für den eine Klassifikation erarbeitet wird, beeinflusst gezwungenermaßen ihren Aufbau und Inhalt. Deshalb baut jeder Nutzer im Allgemeinen eine individuelle Klassifikation, die auf seine spezifischen Bedürfnisse abgestimmt ist, auf: eine spontane Erstellung von Klassifikationen führt somit unausweichlich zu Unvereinbarkeiten.

3.2.2. Ein Kompromiss

Ein Klassifikationssystem sollte das Ergebnis einer laufenden Wechselwirkung zwischen folgenden Ansätzen sein:

- einem **systematischen Ansatz**, durch den die Informationen nach logischen Grundsätzen strukturiert werden (Vollständigkeit, keine Überschneidungen, eindeutige Definition der Klassen, Regeln für die Darstellung von Objekten in der Klassifikation),
- einem **pragmatischen Ansatz**, der die Nutzerbedürfnisse und vorhandene Informationsbestände berücksichtigt,
- einem **kontextbezogenen Ansatz**, der spezifische Beschränkungen in Verbindung mit dem untersuchten Fachgebiet anspricht — bei der Bodenbedeckung und -nutzung ergeben sich aus der geographischen Dimension der Informationen einige Beschränkungen.

3.2.3. Einige Eigenschaften

Räumliche Konsistenz

Das Prinzip der **räumlichen Konsistenz** erfordert, dass Klassifikationssysteme so gestaltet werden, dass die Ergebnisse für unterschiedliche Standorte, Regionen oder Länder im geographischen Untersuchungsgebiet kompatibel sind.

Zeitliche Konsistenz

Die Arten der Bodennutzung oder -bedeckung sollten zum Zeitpunkt der Beobachtung erfasst werden (durch den Beobachter, Zähler oder Satellitensensor). Das Klassifikationssystem darf daher vergangene oder künftige Zustände nicht berücksichtigen (z. B. bei geplanten Baustellen typischerweise eine beabsichtigte Nutzung). Die Ergebnisse müssen als Bestands- und nicht als Stromdaten betrachtet werden (Ströme werden durch den Vergleich von zwei Sets von Bestandsdaten gemessen). Das ist das Prinzip der **zeitlichen Konsistenz**. Allerdings ist Gebieten, in denen Veränderungen innerhalb eines kurzen Zeitraums auftreten, besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Die Nomenklatur der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UN/ECE) enthält hier ein schlechtes Beispiel, nämlich Kategorie 3.9.4 „Land intended for future construction“ (für die Bebauung vorgesehene Flächen) mit folgender Definition: in öffentlichen Erschließungsplänen als Bauland ausgewiesene Flächen, auf denen jedoch noch keine Bauarbeiten begonnen wurden. Die Sinnhaftigkeit dieser Information ist fragwürdig, wenn die Bauarbeiten noch nicht begonnen wurden oder wenn die Daten nach mehreren Jahren nicht aktualisiert werden.

Kompatibilität mit bestehenden Klassifikationssystemen

Ein Klassifikationssystem für die Bodenbedeckung oder -nutzung ist von unschätzbarem Wert für das Sammeln internationaler oder globaler statistischer Informationen über Bodenbedeckung / -nutzung. Die Schaffung eines Klassifikationssystems zur generellen Verwendung kann allerdings nur dann gerechtfertigt sein, wenn es ein hohes Maß an Kompatibilität zu bestehenden Informationssystemen aufweist. Besonders beachtet werden sollte, dass ein vorgeschlagenes Klassifikationssystem möglichst **kompatibel zu bedeutenden bestehenden Systemen** sein sollte, damit aussagekräftige Schlussfolgerungen unter Bezugnahme auf Daten aus verschiedenen relevanten Quellen gezogen werden können. Ein Klassifikationssystem für die Bodennutzung sollte zum Beispiel möglichst eng mit sozioökonomischen Klassifikationen verknüpft sein, da die Bodennutzung mit dem sozioökonomischen Zweck verbunden ist. Zur Ermöglichung solcher Vergleiche sollten Hilfsmittel bereitgestellt werden, die „Brücken“ zwischen unterschiedlichen Systemen bauen.

Unabhängigkeit von Systemen zur Datenerfassung und -verarbeitung

Theoretisch sollten Klassifikationssysteme von den Ressourcen, die für das Erfassen von Informationen zur Verfügung stehen, unabhängig sein. Insbesondere sollten sie möglichst frei von kartographischen Darstellungsmaßstäben sein. Praktische Erfahrungen haben jedoch gezeigt, dass es schwierig ist, ein Klassifikationssystem aufzubauen, das von der verwendeten Beobachtungsmethode in keiner Weise beeinflusst wird. Viele Klassifikationen sind an Beobachtungswerkzeuge angepasst worden. Im Bereich der Bodenbedeckung wurden Klassifikationssysteme zur Berücksichtigung spezifischer Hilfsmittel, wie Luftaufnahmen oder Erdbeobachtungsdaten, erstellt. Wenn sich die Werkzeuge ändern, kann das Klassifikationssystem nicht adaptiert werden, so dass es zu Problemen bei der Kontinuität der Informationen aus verschiedenen Zeitreihen kommt. Oft müssen Kompromisse zwischen den verfügbaren Hilfsmitteln und den Nutzerbedürfnissen (die sich beide weiterentwickeln) gefunden werden.

Vollständigkeit

Jedes Klassifikationssystem bezieht sich auf einen bestimmten „Ausschnitt“ der Realität. Dieses Segment (das Diskursuniversum) muss erschöpfend beschrieben werden: alle physischen „Dinge“ bei einer Güterklassifikation, alle Arten der Bodenbedeckung bei einer Bodenbedeckungsklassifikation, alle Landschaftstypen bei einer Landschaftsklassifikation. Die formale Definition der Vollständigkeit lautet (BUNGE 1983):

- Für jedes zu klassifizierende Objekt muss eine Klasse gefunden werden.
- Die Gesamtheit aller Klassen auf der Basisebene muss der ursprünglichen Sammlung entsprechen.

Vermeidung von Überschneidungen

Die Klassen müssen sich ohne jegliche Überschneidungen gegenseitig ausschließen. Dies ist für die konsistente Anwendung eines Klassifikationssystems von wesentlicher Bedeutung, denn bei Überschneidungen muss eine Entscheidung zwischen zwei oder mehreren möglichen Klassen getroffen werden. Formal bedeutet das Fehlen von Überschneidungen, dass (BUNGE 1983):

- jedes Objekt nur zu einer einzigen Klasse gehört.

Bei der Bodenbedeckung und -nutzung kann dieser Grundsatz als das Prinzip der **semantischen Konsistenz** bezeichnet werden (EUROSTAT 1992). Eine grundlegende Folge daraus ist, dass Mischklassen systematisch ausgeschlossen werden sollten.

Einstufungsregeln

Festgelegte Regeln sind bei der Einstufung und Einteilung der Objekte in die entsprechenden Klassen anhand von Kriterien, die klar definiert sein sollten, anzuwenden. Insbesondere sollten Fälle von Überschneidungen, Entscheidungen über Gemische sowie über Teile und Zubehör im Falle von Güterklassifikationen gelöst werden.

Benennungsregeln

Der *Text von Rubriken* sollte anhand des **Inhalts** unter Berücksichtigung der Begriffsmerkmale und der Beziehungen zu anderen Begriffen verfasst werden. Er sollte folgendermaßen formuliert werden:

- allgemein — er kann nicht alles beschreiben, sollte eine Annäherung darstellen und die Merkmale des Begriffs wiedergeben;
- prägnant — so lange er klar verständlich ist — und kurz — ansonsten wird er vom Nutzer abgekürzt;
- nicht zirkulär („Ackerland“ darf nicht als Ackerland definiert werden).

Ferner sollte er dem Wissen und den Bedürfnissen der Nutzer entsprechen.

Definitionen sind verbale Beschreibungen eines Begriffs mit Hilfe von bekannten Begriffen. Vorzugsweise gehen sie auf den **Begriffsinhalt** unter Angabe der einschränkenden Merkmale ein, durch die sich die Klasse von den anderen Klassen auf derselben Hierarchieebene unterscheidet. Im Gegensatz dazu wird bei Definitionen des **Begriffsumfangs** (generisch) versucht, alle dazugehörigen Objekte aufzuzählen. Natürlich ist eine Kombination der Definitionen durch Begriffsinhalt und -umfang hilfreich. **Prototypen** oder Arten von Kategorien (in der biologischen Terminologie als „Exemplare“ bezeichnet) könnten ebenfalls nützlich sein, zum Beispiel Bilder von Bodenbedeckungen, die einhellig als Prototypen oder als gute Veranschaulichung der Klasse anerkannt werden. Gute Beispiele dafür finden sich im technischen Leitfaden von CORINE Land Cover (1990).

Erläuterungen: Diese bieten die Möglichkeit, detailliertere Beschreibungen der „Objekte“ in einer Kategorie anzuführen. Das ist manchmal der einfachste Weg für das Klassifizieren, da sie einbezogene und ausgeschlossene Objekte, Definitionen und zu treffende Entscheidungen aufzeigen. Wenn ein Objekt aus einer Kategorie ausgenommen wird, sollte angegeben werden, wohin es gehört. Nach der Festlegung der „Kernpunkte“ ist das Problem der Grenzen zwischen den Kategorien anzusprechen. Dies erfolgt (oder auch nicht ...) im Allgemeinen dadurch, dass man die **Abgrenzungsbedingungen** für einbezogene oder ausgeschlossene Objekte anführt. Bei Ausschließungen sollte ein Querverweis auf die entsprechende Kategorie aufgenommen werden.

Index

Ein alphabetischer Index, der nach dem Klassifikationssystem zu erstellen ist, ist ein sehr nützliches Hilfsmittel zur Ermittlung der Klasse in der bestehenden Klassifikation, zu der ein Objekt gehört (EINSTUFUNG). Es ist zum Beispiel wichtig zu wissen, zu welcher Klasse ein Objekt, das als Damm identifiziert wurde, gehört: dies ist die Funktion des Indexes, in dem alle möglichen Objekte, die von der Klassifikation erfasst werden, aufgezählt werden.

Prinzipien der Codierung

Codes sind Bildern zugeordnet. Bei hierarchischen Nomenklaturen sind die Codes im Allgemeinen strukturiert. Der Hauptgrundsatz besagt, dass der Code einer untergeordneten Ebene den Code der übergeordneten Ebene wiederholen muss. Prinzipiell können jegliche Symbole für die Codierung verwendet werden (Ziffern, Buchstaben, andere Zeichen). Eine wichtige Frage, die anzusprechen ist, ist die Bedeutung der Null (0). Sie sollte im Allgemeinen verwendet werden, wenn auf einer bestimmten Ebene keine Unterteilung vorgenommen wird.

Regeln für die Aufnahme neuer Objekte

Ungeachtet aller Bemühungen zur Gewährleistung der Vollständigkeit eines Klassifikationssystems ist es unvermeidlich, dass später neue Objekte aufgenommen werden müssen. Dazu müssen die zur Nomenklatur gehörigen Klassifikationsregeln adaptiert werden und die überarbeiteten Regeln auf alle von der Änderung betroffenen Objekte, auch auf alle bereits klassifizierten Objekte, angewendet werden. Dabei sollte auch auf die Verwaltung des „Anwendungsbereichs“ geachtet werden: bevor man ein neues Objekt aufnimmt, muss man sicher sein, dass es auch wirklich neu ist (Bedeutung des bestehenden Indexes!), und dementsprechend sorgfältig muss der Text der Nomenklatur geändert werden.

Aggregate

Die Erstellung eines Textes, insbesondere der Bezeichnung der Klasse entsprechend ihres Inhalts, ist eine schwierige Aufgabe, da bei Aggregierungsprozessen Information verloren gehen. Für verschiedene Zwecke und zur Ermöglichung sinnvoller Fragen und Antworten ist es notwendig, einen bestimmten Detailliertheitsgrad zu erreichen: auf den meisten aggregierten Ebenen verlieren die Kategorien ihre deskriptive Bedeutung und sind bloß dokumentarische Anhaltspunkte (DUPRAT 1972). Aggregate — auch jene, die in die Allgemeinsprache Eingang gefunden haben — sind in der Regel Einheiten ohne einzelne Merkmale und mit vagen Definitionen.

Heterogenität von semantischen Feldern

Abgesehen von reinen Übersetzungsproblemen gibt es bei den semantischen Feldern von Fachbegriffen nicht immer Eins-zu-eins-Entsprechungen. Ein Beispiel nach HJELMSLEV (1957) wird von ECO (1988) in adaptierter Form angeführt. Das semantische Feld von Wald-Holz-Baum veranschaulicht, dass es in verschiedenen Sprachen (Französisch, Deutsch, Dänisch, Italienisch, Englisch) keine direkte Eins-zu-eins-Entsprechung zwischen den lexikalischen Einheiten gibt. Das zeigt, dass der semantische Wert jedes Wort in verschiedenen Sprachen unterschiedlich ist: die Aufteilung des *Kontinuums* „Wald-Holz-Baum“ führt im Dänischen zu zwei, im Französischen und Deutschen zu drei und im Italienischen und Englischen zu vier Wörtern (wobei es keine klare Differenzierung zwischen „timber“ und „wood“ gibt). Dies erleichtert die Harmonisierung von Begriffen nicht.

| Französisch | Deutsch | Dänisch | Italienisch | Englisch |
|-------------|---------|---------|-------------|----------|
| Arbre | Baum | Trae | Albero | Tree |
| Bois | Holz | | Skov | Legno |
| | Wald | Bosco | | |
| Forêt | | | | Foresta |

Abbildung 3.2: Heterogenität semantischer Felder (ECO 1988)

3.3 Bestehende Ansätze bei Klassifikationssystemen

3.3.1. Hierarchische Systeme

Der hierarchische Aspekt von Nomenklaturen ist ein künstliches Gerüst, da reale Objekte durch ein komplexes Netz von Beziehungen, Ähnlichkeiten, Affinitäten oder Nachbarschaften miteinander verknüpft sind. Um dieses Netz in einen Baum umwandeln zu können, müssen einige Verbindungen oder Beziehungen, die als wichtig oder erheblich betrachtet werden, nach einem bestimmten Gesichtspunkt ausgewählt werden.

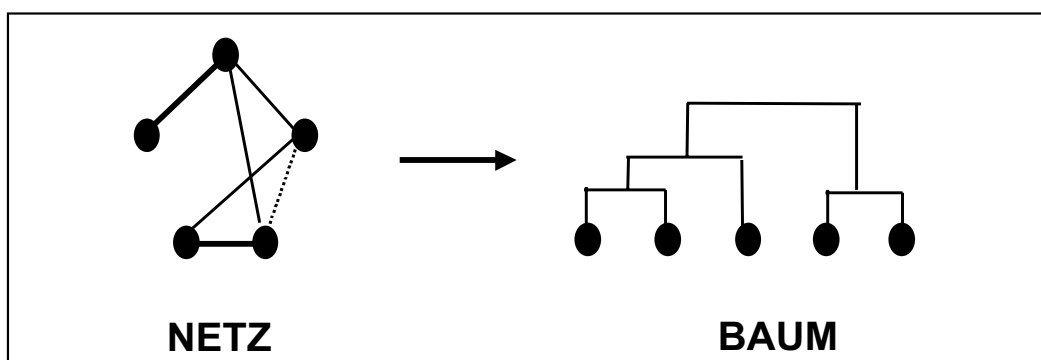


Abbildung 3.3: Struktur von Netz- und Baumsystemen

Diese Verbindungen oder Beziehungen sind unterschiedlicher Art (nach WÜSTER 1971):

- logische Beziehungen (Industrie: Chemie-, Eisenverarbeitungs-, Automobilindustrie usw.);
- ontologische Beziehungen = das Ganze und seine Teile (Wohngebiet — Haus);
- Nebenordnung (Mais — Weizen);
- Material-Produkt-Beziehungen (Weingarten — Wein);
- zeitliche Beziehungen (unbewachsene Flächen — Feldfrüchte).

Diese Verbindungen und Beziehungen können kombiniert und ausgehend von übergeordneten bis hin zu untergeordneten Begriffen dargestellt werden. Verbindungen zwischen Bodenbedeckungsarten sind in gewissem Maße vor allem ontologisch (Ganzes-Teile: Wald > Baumbestand > Baum). Hingegen bestehen zwischen Bodennutzungsarten vorwiegend logische Beziehungen (Industrie: Chemie-, Eisenverarbeitungsindustrie usw.).

Clusteranalyse

Ziel dieser Methode ist es, durch das Zusammenfassen „ähnlicher“ Objekte Kategorien zu bilden. Dabei wird eine große Anzahl von Merkmalen eines Objekts mit den gleichen Merkmalen anderer Objekte verglichen. Objekte mit vielen gemeinsamen Merkmalen werden derselben Gruppe zugeordnet. Eine Nomenklatur wird somit aus den so gebildeten Gruppen abgeleitet. Hier gibt es mehrere Methoden: Faktorenanalyse, hierarchisch aufsteigende Klassifikationen und dynamische Clusteranalyse. Diese werden weitgehend im Bereich der Botanik, Zoologie und Sprachtaxonomie unter der Bezeichnung numerische Taxonomie angewandt (siehe SNEATH und SOKAL 1973). Diese Methoden können nützlich sein, wenn genügend Informationen über Beobachtungseinheiten verfügbar sind. Doch dies trifft bei Bodenbedeckung und –nutzung nicht oft zu.

Baumstruktur

Dies ist die nahe liegendste Lösung. Viele Klassifikationssysteme werden unter Anwendung dieses A-priori-Ansatzes aufgebaut: das untersuchte Fachgebiet wird nach bestimmten Zielen und Zwecken in Kategorien und Unterkategorien aufgeteilt. Diese Methode weist erhebliche Nachteile auf: die Baumstruktur ist starr, was zu Schwierigkeiten führt, wenn eine Adaptierung ohne Veränderung der bisherigen Informationsstruktur vorgenommen werden soll. Die einzige Möglichkeit für Adaptierungen ist die Einführung detaillierterer Gliederungsstufen auf der Grundlage der bereits bestehenden Kategorien. Wenn der bestehende Baum den Bedürfnissen nicht mehr entspricht, lösen in diesem Fall aber zusätzliche Gliederungsstufen das Problem nicht. Weitere Nachteile sind die ungleichmäßige Entwicklung der Sektoren und die übersteigerte Bedeutung von aggregierten Begriffen, die bei der ersten Unterteilung geschaffen werden. Die Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UN/ECE) hat zum Beispiel ein System zur Beschreibung von Bodenbedeckung und –nutzung entwickelt. Es handelt sich um eine hierarchische Nomenklatur mit drei Gliederungsstufen, wobei die beiden ersten Stufen als grundlegend und die dritte als optional betrachtet werden. Die erste Stufe der Nomenklatur konzentriert sich auf die Bodenbedeckung, und die anderen Stufen gehen auf funktionale Aspekte ein. Die Nomenklatur ist für Landschaften in gemäßigten und nordischen Klimazonen ziemlich gut geeignet, kann aber nur mit äußersten Schwierigkeiten zum Beschreiben südeuropäischer Landschaften verwendet werden. Kategorie 5 (trockenes offenes Land mit besonderer Pflanzendecke) zum Beispiel wird in die vier Kategorien Heide, trockene Tundra, montanes Grünland und Sonstige unterteilt. Diese Gliederung erlaubt keine gute Klassifikation mediterraner Landschaften, die alle unter „Sonstiges“ fallen. Diese Arten von „Landschaften“ (Savanne, Chapparal, Prärie) können nur durch Unterteilung der Kategorie „Sonstiges“ auf einer vierten Stufe (wodurch man unausgewogene Kategorien auf der vierten Stufe erhält) oder durch eine komplette Umgestaltung der gesamten Kategorie aufgenommen werden.

Diskriminanzanalyse

Ein anderer möglicher Ansatz ist die Diskriminanzanalyse, bei der ausgehend von einer A-priori-Unterteilung in verschiedene Klassen versucht wird, durch die Verwendung einer Reihe beschreibender Variablen die Klassenaufteilung zu optimieren und die Varianz innerhalb der Klassen zu minimieren. Dies ist bei der Zuordnung von Individuen zu den Klassen nützlich, doch müssen dazu numerische Daten verfügbar sein.

3.3.2 Nichthierarchische Systeme

Hauptnutzungsklassen und systematische Verschneidung

Diese Methode ist darauf ausgerichtet, aus verschiedenen vorhandenen Klassifikationssystemen auf empirische Weise einige Nutzungsklassen herauszuarbeiten, die den Ausgangspunkt der Hauptkategorien darstellen. Das bedingt, dass bestehende Nomenklaturen der zu berücksichtigenden Fachgebiete gesammelt, gegenübergestellt und analysiert werden müssen, um die verschiedenen Nutzeranforderungen zu erfüllen. Ziel dieser Methode ist es, bestehende Nomenklaturen unter der Annahme zu vergleichen, dass große Aggregate für viele Nutzer oder Ansätze gleich sein könnten. Allgemeine Aggregate, die über verschiedene Nomenklaturen allgemein akzeptiert sind, würden die Hauptnutzungsklassen darstellen, während die Objekte, die in den einzelnen Nomenklaturen verschiedenen Aggregaten zugeordnet sein können, die Randbereiche bilden würden. Vorübergehend genutztes und künstliches Weideland würde zum Beispiel bei landwirtschaftlichen Nomenklaturen zum „Ackerland“ und für andere Nutzer zu einer anderen Kategorie gehören (POIRET 1997). Die Anzahl der berücksichtigten Nomenklaturen muss jedoch beschränkt werden, da die Anzahl der Hauptnutzungsklassen abnehmen wird, je mehr Klassifikationen erfasst werden, denn die Wahrscheinlichkeit, nicht zum Kern gehörige Objekte zu entdecken, steigt, je mehr unterschiedliche Gesichtspunkte vorliegen.

Ein ähnlicher Ansatz ist die so genannte systematische Verschneidung von Nomenklaturen. RADERMACHER (1988) schlägt dies für zwei Basisnomenklaturen vor — für eine zur Bodenbedeckung und eine zur Bodennutzung. Diese Arbeit führt zu einer Tabelle, in der neun Bodenbedeckungsarten und 14 Bodennutzungstypen systematisch kombiniert werden, so dass man 126 Klassen erhält, von denen 75 leer sind (irrelevante Klassen wie forstwirtschaftlich genutzte Gewässer). Aus den 51 verbleibenden Klassen wurden neun Gruppen nach spezifischen Zwecken (vorwiegend ökologischer Natur) ausgewählt. Von diesen weisen drei Klassen eine reine Bedeckungsdimension auf (der Aspekt der Bedeckung wurde für bewaldete Flächen, andere natürliche Gebiete und Wasserflächen ungeachtet ihrer Nutzung als grundlegend beurteilt). Bei den anderen sechs Klassen wird Bedeckung und Nutzung gemischt oder auf eine andere Dimension verwiesen, zum Beispiel die ökologisch irrelevanten Flächen.

Systematische Ansätze mittels Klassifikationskriterien

Anstelle eines universellen Klassifikationssystems für Bodenbedeckung und -nutzung besteht Bedarf an der Entwicklung von Hilfsmitteln, die die Verknüpfung von Systemen erleichtern. Diese sollten möglichst unabhängig von den verschiedenen Beschränkungen sein, die mit dem Aufbau von Nomenklaturen und dem spezifischen Bereich der Bodenbedeckung und -nutzung verbunden sind. Ein solches Hilfsmittel könnte ein kombinatorisches System umfassen, das auf einer gemeinsamen Grundlage angewandt wird. Diese Grundlage wäre bloß ein Set von Merkmalen, das zur Beschreibung der Objekte notwendig ist. Sobald diese Merkmale festgelegt und einheitlich definiert sind, werden sie durch Kombinationen die Definition der Objekte und ihre Zusammenfassung für alle möglichen Systeme erlauben.

Das Beschreiben eines Objekts besteht in der Erläuterung seiner Merkmale (ECKHOLM 1996). Merkmale können unterschiedliche „Ausdrucksformen“ haben — die Merkmalsausprägungen. Es können verschiedene Arten von Merkmalen vorliegen, zum Beispiel Merkmale mit zwei Ausprägungen (vorhanden / nicht vorhanden, positiv / negativ, + / -, A / nicht A, 1 / 0), Merkmale mit mehreren Ausprägungen (quantitative Ausprägungen: kontinuierlich oder diskret; qualitative Zustände: terminologische Aspekte). Merkmale können bei den Regeln für Entscheidungen über die Zuordnung von Objekten in einem gegebenen Klassifikationssystem herangezogen werden. Tabelle 3.1 veranschaulicht diese Entscheidungskette anhand des Beispiels von Elefanten, Walen und Ameisenbären (DUHAMEL 1998).

| | TIER | GRÖSSE | HAUT-FARBE | RUMPF | NAME (BILD) auf Deutsch | CODE DER NOMENKLATUR X |
|---|------|--------|----------------------|-------|----------------------------|---------------------------|
|  | JA | GROSS | GRAU | JA | ELEFANT | AH B200 |
|  | JA | GROSS | GRAU | NEIN | WAL | AV Z300 |
|  | JA | MITTEL | SCHWARZ und WEISS | JA | AMEISENBÄR | AB K541 |

| | | |
|--------|---|------|
| Objekt | Begriff (durch ein Set von Merkmalen genormt) | Bild |
|--------|---|------|

Tabelle 3.1: Beispiel für die Anwendung von Klassifikationskriterien

Um die Beschreibung von Objekten mittels relevanter Merkmale zu veranschaulichen, wurden hier vier Merkmale willkürlich ausgewählt, nämlich das Merkmal TIER mit den beiden Zuständen JA und NEIN, das Merkmal GRÖSSE mit den drei Zuständen GROSS, MITTEL und KLEIN, das Merkmal HAUTFARBE mit mehreren Zuständen und das Merkmal RUMPF mit den beiden Zuständen JA und NEIN. Man kann sagen, dass das Vorliegen der folgenden vier Merkmalsausprägungen [TIER: JA; GRÖSSE: GROSS; HAUTFARBE: GRAU; RUMPF: JA] Objekte mit der Bezeichnung „ELEFANTEN“ definiert. Diese Merkmale können systematisch als **Diagnose- oder Klassifikationskriterien** verwendet werden. Diese Klassifikationskriterien sind begriffliche Repräsentationen der Merkmale von Objekten — eine Entscheidungsregel, die für jede Beobachtung (jedes Objekt) angibt, welche Klasse zugeordnet werden soll. Klassifikationskriterien stellen charakteristische Eigenschaften dar, die für die Ziele der Nomenklatur relevant sind.

Dieser Ansatz kann zum Aufbau von Klassifikationssystemen herangezogen werden (wie zum Beispiel im Bereich der Bodentaxonomie). Eine grundlegende Frage ist mit dem Problem der Hierarchie von Klassifikationskriterien verbunden, d. h. wie kann man A-priori-Regeln festlegen, anhand der Kategorien in Unterkategorien usw. unterteilt werden. Das ist eine A-priori-Methode, die praktisch zu hierarchischen Systemen führt, in denen eine A-priori- und ungleichmäßige Gewichtung vorgeschlagen wird. Wir sind somit wieder mit dem traditionellen Aufbau von baumförmigen Klassifikationen konfrontiert, bei denen aufeinander folgende Gliederungen „objektive“ Merkmale berücksichtigen. Dabei wird bei den Merkmalen folgendes Schema angewandt: einer Reihe von

Merkmale wird eine Struktur oder ein Rang auf verschiedenen, aufeinander folgenden Gliederungsstufen zugewiesen. Die Lösung besteht darin, nicht hierarchische und starre Strukturen sondern ein „flaches“ kombinatorisches System zu entwickeln, das auf eine gemeinsame Basis von Klassifikationskriterien mit gleichem Gewicht angewandt wird, wobei diese Basis bloß ein Set von Merkmalen ist, das für die Beschreibung der Objekte notwendig ist. Sobald diese Merkmale festgelegt und einheitlich definiert sind, erlauben sie durch Kombinationen die Definition der Objekte und ihre Zusammenfassung für alle möglichen Nomenklaturen. Es ist schwierig, ein solches System zu entwickeln, ohne zahlreiche Klassifikationskriterien vorzuschlagen, die die Unterscheidung aller Objekte der Bodenbedeckung und –nutzung ermöglichen. Im Allgemeinen wird irgendeine „Reihung“ zur Beschränkung der Anzahl von Klassifikationskriterien vorgeschlagen. Deshalb werden zwei aufeinander folgende Ansätze vorgeschlagen:

- allgemeine Klassifikationskriterien mit einem höheren Rang, die frei kombiniert werden können (facettiert);
- Deskriptoren mit einem niedrigeren Rang, die für ein bestimmtes Fachgebiet spezifisch sind (Sparsamkeitsprinzip zur Vermeidung von Redundanz und zur Beschränkung der Anzahl von Klassifikationskriterien).

4. HILFSMITTEL ZUR DATENERFASSUNG

4 HILFSMITTEL ZUR DATENERFASSUNG

Dieses Kapitel geht auf verschiedene Hilfsmittel zur Datenerfassung ein, die für das Sammeln von Primärdaten im Bereich der Bodenbedeckung und –nutzung zur Verfügung stehen. Dabei soll auf die wesentlichen Prinzipien, die zugrundeliegenden Konzepte und die Unterschiede der konzeptuellen Ideen sowie in einer kurzen Zusammenfassung auf die Vor- und Nachteile eingegangen werden. Die technischen Erklärungen zu den Hilfsmitteln der Datenerfassung sind für die Bewertung von Informationssystemen und der Qualität der Informationen erforderlich.

4.1 Fernerkundungsbilder

4.1.1 Definition

„Fernerkundung ist die Wissenschaft (und, in gewisser Weise, die Kunst), Informationen über die Erdoberfläche zu erfassen, ohne wirklich mit ihr in Kontakt zu stehen. Dies erfolgt durch das Messen und Aufzeichnen von reflektierter oder abgestrahlter Energie und durch das Verarbeiten, Auswerten und Anwenden dieser Informationen“ (Canada Centre for Remote Sensing (CCRS): Fundamentals of Remote Sensing 1999).

4.1.2 Prinzipien

Das Prinzip der Fernerkundung kann folgendermaßen zusammengefasst werden:

Die Erdoberfläche wird von der Sonne durch ein weites Spektrum elektromagnetischer Strahlung beleuchtet. Tabelle 4.1 zeigt verschiedene Teile des elektromagnetischen Spektrums, das vom ultravioletten Teil bis weit in den infraroten Bereich hinein reicht.

| Spektralbereich | | Wellenlänge in μm ($\sim 10^{-6}\text{ m}$) |
|-------------------------------|----------|--|
| Ultraviolett | | < 0,3 |
| Sichtbarer Teil des Spektrums | Violett: | 0,4 – 0,446 |
| | Blau: | 0,446 – 0,500 |
| | Grün: | 0,500 – 0,578 |
| | Gelb: | 0,578 – 0,592 |
| | Orange: | 0,592 – 0,620 |
| | Rot: | 0,620 – 0,7 |
| Reflektiertes Infrarot (IR) | | 0,7 – 3,0 |
| Thermales IR | | 3,0 - 100 |

Tabelle 4.1: Elektromagnetische Spektren

Die von der Sonne ausgehende Strahlung wird von der Atmosphäre beeinflusst und erreicht die Erdoberfläche nicht völlig unverändert. Auf dem Weg durch die Atmosphäre wird ein großer Teil der Energie absorbiert. Das Ozon in der Stratosphäre ist zum Beispiel für große Teile der ultravioletten Strahlung undurchlässig. Das in der Atmosphäre enthaltene Wasser ist für die Aufnahme spezifischer Teile der Infrarotstrahlung verantwortlich. Nur für einige Wellenlängen ist die Atmosphäre in hohem Maße durchlässig, insbesondere im sichtbaren Teil des elektromagnetischen Spektrums.

Diese „atmosphärischen Fenster“, in denen die Energieübertragung effektiv ungestört erfolgt, werden bei der Fernerkundung verwendet.

Alle Objekte auf der Erdoberfläche (Ziele) beeinflussen die Strahlung. Ziele reflektieren, übertragen oder absorbieren die auftreffenden elektromagnetischen Wellen. Der ablaufende Prozess hängt von der physikalischen und chemischen Struktur des Ziels und der betreffenden Wellenlänge ab.

Der reflektierte Anteil des Spektrums ist für Fernerkundungsanwendungen in Verbindung mit dem Boden am wichtigsten. In den verschiedenen Wellenlängenbereichen ist die Reflexion durch die Ziele ganz spezifisch und in einigen Fällen sogar einzigartig (Abbildung 4.1).

Dieses charakteristische Spektralverhalten von Objekten ermöglicht ihre Identifikation durch die Fernerkundung. Ein Vergleich der Reflexionsmuster verschiedener Merkmale der Erdoberfläche in verschiedenen Spektralbereichen ermöglicht es, Objekte voneinander zu unterscheiden.

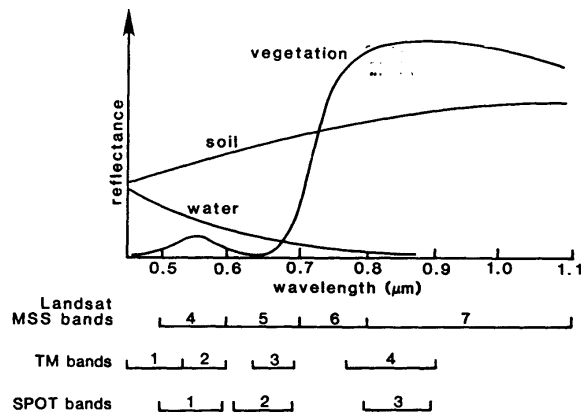


Abbildung 4.1: Spektralverhalten einiger häufiger Oberflächentypen und Spektralbänder von Satellitensensoren

vegetation = Vegetation
 soil = Erde
 water = Wasser
 reflectance = Reflexionsgrad
 wavelength = Wellenlänge
 Landsat MSS bands = Landsat-MSS-Bänder
 TM bands = TM-Bänder
 SPOT bands = SPOT-Bänder

Die oben stehende Abbildung zeigt das Spektralverhalten einiger häufiger Oberflächentypen:

- **Grüne Vegetation:** Chlorophyll, eine in Blättern vorkommende chemische Verbindung, absorbiert die Strahlung in den roten und blauen Wellenlängenbereichen stark, reflektiert aber grüne Wellenlängen. Deshalb erscheinen die Blätter im Sommer, wenn der Chlorophyllgehalt am höchsten ist, grün. Im Herbst enthalten die Blätter weniger Chlorophyll, so dass die Absorption geringer ist und ein proportional höherer Anteil der roten Wellenlängen reflektiert wird, wodurch die Blätter rot oder gelb erscheinen. Die innere Struktur gesunder Blätter fungiert als starker Reflektor im Bereich des nahen Infrarots. Das Verhältnis von nahem IR zu Rot ist die Grundlage für viele Vegetationsindizes, die zur Überwachung der Vegetation verwendet werden. Ihre spezifischen Reflexionseigenschaften ermöglichen es, verschiedene Pflanzen zu erkennen.
- **Wasser:** Wasser absorbiert die längeren Wellenlängen im sichtbaren Bereich und das nahe Infrarot stärker als die kürzeren sichtbaren Wellenlängen. Deshalb erscheint Wasser typischerweise blau oder blaugrün aufgrund der stärkeren Reflexion bei diesen kürzeren Wellenlängen und dunkler, wenn man es bei roten Wellenlängen oder nahem Infrarot betrachtet. Wenn Schwebstoffe in den oberen Schichten eines Gewässers vorhanden sind, führt dies zu einem höheren Reflexionsgrad und einem helleren Erscheinungsbild des Wassers.

- **Böden und Mineralien:** Die Reflexionsmuster von Böden zeigen stärkere Spektraleigenschaften. Die Reflexion hängt vorwiegend von der mineralischen Zusammensetzung und der Körnung des Bodens sowie von seinem Gehalt an Wasser und organischen Stoffen ab. Je trockener und reiner die Böden sind, desto geringer ist das Emissionsvermögen in diesem Bereich des Spektrums.

Das Spektralverhalten kann selbst bei demselben Zieltyp ziemlich variieren und sich auch je nach Zeit und Ort ändern. Darüber hinaus wird das Spektralverhalten von den atmosphärischen Bedingungen während der Aufnahme der Bilder beeinflusst, da die Übertragung der Strahlungsenergie stark vom Wasser- und Staubgehalt in der Atmosphäre abhängt.

Für die korrekte Interpretation von Bildern aus der Fernerkundung und ihrer Ergebnisse ist es entscheidend, dass man weiß, wo im Spektrum man „suchen“ muss, und dass man die Faktoren versteht, die das Spektralverhalten der untersuchten Phänomene beeinflussen.

4.1.3 Der Messprozess: Abtastung

Fernerkundungssensoren erfassen Daten über Scannersysteme, bei denen ein Sensor mit kleinem Bildfeld über das Gelände streicht, um ein zweidimensionales Bild der Oberfläche aufzubauen und zu erstellen (Rasterbild, Abb. 4.2).

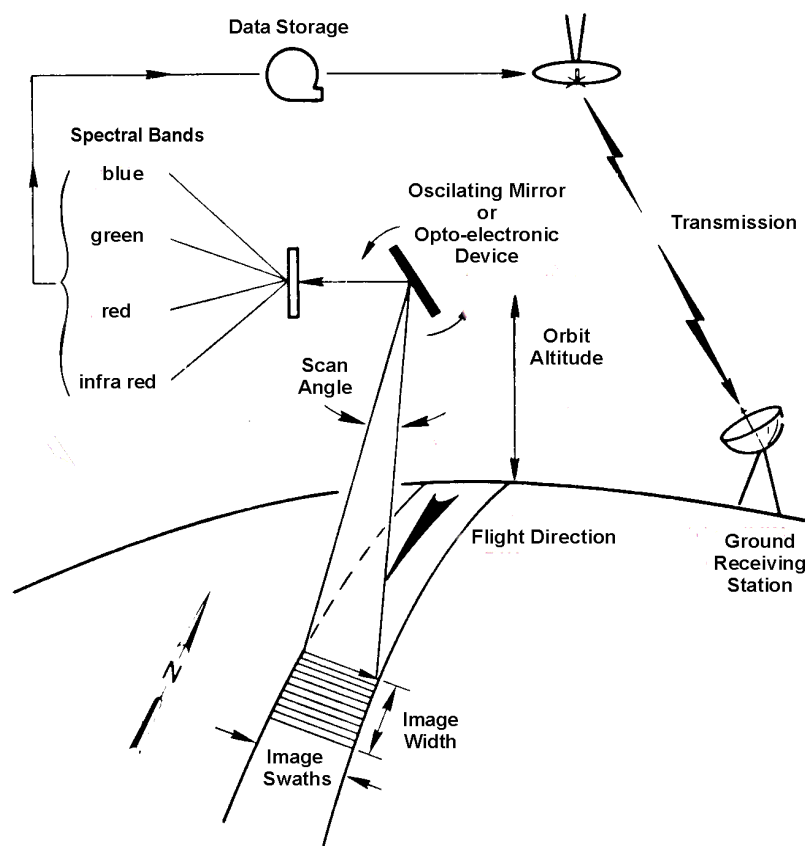


Abbildung 4.2: Prinzip der Datenaufzeichnung: Abtastprozess

Scannersysteme können sowohl in Flugzeugen und Satelliten zum Einsatz kommen und beruhen im Wesentlichen auf denselben Funktionsgrundsätzen. Wenn sie die reflektierte (oder abgestrahlte) Energie gleichzeitig über eine Reihe von verschiedenen Wellenlängenbereichen (Spektralbänder)

hinweg messen, werden sie als multispektrale Scanner bezeichnet. Sowohl die Größe der Rasterzellen (Bildpunkte oder Pixel) als auch die gemessenen Wellenlängenbereiche hängen von den technischen Spezifikationen des Sensors ab (räumliche und spektrale Auflösung).

Ein Scannersystem weist gegenüber photographischen Systemen mehrere Vorteile auf. Der Spektralbereich photographischer Systeme ist auf die sichtbaren Bereiche und das nahe Infrarot beschränkt, während multispektrale Scanner bis in den thermalen Infrarotbereich hinein arbeiten können. Überdies kann mit ihnen eine viel höhere spektrale Auflösung als mit photographischen Systemen erreicht werden. Bei der multispektralen Photographie werden separate Linsensysteme verwendet, um alle Spektralbänder gleichzeitig aufzunehmen. Photographische Systeme zeichnen die erfasste Energie mittels eines photochemischen Prozesses auf einer Emulsion auf Film auf, was schwierig zu messen und konsistent zu halten ist. Da die Scanner Daten elektronisch aufzeichnen, kann die spezifische Menge an gemessener Energie leichter bestimmt und ein größerer Bereich von Werten in einem digitalen Format erfasst werden.

Satellitenplattformen

Im Folgenden werden einige bekannte Satelliten und Bildsensoren kurz beschrieben.

- Landsat

Der amerikanische Satellit Landsat liefert seit 1972 multispektrale Bilder der Erdoberfläche. Die Landsat-Satelliten 1-3, die bis 1983 in Betrieb waren, waren mit einem multispektralen Scanner (MSS) mit folgenden technischen Spezifikationen ausgerüstet: vier Bänder, Bildgröße 185 km x 185 km, Pixelgröße 80 m x 80 m. Landsat 4 (ab 1982) und Landsat 5 (ab 1984) verfügten zusätzlich zum MSS über den TM-Sensor (Thematic Mapper) mit sieben Spektralbändern, einer Bildgröße von 185 km x 185 km und einer Pixelgröße von 30 m x 30 m. Landsat 7, der seit April 1999 in Betrieb ist, hat den ETM-Sensor (Enhanced Thematic Mapper) an Bord. Zusätzlich zu den multispektralen Bändern (ähnlich wie bei Landsat 5) tastet der ETM-Sensor die Erde in einem panchromatischen Band mit einer Pixelgröße von 15 m x 15 m ab. Während der operationellen Phase des Landsat-Satellitenprogramms wurde ein umfangreiches Archiv von Satellitenbildern aufgebaut, das Rückblicke und die Analyse von Veränderungen ermöglicht.

- SPOT

Das französische SPOT-Satellitenprogramm (Système Probatoire d'Observation de la Terre) begann 1986 mit SPOT 1, gefolgt von SPOT 2 im Jahr 1990 und SPOT 3 im Jahr 1993. Der an Bord befindliche HRV-Sensor (Haute Résolution Visible) liefert aus einer Umlaufbahn in 830 km Höhe Bilder von drei Spektralbändern mit einer Pixelgröße von 20 m x 20 m und von einem panchromatischen Band mit einer Pixelgröße von 10 m x 10 m. SPOT 4, der 1998 gestartet wurde, ist außerdem mit dem so genannten „Vegetationsinstrument“ ausgestattet, das Bilder mit vier Bändern (blau, rot, nahes und kurzwelliges IR) mit einer Pixelgröße von 1 km x 1 km und einer Breite von 2.250 km aufnimmt. Im Jahr 2000 soll SPOT 5 mit einem Sensor starten, der panchromatische Bilder mit einer Pixelgröße von 5 m x 5 m aufnehmen wird.

- IRS

Der erste indische Fernerkundungssatellit IRS-1A wurde 1988 gestartet. Die Sensoren der jüngsten Plattform IRS-1D erzeugen ein panchromatisches Bild mit einer Pixelgröße von 5,8 m x 5,8 m, ein Vier-Band-Bild mit einer Pixelgröße von 23,5 m x 23,5 m (LISS) und ein Zwei-Band-Bild mit einer Pixelgröße von 188 m x 188 m (WiFS).

- IKONOS

IKONOS, der erste kommerzielle Satellit mit hoher Auflösung, ist seit Ende 1999 im Einsatz. Er fliegt in einer Höhe von 681 km und verfügt über zwei voneinander unabhängige Sensoren, die die

Erdoberfläche in Streifen mit einer Breite von 11 km und einer Länge von bis zu 1.000 km abtasten. Mit einer Bodenauflösung von 1 m x 1 m (panchromatisch) und 4 m x 4 m (multispektral) liefert der Sensor hochwertige Bilder, die nahe an Luftbilder herankommen, was neue Anwendungen für Fernerkundungsbilder von Satelliten in einer breiten Palette von Fachgebieten eröffnet.

- NOAA - AVHRR

Der AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) an Bord der NOAA-Satelliten (National Oceanic and Atmospheric Administration) war ursprünglich für meteorologische Zwecke bestimmt. Deshalb unterscheiden sich die technischen Spezifikationen erheblich von den Satelliten, die für Anwendungen im Bereich der Landerkundung entwickelt wurden (z. B. Landsat, SPOT oder IRS). Der AVHRR-Sensor zeichnet die Spektralreflexion im roten Wellenlängenbereich und nahen Infrarot sowie die abgestrahlte Energie (Temperatur) im mittleren und langwelligen Infrarotbereich auf. Informationen über die Temperatur, insbesondere der Wolken, ist für Meteorologen von speziellem Interesse. Die breite räumliche Auflösung von 1,1 km des AVHRR-Sensors und sein großer Abtastwinkel von 55° erlauben einen Überblick über riesige Gebiete mit einer Breite von rund 2.000 km (Landsat TM: 185 km). Die technischen Eigenschaften und die Tatsache, dass mindestens zwei Satelliten gleichzeitig in Betrieb sind, erlauben es, täglich Bilder der gesamten Erde zu liefern, und ermöglichen eine laufende Überwachung, was für Wetterprognosen und andere meteorologische Bereiche von besonderer Bedeutung ist.



Abbildung 4.3: Von IRS III aufgenommenes Bild des Rheintals nördlich von Karlsruhe (2. November 1997, nahes IR, Rot, Grün = RGB; räumliche Auflösung: 23 m); Quelle: Euromap, Neustrelitz (www.euromap.de)



Abbildung 4.4: Von IRS 1C am 17. Mai 1998 aufgenommenes panchromatisches Bild des Flughafens Schiphol bei Amsterdam (räumliche Auflösung: 5,8 m); Quelle: Euromap, Neustrelitz (www.euromap.de)

- RADARSAT, ERS

In konzeptioneller und technischer Hinsicht unterschieden sich Radarsatellitensysteme ziemlich stark von den bisher erwähnten Systemen. Im Gegensatz zu Sensoren, die Strahlung messen, die von der Sonne ausgeht und reflektiert bzw. von der Erdoberfläche abgestrahlt wird (passive Systeme), senden Radarsensoren selbst eigene Signale aus und zeichnen den reflektierten Anteil dieses Signals auf. Die strukturellen Eigenschaften der Ziele bestimmen die Art und Weise der Reflexion, wodurch man sie erkennen kann. Der Vorteil von Radarsystemen ist ihre Fähigkeit, Wolken zu durchdringen, so dass die Bildaufnahme von den atmosphärischen Bedingungen unabhängig ist. Radarsysteme sind für Anwendungen zur Kartierung von Bodenbedeckung / -nutzung von geringerer Bedeutung und werden daher hier nicht ausführlich besprochen. Sie werden häufiger zum Beispiel für geologische Zwecke oder zum Entdecken von Eisflächen auf See oder von Ölteppichen verwendet. Der kanadische RADARSAT und die europäischen Satelliten ERS-1 und -2 sind zwei operationelle Radarsatellitensysteme.

4.1.4 Fernerkundungsbilder: Eigenschaften

Die technischen Spezifikationen der Sensoren und die Merkmale der Umlaufbahn der Satellitenplattformen bestimmen weitgehend die Fähigkeiten und möglichen Anwendungen der Fernerkundungsbilder. Die relevantesten Aspekte werden im folgenden Abschnitt beschrieben.

Spektrale Auflösung

Wie bereits erwähnt, können Merkmale oder Ziele der Erdoberfläche durch die spektrale Reflexion über eine Vielzahl von Wellenlängen charakterisiert und unterschieden werden. Satellitensensoren messen die von der Oberfläche reflektierte Strahlung in verschiedenen spektralen Intervallen, den so genannten Spektralbändern oder Kanälen, um diese Unterschiede zu erfassen. Die Fähigkeit eines

Satellitensensors, Ziele auf der Erdoberfläche zu identifizieren, hängt in hohem Maß von der Anzahl der Spektralbänder, d. h. von der spektralen Auflösung, ab.

Die spektrale Auflösung beschreibt die Fähigkeit eines Sensors, zwischen kleinen Intervallen von Wellenlängen zu unterscheiden. Fernerkundungssysteme zeichnen den reflektierten Strahlungsanteil in mehreren separaten Wellenlängenbereichen (den so genannten Spektralbändern oder Kanälen) mit verschiedenen spektralen Auflösungen auf. Je höher die spektrale Auflösung und je kleiner der Wellenlängenbereich für einen bestimmten Kanal oder ein bestimmtes Band ist, desto besser können einzelne Objekte erkannt und unterschieden werden. Fortschrittliche Multispektralsektoren, die als Hyperspektralsensoren bezeichnet werden, erkennen hunderte sehr kleine Spektralbänder im gesamten sichtbaren Teil sowie im nahen und mittleren Infrarotbereich des elektromagnetischen Spektrums. Ihre sehr hohe spektrale Auflösung erleichtert die feine Unterscheidung einzelner Ziele aufgrund ihres Spektralverhaltens in jedem der kleinen Bänder.

Tabelle 4.2 zeigt die spektrale Auflösung von bekannten Sensoren, die für Landanwendungen eingesetzt werden. Mit sieben Spektralbändern erlaubt der TM-Sensor (Thematic Mapper) von Landsat die beste Unterscheidung von Objekten, während SPOT und IRS nur mit drei beziehungsweise vier Spektralbändern arbeiten.

Die SPOT-, IRS- und die neusten LANDSAT-ETM-Sensoren arbeiten auch in einem panchromatischen Modus, wobei die Erde in einem breiten Wellenlängenbereich (sichtbares Spektrum) und mit einer höheren räumlichen Auflösung als bei den Multispektralbändern abgetastet wird.

| Sensor | Spektrale Auflösung | | Räumliche Auflösung | Empfohlener maximaler Arbeitsmaßstab (ungefähr) |
|-----------------------|---------------------|---|---------------------|---|
| | Kanal | Wellenlängenbereich (in μm) | | |
| Landsat MSS | MSS 1 | 0,5 – 0,6 (grün) | 80 m x 80 m | 1:500.000 |
| | MSS 2 | 0,6 – 0,7 (rot) | | |
| | MSS 3 | 0,7 – 0,8 (nahes IR) | | |
| | MSS 4 | 0,8 – 1,1 (nahes IR) | | |
| Landsat TM/ETM | TM 1 | 0,45 – 0,52 (blau) | 30 m x 30 m | 1:200.000 |
| | TM 2 | 0,52 – 0,60 (grün) | | |
| | TM 3 | 0,63 – 0,69 (rot) | | |
| | TM 4 | 0,76 – 0,90 (nahes IR) | 120 m x 120 m | |
| | TM 5 | 1,55 – 1,75 (kurzwelliges IR) | | |
| | TM 6 | 10,4 – 12,5 (thermales IR) | | |
| | TM 7 | 2,08 – 2,35 (kurzwelliges IR) | | |
| Landsat ETM | Panchromatisch | 0,52 – 0,9 | 15 m x 15 m | 1:100.000 |
| SPOT Pan | Panchromatisch | 0,51 – 0,73 (blau-grün-rot) | 10 m x 10 m | 1:50.000 |
| SPOT XS Multispektral | Band 1 | 0,50 – 0,59 (grün) | 20 m x 20m | 1:100.000 |
| | Band 2 | 0,61 – 0,68 (rot) | | |
| | Band 3 | 0,79 – 0,89 (nahes IR) | | |
| SPOT Vegetation | Kanal 1 | 0,50 – 0,59 (grün) | 1000 m x 1000 m | 1:1,5 Mio. |
| | Kanal 2 | 0,61 – 0,68 (rot) | | |
| | Kanal 3 | 0,79 – 0,89 (nahes IR) | | |
| | Kanal 4 | 1,58 – 1,75 (kurzwelliges IR) | | |
| IRS Pan | Panchromatisch | 0,5 – 0,75 (blau-grün-rot) | 5,8 m x 5,8m | 1:15.000 |
| IRS LISS | Band 2 | 0,52 – 0,59 (grün) | 23,5 m x 23,5 m | 1:100.000 |
| | Band 3 | 0,62 – 0,68 (rot) | | |
| | Band 4 | 0,77 – 0,86 (nahes IR) | | |
| | Band 5 | 1,55 – 1,7 (kurzwelliges IR) | | |
| IRS WiFS | Band 3 | 0,62 – 0,68 (rot) | 188 m x 188 m | 1:500.000 |
| | Band 4 | 0,77 – 0,86 (nahes IR) | | |
| NOAA AVHRR | Kanal 1 | 0,58 – 0,68 (rot) | 1100 m x 1100 m | 1:1,5 Mio. |
| | Kanal 2 | 0,725 – 1,1 (nahes IR) | | |
| | Kanal 3 | 3,55 – 3,93 (mittleres IR) | | |
| | Kanal 4 | 11,3 – 11,3 (thermales IR) | | |
| | Kanal 5 | 11,4 – 12,4 (thermales IR) | | |
| IKONOS | Panchromatisch | 0,45 – 0,90 | 1 m x 1 m | 1:5.000 |
| Multispektral | Kanal 1 | 0,45 – 0,52 (blau) | 4 m x 4 m | 1:15.000 |
| | Kanal 2 | 0,52 – 0,60 (grün) | | |
| | Kanal 3 | 0,63 – 0,69 (rot) | | |
| | Kanal 4 | 0,79 – 0,90 (nahes IR) | | |

Tabelle 4.2: Spektrale und räumliche Auflösung sowie empfohlener Arbeitsmaßstab (ungefähr) bei gebräuchlichen Fernerkundungsinstrumenten

Räumliche Auflösung

Fernerkundungsbilder bestehen aus einer Matrix von Bildpunkten oder Pixel, die die kleinsten Einheiten darstellen, für die das Spektralverhalten gemessen wird. Die Größe der Pixel hängt vom technischen Design der Sensoren ab.

Bei Bildern, auf denen nur große Objekte sichtbar sind, spricht man von einer groben oder niedrigen Auflösung. Bei Bildern mit feiner oder hoher Auflösung können auch kleine Objekte erkannt werden. Kommerzielle Satelliten liefern Bildmaterial mit einer Auflösung von einigen Metern bis zu mehreren Kilometern.

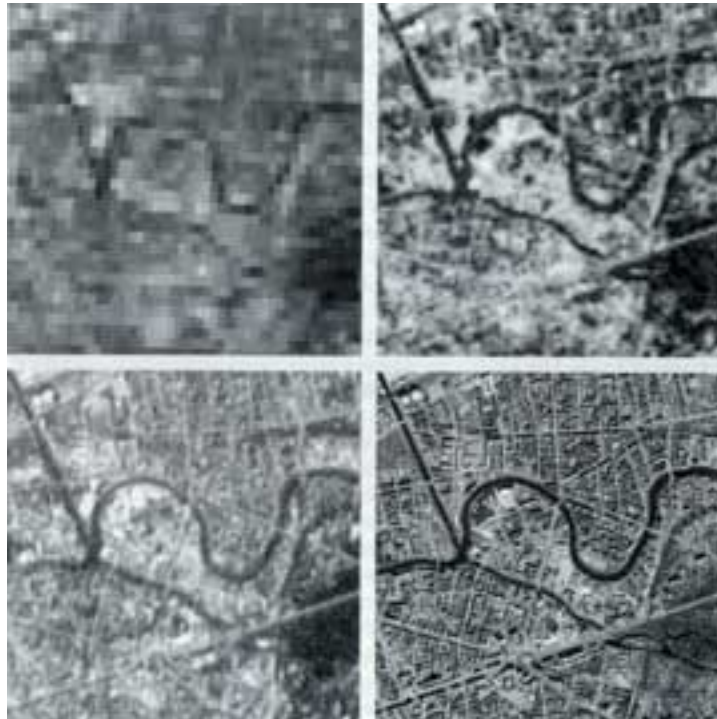


Abbildung 4.5: Ausschnitte aus Satellitenaufnahmen von Berlin (D) mit unterschiedlicher räumlicher Auflösung: oben links: MSS (80 m); oben rechts: TM (30 m); unten links: SPOT — multispektrales Bild (20 m); unten rechts: SPOT — panchromatisches Bild (10 m) (ALBERTS 1991)

Die räumliche Auflösung wirkt sich erheblich auf die Identifikation von Objekten auf der Erdoberfläche, auf den Analysemaßstab und die genaue und präzise Lokalisierung aus. Je höher die räumliche Auflösung ist und je vollständiger und präziser die Gestalt der Objekte erfasst wird, desto mehr kann anhand der Form identifiziert werden und desto genauer kann der Ort, das Ausmaß und die Fläche von Objekten bestimmt werden (siehe Abb. 4.5).

Damit ein homogenes Objekt erkannt werden kann, muss es gleich groß oder größer als ein Pixel sein. Ist es kleiner, ist es vielleicht nicht erkennbar, da die durchschnittliche Helligkeit aller Objekte in diesem Pixel über die Pixelfläche integriert und dann aufgezeichnet wird. Kleinere Objekte können jedoch manchmal identifizierbar sein, wenn ihre Reflexion in einem bestimmten Pixel vorherrscht und so eine Erkennung auf dieser Unterebene ermöglicht.

Die räumliche Auflösung der Daten muss mit den Projektzielen vereinbar sein. Neue Entwicklungen in der Fernerkundung sind auf Bilder mit einer hohen räumlichen Auflösung von rund ein bis zwei Metern ausgerichtet, was die Identifikation kleiner Objekte erlaubt.

Radiometrische Auflösung

Die radiometrische Auflösung bezieht sich auf den dynamischen Bereich oder die Anzahl verschiedener Outputebenen, die zur Aufzeichnung der Strahlungsenergie für eine einzige Messung verwendet werden. Der dynamische Bereich für die gebräuchlichsten Satellitendaten ist 7 Bit oder 128 verschiedene Ebenen bei Landsat MSS und IRS oder 256 Ebenen (8 Bit) bei Landsat TM und ETM.

Je höher die radiometrische Auflösung, desto genauer können die Fernerkundungsdaten Variationen bei der von der Oberfläche abgehenden Strahlung darstellen. Viele Softwaretools für die Bildverarbeitung sind auf 8-Bit-Daten ausgelegt, so dass andere Byte-Größen eine Sonderbehandlung erfordern könnten.

Zeitliche Auflösung

Neben der räumlichen und spektralen Auflösung ist auch die Berücksichtigung des Konzepts der zeitlichen Auflösung bei einem Fernerkundungssystem wichtig. Die zeitliche Auflösung hängt vom Wiederholungsrhythmus ab. Damit wird angegeben, wie lange ein Satellit braucht, um nach Abschluss eines vollständigen Umlaufs dasselbe Gebiet der Erdoberfläche im selben Aufnahmewinkel ein zweites Mal zu beobachten und abzubilden (siehe Abb. 4.6 und 4.7).

Der Wiederholungsrhythmus eines Satellitensensors beträgt für gewöhnlich mehrere Tage (siehe Tabelle 4.3). Somit entspricht die absolute zeitliche Auflösung eines Fernerkundungssystems zur nochmaligen Abbildung genau desselben Gebiets mit demselben Aufnahmewinkel diesem Zeitraum.

| Fernerkundungsplattformen | Zeitliche Auflösung |
|---------------------------|----------------------------|
| IKONOS | 4 Tage |
| Landsat 1, 2 und 3 | 18 Tage (alle 251 Umläufe) |
| Landsat 4, 5 und 7 | 16 Tage (alle 233 Umläufe) |
| SPOT | 26 Tage |
| NOAA-AVHRR | 1 Tag |

Tabelle 4.3: Zeitliche Auflösung einiger gebräuchlicher Satellitenplattformen

Doch aufgrund einer gewissen Überlappung der Aufnahmen aus benachbarten Umlaufbahnen der meisten Satelliten und durch die Zunahme dieser Überlappungen in höheren Breiten werden einige Gebiete der Erde eher häufiger erneut aufgenommen. Außerdem können einige Satellitensysteme (z. B. SPOT, IKONOS) ihre Sensoren schwenken und so dasselbe Gebiet zwischen verschiedenen Satellitenüberflügen im Abstand von ein bis fünf Tagen abbilden. Somit hängt die tatsächliche zeitliche Auflösung eines Sensors von einer Vielzahl von Faktoren ab, zum Beispiel von den Fähigkeiten des Satelliten/Sensors, der Überlappung der Aufnahmen, der Umlaufhöhe und der geographischen Breite des zu untersuchenden Gebiets.

Der hervorstechendste Faktor, der die zeitliche Auflösung bestimmt, ist die Notwendigkeit eines wolkenlosen Himmels während der Bildaufnahme. Die Aussichten auf wolkenfreie Bilder für eine bestimmte Region in aufeinander folgenden Umläufen sind beschränkt. Die Zahlen in Tabelle 4.3 sind also eher Theorie als Praxis.

Die Fähigkeit, Bildmaterial über dasselbe Gebiet der Erdoberfläche zu verschiedenen Zeitpunkten zu sammeln, ist jedoch eines der wichtigsten Elemente für die Anwendung von Fernerkundungsdaten. Die spektralen Merkmale von Objekten können sich im Laufe der Zeit verändern, und dieser Wandel kann durch das Sammeln und Vergleichen von Bildern, die zu unterschiedlichen Zeiten aufgenommen wurden, erkannt werden. Während der Wachstumsperiode sind die meisten Vegetationsarten zum Beispiel einem ständigen Wandel unterworfen, und die Möglichkeit, diese geringfügigen Veränderungen mit der Fernerkundung zu überwachen, hängt davon ab, wann und wie oft Bilder aufgezeichnet werden.

Indem man kontinuierlich Bilder zu verschiedenen Zeiten erstellt, können auf der Erdoberfläche ablaufende Veränderungen beobachtet werden, gleichgültig ob sie natürliche (z. B. Wandel in der natürlichen Abfolge der Vegetationsbedeckung oder Überschwemmungen) oder anthropogene Ursachen (z. B. Stadtentwicklung oder Abholzung) haben.

Abbildung 4.6: Zeitliche Abfolge der nebeneinander liegenden Umlaufbahnen von Landsat 4 und 5. Die benachbarten Gebiete werden in einem Abstand von sieben Tagen erfasst (LILLESAND und KIEFER 1994).

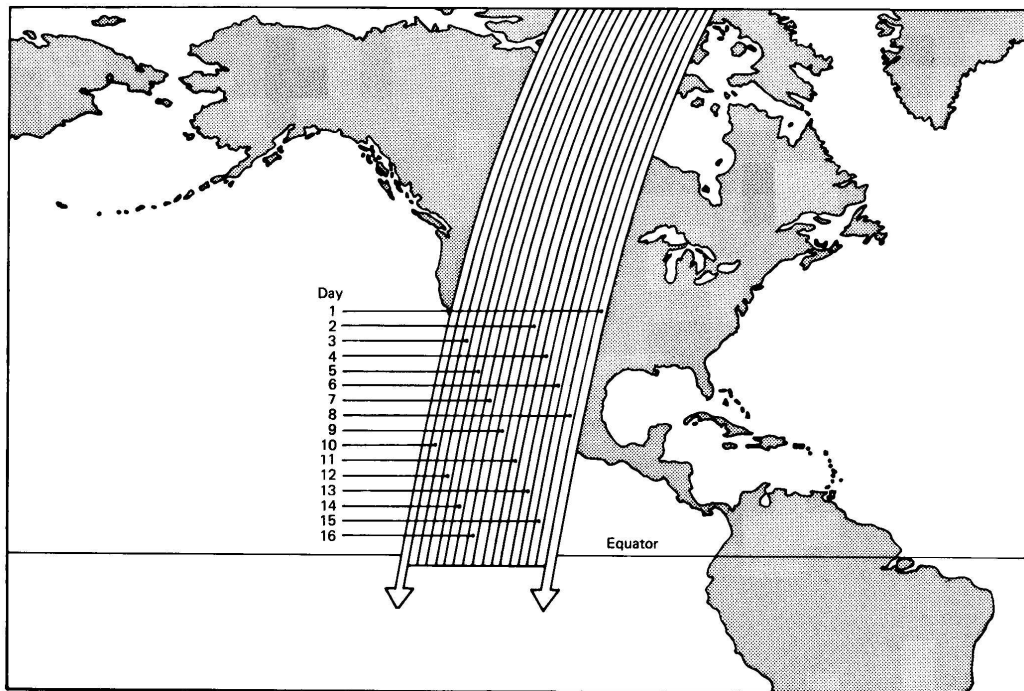
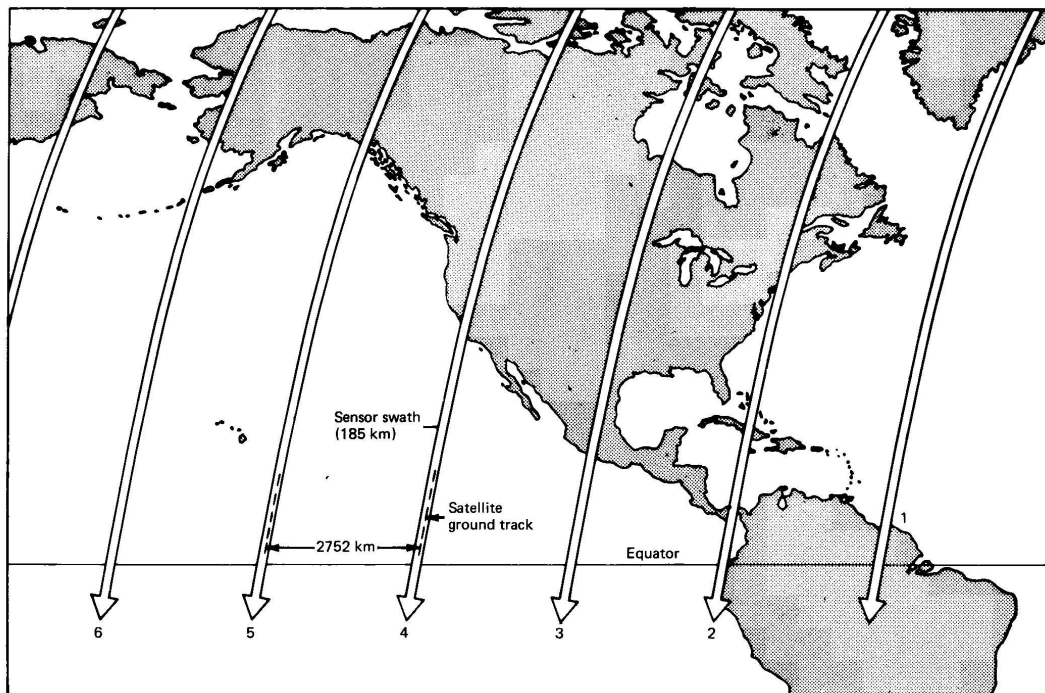


Abbildung 4.7: Abstand zwischen benachbarten Umlaufbahnen (Pfad) von Landsat am Äquator (LILLESAND und KIEFER 1994).



4.1.5 Digitale Bildverarbeitung

Bei der Nutzung digitaler Fernerkundungsbilder werden digitale Bildverarbeitungsverfahren angewandt. Nur in wenigen Fällen können die Daten direkt verwendet werden. Folgende Schritte müssen bei der Bildverarbeitung vor der Datenauswertung ausgeführt werden:

- radiometrische Korrektur,
- geometrische Korrektur und
- Bildverbesserung.

Radiometrische Korrekturen sind aufgrund von Sensorunregelmäßigkeiten im Laufe der Zeit und aufgrund unerwünschter atmosphärischer Einflüsse notwendig. Ferner ist eine Verarbeitung erforderlich, wenn physikalische Einheiten (wie reflektierte oder abgegebene Strahlung) berechnet werden sollen. Insbesondere bei Verwendung der Fernerkundungsdaten für Überwachungszwecke ist bei der Radiometrie große Sorgfalt notwendig.

Die geometrische Korrektur beschäftigt sich mit der Umwandlung der Bildmatrix in Koordinaten der „realen Welt“ und mit Kartenprojektionen.

Bei der Bildverbesserung wird das Bildmaterial bearbeitet, um die visuelle Interpretation und Analyse zu erleichtern.

4.1.6 Bildanalyse

Bei der Interpretation und Analyse von Fernerkundungsbildern werden verschiedene Ziele auf einem Bild identifiziert und/oder vermessen, um nützliche Informationen zu gewinnen. In der Fernerkundung können jegliche Merkmale oder Objekte, die auf einem Bild beobachtbar sind, Ziele sein. Sie müssen räumlich und spektral unterscheidbar sein, d. h. es muss einen Kontrast zu den anderen Objekten um sie herum im Bild geben. Die Bildanalyse erfolgt manuell (analoge Bildanalyse, z. B. visuelle Interpretation) und/oder digital.

Die nichtautomatische Interpretation und Analyse geht auf die frühen Anfänge der Fernerkundung im Bereich der Interpretation von Luftaufnahmen zurück. Die digitale Verarbeitung und Analyse entstand später mit der Einführung der digitalen Aufzeichnung von Fernerkundungsdaten und der Entwicklung der Computer. Eine digitale Bildanalyse wird durchgeführt, wenn die gesamte Spektralinformation (Mehrkanal-Datensets) verwendet werden soll. Eine Vielzahl von Methoden und Ansätzen wurde für spezifische Zwecke entwickelt.

Im Bereich der Bodenbedeckungsdaten werden Verfahren zur digitalen Bildklassifikation durchgeführt. Anhand der spektralen Signatur der erforderlichen Klassen oder Kategorien (Nadelwälder, Grünland) wird die Spektralinformation der Pixel einer von ihnen statistisch zugewiesen. Das Ergebnis einer solchen Klassifikation ist eine „thematische Karte“.

Bei der Bildanalyse stützt man sich nicht ausschließlich auf die digitale Bildinformation, sondern berücksichtigt auch unterstützende Informationen, wie topographische oder thematische Karten und digitale Geländemodelle. Vor allem sollte nicht vergessen werden, dass eine Bodenverifikation für die Validierung der Ergebnisse entscheidend ist. Durch die Verwendung von Satellitenbildern werden Bodenuntersuchungen nicht überflüssig.

Sowohl manuelle als auch digitale Methoden zur Interpretation von Fernerkundungsdaten haben ihre Vor- und Nachteile. Im Allgemeinen benötigt man für die visuelle Interpretation von Bildern auf Papier wenig spezielle Ausrüstung. Für die digitale Verarbeitung und Analyse braucht man zumindest einen Standard-PC und spezielle Software (z. B. Erdas Imagine, ER Mapper). Die visuelle Interpretation ist oft auf die Analyse von jeweils nur einigen Datenkanälen oder je ein Bild beschränkt, da es schwierig ist, mehrere Bilder gleichzeitig zu bearbeiten. Mit dem Computer ist es einfacher, komplexe Bilder aus mehreren Kanälen oder von mehreren Zeitpunkten zu bearbeiten. Somit ist die digitale Analyse für die

gleichzeitige Auswertung vieler Spektralbänder nützlich und kann große Datenvolumina viel rascher als der Mensch verarbeiten. Im Gegensatz zur computergestützten Analyse kann der Mensch vielfältige Kontextinformationen aufgrund seines Hintergrundwissens über das untersuchte Gebiet in die Auswertung einfließen lassen. Allerdings ist die visuelle Interpretation in gewissem Maße ein subjektiver Prozess, so dass mehrere Bearbeiter vielleicht zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen. Die digitale Analyse beruht auf der Verarbeitung digitaler Zahlen durch einen Computer, ist daher objektiver und führt generell zu konsistenteren Resultaten. Die Ermittlung der Gültigkeit und Genauigkeit der Ergebnisse der digitalen Verarbeitung kann jedoch schwierig sein.

Es ist wichtig zu beachten, dass sich visuelle und digitale Analysen von Fernerkundungsbildern nicht gegenseitig ausschließen. Beide Methoden haben ihre Vorzüge. In den meisten Fällen wird für gewöhnlich eine Kombination beider Methoden bei der Bildanalyse angewandt. Die letzte Entscheidung über die Nützlichkeit und Relevanz der Informationen, die man am Ende des Analyseprozesses erhält, muss noch immer von Menschen getroffen werden.

4.1.7 Vor- und Nachteile von Fernerkundungsbildern

Zweifellos stellt die Fernerkundung eine Datenquelle dar, die zu einem tieferen Verständnis der Prozesse auf der Erdoberfläche beiträgt.

Ihre Daten erlauben einen synoptischen Überblick über große Gebiete. Die Lage, die Verteilung und räumliche Beziehungen von Objekten auf der Erdoberfläche sind klar erkennbar. Somit können räumliche Beziehungen untersucht werden.

Die Fernerkundungssensoren erfassen einen größeren Teil des Spektrums als das menschliche Auge, wodurch es möglich ist, verschiedene Umweltphänomene auf der Erdoberfläche oder in der Atmosphäre zu erkennen und zu identifizieren, insbesondere wenn sich die Sensoren auf eine sehr spezifische Bandbreite konzentrieren.

Durch wiederholte Aufnahmen desselben Gebiets stellen die Daten eine einzigartige Quelle für Überwachungszwecke und das Erkennen von Veränderungen dar. Die Verwendung von Fernerkundungsdaten für die Überwachung erfordert die Einbeziehung einiger Erkenntnisse aus methodischen Arbeiten und Aufbereitungskapazitäten in Bezug auf geometrische und radiometrische Korrekturen, was zeit- und kostenintensiv ist.

Die Fernerkundung spielt auch eine wichtige Rolle bei der Regional- und Raumplanung, insbesondere wenn keine Basisdaten verfügbar sind und ein relativ kleiner Maßstab noch ausreicht.

Allerdings hängt die Verwendung von Satellitendaten und die Möglichkeit, zum Beispiel Bodenbedeckungsklassen zu erkennen und zu identifizieren, von der spektralen und räumlichen Auflösung der Satellitensensoren ab. Die räumliche Auflösung bestimmt den Arbeitsmaßstab. Satellitenbilder erlauben für gewöhnlich die Erstellung von Karten im Maßstab 1:50.000 oder 1:100.000. In einer stark strukturierten Landschaft ist zum Beispiel mit einer räumlichen Auflösung von 20 m x 20 m keine ausreichende Unterscheidung der Objekte, aus denen ein solches Gebiet besteht, möglich. Die relativ grobe räumliche Auflösung bedingt, dass aus Satellitenbildern abgeleitete Karten einen Maßstab aufweisen, der nicht immer zweckmäßig ist. Mit neuen hochauflösenden Satellitensystemen, wie IKONOS, kann diese Grenze drastisch herabgesetzt werden, so dass nun Karten mit einem Maßstab von bis zu 1:5.000 erstellt werden können.

4.2 Luftaufnahmen

Luftaufnahmen sind Schwarz-Weiß- oder Farbphotos der Erdoberfläche, die mit einer Kamera von einem Flugzeug, Hubschrauber oder Ballon aus auf Film aufgenommen werden (NASA 1999).

Bei der Fernerkundung ist es wichtig, zwischen den Begriffen „Bilder“ und „Photos“ zu unterscheiden. Ein Bild ist jede bildliche Darstellung, ungeachtet der Wellenlängen oder Fernerkundungsgeräte, die zur Erkennung und Aufzeichnung der elektromagnetischen Energie verwendet werden. Photos hingegen sind nur diejenigen Bilder, die auf photographischem Film erfasst und aufgezeichnet werden (Canadian Center for Remote Sensing 1999).

4.2.1 Prinzipien

Im Gegensatz zu Fernerkundungssensoren wird die von der Erdoberfläche reflektierte oder abgestrahlte elektromagnetische Energie von einer Kamera auf Film erfasst. Beim photographischen Prozess werden chemische Reaktionen auf der Oberfläche von lichtempfindlichem Film genutzt, um Energieunterschiede zu erkennen und aufzuzeichnen. Photos werden normalerweise im Wellenlängenbereich von $0,3 \mu\text{m}$ bis $0,9 \mu\text{m}$ — dem sichtbaren Teil und reflektierten Infrarotbereich — aufgezeichnet. Im Allgemeinen ist die Kamera vertikal auf den Boden gerichtet — gerade auf den Mittelpunkt des Photos (Fußpunkt).

Die Größe der Aufnahme, d. h. das erfasste Gebiet, hängt von technischen und optischen Parametern der Kamera (Brennweite, Bildgröße) und der Höhe der Plattform ab.

Der Maßstab bei Luftaufnahmen reicht von 1:60.000 (kleiner Maßstab) bis zu 1:1.000 (großer Maßstab).

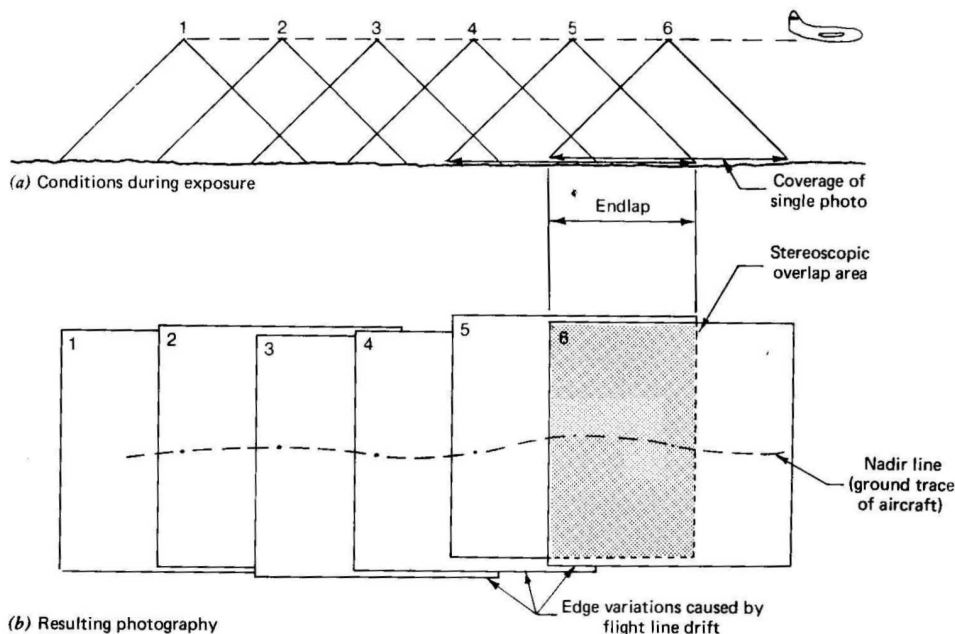


Abbildung 4.8: Photographische Erfassung entlang einer Flugbahn (LILLESAND und KIEFER 1994)

Ein Photo könnte auch durch einen einfachen Scanprozess in ein digitales Format umgewandelt und so dargestellt werden. Dabei wird das Bild in kleine Flächen gleicher Größe und Form (Pixel) unterteilt, wobei die Helligkeit jeder Fläche mit einem numerische Wert oder einer digitalen Zahl angegeben wird.

Obwohl sowohl Landkarten und Luftaufnahmen die Erde aus der „Vogelperspektive“ betrachten, sind Luftaufnahmen keine Karten. Karten sind orthogonale Darstellungen der Erdoberfläche, d. h. sie sind in Bezug auf Lage und Geometrie genau. Luftaufnahmen hingegen weisen ein hohes Maß an radialer Verzerrung auf. Die Topographie wird nicht richtig wiedergegeben, und somit sind die anhand eines Photos gemachten Messungen ungenau, wenn die Verzerrung nicht korrigiert wurde.

Typischerweise wird das aufzunehmende Gebiet in Hin- und Rückflügen überquert, was eine Überlappung von 60 % bei aufeinander folgenden und von 20 %-40 % bei nebeneinander liegenden Aufnahmen ermöglicht (siehe Abb. 4.8). Aufgrund der überlappenden benachbarten Photos können die Objekte auf der Erdoberfläche aus zwei verschiedenen Blickwinkeln betrachtet werden. Die dadurch entstehende Parallaxe erlaubt eine dreidimensionale (stereoskopische) Ansicht des Geländes und bietet Informationen über die Höhe einzelner Objekte oder die Altimetrie des gesamten Reliefs (Höhenlinien).

4.2.2 Arten von Luftaufnahmen

Schwarz-Weiß-Photos

Die Filmemulsion der Schwarz-Weiß-Photos unterscheidet sich etwas von Standardfilmen.

Der erste zuverlässige Schwarz-Weiß-Film wurde zu Beginn des 20. Jahrhunderts entwickelt. Mit der Entwicklung der Luftfahrt wurde das Zeitalter der Luftaufnahmen eingeleitet. Aufgrund einer langen Tradition verfügen nationale Kartierungsstellen über riesige historische Archive von Luftaufnahmen, die Einzelheiten in der Veränderung von Landschaften erkennen lassen.



Abbildung 4.9: Beispiel für eine Zeitreihe von Schwarz-Weiß-Photos von Westkreuz (Deutschland): 1952 – 1959 – 1964 (HANSA LUFTBILD, www.hansaluftbild.de)

Infrarot-Farbfilm

Infrarot-Farbfilm wird oft als „Falschfarbfilm“ bezeichnet. Im Gegensatz zu Schwarz-Weiß- und Farbfilmen ist seine Filmemulsion für Infrarotstrahlung empfindlich. Gesunde, grüne Vegetation reflektiert Infrarotstrahlung sehr stark und erscheint auf Infrarot-Farbphotos hellrot. Objekte, die normalerweise rot sind, erscheinen grün, während grüne Objekte (außer Vegetation) blau dargestellt werden. Die Infrarot-Farbphotographie wird primär für Vegetationsstudien und in der Forstwirtschaft eingesetzt (siehe Beispiel in Abb. 4.10).



Abbildung 4.10: Beispiel für Luftaufnahmen auf Farb- und Infrarot-Farbfilm von Odenwald (Deutschland) vom 30.7.1967, ursprünglicher Maßstab 1:14.000 (ALBERTZ 1991)

Orthophoto

Ein Orthophoto (Schwarz-Weiß-, Farb- oder Infrarot-Farbild) ist eine Luftaufnahme nach einer geometrischen Korrektur, so dass Bildverschiebungen aufgrund von Kameraneigung und Geländere relief eliminiert wurden. Somit weisen Orthophotos über das gesamte Bild einen konsistenten Maßstab auf und stellen aufgrund des Georeferenzierungsprozesses eine einheitliche räumliche Referenz in einem harmonisierten Format dar. Die Photos werden in digitalen Formaten angeboten, so dass sie ohne weitere Verarbeitung in geographische Informationssysteme (GIS) integriert werden können.

Durch ihren hohen Informationsgehalt (Pixel mit einer Größe von bis zu 0,25 cm) dienen sie als Quelle für sehr genaue Daten beim Abrufen von Informationen.

Im Rahmen des Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystems wurde ein umfangreiches Archiv von digitalen Orthophotos geschaffen, das Italien, Griechenland, Portugal, Irland, Dänemark, Belgien, Finnland, die südlichen Teile von Frankreich und rund 400.000 km² von Spanien abdeckt. Die gescannten Schwarz-Weiß-Bilder (erfasst im Maßstab 1:40.000) dienen dazu, Landwirte beim Ausfüllen der Anmeldevordrucke zu unterstützen. Sie werden aber auch von den einzelstaatlichen Behörden zur Validierung und Kontrolle verwendet, um Fehler bei den Angaben der Landwirte zu erkennen.

4.2.3 Grundlegende Aspekte der Interpretation von Luftaufnahmen

Luftaufnahmen werden vorwiegend visuell interpretiert. Grau- bzw. Farbtöne, ihre Variationen sowie die daraus entstehenden Muster bestimmen den Bildinhalt einer Luftaufnahme. Die folgenden grundlegenden Elemente können bei der Identifikation von Objekten auf Luftaufnahmen helfen.

Der **Ton** (auch als Farbton oder Farbe bezeichnet) bezieht sich auf die relative Helligkeit oder Farbe von Bildpunkten.

Die **Form** bezeichnet den allgemeinen Umriss von Objekten. Regelmäßige geometrische Formen sind für gewöhnlich Anzeichen für die Anwesenheit von Menschen und menschliche Nutzungen. Einige Objekte können beinahe alleine auf der Grundlage ihrer Form identifiziert werden.

Textur: Der Eindruck von „Glätte“ oder „Rauheit“ bei abgebildeten Objekten entsteht durch die Häufigkeit von Tonänderungen auf Photos. Dies wird durch eine Reihe von Objekten verursacht, die so klein sind, dass sie nicht einzeln identifiziert werden können. Gras, Beton und Wasser erscheinen im Allgemeinen als „glatt“, während die Baumkronen eines Waldes „rau“ erscheinen können.

Das von Objekten auf einem Photo gebildete **Muster** (räumliche Anordnung) kann aufschlussreich sein. Man bedenke bloß den Unterschied zwischen (1) dem zufälligen Muster eines nicht bewirtschafteten Baumbestands und (2) den regelmäßigen Baumreihen in einem Obstgarten.

Die **Lage** bezieht sich auf den topographischen oder geographischen Ort. Dieses Merkmal von Photographien ist bei der Identifikation von Vegetationsarten und Reliefs besonders wichtig.

Kombination: Einige Objekte kommen stets in Kombination mit anderen Objekten vor. So kann der Kontext eines Objekts Aufschluss darüber geben, worum es sich handelt. Ein Kernkraftwerk wird zum Beispiel (in der Regel) nicht inmitten von Einfamilienhäusern stehen.

4.2.4 Vor- und Nachteile

Zu den Vorteilen der Luftaufnahmen zählt ihre leichte Bearbeitung, für die keine komplexe Software oder Hardware erforderlich ist. Im Allgemeinen ermöglicht der große Maßstab der Bilder selbst die genaue Identifikation, Beschreibung und Abgrenzung von kleinen Objekten. Aufgrund ihres hohen Informationsgehalts stellen sie ausgezeichnete Datenquellen und Bezugsunterlagen dar und werden oft zur Unterstützung von großräumigen Bodenuntersuchungen verwendet. Durch die Verfügbarkeit von Orthophotos, die als Standardprodukt von Kartierungsbehörden angeboten werden, wird der Nutzen dieser primären Datenquelle noch weiter gesteigert.

Luftaufnahmen in einem großen Maßstab erfassen nur kleine Teile der Erdoberfläche, so dass eine große Anzahl von Photos erforderlich sein kann, um größere Gebiete abzudecken, was wiederum kostenintensiv ist.

Mit der neuen Generation von hochauflösenden Satellitensensoren (z. B. IKONOS) wird jedoch der Unterschied zwischen Luftaufnahmen und Fernerkundungsbildern bei der räumlichen und spektralen Auflösung kleiner, was die Bereitstellung hochwertiger Daten zum Vorteil der Nutzer ermöglicht.

4.3 Stichprobenerhebungen — Flächenstichproben

Ein alternativer Ansatz zum Beispiel zur Erfassung von Daten über Bodenbedeckung oder -nutzung oder von Informationen über den Agrarsektor (Erträge usw.) sind die Flächenstichprobenerhebungen. Im Gegensatz zu Fernerkundungserhebungen, bei denen das gesamte Gebiet kartiert wird, beruht das Flächenstichprobenverfahren auf der Auswahl und Beobachtung von repräsentativen „Gebietsstichproben“. Durch das Stichprobenverfahren soll eine gültige Verallgemeinerung ermöglicht werden, ohne dass das gesamte Untersuchungsgebiet studiert werden muss.

Flächenstichprobenerhebungen werden auf bestimmte Zwecke ausgelegt (Gruppe von zu untersuchenden Variablen) und in der landwirtschaftlichen Statistik häufig eingesetzt (siehe zum Beispiel FAO 1996; FAO 1998; COTTER und NEALON 1987).

4.3.1 Prinzipien

Das Flächenstichprobenverfahren kann als statistischer Ansatz betrachtet werden, der auf die Gewinnung statistischer Zahlen für eine vorgegebene Bezugs- oder Darstellungseinheit ausgerichtet ist. Sein Ziel ist es, von Stichprobenparametern die wahren Werte der Grundgesamtheit (gesamtes Untersuchungsgebiet) abzuleiten. Eine große Anzahl statistischer Regeln wurde entwickelt, um die Anwendung der Ergebnisse für die Stichprobe auf die ganze Grundgesamtheit zu ermöglichen.

Flächenstichprobenerhebungen werden definiert als „Stichprobenerhebungen, bei denen zumindest in der Endphase die Stichprobeneinheiten Landflächen sind“ (FAO 1996). „Die Einheiten einer Flächenstichprobenerhebung sind mit einem geographischen Gebiet direkt verbunden“ (GALLEGO 1995).

Im Folgenden werden einige elementare Merkmale des Flächenstichprobenverfahrens erläutert, um dem „statistischen Laien“ einen ersten Einblick in die Grundsätze zu bieten.

Stichprobeneinheiten

Beim Flächenstichprobenverfahren wird im Wesentlichen Land in Teile (primäre Stichprobeneinheiten) aufgegliedert, von denen ein Set repräsentativer Proben ausgewählt wird. Drei Haupttypen von Stichprobeneinheiten können unterschieden werden:

- Punkte
Punkte sind die einfachsten Stichprobeneinheiten und werden in einer Karte oder einer Luftaufnahme als Punkt dargestellt. Ihr Ort kann durch die geographischen Koordinaten exakt angegeben werden.
- Linien
Auch Linien können als Stichprobeneinheiten verwendet werden, um Objekte entlang eines Probestreifens auszuwählen, und werden in einer Karte oder Luftaufnahme als Linie dargestellt.
- Quadrate oder Polygone
Quadrate oder Flächen werden von Ökologen bei der Arbeit im Feld häufig verwendet und sind für geographische Stichprobenerhebungen der Vegetation von besonderem Interesse. Im Gegensatz

zu Punkten oder Linien sind Quadrate schwierig zu bearbeiten, da die genaue Position ihrer Grenzen nicht leicht erkennbar sein kann. Zur Überwindung dieses Problems werden Luftaufnahmen verwendet. In Bezug auf die Form können verschiedene Ansätze gefunden werden, die alle spezifische Vor- und Nachteile aufweisen. Quadrate oder unregelmäßige Vierecke, mit oder ohne erkennbare physische Grenzen etc.

Die ausgewählten Stichproben werden untersucht, d. h. Informationen über die interessanten Variablen (Anbaufläche oder Bodenbedeckung/-nutzung) werden gesammelt und abschließend für das ganze Gebiet oder die gesamte Bezugseinheit hochgerechnet.

Stichprobendefinition oder -plan

Für die Auswahl der Einheiten, die die Stichprobe ausmachen sollen, gibt es verschiedene Verfahren:

- Zufallsstichprobenverfahren,
- systematisches Stichprobenverfahren,
- geschichtetes Stichprobenverfahren.

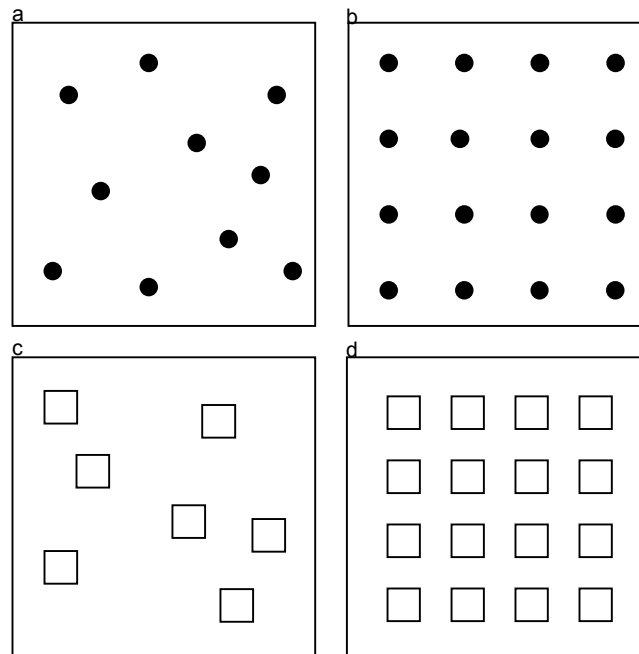


Abbildung 4.11: Beispiele für Stichprobeneinheiten (a, b: Punkte; c, d: Quadrate) und Auswahl durch das Zufalls- (a, c) und systematische Stichprobenverfahren (b, d)

Zufallsstichprobenverfahren

Dies ist die einfachste Methode zur Auswahl der zu beobachtenden Stichprobeneinheiten. Eine einfache Zufallsstichprobe wird in einem Prozess ausgewählt, bei dem jede mögliche Einheit dieselbe Chance auf Auswahl hat (Wahrscheinlichkeitsstichprobe). Die vorstehende Abbildung veranschaulicht, wie ein Gebiet in Stichprobeneinheiten (Rasterelemente) unterteilt wird, von denen eine Probe genommen und untersucht wird.

Systematisches Stichprobenverfahren

Bei dieser Methode wird nur die erste einzelne Einheit zufällig ausgewählt oder anhand von spezifischen Anforderungen festgelegt. Alle weiteren Stichprobeneinheiten werden ausgehend von der ersten in einem einheitlichen Intervall ermittelt.

Geschichtetes Stichprobenverfahren

Das geschichtete Stichprobenverfahren ist ein ausgefeilteres Verfahren zur Auswahl der Stichprobe, das besonders nützlich ist, wenn die zu untersuchenden Phänomene ungleichmäßig verteilt sind oder wenn das Untersuchungsgebiet sehr heterogen ist. Der Ansatz beruht auf einer Einteilung des gesamten Untersuchungsgebiets in mehrere vorgegebene Teilgebiete (Schichten), die in Bezug auf die räumliche Verteilung der relevanten Attribute und Merkmale homogener sind. Innerhalb der verschiedenen Schichten werden unabhängige Proben entweder zufällig oder systematisch ausgewählt.

Bei den meisten operationellen Flächenstichprobenerhebungen wird eine Schichtung berücksichtigt, um die statistische Genauigkeit zu verbessern und um die Stichprobendefinition an die spezielle lokale Situation anzupassen. Die Homogenisierung erfolgt anhand von Hintergrundwissen über spezifische Attribute, die die geographische Verteilung widerspiegeln. Bei landwirtschaftlichen Erhebungen sind solche **Schichten** zum Beispiel gewisse Merkmale der Bodenbedeckung/-nutzung. Die Abgrenzung von Schichten und Segmenten wird häufig durch die Verwendung von Satellitenbildern oder Luftaufnahmen erleichtert.

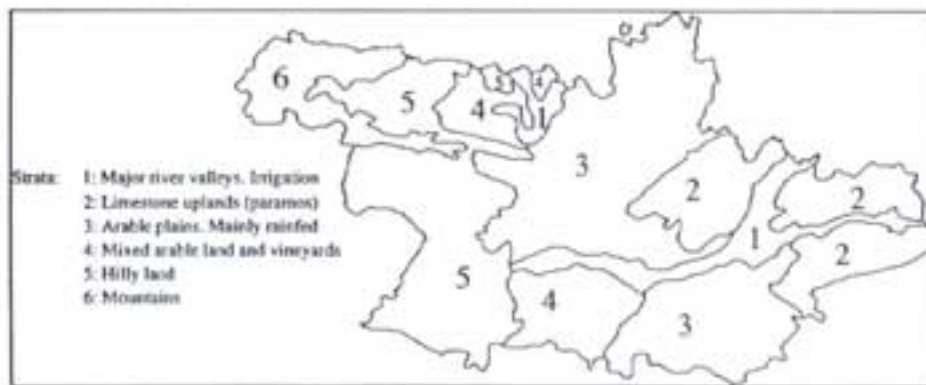


Abbildung 4.12: Beispiel für eine territoriale Schichtung auf der Grundlage der Bodennutzung und des Geländereiefs (TAYLOR et al. 1977)

Die Stichprobeneinheiten (Punkte, Linien, Flächen) und das Auswahlverfahren (zufällig, systematisch und geschichtet) stellen die grundlegenden Ansätze dar. Es gibt keine strengen oder standardisierten Regeln, die bei der Definition und Auswahl der Stichproben anzuwenden sind. In der Praxis wird die Stichprobendefinition von den zu beobachtenden Variablen, der erforderlichen statistischen Genauigkeit, den verfügbaren finanziellen und personellen Ressourcen sowie der zeitgerechten Bereitstellung von Ergebnissen bestimmt. Die verschiedenen Ansätze, die entwickelt wurden, stellen einen Kompromiss unter diesen Aspekten dar.

Größe der Stichprobe

Die Anzahl der zur Beobachtung ausgewählten Einheiten ist für den Stichprobenplan von entscheidender Bedeutung. Sie bestimmt die erforderliche Genauigkeit der geschätzten Merkmale der Grundgesamtheit. Die Entscheidung über die Größe der Stichprobe hängt jedoch auch vom Gebiet sowie den finanziellen und personellen Ressourcen, die für die Durchführung der Erhebung zur Verfügung stehen, ab.

Man kann davon ausgehen, dass die Genauigkeit der Schätzung bei zunehmender Größe der Stichprobe ansteigt.

Ergebnis

Im Gegensatz zu einem Kartierungsansatz liefert eine Stichprobenerhebung nur statistische Daten in Bezug auf eine spezifische Region. Bei jeder Stichprobenerhebung werden spezielle statistische Maße verwendet, um von der Stichprobe auf das gesamte Untersuchungsgebiet zu extrapolieren (z. B. Hochrechnungsfaktor). Die Kunst der Stichprobenauswahl besteht darin, den Mindestumfang zu finden, bei dem man ein zuverlässiges Resultat mit einem bestimmten Konfidenzniveau erhält. Die „beste“ Schätzung ist eine objektive mit der kleinsten Stichprobenvarianz.

Die Qualität oder Genauigkeit der Schätzungen kann mit verschiedenen statistischen Maßen, wie dem Standardfehler des Mittelwerts, beurteilt werden. Für die verschiedenen Stichprobenmethoden ist ein umfassendes Set statistischer Maße entwickelt worden, mit denen man die Ergebnisse beurteilen und schrittweise die Stichprobendefinition verbessern kann.

4.3.2 Vor- und Nachteile

Der Vorteil der Flächenstichproben besteht darin, dass nur Teile des Gebiets untersucht werden. Dadurch kann man sehr detaillierte und spezifische Informationen sammeln, die zum Beispiel von der Fernerkundung nicht geliefert werden können. Solche Erhebungen werden vorwiegend für landwirtschaftliche Schätzungen der Anbauflächen, aber auch für ökologische Zwecke durchgeführt.¹

Ein weiterer Vorteil des Flächenstichprobenverfahrens ist, dass die Erhebung relativ einfach durchführbar ist. Es ermöglicht die regelmäßige, zeitgerechte Lieferung (jährlich oder saisonal) zuverlässiger Daten.

Darüber hinaus ist es möglich, mittels Genauigkeitsschätzungen die Zuverlässigkeit und Effizienz zu beurteilen.

Vom konzeptionellen Standpunkt aus liefern Flächenstichproben Statistiken, die für die allgemeine politische Entscheidungsfindung wertvoll sind. Für die konkrete Planung (z. B. Bodennutzungsplanung) auf lokaler Ebene, wo umfassende kartographische Daten erforderlich sind, sind diese Informationen von relativ geringer Bedeutung.

Die von Flächenstichprobenerhebungen gelieferten Informationen beziehen sich nur auf vorab definierte Darstellungseinheiten, die in der Regel administrative Einheiten sind. Eine räumliche Aggregation auf einer höheren Ebenen kann vorgenommen werden, während eine Zerlegung in kleinere Einheiten unmöglich ist. Diese Beschränkung fehlt bei umfassenden Karten, bei denen die Daten beinahe nach beliebigen Kriterien zusammengefasst werden können (z. B. administrative und landschaftliche Einheiten, Wasserscheiden usw.).

¹ Ökologische Flächenstichprobe (ÖFS) in Deutschland, „Countryside Survey“ im VK.

4.4 Administrative Daten

4.4.1. Datenintegration mittels administrativer und statistischer Register

Denkt man an die Definition der Bodennutzung, die in der Einleitung zu diesem Handbuch vorgestellt wurde, sollte klar sein, dass nur ein eingeschränktes Set von Bodennutzungsparametern durch die Fernerkundung und Luftaufnahmen beobachtet werden kann.

Die Statistik wird sich mit der funktionalen Dimension befassen und die Nutzung von Flächen nach ihrem sozioökonomischen Zweck beschreiben müssen. Diese Informationen können durch Erhebungen oder Zählungen zusammengetragen werden und/oder aus bereits bestehenden Datensammlungen in administrativen und statistischen Registern, insbesondere für verbaute Gebiete (Siedlungen), entnommen werden.

Ob administrative Daten für die Statistik genutzt werden können, hängt stark vom ursprünglichen Zweck der Register ab. Dieser muss ausreichend „bedeutend“ sein, damit eine hohe Datenqualität im Bereich von Genauigkeit und Aktualität gewährleistet ist. Ferner müssen die in den Registern enthaltenen Informationen über die Bodennutzung für diesen Zweck relevant sein. So werden zum Beispiel in Grundbüchern zwar Bodennutzungsinformationen gesammelt, aber nicht der wichtigste Teil davon. Die Angaben zum Eigentümer werden sicherlich aktualisiert, aber dies trifft nicht unbedingt auf die Bodennutzungsdaten zu. Ein weiteres Beispiel ist das Integrierte Verwaltungs- und Kontrollsystem, dessen Informationen über die Bodennutzung höchst relevant sind, in dem aber die Registerdaten nicht die ganze statistische Grundgesamtheit der Landwirte abdeckt, sondern nur diejenigen, die eine Förderung beantragen.

Die Einführung von GIS-Tools und georeferenzierter Informationen aus Registern hat neue und bedeutende Datenquellen für die Bodennutzungsstatistik erschlossen. Registerinformationen, die auf Tätigkeitsdaten und technischen Angaben über Gebäude und Grundstücke beruhen, können alleine oder in Kombination mit Beobachtungen aus Satellitenbildern/Orthophotos verwendet werden, um eine gute umfassende Datenquelle für die Erstellung von Bodennutzungsstatistiken aufzubauen.

4.4.2. Prinzipien

Das Hauptprinzip besteht in der Verknüpfung von physischen Flächeneinheiten und der vorherrschenden sozioökonomischen Nutzung, die die Flächen geprägt hat. Dies kann dadurch erreicht werden, dass man sowohl geocodierte als auch georeferenzierte Registerinformationen aus einem Register für landwirtschaftliche Betriebe, Gebäude- und Wohnungsregister oder einem Unternehmensregister (zum Beispiel Art der Tätigkeit, Beschäftigte, Umsatz) mit georeferenzierten Informationen aus einem Gebäude- und Grundstückregister (zum Beispiel Art und Größe der Gebäude und Grundstücke) verknüpft.

Die Adresse oder Katasternummer des Grundstücks wird normalerweise als wesentliche Verbindung zwischen den verschiedenen Registern fungieren, so dass Informationen über die Tätigkeit usw. mit den Koordinaten von Gebäuden oder Grundstücken zusammengeführt werden können. Ist eine hochwertige, harmonisierte Verwendung von Adressen nicht möglich, können Näherungen für die Geocodierung benutzt werden, z. B. kleine Rasterfelder oder Zählbezirke/statistische Basiseinheiten, Straßenteile.

Es ist sehr wichtig, dass man klare Strategien für die endgültige Nutzung und die Zwecke der erstellten Statistik hat. Manchmal kann eine weniger genaue Georeferenzierung für den Endbenutzer „ausreichend“ sein und kosteneffiziente Lösungen bieten.

Größere Gebiete, in denen unter den Standortklassen eine bestimmte Bodennutzung vorherrscht, können in einem GIS zum Beispiel zu Industrie- oder Wohngebieten aggregiert werden.

Gebiete, die nach der Bodennutzung klassifiziert wurden, können schließlich mit digitalen Bahn- und/oder Straßendatenbanken kombiniert und in Modellen verknüpft werden, in denen über Netzwerkanalysen die Wechselwirkungen zwischen Bodeneinheiten verfolgt werden können.

4.4.3. Vor- und Nachteile

Die Vorteile dieser Methode zur Sammlung von Informationen über die Bodennutzung bestehen in der direkten Verknüpfung zwischen Statistiken über menschliche Aktivitäten und den dadurch beeinflussten Flächen. Eine Verbindung zwischen der Klassifikation über die Bodennutzung und der Klassifikation der SITC oder NACE kann sichergestellt werden.

In dem Maße, wie immer mehr Informationen georeferenziert werden, können demographische und wirtschaftliche Parameter auf Mikroebene direkt mit der Bodennutzung verknüpft werden. Dies bildet einen umfassenden Datenbestand für die Überwachung und Analyse des Zustandes und der Veränderung der Bodennutzung und ermöglicht es, wichtige Hintergrundinformationen über Belastungen und Antriebskräfte zu gewinnen.

Diese Methode zur Aggregation der Bodennutzungsstatistik ist außerdem kosteneffizient, und durch die Einführung von GIS erhält die Nutzung von administrativen und statistischen Registern eine neue Dimension. Da diese Register auch laufend aktualisiert werden, stellen sie gute Quellen für die Erfassung der Dynamik in verbauten Gebieten dar.

Ein Nachteil besteht darin, dass die in den Registern gespeicherten Informationen in Hinblick auf Vollständigkeit, Qualität und Aktualität nicht immer die erforderliche Güte aufweisen. Register decken auch nicht alle Gebiete ab, die eigentlich als verbaut eingestuft werden sollten. Normalerweise ist es schwierig, georeferenzierte Informationen über Grünanlagen in städtischen Gebieten oder große asphaltierte Flächen, auf denen aber keine Gebäude stehen (z. B. Teile von Industriegebieten, Parkplätze und große Häfen), in einem Register zu finden. In gewissem Maße wird erwartet, dass zu diesem Zweck Daten aus topographischen Karten in großem Maßstab in Gegenüberstellung zu Katasterkarten herangezogen werden.

Nicht alle Informationen aus den Registern können verwendet werden, da der Prozess der Georeferenzierung unter Umständen nicht erfolgreich ist. Beim Abgleichen von Registern erhält man normalerweise einige Daten, für die es keine Entsprechung gibt und deren manuelle Bearbeitung sehr kostspielig sein kann.

Eine Verallgemeinerung vom Standort eines einzigen Gebäudes auf größere Gebiete mit beinahe homogener Bodennutzung hängt von einer Reihe von Kriterien und Voraussetzungen ab, die stets in Frage gestellt werden können. Überdies gehen bei jeder Generalisierung einige Informationen verloren.

5. INFORMATIONSANFORDERUNGEN — DATENSPEZIFIKATION

5 INFORMATIONSANFORDERUNGEN — DATENSPEZIFIKATION

Die Gestaltung der Politik und die Entscheidungsfindung beruhen auf Informationen. Je besser die Qualität der Informationen, d. h. angemessen für die Politik und ausreichend vollständig in Hinblick auf thematische Detailliertheit und geographische Abdeckung, desto realistischere und zweckmäßigere Entscheidungen können getroffen werden. Im Allgemeinen geben Politiker und Entscheidungsträger ihren Informationsbedarf nicht in Form von Datenspezifikationen bekannt. Bestenfalls beschreiben sie das Problem und die Informationen, die zur Erarbeitung der Politik und zur Begründung bestimmter Entscheidungen erforderlich sind. Die Aufgabe des Statistikers ist es, diesen „Informationsbedarf“ zu interpretieren, in konkrete Datenspezifikationen zu **übersetzen** und dann die entsprechenden Zahlen unter Verwendung des statistischen Informationssystems bereitzustellen. Andererseits ist es für einen Statistiker äußerst schwierig, im Vorhinein potentielle Informationsanforderungen, ihre Bedeutung und die Prioritäten der Nutzer zu beurteilen.

Zur Erleichterung dieses entscheidenden Prozesses ist ein **Dialog** zwischen Politik / Entscheidungsträgern und Statistikern unabdingbar. Der Statistiker benötigt **multidisziplinäres Fachwissen** in den verschiedenen Politikbereichen, um das Problem zu verstehen, die von Politikern gebrauchten Indikatoren richtig zu definieren und um die **Spezifikationen** für die erforderlichen **Daten**, die in diese Indikatoren einfließen sollen, **festzulegen**.

Entscheidungsträger auf europäischer Ebene müssen zum Beispiel die Auswirkungen der Gemeinsamen Agrarpolitik überwachen, um Beschlüsse über ihre Fortsetzung oder Veränderung fassen zu können. In dem abzuhaltenden Dialog wird das Problem näher eingegrenzt. Wenn zum Beispiel die wirtschaftliche Lage der Landwirte beobachtet wird, um direkte Einkommensbeihilfen zu rechtfertigen, können Statistiken über das Nettoeinkommen der Landwirte, die Beschäftigung von Familienmitglieder usw. interessant sein. Wenn ökologische Fragestellungen im Mittelpunkt stehen, z. B. die Verschmutzung von Grundwasser, dann sind Statistiken über Düngemiteleinsatz, Bodentypen sowie Kategorien der Bodennutzung und -bedeckung relevant. Der Statistiker muss in der Lage sein, Daten zur entsprechenden Thematik mit einer angemessenen geographischen Aufschlüsselung für diese Indikatoren innerhalb des statistischen Informationssystems zu finden.

5.1 Was ist die erforderliche „Informationsebene“?

Spricht man über den Datenbedarf der Politiker oder Entscheidungsträger, sollte man zwischen den verschiedenen Politikebenen (regionale, nationale und internationale Maßnahmen) und der Art der zu treffenden Entscheidung (konkrete Maßnahmen oder „nur“ der Aufbau bestimmter Rahmenbedingungen und Programme) unterscheiden. Sie alle weisen sehr spezifische Anforderungen an Daten oder Informationen in Bezug auf zwei grundlegende Aspekte auf: einen **thematischen** und einen **geographischen** Aspekt.²

Aus **thematischer Sicht** bezeichnet die „Informationsebene“ im Allgemeinen die **Detailliertheit**.

Eine „niedrige“ Informationsebene bei den Bodenbedeckungskategorien bedeutet zum Beispiel eine einfache Unterscheidung zwischen „verbautem Gebiet“ und „nicht verbautem Gebiet“. Eine ähnlich „niedrige“ Ebene der Bodennutzungskategorien wäre „Siedlungsflächen“, „landwirtschaftlich genutzte Flächen“ und „bewaldete Flächen“. Bei der Bereitstellung von Statistiken mit niedriger Detailliertheit sind die Spezifikationen für die erforderlichen Daten bei der *Bodenbedeckung* viel einfacher zu beschreiben als bei der *Bodennutzung*.

Informationen auf einer hohen Ebene würden sich zum Beispiel auf eine detaillierte und stark aufgeschlüsselte Klassifikation der Bodenbedeckung in der Landwirtschaft beziehen.

Thematisch stark aufgeschlüsselte Informationen sind die Grundlage für einen zweckmäßigen Entscheidungsfindungsprozess sowohl auf internationaler Ebene als auch für lokale Maßnahmen. Die Bezeichnung „europäische Ebene“ bedeutet nicht unbedingt, dass die erforderliche Detailliertheit

² Der in der Statistik verwendete Begriff „Ebene“ sollte nicht mit dem „Maßstab“ in der Kartographie verwechselt werden.

niedrig ist. Ganz im Gegenteil ist für solche Zwecke im Allgemeinen eine ziemlich hohe thematische Detailliertheit erforderlich, z. B. Brachflächen (z. B. förderungswürdige unbepflanzte landwirtschaftliche Flächen, die nun eventuell für nachwachsende Energiepflanzen genutzt werden — hohe Detailliertheit in Bezug auf Kategorien und räumliche Angaben —; für einen bestimmten Zeitraum brachliegende Flächen — hohe zeitliche Detailliertheit).

Die folgende Tabelle zeigt CLUSTERS (Classification of Land Use Statistics — Eurostat Remote Sensing programme), eine Pilotnomenklatur, die von Eurostat im Rahmen seines Programms „Fernerkundung und Statistik“ entwickelt wurde (Eurostat 1996).

Tabelle 5.1: Beispiel für thematische Detailliertheit: CLUSTERS — Pilotnomenklatur für die Bodennutzungsstatistik (Eurostat 1996)

| | Ebene I | | Ebene II | | Ebene III | | Ebene IV | | |
|-----|-------------------------------------|------|---|------|--|------|---|------|-----------------------|
| A | Siedlungsflächen | A1 | Wohngebiete und öffentliche Einrichtungen | A11 | Wohngebiete | A111 | Dichtbebaute zusammenhängende Wohngebiete | | |
| | | | | | | A112 | Zusammenhängende Wohngebiete mittlerer Dichte | | |
| | | | | | | A113 | Unzusammenhäng. Wohngebiete mittlerer Dichte | | |
| | | | | | | A114 | Einzelne Wohngebiete | | |
| | | | | | | A115 | Wohngebiete charakt. durch Hochhauswohnanlagen | | |
| | | | | A12 | Öffentliche Verwaltung und andere Körperschaften | A120 | Öffentliche Verwaltung und andere Körperschaften | | |
| | | A2 | Industrie- und Gewerbeflächen | A20 | Industrie- und Gewerbeflächen | A201 | Für die industrielle Tätigkeit der Schwerindustrie genutzte Flächen | | |
| | | | | | | A202 | Für andere industrielle Tätigkeiten genutzte Flächen | | |
| | | | | | | A203 | Vom Handel und den Finanzdienstleistungen genutzte Flächen | | |
| | | | | | | A204 | Flächen, auf denen sich landwirtschaftliche Betriebe befinden | | |
| | | A3 | Technische und Verkehrsinfrastruktureinrichtungen | A31 | Technische Infrastruktureinrichtungen | A311 | Versorgungsflächen und Schutzanlagen | | |
| | | | | | | A312 | Flächen der Abfall- und Abwasseraufbereitung | | |
| | | | | A32 | Verkehr | A321 | Straßenverkehrsflächen | | |
| | | | | | | A322 | Schienerverkehrsflächen | | |
| | | | | A323 | Luftverkehrsflächen | | | | |
| | | | | A324 | Fluss- und Seeschiffahrtsverkehrsflächen | | | | |
| | | A4 | Bergbau, Bauflächen, Deponien und Brachflächen | A41 | Bergbau | A410 | Bergbauflächen | | |
| | | | | | | A42 | Baustellen, Deponien und Brachflächen | | |
| | | | | | | A421 | Baustellen | | |
| | | | | A422 | Deponien | | | | |
| | | A423 | Brachflächen | | | | | | |
| A5 | Freizeit- und Erholungsflächen | A50 | Freizeit- und Erholungsflächen | A501 | Historische Stätten, Schlösser, kulturelle Einricht. | | | | |
| | | | | A502 | Sportanlagen | | | | |
| | | | | A503 | Grünanlagen | | | | |
| B | Landwirtschaftlich genutzte Flächen | B1 | Ackerland | B11 | Körnergetreide | B110 | Körnergetreide | | |
| | | | | | | B12 | Hackfrüchte und Handelsgewächse | | |
| | | | | B13 | Gemüse, Blumen und Zierpflanzen | B131 | Körnerhülsenfrüchte | | |
| | | | | | | B132 | Frischgemüse | | |
| | | | | | | B133 | Blumen und Zierpflanzen | | |
| | | B14 | Brachland einschließlich Gründüngung | B140 | Brachland einschließlich Gründüngung | | | | |
| | | B2 | Landwirtschaftlich genutztes Grünland | B21 | Wechselgrünland und Futterwiesen | B210 | Wechselgrünland und Futterwiesen | | |
| | | | | | | B22 | Dauerwiesen und -weiden | | |
| | | | | | | B23 | Ertragsarme Weiden | | |
| | | B3 | Dauerkulturen | B31 | Obstbäume und Sträucher | B310 | Obstbäume und Sträucher | | |
| | | | | | | B32 | Zitrusfrüchte | | |
| | | | | | | B33 | Oliven | | |
| | | | | | | B34 | Rebflächen | | |
| | | | | | | B35 | Baumschulen | | |
| | | | | | | B36 | Industrielle Dauerkulturen | | |
| | | C | Bewaldete Flächen | C1 | Holzbodenflächen | C11 | Sommergrüne Laubbäume | C110 | Sommergrüne Laubbäume |
| | | | | | | C12 | Immergrüne Laubbäume | C120 | Immergrüne Laubbäume |
| C13 | Nadelwälder | | | | | C130 | Nadelwälder | | |
| C14 | Intensiv genutzte Waldflächen | | | | | C140 | Intensiv genutzte Waldflächen | | |
| C2 | Sonstige Waldflächen | | | C21 | Kahlschläge | C210 | Kahlschläge | | |
| | | | | C22 | Sonstige unproduktive Flächen | C220 | Sonstige unproduktive Flächen | | |

| | | | | | | | |
|------|---|-----|---|------|----------------------|------|---|
| D | Busch und Kraut- vegetation | D1 | Strauchvegetation | D10 | Strauchvegetation | D101 | Strauchvegetation in gemäßigten, arktischen und Bergregionen |
| | | | | | | D102 | Strauchvegetation mit Xerophyten |
| | | D2 | Krautvegetation | D20 | Krautvegetation | D201 | Wiesen und Grasland der gemäßigten, arktischen und Bergregionen |
| | | | | | | D202 | Steppen und Trockengrasländer |
| E | Flächen mit wenig oder keiner Vegetation | E0 | Flächen mit wenig oder keiner Vegetation | E01 | Unbewachsene Flächen | E011 | Felsen und Geröllhalden |
| | | | | | | E012 | Dünen, Strände |
| | | | | | | E020 | Gletscher und Gebiete ewigen Schnees |
| | | E03 | Abgebrannte Flächen | E030 | Abgebrannte Flächen | | |
| F | Feucht- gebiete und Wasser- flächen | F1 | Feuchtgebiete | F10 | Feuchtgebiete | F101 | Sumpfgelände |
| | | | | | | F102 | Moore |
| | | | | | | F103 | Sonstige Feuchtgebiete |
| | | F2 | Binnengewässer | F20 | Binnengewässer | F201 | Fließgewässer und stehende Gewässer |
| | | | | | | F202 | Fischzuchtgewässer |
| | | F3 | Küstengewässer | F30 | Küstengewässer | F301 | Flussmündungen, Lagunen |
| F302 | Fischgewässer, Muschelzuchtgewässer | | | | | | |

Aus **geographischer Sicht** bezieht sich die „Ebene“ der statistischen Informationen auf die geographische Aufschlüsselung, zum Beispiel eine Darstellungseinheit in einem regionalen statistischen Bezugssystem. Eine Darstellungseinheit ist die Einheit, in der statistische Daten abgebildet werden. Sie können verschiedene zeitliche (Intervall) und räumliche (Regionen) Dimensionen aufweisen. In Bezug auf den räumlichen Aspekt sind statistische Daten in einem geographischen Ausmaß „geocodiert“, z. B. eine bestimmte Stadt oder ein Ort, eine Region oder ein ganzes Land oder eine Gruppe von Staaten wie die Europäische Union. Es wird erwartet, dass die statistischen Informationen für die gesamte geographische Ausdehnung dieses regionalen Bezugssystems **harmonisiert und vergleichbar** sind. Auf europäischer Ebene ist das regionale Bezugssystem NUTS³ (Nomenclature des Unités Territoriales Statistiques — Systematik der Gebietseinheiten für die Statistik).

³ Bei Statistiken auf „europäischer Ebene“ müssen die Zahlen für alle Mitgliedstaaten der EU auf einer bestimmten regionalen Gliederungsebene harmonisiert werden und vergleichbar sein (NUTS-Ebenen: „europäische“ Ebene = nationale Daten = Ebene NUTS 0 = 15 Mitgliedstaaten, NUTS I = 77 Regionen, NUTS II = 206 Provinzen, NUTS III = 1031 Kreise, NUTS IV = 1074 Bezirke und NUTS V = 98433 Gemeinden).

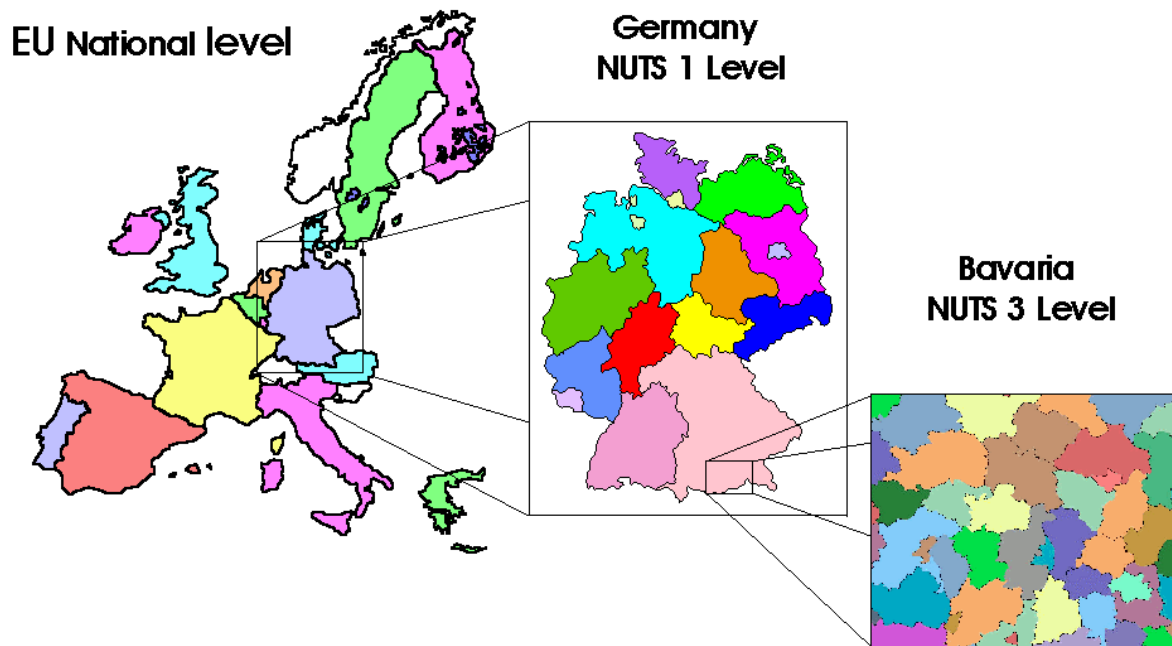


Abbildung 5.1: Beispiel für räumliche Detailliertheit: NUTS-Ebene 0 = EU-Mitgliedstaaten, NUTS-Ebene 1 in Deutschland (= Länder) und NUTS-Ebene 3 in Bayern (= Kreise)

Beim räumlichen Aspekt des Informationsbedarfs kann man zwischen der Gestaltung der allgemeinen Politik und der Planung konkreter Maßnahmen unterscheiden. Für die internationale und nationale Ebene sind räumlich aggregierte statistische Daten ausreichend. Auf lokaler Ebene, insbesondere für die konkrete Planung, ist eine hohe räumliche Aufschlüsselung erforderlich, d. h. je stärker sich die Politik der lokalen Dimension annähert, desto wichtiger wird ein Kartierungsansatz.

In der folgenden Graphik wird versucht, die allgemeine Tendenz zu veranschaulichen und zusammenzufassen: je höher die Politikebene, desto mehr räumlich aggregierte statistische Daten werden benötigt.

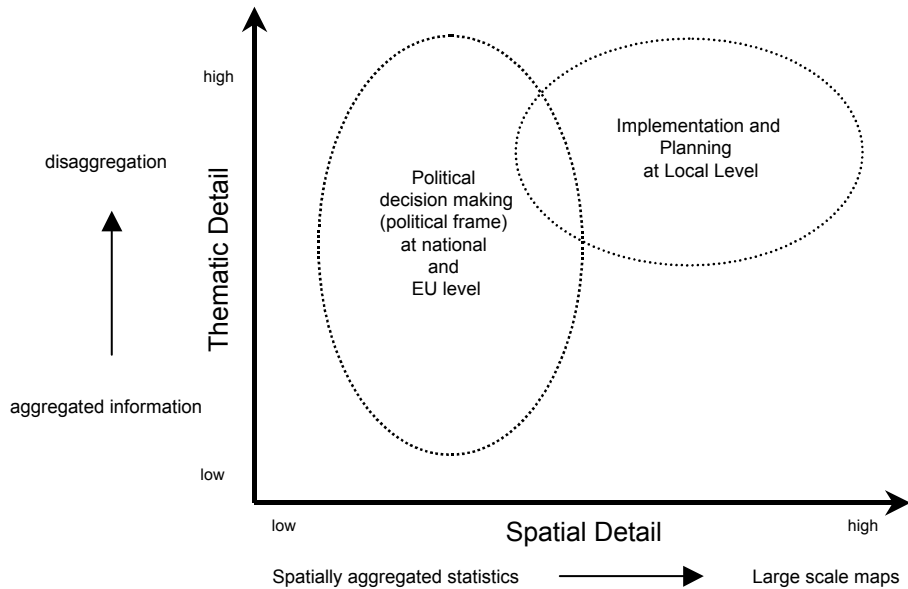


Abbildung 5.2: Datenanforderungen und -spezifikationen auf verschiedenen Politikebenen

5.2 Mehrzweckinformationssysteme

Statistische Informationssysteme sind darauf ausgerichtet, die **(grundlegenden) Quelldaten** zur Befriedigung des Informationsbedarfs verschiedener Nutzer in mehreren Themenbereichen zu befriedigen. Eine beschränkte Anzahl grundlegender Datenbestände, deren Spezifikationen räumlich und zeitlich konsistent sind, kann als eine flexible Datenquelle für Anwendungen in verschiedenen Fachbereichen betrachtet werden.

Viele wirtschaftliche und demographische statistische Indikatoren, die von Entscheidungsträgern benötigt werden, beruhen zum Beispiel auf grundlegenden Datenbeständen, z. B. Einwohnerzahl, Alter, Bildung, Einkommen usw. Durch diese Mehrfachnutzung steigt die allgemeine Kosteneffizienz des statistischen Systems, da viele Nutzer einen Beitrag zur Deckung der Kosten für die Erhebung, Verarbeitung, Verbreitung etc. der Daten und somit zu den gesamten Kosten des statistischen Systems leisten.

Im Bereich der Statistik über Bodenbedeckung/-nutzung ist die Situation derzeit leider etwas anders. Auf europäischer Ebene gibt es keinen mehrfach verwendbaren Datenbestand sondern zahlreiche Informationssysteme, die für den spezifischen Datenbedarf bestimmter Nutzergruppen in Bezug auf die Beschreibung spezieller Phänomene (z. B. in der Landwirtschaft, Umwelt) entwickelt wurden. Für Bodennutzung und -bedeckung in Europa wurden über 70 Systeme aufgebaut (CROI 1999).

Sie dienen alle demselben Zweck: der Bereitstellung von Informationen über Bodennutzung und -bedeckung. Praktisch ist ihr Inhalt aber so unterschiedlich, dass die Informationen in der Regel nicht miteinander verglichen werden können. Die Situation verschlimmert sich noch, wenn man versucht Informationen über Bodennutzung und -bedeckung für andere Themenbereiche als die Umwelt zu verwenden.

Die Ursachen und Folgen dieser unbefriedigenden Situation können folgendermaßen kurz zusammengefasst werden (JANSEN, L.J.M.; A. DI GREGORIO 1999):

- Sektoraler Ansatz, der an spezifische regionale Bedingungen angepasst wurde

Viele Informationssysteme folgen einem sektoraler Ansatz, der für bestimmte Nutzeranforderungen erarbeitet und an besondere lokale Bedingungen angepasst wurde.

Deshalb ist ihre Fähigkeit, die gesamte Bandbreite möglicher Bodenbedeckungsklassen zu definieren, beschränkt.

Aufgrund des spezifischen Zwecks wird oft ein bestimmter Maßstab und ein spezielles System für die Datensammlung (z. B. Fernerkundungsdaten) gewählt. In einigen Fällen (z. B. Bodenbedeckungsklassen auf der Grundlage der Daten von NOAA AVHRR) können die abgeleiteten Klassen direkt von den Mitteln abhängen, die für das Abrufen der Daten verwendet werden.

- **Konsistenz**

Die meisten Informationssysteme über Bodenbedeckung/-nutzung weisen interne Inkonsistenzen auf.

Oft werden die Kriterien für die Erstellung von Klassen nicht systematisch angewandt, oder die Klassen sind ungenau und mehrdeutig oder gar nicht definiert. Die Art der Diagnosekriterien und ihre Anordnung zur Bildung einer Klasse behindert oft das Ziehen klarer Grenzen zwischen den Klassen. Dies ist jedoch eine Grundanforderung, die jedes System erfüllen muss.

Für gewöhnlich wird nicht die vollständige Kombination der Diagnoseelemente, die eine Klasse beschreiben, berücksichtigt, da die Anwendung aller Kombinationen der möglichen Klassifikationskriterien zu einer riesigen Zahl von Klassen führen würde, die mit den aktuellen Methoden der Klassenbeschreibung nicht bewältigt werden kann. Deshalb entstehen bei den aktuellen Systemen oft Lücken in der systematischen Anwendung der Diagnosekriterien.

Diese Inkonsistenzen führen dazu, dass die Klassendefinition der verschiedenen Klassifikationen unklar ist, oder bedingen Überlappungen oder Lücken.

Manchmal arbeiten die Informationssysteme nicht mit einer systematischen Klassifikation sondern vielmehr mit bloßen Legenden, so dass nur ein Teil der insgesamt möglichen Klassen beschrieben wird. Der Nutzer kann nicht auf ein Klassifikationssystem zurückgreifen, wodurch es unmöglich ist, Vergleiche mit anderen Systemen durchzuführen.

Die oben angeführten Nachteile veranschaulichen, dass die Kompatibilität unter den Klassifikationssystemen oder zwischen Klassifikationen und Legenden geringer als erwartet ist. Doch gleichgültig wie nützlich die derzeit verwendeten Klassifikationssysteme für ihre spezielle Aufgabe auch sein mögen, beeinträchtigen die erwähnten Nachteile die Möglichkeit einer Verwendung solcher Klassifikationsergebnisse durch einen großen Nutzerkreis für eine Vielzahl von Anwendungen.

Die Entwicklung von Mehrzweckinformationssystemen sollte verstärkt werden, um diese unbefriedigende Situation zu überwinden.

Ein Mehrzweckinformationssystem über Bodennutzung und -bedeckung hat vielfältige Ziele. Die aus einem solchen System abgerufenen Informationen sollten:

- durch harmonisierte Daten vergleichbare Angaben zu Bodennutzung und -bedeckung liefern und
- generische Angaben zur Bodennutzung und -bedeckung bieten, die für spezifische Zwecke in verschiedenen Themenbereichen adaptiert werden können, so dass sich unterschiedliche Nutzer auf denselben grundlegenden Datenbestand stützen können.

Der potentielle Nutzen eines solchen Systems liegt in den möglichen Synergieeffekten. In Zeiten knapper Ressourcen kann durch die Entwicklung eines einzigen und harmonisierten Informationssystems über die Bodenbedeckung/-nutzung Geld, Zeit und Personal sparsam eingesetzt werden.

6. DATENBEARBEITUNG UND -MANIPULATION

6 DATENBEARBEITUNG UND -MANIPULATION

6.1 Generalisierung und Aggregation

6.1.1 Generalisierung

Die Generalisierung ist „eine Verringerung der Detailliertheit oder eine Vereinfachung der Realität“.

In der *KARTOGRAPHIE* bezieht sich die Generalisierung auf geometrische und thematische Merkmale von Karten. Karten sind Abbildungen der Realität und können so nicht „alle Einzelheiten“ enthalten beziehungsweise wären sie, wenn sie es könnten, durch ihre hohe Komplexität unverständlich. Der **Prozess der Generalisierung** besteht in einer Vereinfachung, Auswahl und Klassifikation.

Vereinfachung

Alle Objekte haben an sich drei Dimensionen: Länge, Breite und Höhe. Da gedruckte Landkarten zweidimensional sind, geht die Höhe (z) verloren. Geographische Objekte können folgendermaßen vereinfacht werden:

| | | |
|---------|----|--|
| Flächen | 2D | Polygone können ausgefüllt werden, um sie von Linien zu unterscheiden (z. B. Seen) |
| Linie | 1D | Bögen können mit einem Muster versehen werden, um sie von Grenzen zu unterscheiden (z. B. Straßen) |
| Punkt | 0D | Punkte (z. B. ein markanter Ort) |

Eine Vereinfachungsmethode ist das VERKLEINERN: Mit abnehmendem Maßstab (z. B. von 1:50.000 auf 1: 500.000) verlieren Objekte immer mehr an Ausdehnung.

Flächen -> Linien, z. B. Flüsse und Straßen, die bei einem großen Maßstab als Flächen mit zwei Linien dargestellt werden, werden nun durch einfache Linien abgebildet.

Flächen -> Punkte, z. B. Stadtgrenzen schrumpfen zu einem Punktsymbol.

Linien -> Punkte, z. B. Brücken

Einzelheiten von Linien und Flächen sowie die Gesamtzahl von Punkten, Linien und Flächen nehmen ebenfalls ab.

Auswahl

Eine andere Art der Generalisierung besteht darin, Merkmale in Einklang mit dem Zweck der Karte (topographische, thematische Karten) auszuwählen und alle anderen außer Acht zu lassen. Die Anzahl der beibehaltenen Elemente hängt, abgesehen vom Thema, vor allem vom Kartenmaßstab ab: halbiert sich der Kartenmaßstab, so sinkt die gesamte Kartenfläche auf ein Viertel, und die Anzahl der Elemente (Punkte, Linien und Flächen) verringert sich dementsprechend.

Der Auswahlprozess umfasst Folgendes:

- Thematisch: Aggregation (Zusammenfassung mehrerer Elemente, am häufigsten bei Flächen)
Elimination (Entfernen bestimmter Elemente)
- Geometrisch: Glättung (Entfernen von Einzelheiten bei Form oder Umfang)

Klassifikation

Zwar haben die meisten Objekte individuelle Merkmale (keine zwei Baumbestände sind identisch und auch Städte sind nicht gleich groß), doch müssen sie zur leichteren Verständlichkeit und Darstellbarkeit zu Klassen zusammengefasst werden. Es gibt drei Arten der Klassifikation oder Gruppierung von Daten:

- nominal: nach dem „Typ“ oder qualitativ, z. B. Waldarten, Öl- im Gegensatz zu Gaspipelines, Gebäudearten;
- ordinal: eine Reihung (implizit nach der Größe), z. B. Brandgefahr — hoch, mittel, niedrig; Straßenhierarchien (Straßen erster und zweiter Ordnung, Wege);
- Intervall: quantitativ nach der Größe, z. B. Städte nach Einwohnerzahl, Menge beim Niederschlag. Dies kann in Summen, Verhältniszahlen, Dichten oder Prozentsätzen angegeben werden.

6.1.2. Aggregierung

In der *STATISTIK* bedingt die Aggregierung implizit eine Generalisierung oder eine Abnahme der Detailliertheit. Zwei Aspekte sind zu berücksichtigen:

- die thematische Dimension, z. B. Kombination mehrerer Variablen zu einem „Aggregat“ oder einem „Indikator“ (= Komprimierung von Information) oder Addition der Zahlen für die Bodenbedeckung auf verschiedenen hierarchischen Ebenen einer Klassifikation auf einer übergeordneten Ebene (z. B. bei CORINE Land Cover die Zusammenfassung von 44 Klassen auf der dritten Ebene zu 15 Klassen auf der zweiten Ebene),
- die räumliche Dimension, z. B. Addition (oder Berechnung des Durchschnitts) von Zahlen, die sich auf kleine Darstellungseinheiten beziehen, für größere Flächen (obere Ebenen des regionalen Bezugssystems), ohne dass dabei die Bedeutung verändert wird.

Daten aus Erhebungen werden normalerweise räumlich aggregiert, um die statistische Geheimhaltung zu gewährleisten.

Bei der Verwendung von Karten in der Statistik ist eine wesentliche Unterscheidung zu beachten:

- Thematische oder statistische Kartierung

Statistiken werden auf generalisierten Karten präsentiert (digitales oder analoges Format). Ausgewählte Merkmale, meist Grenzen von Bezugsregionen, und Toponymie sind für eine solche statistische oder thematische Kartierung ausreichend. Dies bedeutet nicht, dass auch der statistische Inhalt der Karten „verallgemeinert“, d. h. aggregiert, wurde. In stark generalisierten Karten mit kleinem Maßstab können sehr genaue Statistiken dargestellt werden.

- Karten oder geographische Daten als Input für die Statistik

In Bezug auf die Verwendung geographischer Daten für die Vorbereitung statistischer Erhebungen sind geometrisch präzise und genaue Informationen meist in einem großen Maßstab erforderlich, z. B. zur Ermittlung von Gebäuden oder Parzellen. Der Erheber benötigt viel mehr Merkmale, um die Beobachtungseinheit zu finden, z. B. Abgrenzung von Gebäuden, Parzellengrenzen aus dem Kataster, Verkehrsnetz, markante Punkte, Wasserwege usw. Dadurch wird die Qualität der erstellten Statistik beeinflusst.

6.2 Datenintegration

„Der Prozess, bei dem bestehende Datenquellen in einem einzigen Rahmen zusammengefasst werden, wird als Datenbasisintegration bezeichnet“ (DEVOGELE 1998).

Im Bereich der Informationen über Bodenbedeckung / -nutzung weisen die Daten einen räumlichen Aspekt auf. Für die Verarbeitung geographischer Daten wurden spezielle Softwaretools in Kombination mit Datenbanksystemen entwickelt, nämlich die so genannten Geographischen Informationssysteme (GIS). Ein GIS ist (GOODCHILD 1997):

- ein System zum Eingeben, Speichern, Manipulieren und Ausgeben geographischer Informationen;
- ein Softwaretyp;
- in einem praktischen Anwendungsfall eine Kombination aus Software, Hardware, Daten, einem Nutzer usw. zur Lösung eines Problems, zur Unterstützung der Entscheidungsfindung und der Planung.

Ein GIS erlaubt die Datenintegration mittels des geographischen Bezugs der Daten. Informationen aus unterschiedlichen Quellen, die dasselbe Gebiet beschreiben, können über die geographische Dimension zusammengeführt werden. Dabei sind folgende Probleme von großer Bedeutung:

- Verstehen der Bedeutung (Semantik) der Daten,
- Erarbeiten einer Entsprechung zwischen ähnlichen Inhalten (d. h. Aufbau des Klassifikationssystems) und
- Auswählen angemessener Datenverarbeitungsmethoden.

Die Datenintegration ist im Zusammenhang mit dem **Informationssystem**, in unserem Fall zur Bodenbedeckung und -nutzung, zu sehen. Ein solches Informationssystem erfordert traditionellerweise folgende Elemente:

- **Klassifikation:** Ordnen der Objektgruppen (Klassen) in einer Struktur (meist hierarchisch), die die Beziehungen zwischen den Klassen definiert.
- **Nomenklatur:** Benennen und detailliertes Beschreiben der Eigenschaften von Bodenbedeckungs- und Bodennutzungsarten, um die Zuordnung von Individuen (Grundstücke, Biotopen, Gebäuden) zu Objektgruppen (Bedeckungs- und Nutzungsklassen) zu ermöglichen.
- **Einstufung:** Zuordnen von Individuen zu einer Objektgruppe.

Die Umsetzung (Schaffung) eines solchen Informationssystem kann in folgende Phasen unterteilt werden:

- **Design- und Entwicklungsphase** für die oben angeführten Elemente, in der auch Spezifikationen, wie Datenmodell und Datenbankstruktur, das Qualitätsmanagement⁴, Aktualisierungsverfahren, die Datenverwaltung und die Verbreitungspolitik festgelegt werden.
- **Datenerfassungsphase:** Auswahl der entsprechenden Methodik und Techniken für die Datenerfassung, Anwendung vorgegebener Regeln auf die zu klassifizierenden Objekte, interne Qualitätskontrollen (die Datenintegration ist ein Verfahren zur Schaffung neuer Informationen durch die Kombination verschiedener Quelldaten).
- **Qualitätskontrolle:** Anwendung von Verfahren zur Kontrolle der Datenqualität.
- **Verbreitung:** Organisation der Datenverbreitung (physische Verbreitung, Unterstützung der Nutzer usw.).

⁴ Das Qualitätsmanagement, das in enger Beziehung zum Projektmanagement steht, umfasst die Prüfung und Revision der Umsetzung, den Aufbau einer Metadatenbank usw.

- **Aktualisierung und Pflege der Daten:** Durchführen von Aktualisierungsverfahren (nicht unbedingt dieselbe Methodik wie in der ersten Datenerfassungsphase), einschließlich Qualitätsmanagement und -kontrolle der Datenbank.

Verschiedene Fachgebiete, wie Land- und Forstwirtschaft, Ökologie, Regional- und Stadtplanung usw., benötigen Informationen über Bodenbedeckung oder -nutzung je nach Verwendungszweck in Einklang mit sektorspezifischen Parametern. Die Datenbestände sind beinahe so zahlreich wie die Projekte, für die Informationen über Bodenbedeckung und -nutzung benötigt werden (in Europa mehr als 70 auf nationaler oder internationaler Ebene (CROI 1999)). Diese verschiedenen „Informationssysteme“ enthalten Daten, die kaum vergleichbar oder kompatibel sind. Dies führt insgesamt zu einer niedrigen Kosteneffizienz.

Es wäre optimal, ganz von vorn anzufangen und in Feldaufnahmen Basisdaten mit sehr hoher Präzision und Genauigkeit zu sammeln, wie dies für die deutsche Datenbank ATKIS (Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem) vorgeschlagen wurde. Da dies sehr kostspielig und zeitaufwendig ist, beschlossen die deutschen Behörden, die bestehenden topographischen Karten (Maßstab 1:25.000) zu digitalisieren.⁵

Die Integration bereits bestehender Datenbestände aus verschiedenen Quellen ist eine weitere Möglichkeit zur Verbesserung der Kosteneffizienz. Die Entscheidung für eine Anwendung der Datenintegration zum Aufbau eines neuen Datenbestandes hängt stark vom Zweck und den Zielen ab. Diese Ziele müssen ebenso sorgfältig analysiert werden wie die Auswirkungen des Prozesses der Datenintegration auf die Qualität und Zuverlässigkeit des Ergebnisses.

6.2.1. Phasen der Datenintegration

Der Prozess der Datenintegration besteht im Allgemeinen aus folgenden Phasen (nach DEVOGELE 1998):

Sammlung und Vorbereitung

Diese Phase umfasst alle erforderlichen Tätigkeiten, die auf die Integration verschiedener Datenbestände ausgerichtet sind:

- Ermitteln und Sammeln der relevanten Daten (einschließlich Metadaten) aus verschiedenen Quellen,
- Umwandeln aller Daten in ein einheitliches Format (Harmonisierung heterogener Datenmodelle in ein gemeinsames Modell auf logischer Ebene, Konvertierung von Vektor- in Rasterdaten und umgekehrt auf technischer Ebene),
- Ergänzen von Datenbeschreibungen, damit die künftigen Nutzer die Qualität der integrierten Datenbank zur Gänze verstehen können, z. B. explizite Beschreibung der verwendeten Kartenprojektion, des benutzten Bezugssystems und der angewandten Umwandlungsverfahren etc.,
- Erarbeiten von globalen (für die gesamte Datenbank) und lokalen Thesauren (für jede Quelle).

Korrespondenzanalyse

Die Analyse der Korrespondenzen zwischen verwandten Datenkategorien und das Erkennen von Konflikten umfasst die Ermittlung und genaue Beschreibung aller Entsprechungen zwischen den verschiedenen Daten auf i) der Ebene der Beschreibungen (Metaebene) und ii) der Objektebene

⁵ Die „optimale“ Datenerfassung erfolgt parallel dazu mit einem regelmäßigen und kontinuierlichen Aktualisierungsprozess für die Basiskarten (1:5.000).

(Datenebene). Es gibt halbautomatische Verfahren und Werkzeuge zur Analyse von Ähnlichkeiten, die Unterstützung bei Entscheidungen über Entsprechungen anhand von Wissen und dem Verstehen der Bedeutung der Daten (= Semantik) bieten. Darüber hinaus hilft eine Zusammenarbeit mit Fachleuten aus dem Bereich der Quelldaten beim Verstehen der Daten und dem Festlegen von Konvertierungstabellen.

Die Korrespondenzanalyse für verschiedene Quelldatenbeständen führt zu Empfehlungen / Leitlinien in Hinblick darauf, welche Datenbestände integriert werden können, welche Manipulationen für die Integration durchzuführen sind und welche Daten überhaupt nicht integriert werden können.

Harmonisierung

Auf thematischer Ebene müssen die Kategorien oder Klassen der Bodenbedeckung und -nutzung gemäß den Ergebnissen der Korrespondenzanalyse harmonisiert werden. Dies ist der schwierigste und problematischste Teil der Datenintegration. Auf technischer Ebene sind geographische Daten zu harmonisieren, um eine synoptische Analyse zu ermöglichen (z. B. Überlagerung): Abgleichen von Punkten und Linien (Polygonumrissen) aus verschiedenen Quellen in Bezug auf ähnliche Objekte, z. B. ein Flussnetz aus einer topographischen Karte und aus der Klassifikation eines Satellitenbildes, Grenzen von Ackerland aus Bodennutzungsdaten und entsprechende Grenzen aus Waldgebietdaten usw. Dies ist einer der zeitaufwendigsten Schritte der Datenintegration.

Zusammenführung

Die Zusammenführung bedeutet eigentlich, dass aus zwei (oder drei ...) Datenbeständen ein einziger wird.

Zum Beispiel können **Mittelpunkte** von Gebäuden aus einem Register mit ihren Attributen (= Punktdaten) mit den Gebäudeumrissen aus einem Datenbestand mit einem großem Maßstab wie einem Stadtplan im Maßstab 1:5.000 (= Liniendaten) zusammengelegt werden, so dass eine Datenschicht für das verbaute **Gebiet** (Polygondaten) entsteht. Diese neue Datenschicht kann noch durch einen weiteren digitalen Datenbestand für bewaldete Flächen, der einen bestimmten Maßstab sowie eine spezifische Definition, Präzision und Genauigkeit — in Hinblick auf die thematische Zuverlässigkeit — aufweist und mit einer bestimmten Methode zusammengestellt wurde, ergänzt werden.

Generalisierung

Die Datenintegration bedingt selbstverständlich eine geometrische und thematische Generalisierung, damit Daten mit unterschiedlichen Spezifikationen und Maßstäben zusammengeführt werden können.

Generalisierungsverfahren können auch bei der Aufbereitung der Daten für unterschiedliche Anwendungen hilfreich sein. Abbildung 6.1 fasst diesen Prozess zusammen.

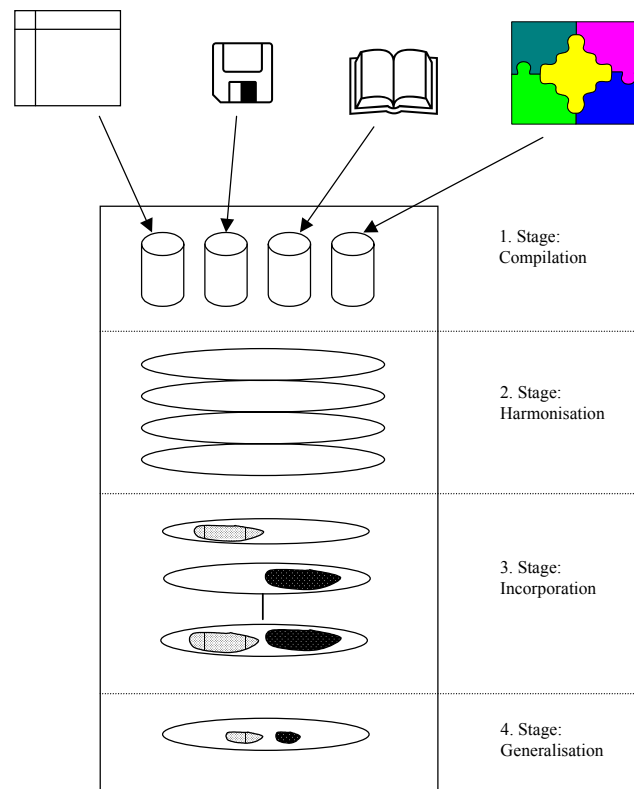


Abbildung 6.1: Schematische Darstellung der Datenintegration

6.2.2. Probleme der Datenintegration

Wie bereits erwähnt, sind in diesem Zusammenhang mehrere Arten von Problemen in Bezug auf die technischen Fragen des Integrationsprozesses, auf die beim Aufbau der Quelldaten angewandten Konzepte und Beobachtungsmethoden sowie auf die Datenqualität des neuen Datenbestands zu lösen.

Im Folgenden werden einige dieser Probleme kurz angesprochen.

Konzeptionelle Probleme

Inkompatible Systemparameter der Quelldaten

Die Konzeption der Grundelemente der Datenquelle, die Auswahl des Ansatzes zur Datenerfassung, die Parameter und die angewandten Methoden müssen von den spezifischen Anforderungen und vom Zweck bestimmt werden.

Informationen, die bei der Erhebung bestehender Systeme in Europa zusammengetragen wurden, zeigten hingegen, dass die Gestaltung vieler Systeme an das Potential der Datenquelle und der für den Aufbau der Datenbestände verwendeten Erfassungstools angepasst wurden, insbesondere wenn die Daten aus der Erdbeobachtung stammen („Land Cover Map“ für Großbritannien, CORINE Land Cover, Waldkarte für Europa auf der Grundlage der Daten von NOAA-AVHRR usw.).

Klassifikationssysteme

Aufgrund von Unterschieden bei der Definition der Klassen in bestehenden Systemen sind die verschiedenen Quelldatenbestände meist nicht direkt vergleichbar oder nicht einmal kompatibel. Die detaillierten Definitionen der Klassen für Bodenbedeckung und -nutzung müssen analysiert werden, um eine eventuelle Umgruppierung der Daten zu ermöglichen. Bei dieser Korrespondenzanalyse ist dem angestrebten Zweck des neuen Datenbestands große Aufmerksamkeit zu widmen. Sie sollte von

einem multidisziplinären Team durchgeführt werden, dessen Mitglieder über Fachwissen in den verschiedenen Bereichen der Quelldaten verfügen (z. B. Agrarstatistiker, Förster, Ökologen oder Stadtplaner). Das Ergebnis der Analyse sind Regeln für die neuerliche Klassifizierung und Konvertierungstabellen, die die Verbindung zwischen den Nomenklaturen aufzeigen.

Für die Erstellung von Brücken oder Schnittstellen zwischen Nomenklaturen gibt es mehrere Ansätze: ITE-Ansatz — Erstellung einer „Baseline Nomenclature“; Eurostat-Ansatz mit Kern- und Randbereichen; FAO-Ansatz — Definition von Klassifikationskriterien für Bodenbedeckung und -nutzung.

Unterschiedliche Ansätze für die Datenerfassung: Kartierung und Statistik

Das statistische Stichprobenverfahren und die Kartierung sind Ansätze mit einer unterschiedlichen Konzeption für das Sammeln von Daten über Bodenbedeckung und -nutzung.

Die Kartierung — im eigentlichen Sinn — bietet den Vorteil, dass alle relevanten Gebiete vollständig erfasst werden. Für die potentiellen Anwendungsgebiete der Daten ist dabei der geometrische Maßstab von großer Bedeutung: Daten in einem großen Maßstab (1:1.000-1:10.000) sind in Bezug auf die Geometrie und eventuell auch auf die thematische Detailliertheit äußerst genau, was für die Verwaltung von Grundstücksdaten und die lokale/Stadtplanung erforderlich ist; Daten in einem kleineren Maßstab (ab 1:50.000) bieten Informationen mit einer Generalisierung in Hinblick auf die thematische und räumliche Genauigkeit, was für die Regionalplanung und Umweltüberwachung notwendig ist. Nachteilig am umfassenden Kartierungsansatz sind die hohen Kosten und der Zeitaufwand für die Erfassung großer Gebiete.

Stichprobenverfahren sind weniger kostspielig und bieten je nach Erhebungsmethode detaillierte Informationen über Bodenbedeckung und -nutzung in kurzer Zeit. Ein Nachteil der Stichprobendaten ist eine grobe räumliche Auflösung in Hinblick auf Darstellungseinheiten — man sollte in diesem Zusammenhang nicht vom Maßstab sprechen — in Abhängigkeit von der Stichprobenmethodik und einer eventuellen Schichtung, d. h. die Informationen sind für ein „künstliches“ regionales Bezugsgebiet repräsentativ und nicht wie beim Kartierungsansatz für einen genau definierten, georeferenzierten Standort.

Die Folgen einer Integration dieser unterschiedlichen Arten von Daten müssen sorgfältig analysiert und bei Anwendungen berücksichtigt werden. Für spezifische Zwecke kann die Integration dieser verschiedenartigen Daten äußerst nützlich sein (z. B. die anhand mehrerer Quellen erstellte Bestandsaufnahme finnischer Wälder, TOMPPÖ 1992).

Mit der Beobachtung verbundene Probleme

Unterschiedliche Methoden zur Datenerfassung und -verarbeitung

Je nach Ansatz werden die bestehenden Quelldaten mit unterschiedlichen Methoden erfasst. Bei statistischen Erhebungen stammen die Daten im Allgemeinen aus Untersuchungen und Befragungen vor Ort über Fragebögen oder die Messung von Variablen. Die Ergebnisse der statistischen Erhebungen hängen stark von Stichprobenstrategie und -definition sowie von den Qualifikationen des Erhebers ab. Bodenuntersuchungen können sehr genaue Informationen über eine begrenzte Anzahl von Stichproben (Punkte, Segmente) liefern.

Die Erstellung von Karten in großem Maßstab erfordert sehr präzise und genaue Daten aus Feldaufnahmen, während für große Gebiete meist Erdbeobachtungsdaten, wie zum Beispiel Luft- oder Satellitenbilder, visuell interpretiert oder auf irgendeine Weise digital verarbeitet werden, um sie nachzubearbeiten oder Datenbestände aufzubauen.

Die Ergebnisse der Interpretation von Bodenbedeckung und -nutzung anhand von Bildern werden von den Fähigkeiten und der Erfahrung des Bearbeiters und den verfügbaren Zusatzinformationen stark beeinflusst. Die Ableitung von Statistiken aus solchen Daten ist aufgrund von Verzerrungen durch systematische Nicht-Stichprobenfehler (keine Kompensation von Auslassungs- oder Zuordnungsfehlern) und aufgrund der Mindestgröße der interpretierten Polygone nicht empfehlenswert (GALLEGO und CARFAGNA 1998). Die Parameter, die bei der automatischen oder halbautomatischen Verarbeitung angewandt werden, werden dokumentiert und ermöglichen so eine Wiederholung des Prozesses, doch das Festlegen der Parameter beruht auf den Fachkenntnissen des Bildauswerters und ist somit wiederum subjektiv.

Die Integration von Daten, die anhand verschiedener Methoden gesammelt wurden, hat erhebliche Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit des aufgebauten Datenbestands. Wird eine solche Integration durchgeführt, muss die Datenverarbeitung genau dokumentiert werden, damit die Nutzer beurteilen können, ob der integrierte Datenbestand für ihre Zwecke nützlich ist.

Unterschiedliche Maßstäbe und thematische Detailliertheit der Daten

Karten bilden ein vereinfachtes Modell der Realität im betreffenden Gebiet ab. Die Objekte werden klassifiziert und durch Symbole auf Papier dargestellt. Karten in großem Maßstab enthalten mehr Objekte und Symbole sowie mehr Einzelheiten hinsichtlich der Attribute mit einer relativ hohen geometrischen Präzision und Genauigkeit. Hingegen bieten Karten in kleinem Maßstab nur verallgemeinerte Informationen und sind grundsätzlich in Bezug auf Inhalt und Nomenklatur nicht sehr reichhaltig.

In einem digitalen geographischen Informationssystem (GIS) werden die Grenzen des Papierformats überwunden. Bei einem idealen digitalen GIS sollten die gespeicherten Daten in Feldaufnahmen mit einer sehr hohen geometrischen Präzision und Genauigkeit sozusagen maßstabsfrei gesammelt werden. Aufgrund der Kosten und des hohen Zeitaufwands für die Erfassung großer Gebiete werden heute Daten aus bestehenden Karten in verschiedenen Maßstäben digitalisiert, so dass die geometrische Präzision / Genauigkeit der Daten vom ursprünglichen Maßstab der Quelldaten und von der Erfassungsmethode abhängt.

Die Zusammenfassung von geographischen Daten in kleinem Maßstab — also von Daten „geringer Qualität“ in Hinblick auf thematische Reichhaltigkeit (aggregierte Bedeckungs- oder Nutzungsklassen) und geometrische Genauigkeit — zu einem Datenbestand verschärft das Problem der Klassifikationssysteme (in Bezug auf die Entsprechung zwischen den Klassen) und trägt nicht viel zur Schaffung von mehrfach verwendbaren Informationen bei. Je stärker die Daten aggregiert sind (d. h. je weniger detailliert sie sind), desto weniger nützlich sind sie bei der Weiterverarbeitung für Mehrzweckanwendungen. Der kleinste Maßstab unter den Quelldatenbeständen bestimmt die geometrische Präzision und Genauigkeit des aus der Integration hervorgehenden geographischen Datenbestands.

Die geometrische Auflösung von Satellitenbildern entspricht zum Beispiel der Pixelgröße, die vom Sensortyp, den Umlaufparametern der Satellitenplattform und vom Boden (Höhe, Reliefenergie) abhängt. Diese Daten können in unterschiedlichen Maßstäben dargestellt werden, aber die geometrische Auflösung, zum Beispiel 30 m x 30 m für Landsat-TM-Bilder, und der Inhalt ändern sich nicht. Die Informationen über die Bodenbedeckung, die aus solchen Satellitendaten abgeleitet werden, übernehmen diese Geometrie. Beim Integrieren kleiner Objekte aus anderen Datenquellen, z. B. geographische Punktdaten aus einem Register, ist die Standort-/Lagegenauigkeit sehr wichtig.

Der Generalisierungsprozess kann als eine Normalisierung der beiden Aspekte betrachtet werden: der thematische und geometrische Inhalt wird normalisiert, was die Integration von Inputdaten mit unterschiedlichem Maßstab ohne übermäßige geometrische Verzerrung der Outputdaten ermöglicht, sofern der Maßstab der Outputdaten kleiner als der kleinste Maßstab der Inputdaten ist.

Daten aus unterschiedlichen Zeiträumen

Die Verwendung von Quelldaten, die nicht zum selben Zeitpunkt (oder in einem kurzen Zeitraum) gesammelt wurden, führt zu zeitlichen Inkonsistenzen im Datenbestand. Daten über eine Region des untersuchten Gebiets wurden zum Beispiel 1988 und für andere Regionen im Jahr 1994 gesammelt.

Veränderungen können nur dann erkannt werden, wenn für jede Gebietseinheit das Datum bekannt ist. Die Schweizer Arealstatistik beruht zum Beispiel auf der Interpretation von Punkten (auf der Grundlage eines Rasterfelds von 1 ha) auf Luftbildern für die gesamte Schweiz, die im Zeitraum 1979/85 und 1992/97 aufgenommen wurden (BUNDESAMT FÜR STATISTIK 1996).

Probleme in Bezug auf Qualität und Genauigkeit

Die Beurteilung der Qualität der Datenintegration ist ein schwieriges Unterfangen. Damit der Nutzer die „Eignung“ (= Qualität) des Datenbestands für seine Zwecke beurteilen kann, benötigt er vor allem

Informationen über die Verfahren, die zum Aufbau der Daten verwendet wurden, was Teil der so genannten „Metainformationen“ ist. Die Qualitätssicherung muss Analysen über die Fortpflanzung von Fehlern umfassen, die schon in den Ausgangsdaten enthalten und die über den Integrationsprozess und die Generalisierung eingeflossen sind. Eine Beurteilung der Genauigkeit ist hinsichtlich der geometrischen Genauigkeit und der thematischen Richtigkeit durchzuführen.

Metainformationen und Datenherkunft

Bei jedem Datenbestand sollten detaillierte Angaben über den Ansatz, den Zeitpunkt und die Methode der Datenerfassung, die angewandten Datenverarbeitungsverfahren, die vom Datenlieferanten durchgeführte Genauigkeitsbeurteilung in Bezug auf räumliche und thematische Aspekte, technische Formate usw. vorliegen (HUNTING 1997). Diese Metainformationen sind für die Datenintegration von entscheidender Bedeutung. Erst seit kurzem beschäftigen sich verschiedene Einrichtungen mit der Entwicklung von Normen für Metadaten, z. B. das Europäische Komitee für Normung im CEN/TC 287 mit einer Metadatennorm, die Internationale Normungsorganisation ISO in ISO/TC 211 oder MEGRIN mit dem „Geographic Data Description Directory“ (GDDD — Verzeichnis zur Beschreibung von geographischen Daten).

Beurteilung der thematischen Genauigkeit

Die Beurteilung der thematischen Genauigkeit eines Datenbestands ist ein komplexer, aber notwendiger Teil seines Aufbaus. Bei integrierten Datenbeständen ist dies aufgrund der verschiedenen Fehlerquellen und aufgrund der Datenverarbeitung selbst viel schwieriger als bei Daten aus einer einzigen Quelle. Bei Statistiken über Bodenbedeckung und -nutzung wird die Richtigkeit der Daten zum Beispiel durch eine doppelte Erhebung für eine Stichprobe der Befragungen geprüft, wodurch man die Genauigkeit in einem definierten Konfidenzintervall berechnen kann, oder es erfolgt wie bei der Schweizer Arealstatistik eine doppelte Interpretation jedes Punktes durch verschiedene Fachleute und Feldaufnahmen. Die thematische Genauigkeit der Daten über die Bodenbedeckung / -nutzung, die aus Satellitenbildern stammen, wird in der Regel mit Hilfe von „Bodenverifikationsdaten“ über Flächenstichproben aus Bodenaufnahmen oder anderen Quellen beurteilt.

In Bezug auf die Fehlerfortpflanzung bei der Integration verschiedener Arten von Daten ist eine gründliche Analyse potentieller Fehlerquellen in räumlichen Datenbanken durchzuführen, z. B. Berechnungs-, Spezifikations-, Stichproben-, Mess- oder stochastische Fehler.

Beurteilung der geometrischen Genauigkeit

Die Methode zur Erfassung der ursprünglichen Daten und der Maßstab der Quelldaten bestimmen die geometrische Präzision und Genauigkeit. Bei ihrer Beurteilung muss die Art der Datenverarbeitung berücksichtigt werden (Digitalisieren oder Scannen, Resampling, geometrische Entzerrung für verschiedene geographische Koordinaten und Projektionssysteme, Generalisierungsverfahren usw.).

Eine solide Methodik für die Beurteilung der geometrischen Genauigkeit umfasst zum Beispiel Kontrollpunkte unter Verwendung von Messungen aus Bodenaufnahmen, topographischen Karten oder GPS (Global Positioning System, amerikanisches Satellitennavigationssystem). Sogar bereits georeferenzierte Daten sollten zumindest einer Sichtkontrolle unterzogen werden. Nach Möglichkeit sollte ein Georeferenzierungsprotokoll angefordert werden, in dem die Bezugskarte, der Maßstab, das Datum und das Projektionssystem angegeben sind. Lagefehler sind am besten an linearen Objekten (Straßen, Flüssen) und nicht an Polygonen zu erkennen, da letztere verschiedene Objektgrenzen aufweisen, die von der Nomenklatur abhängen.

Fehler aufgrund der Generalisierung

Das Ziel der Generalisierung ist eine Vereinfachung, durch die der Umfang der räumlichen und thematischen Informationen verringert wird (JAAKKOLA 1998). Dies bedingt zwangsläufig, dass Fehler in geographische Datenbestände einfließen. Ein statistischer Vergleich der — nicht generalisierten — Inputdaten mit den generalisierten Outputdaten zur Veranschaulichung des Generalisierungsgrades ist nicht ausreichend.

Bei der Beurteilung von Generalisierungsfehlern sollte auch analysiert werden, wie ein Gebiet während des Generalisierungsprozesses von einem Bedeckungstyp zu einem anderen „wandert“ (ähnlich wie bei der Analyse des Wählerstroms von einer Partei zu einer anderen bei einer Wahl) und wie Objekte, z. B. Inseln oder Seen, verloren gehen.

Technische Probleme

Quelldaten aus einem unterschiedlichen Umfeld

Die Konvertierung und Rückführung aller Daten zum Beispiel in das Rasterformat führt nicht zur selben geometrischen und thematischen Genauigkeit, wenn der Aspekt des geometrischen Maßstabs nicht sorgfältig berücksichtigt wird. Analog dazu erhält man auch bei der Vektorisierung von Rasterdaten nicht genau dieselbe Darstellung wie bei den Quelldaten, wenn die Parameter nicht gründlich geprüft werden.

Resampling auf dieselbe Pixelgröße

Das Resampling der Daten auf Felder derselben Größe im Rasterformat birgt die Gefahr, dass Daten in großem und kleinem Maßstab vermischt werden. Es erleichtert die Datenverarbeitung, aber die „wahre“ Genauigkeit und Detailliertheit der Daten muss bei der Verwendung der Daten beachtet (und in den Metadaten dokumentiert) werden. So wird zum Beispiel durch das Resampling von Satellitenbilddaten mit einer ursprünglichen Pixelgröße von 30 m x 30 m (Landsat TM) auf 25 m x 25 m die Präzision und Genauigkeit nicht angehoben.

Digitalisierung analoger Daten

Für die Umwandlung analoger Landkarten auf Papier in ein digitales Format gibt es mehrere Methoden:

- Scannen: Karten werden mit spezifischen Parametern gescannt (z. B. Scanauflösung von 300 dpi (Punkte pro Zoll), Farbauflösung von 30 Bit). Gescannte Karten im Rasterformat müssen für die Integration in GIS weiter verarbeitet werden, z. B. Georeferenzierung, Extraktion linearer oder räumlicher Objekte, eventuell Vektorisierung usw.
- Digitalisierung über ein Digitalisieretablett: Geographische Objekte aus Karten werden mit spezifischen Parametern digitalisiert und georeferenziert (z. B. Auflösung von 2540 lpi (Zeilen pro Zoll), Genauigkeit von 0,15 mm). Je nach Digitalisierungssoftware können Attribute direkt hinzugefügt werden.
- Digitalisierung am Bildschirm: Diese Methode weist Ähnlichkeiten zur Digitalisierung mit einem Digitalisieretablett auf, bietet aber eine höhere Genauigkeit.

In Bezug auf die kleinste lesbare Einheit einer analogen Ausgangskarte in einem bestimmten Maßstab müssen die Parameter des angewandten Digitalisierungs- oder Scanverfahrens bei der Datenintegration berücksichtigt werden.

Entzerrung der Daten zur Erzielung derselben geographischen Projektion

Für die Entzerrung werden unterschiedliche Verfahren verwendet (Entzerrung von Vektordaten im Vektorformat, von Rasterdaten im Rasterformat). Vektordaten weisen an einem Punkt (oder einer Linie) eine unendliche Genauigkeit auf, während die Rasterdaten eine bestimmte Fläche am Boden abdecken. Bei der Datenintegration gibt es verborgene Probleme bei der Datenmodelltransformation.

7. QUALITÄT

7 QUALITÄT

Im Allgemeinen bedeutet die Qualität eines Erzeugnisses, dass es für den vorgesehenen Verwendungszweck geeignet ist. Die Norm DIN ISO 8402 „Qualitätsmanagement und Qualitätssicherung — Begriffe“ definiert Qualität als „die Gesamtheit von Merkmalen einer Einheit bezüglich ihrer Eignung, festgelegte und vorausgesetzte Erfordernisse zu erfüllen“.

In Bezug auf Informationen über Bodenbedeckung und –nutzung bedeutet das, dass sie:

- für die Anwendung relevant und nützlich sind und
- hinsichtlich ihres thematischen Inhalts und ihrer geometrischen Genauigkeit, insbesondere bei einem Kartierungsansatz, zuverlässig sind.

Der erste Aspekt erfordert, dass die Daten entsprechend beschrieben sind und der Nutzer Zugang zu den vollständigen Metadaten über den Datenbestand hat. Der zweite Aspekt basiert auf präzisen Messungen sowohl hinsichtlich der thematischen als auch der geometrischen Genauigkeit.

7.1 Metadaten

Metadaten sind Angaben über die Daten. Es handelt sich also um eine detaillierte Beschreibung der Datenspezifikationen. Durch solche „Informationen über Informationen“ können die Nutzer beurteilen, ob die Daten für ihre spezielle Anwendung geeignet sind.

Ein Metadatenset für Bodenbedeckungs- und –nutzungsdaten muss folgende Informationen enthalten:

- Identifikation des Datenbestands (Titel, verantwortliche Organisation), Maßstab, Darstellungseinheit;
- Übersicht über den Datenbestand (allgemeine Beschreibung des Kontextes, potentielle Anwendungen, Beschränkungen usw.);
- Spezifikationen des Datenbestands (erfasstes Gebiet, Nomenklatur, Klassifikationsgrundsätze, Ansatz und Methoden der Datenerfassung, räumlicher Bezug, Darstellungs- oder Kartierungseinheit, Maßstab, Quelldaten, Periodizität);
- Datenqualitätsparameter (Verfahren und Methoden der Qualitätssicherung und –kontrolle);
- Verbreitungspolitik (Preisgestaltung, Copyright);
- Quelle der Metadaten.

Es gibt Bestrebungen zur Erarbeitung einer Norm über Metadaten für geographische Informationen durch das Europäische Komitee für Normung (CEN/TC 287). MEGRIN (Multipurpose European Ground Related Information Network) hat im Rahmen des GDDD ein Datenmodell erstellt und eine Datenbank aufgebaut, die über das Internet zugänglich ist (http://www.megrin.org/GDDD/Overview_de.html). Eurostat hat einen Datenkatalog für sein geographisches Informationssystem GISCO umgesetzt.

7.2 Beurteilung der Genauigkeit

Damit die Qualität der Daten beurteilt werden kann, müssen Maßnahmen durchgeführt werden. Das Ergebnis solcher Tests sind quantitative Aussagen zur geometrischen und thematischen Genauigkeit. Eine bewährte Methode der Qualitätsbeurteilung ist die Validierung der Daten für eine Stichprobe anhand von Informationen aus einer anderen Quelle.

Die Lagegenauigkeit georeferenzierter Daten kann mit folgender Methode bewertet werden: aus den Kartendaten (oder Bilddaten) werden Kontrollpunkte ausgewählt, deren Koordinaten mit den Koordinaten derselben Punkte aus einer anderen Informationsquelle (= Passpunkte), z. B. einer topographischen Karte oder einer GPS-Messung vor Ort, verglichen werden. Die Abweichung der Lage der Kontrollpunkte im Bild im Vergleich zu den Passpunkten wird dann berechnet und als mittlerer quadratischer Gesamtfehler angegeben. Die folgende Tabelle zeigt ein Beispiel für den mittleren quadratischen Gesamtfehler der Entzerrung von Satellitendaten mit einer Pixelgröße von 10 m x 10 m im Maßstab 1:50.000 (Pilotprojekt von Eurostat über die Kartierung der Bodennutzung im Rhônetal).

| | X-Karte | Y-Karte | X-Bild | Y-Bild | Abweichung X | Abweichung Y |
|--------------------------------------|---------|---------|----------|----------|--------------|--------------|
| FRANKREICH | | | | | | |
| 1 | 953675 | 3175750 | 959,00 | 12510,50 | - 1,17 | - 0,2 |
| 2 | 966050 | 3224475 | 2182,00 | 7633,50 | 0,58 | - 0,08 |
| 3 | 962250 | 3159000 | 1821,25 | 14184,12 | 2,31 | 2,06 |
| 4 | 997225 | 3167525 | 5329,12 | 13329,62 | - 0,02 | - 0,03 |
| 5 | 970250 | 3162875 | 2625,12 | 13797,38 | - 0,35 | 0,26 |
| 6 | 972900 | 3148625 | 2895,75 | 15224,50 | - 0,26 | - 0,64 |
| 7 | 1024675 | 3212325 | 8064,75 | 8841,62 | 0,88 | 1,23 |
| 8 | 973100 | 3199925 | 2897,50 | 10090,25 | 0,45 | - 0,95 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 32 | 1415300 | 4906975 | 10239,50 | 6197,00 | - 0,89 | 1,10 |
| 33 | 1387725 | 4849825 | 7969,50 | 12133,50 | 0,63 | - 0,37 |
| Mittlerer quadratischer Gesamtfehler | | | | | 0,90 | 0,96 |

Tabelle 7.1: Beispiel für die Beurteilung der geometrischen Qualität: mittlerer quadratischer Gesamtfehler verschiedener Passpunkte (GÉOIMAGE 1995)

Die thematische Genauigkeit kann auch dadurch beurteilt werden, dass man Prüfpunkte (oder Pixel) auswählt und das Bedeckungs- oder Nutzungsattribut mit derselben Information aus einer Bodenaufnahme vergleicht oder dass man anderes geeignetes Ausgangsmaterial (z. B. Luftbilder, bestehende Karten) interpretiert. Das Ergebnis ist eine Konfusionsmatrix, in der die Zuordnungs- und Auslassungsfehler sowie die Hersteller- und Nutzergenauigkeit für jede Klasse angegeben werden. Die folgende Tabelle zeigt ein fiktives Beispiel.

| | Typ 1 | Typ 2 | Typ 3 | Typ 4 | Typ 5 | Typ 6 | Typ 7 | Typ 8 | Typ 9 | Typ 10 | Typ 11 | Summe | Zuordnungsfehler | Nutzergenauigkeit % |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|------------------|---------------------|
| Typ 1 | 53 | | | | 1 | | 1 | | | | | 55 | 2 | 96,3 |
| Typ 2 | | 30 | | | 1 | | | | | 1 | | 32 | 2 | 93,7 |
| Typ 3 | | 2 | 12 | 1 | | | | | | | | 15 | 3 | 80 |
| Typ 4 | | | | 10 | | | | | | | | 10 | 0 | 100 |
| Typ 5 | | | | | 54 | 1 | | | | | | 55 | 1 | 98,1 |
| Typ 6 | | | | | 1 | 27 | 1 | | | | | 29 | 2 | 93,1 |
| Typ 7 | | | | | | 4 | 46 | | | | | 50 | 4 | 92 |
| Typ 8 | | 2 | | | | | | 16 | | 1 | | 19 | 3 | 84,2 |
| Typ 9 | | 1 | | | | 2 | 2 | | 15 | | | 20 | 5 | 75 |
| Typ 10 | | | | | | | 2 | | | | 35 | 37 | 2 | 94,6 |
| Typ 11 | 2 | | | | 1 | | | | | | 1 | 20 | 4 | 93,3 |
| Summe | 55 | 35 | 12 | 11 | 58 | 34 | 52 | 16 | 15 | 38 | 20 | 346 | | |
| Auslassungsfehler | 2 | 5 | 0 | 1 | 4 | 7 | 6 | 0 | 0 | 3 | 0 | | | |
| Herstellergenauigkeit % | 96,3 | 85,7 | 100 | 90,9 | 93,1 | 79,4 | 88,4 | 100 | 100 | 92,1 | 100 | | | |

Tabelle 7.2: Konfusionsmatrix: Bodenbedeckungsarten (fiktives Beispiel)

Die Herstellergenauigkeit in Prozent setzt die Anzahl der **richtig klassifizierten** Punkte des Bildes oder der Karte in Beziehung zu der **Gesamtzahl der Passpunkte** der betreffenden Bodenbedeckungsart. Die Nutzergenauigkeit in Prozent gibt das Verhältnis der Anzahl von richtig klassifizierten Punkten zur **Gesamtzahl der klassifizierten Punkte** einer bestimmten Bodenbedeckungsart an. Dabei werden auch die in der Karte falsch klassifizierten Punkte berücksichtigt, was eine bessere Beurteilung der Qualität der Klassifizierung erlaubt.

Die gesamte Genauigkeit kann durch Errechnung des Durchschnitts aus Nutzer- und Herstellergenauigkeit bewertet werden. Ein weiteres Maß für die gesamte Genauigkeit ist der Kappa-Koeffizient, der „ein statistisches Maß für die über den Zufall hinausgehende Übereinstimmung zwischen zwei Karten ist (z. B. aufgrund der Klassifizierung erstellte Karte und Bodenverifikationskarte)“ [Canadian Centre for Remote Sensing: Glossary].

8. FACHSPEZIFISCHE DEFINITIONEN — EINIGE GRUNDLAGEN

8 FACHSPEZIFISCHE DEFINITIONEN — EINIGE GRUNDLAGEN

8.1 Karten

„Eine Karte ist eine zweidimensionale, graphische Darstellung der physischen Merkmale (natürliche, künstliche oder beide) der gesamten Erdoberfläche oder eines Teiles davon mittels Zeichen und Symbolen oder photographischem Bildmaterial in einem festgelegten Maßstab, in einer angegebenen Projektion und unter Angabe des Orientierungsmittels“ (DRURY 1998).

Definitionen von (geographischen) Karten enthalten fast immer den Begriff „Darstellung“.

1.a: Darstellung eines gesamten Gebietes oder eines Teiles davon auf einer ebenen Fläche

1.b: Darstellung der Himmelskugel oder eines Teiles davon

2: etwas, das mit einer an eine Karte erinnernden Klarheit ... darstellt

8.1.1. Kategorien von Karten

Karten können nach verschiedenen Kriterien kategorisiert werden (HAKE 1982):

- Inhalt
- Ursprung
- Erstellungsprozess
- Maßstab

8.1.2. Kategorisierung von Karten nach ihrem Inhalt

Karten werden am häufigsten nach ihrem Inhalt unterteilt.

Topographische Karten beschreiben den exakten und genauen geometrischen Ort (= Lage) von geographischen Objekten, z. B. Siedlungen, Infrastruktur (Straßen, Bahnstrecken, Wasserwege, Elektrizitätsleitungen usw.), Gewässer, einige Aspekte der Bodenbedeckung und –nutzung (bewaldete Flächen, Weingärten, Grünland, Obstgärten), bestimmte administrative Grenzen, Toponymie usw. Thematische Karten werden im Allgemeinen auf ihrer Grundlage erstellt.

Thematische Karten präsentieren Informationen zu einem bestimmten Fachbereich auf der Grundlage von topographischen Karten, die als geographischer Rahmen dienen, z. B. Bodenbedeckungskarte (basierend auf topographischen Karten), Flächennutzungspläne (basierend auf dem Kataster), statistische Karten (basierend auf administrativen Grenzen) wie zum Beispiel über die Bevölkerungsdichte usw.

8.1.3. Kategorisierung von Karten nach ihrem Ursprung

Hier wird unterschieden zwischen Karten, die von **amtlichen Einrichtungen** erstellt werden, die für das Vermessungswesen in einem Land verantwortlich sind („amtliche“ Karten von „Ordnance Survey“ im VK, den Vermessungsämtern in Deutschland, dem „Institut Géographique National“ (IGN) in Frankreich oder Spanien, dem Istituto Geografico Militare in Italien usw.), z. B. topographische Karten, und denjenigen, die von **privaten Organisationen** oder Unternehmen erzeugt werden („private“

Karten), z. B. touristische Karten. Amtliche Karten dienen als Bezugsunterlagen und haben einen bestimmten rechtlichen Status, z. B. für die Abgrenzung des Staatsgebiets, als Grundlage von Karten für die Flächennutzungsplanung, Abgrenzung von Naturschutzgebieten usw.

8.1.4. Kategorisierung von Karten nach dem Erstellungsprozess

Eine Einteilung in „Basiskarten“ und „abgeleitete Karten“ wird getroffen. Basiskarten sind normalerweise Karten in großem Maßstab, die von den (oder im Auftrag der) amtlichen Vermessungsstellen in **Feldaufnahmen** erstellt werden, z. B. Katasterkarten, topographische Basiskarten, während abgeleitete Karten nach vorgegebenen Kriterien aus den Basiskarten in großem Maßstab zu Karten in kleinerem Maßstab **generalisiert** werden, z. B. topographische Karten in mittlerem Maßstab, Stadtpläne für Touristen. Im Idealfall handelt es sich bei den Basiskarten um Katasterkarten in einem sehr großen Maßstab (z. B. 1:1.000), von denen Stadtplanungskarten abgeleitet werden, oder um topographische Karten in großem Maßstab (1:5.000), von denen andere Karten in kleinerem Maßstab abgeleitet werden. Topographische Basiskarten in mittlerem Maßstab (1:10.000–1:300.000) können anhand von Luftaufnahmen unter Anwendung der Photogrammetrie und der Bildinterpretation als Verarbeitungsmethoden erstellt werden.

Die *Generalisierung* ist „eine Verringerung der Detailliertheit oder eine Vereinfachung der Realität“. Dies ist eine kartographische Verarbeitungsmethode zur Reduktion der Informationsmenge, die auf einer Karte in Einklang mit dem auf dem Medium Papier verfügbaren physischen Platz und in Übereinstimmung mit dem gewählten Maßstab dargestellt wird.

Dasselbe Konzept wird bei thematischen Karten angewandt. Die Kartierung einer Bevölkerung kann zum Beispiel auf der Grundlage einer topographischen Basiskarte oder einer abgeleiteten topographischen Karte erfolgen. Eine generalisierte Vegetationskarte ist eine **abgeleitete** Karte (siehe zum Beispiel Abb. 8.6 — *Bevölkerungskarte für Hannover*, Abb. 8.8 — *Bevölkerungskarte auf NUTS-Ebene* und Abb. 8.7 — *Vegetationskarte Afrikas*).

8.1.5. Kategorisierung von Karten nach ihrem Maßstab

Karten können nach ihrem Maßstab zu Gruppen zusammengefasst werden.

Allgemeine Kategorien* für den Maßstab sind:

großer Maßstab > 1:10.000

mittlerer Maßstab = 1:10.000 bis 1:300.000

kleiner Maßstab < 1:300.000

* Es gibt praktisch keine fixen Grenzen für diese Gruppen.

8.1.6. Beispiele

Abbildung 8.1: Topographische Karte im Maßstab 1:200.000, Blatt CC 6302 Trier, D (HAKE 1982)

| Inhalt | Ursprung | Erstellung | Maßstab |
|----------------------|--|-------------------|--------------------------------------|
| Topographische Karte | Amtliche Karte (Landesvermessungsamt Rheinland-Pfalz, D) | Abgeleitete Karte | Karte in mittlerem Maßstab 1:200.000 |



Abbildung 8.3: Topographische Karte im Maßstab 1:25.000, Blatt 6008 Berncastel-Kues, D (HAKE 1982)

| Inhalt | Ursprung | Erstellung | Maßstab |
|----------------------|--|-------------------|-------------------------------------|
| Topographische Karte | Amtliche Karte (Landesvermessungsamt Rheinland-Pfalz, D) | Abgeleitete Karte | Karte in mittlerem Maßstab 1:25.000 |

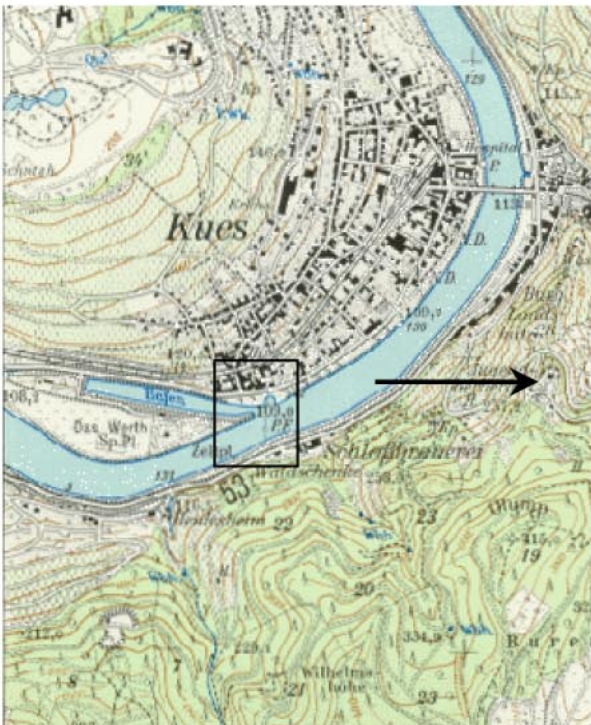


Abbildung 8.2: Topographische Karte im Maßstab 1:50.000, Blatt 6108 Berncastel-Kues, D (HAKE 1982)

| Inhalt | Ursprung | Erstellung | Maßstab |
|----------------------|--|-------------------|-------------------------------------|
| Topographische Karte | Amtliche Karte (Landesvermessungsamt Rheinland-Pfalz, D) | Abgeleitete Karte | Karte in mittlerem Maßstab 1:50.000 |

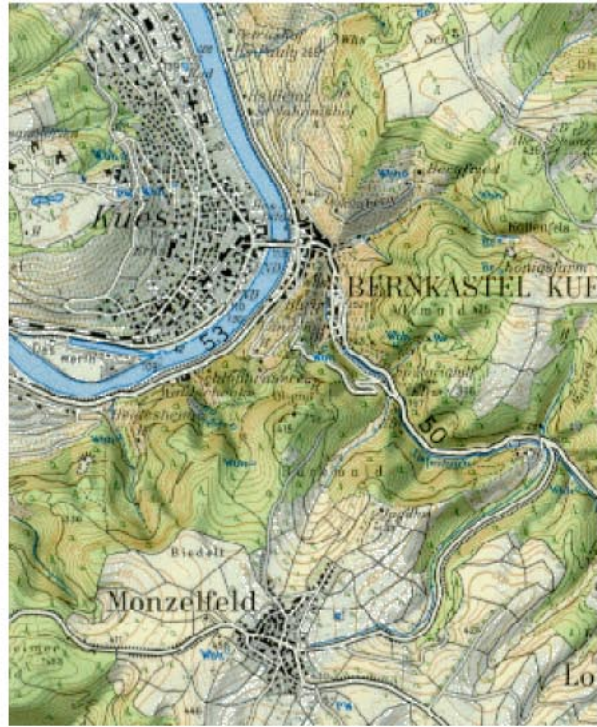


Abbildung 8.4: Ausschnitt aus der deutschen topographischen Basiskarte 1:5.000 Berncastel-Kues, D (HAKE 1982)

| Inhalt | Ursprung | Erstellung | Maßstab |
|----------------------|--|------------|---------------------------------|
| Topographische Karte | Amtliche Karte (Landesvermessungsamt Rheinland-Pfalz, D) | Basiskarte | Karte in großem Maßstab 1:5.000 |



Abbildung 8.5: Thematische Karte — Flächennutzungsplan im Maßstab 1:1.000 Seniorenheim, Hamburg, D (HAKE 1982)

| Inhalt | Ursprung | Erstellung | Maßstab |
|--|---|------------|---------------------------------|
| Thematische Karte (geplante Flächen-nutzung) | Amtliche Karte (Baubehörde und Amt für Geoinformation und Vermessung, Hamburg, D) | Basiskarte | Karte in großem Maßstab 1:1.000 |

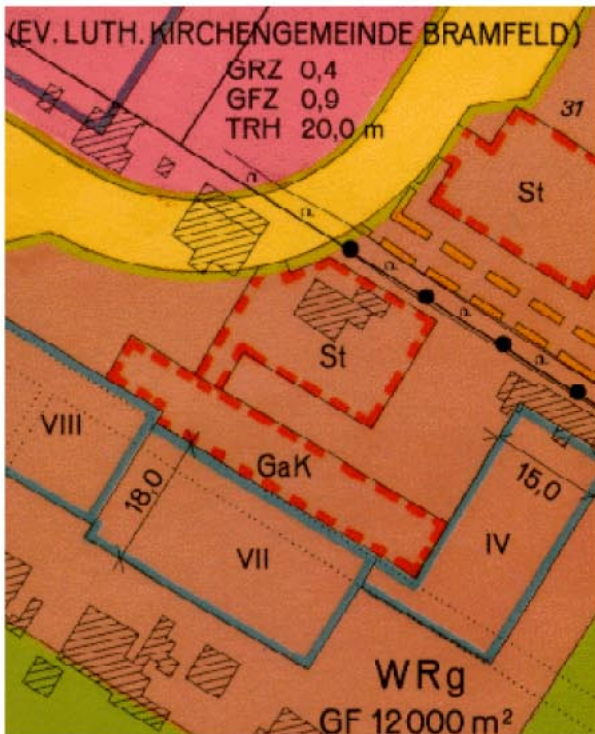


Abbildung 8.6: Thematische Karte — Bevölkerungskarte im Maßstab 1:5.000 Hannover, D (HAKE 1982)

| Inhalt | Ursprung | Erstellung | Maßstab |
|---------------------------------|---|------------|---------------------------------|
| Thematische Karte (Bevölkerung) | Amtliche Karte (statistisches Amt und Stadtvermessungsamt von Hannover) | Basiskarte | Karte in großem Maßstab 1:5.000 |



Abbildung 8.7: Thematische Karte — Vegetation und Klima im Maßstab 1:60.000.000 Westafrika (HAKE 1982)

| Inhalt | Ursprung | Erstellung | Maßstab |
|--|-----------------------------------|-------------------|---------------------------------------|
| Thematische Karte (Vegetation und Klima) | Private Karte (Westermann Verlag) | Abgeleitete Karte | Karte in kleinem Maßstab 1:60.000.000 |

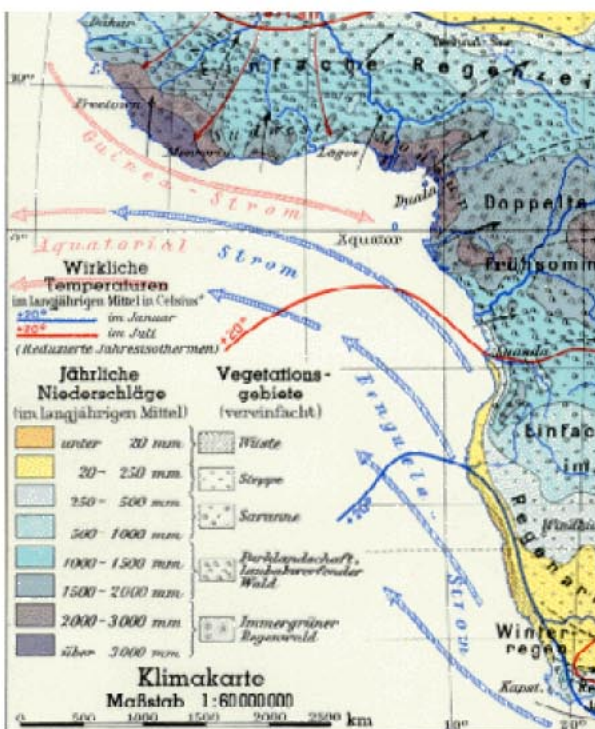
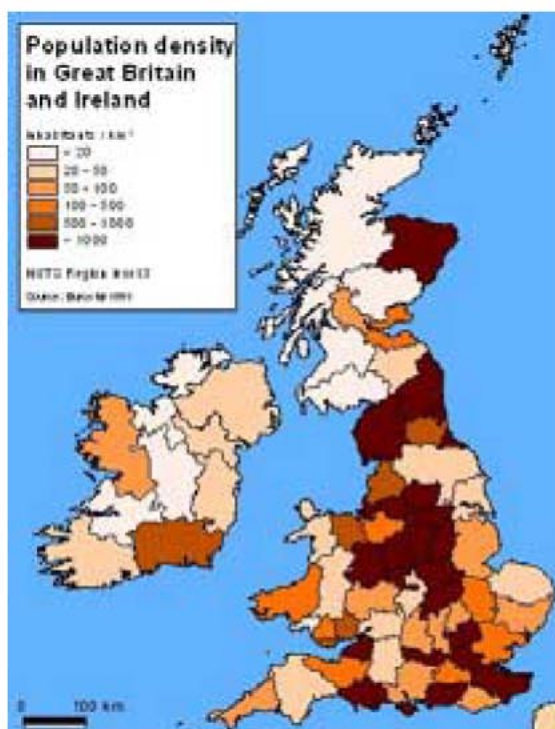


Abbildung 8.8: Thematische Karte — Bevölkerungsdichte in Großbritannien und Irland 1991 im Maßstab von ca. 1:25.000.000

| Inhalt | Ursprung | Erstellung | Maßstab |
|--|---|-------------------|---------------------------------------|
| Thematische Karte (Bevölkerungsdichte) | Private Karte (CESD Communautaire, Datenquelle: KEG-Eurostat GISCO) | Abgeleitete Karte | Karte in kleinem Maßstab 1:10.000.000 |



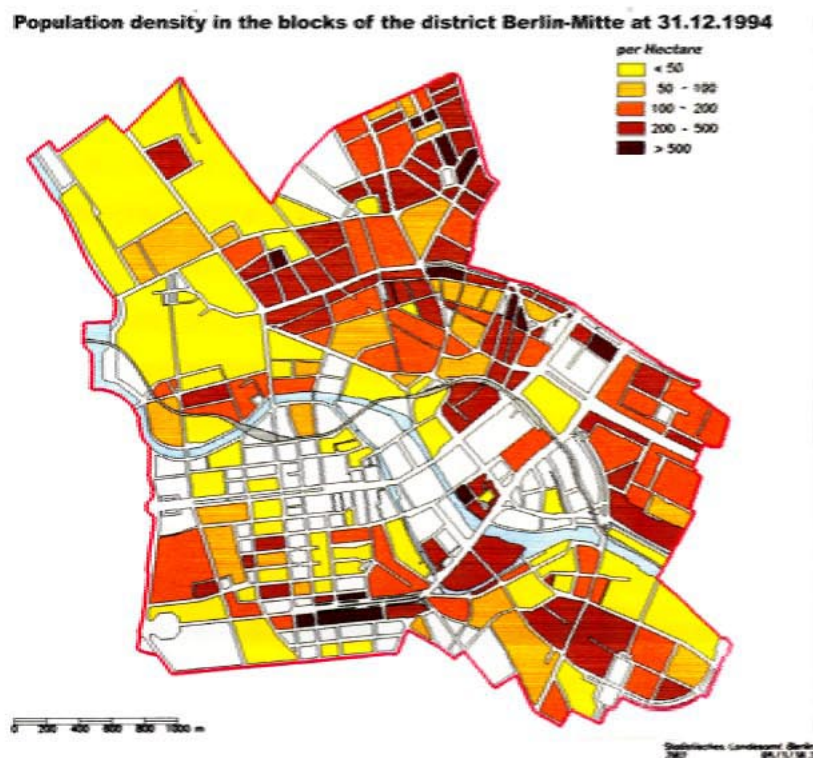
8.2 Karten in der Statistik

Beim Einsatz von Karten in der Statistik sollte man folgende Unterscheidung machen: i) Kartierung von Statistiken zu ihrer Präsentation (= thematische Kartierung) und ii) Verwendung analoger Karten und/oder digitaler geographischer Daten als Input bei der Erfassung statistischer Daten, z. B. als Informationsquelle, Definition der Schichtung oder der Stichproben, Vorbereitung einer Erhebung.

8.2.1. Kartierung von Statistiken

Bei der thematischen Kartierung werden Karten „einfach“ verwendet, um Statistiken oder die Ergebnisse statistischer Analysen darzustellen. Je nach Thema sind die geometrische Genauigkeit und die Darstellung geographischer Merkmale von geringer Bedeutung. Der erforderliche Maßstab der Karte hängt von der geographischen Ausdehnung und vom regionalen Bezugssystem der darzustellenden Statistik ab. Wenn die geographische Ausdehnung das Gebiet der Europäischen Union ist und die Ebene NUTS-II als regionales Bezugssystem verwendet wird, dann ist für die Darstellung von Statistiken (z. B. Bevölkerungsdichte) ein anderer Maßstab zu wählen als für Statistiken über einen städtischen Ballungsraum wie Berlin mit statistischen Blöcken (Zählbezirke) als regionalem Bezugssystem. Bei Abbildung 8.8 werden als geographische Daten die Grenzen der NUTS-Regionen einschließlich der Küsten in sehr kleinem Maßstab, z. B. 1:30.000.000, benötigt. Für eine Karte desselben Inhalts — Statistik der Bevölkerungsdichte — über Berlin (siehe Abb. 8.9), bei der die statistischen Blöcke als regionales Bezugssystem herangezogen werden, liegt der Maßstab bei rund 1:5.000, und die Grenzen der statistischen Blöcke sind die erforderlichen geographischen Daten.

Abbildung 8.9: Bevölkerungsdichte im Bezirk „Berlin-Mitte“ auf der Ebene statistischer Blöcke (Quelle: Statistisches Landesamt Berlin)



8.2.2. Karten oder geographische Daten als Input für die Statistik

Die Verwendung von Karten oder digitalen geographischen Daten als grundlegende Inputinformationen für die statistische Arbeit ist komplexer. Bei solchen Anwendungen sind die geographischen Angaben Teil der erarbeiteten Statistik und beeinflussen das Ergebnis sehr stark. Die Karte oder die Daten müssen dabei hinsichtlich des thematischen Inhalts und Maßstabs (einschließlich Präzision und Genauigkeit) dem geographischen Aspekt der benötigten Statistik entsprechen.

Die Berechnung der gesamten Landfläche hängt zum Beispiel zunächst vom statistischen Konzept der Landfläche ab, das Gewässer, Flächen unter dem Meeresspiegel, entlegene und unzugängliche Gebiete usw. einschließen kann. Die Präzision und Genauigkeit der geographischen Daten ist der zweite wichtige Aspekt bei der Berechnung von Flächen mittels geographischer Datenbanken. Würden die geographischen Daten in Feldaufnahmen erhoben, reichen Genauigkeit und Präzision normalerweise für die Messung von Flächen aus. Feldaufnahmen werden in der Regel für die Kartierung in großem Maßstab durchgeführt. Wenn vorhandene Karten in kleinerem Maßstab digitalisiert wurden, sollte der Maßstab der Ausgangskarte für Flächenmessungen nicht kleiner als 1:10.000 sein.

Ein weiteres Beispiel für die Verwendung von Karten als Basisdaten ist die Vorbereitung einer Erhebung, wofür die statistischen Blöcke und einige Daten über die Infrastruktur (Straßennetz mit Straßennamen und Hausnummern usw.) in einem entsprechend großen Maßstab erforderlich sind. Ist die Karte nicht auf dem neuesten Stand, wird die Erhebung unvollständig sein. Bei der Erarbeitung einer Flächenstichprobe oder eine Schichtung zum Beispiel zur Definition einer Agrarerhebung sind die grundlegenden geographischen Daten von entscheidender Bedeutung, da die gesamten statistischen Arbeiten auf der Qualität der zugrunde liegenden Karte beruhen.

Auch bei räumlichen Statistiken ist die Genauigkeit der grundlegenden geographischen Daten nicht nur für die räumliche sondern auch für die zeitliche Genauigkeit entscheidend: die geographischen Grenzen der statistischen Einheiten sollten dem Zeitpunkt der Statistik entsprechen. Zum Beispiel kann eine Neuordnung der Verwaltungseinheiten zu Veränderungen bei den Grenzen führen (aus zwei Einheiten wird eine oder umgekehrt, die Lage der Grenzen wird verschoben usw.).

Je nach Definition des statistischen Begriffs kann die Fläche auf unterschiedliche Weise berechnet werden: anhand der Verwaltungsdaten aus den Grundbüchern oder Katasterkarten oder von den Vermessungsstellen anhand von Basiskarten in großem Maßstab (1:1.000). Die statistischen Ämter stützen sich normalerweise auf die Daten der Verwaltungs- oder Vermessungsbehörden. Die folgende Abbildung veranschaulicht das Problem in Verbindung mit dem statistischen Konzept der Landfläche am Beispiel Finnlands.

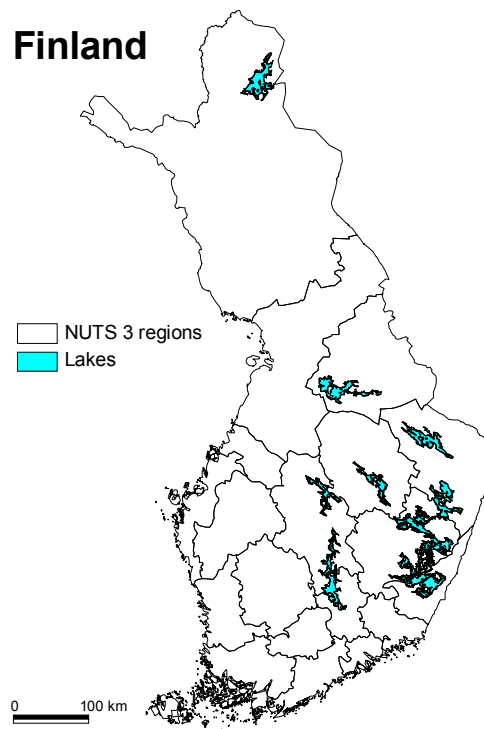


Abbildung 8.10: Finnlands Seen⁶

Die Wasserfläche beläuft sich auf 33.560 km² oder rund 9,9 % der Gesamtfläche laut der Bodennutzungsstatistik der FAO.

Ein anspruchsvolleres Beispiel ist die Verwendung von Karten bei der Vorbereitung einer statistischen Erhebung, z. B. einer Volkszählung. Dafür sind präzise (d. h. detaillierte) Daten in Bezug auf die Geometrie erforderlich (Gebäude müssen unterschieden werden können, so dass mindestens der Maßstab 1:5.000 erforderlich ist, siehe Abb. 8.6 *Bevölkerungskarte für Hannover*). Detailliertes Wissen über die Nutzung der Gebäude wäre sehr hilfreich, um zum Beispiel Lagerhallen oder Industriegebiete auszuschließen. Bei der Definition der Schichtung, zum Beispiel bei der Schätzung der Ernte, werden Parzellengrenzen mit einer hohen geometrischen Präzision und Genauigkeit benötigt, damit Flächen geschätzt werden können.

In den meisten Fällen sind für eine räumliche Analyse Angaben über die Nachbarschaft, die so genannte Topologie, erforderlich. Für diese Zwecke müssen die geographischen Daten viel anspruchsvollere Anforderungen an Detailliertheit und Genauigkeit erfüllen, so dass die Qualität eine entscheidende Rolle bei der Auswahl der Quelldaten spielt.

Metadaten, d. h. Informationen über die geographischen Daten selbst, sind nötig, um die Daten voll und ganz zu verstehen und ihre sinnvolle Verwendung für spezifische Analysen und eine Datenintegration zu erlauben.

⁶ Die Quelldaten für diese Karte weisen den Maßstab 1:1.000.000 auf. Viele der kleinen Seen scheinen bei diesem Maßstab aufgrund des Generalisierungsprozesses nicht auf. Berechnet man die Wasserfläche auf der Grundlage dieser geographischen Daten, dann beträgt sie nur etwa 3 % der gesamten Fläche.

8.3. Geodätisches und regionales Bezugssystem

8.3.1. Geodätisches Bezugssystem

Das geodätische Bezugssystem wird definiert als „ein vollständiges Bezugssystem für die Lokalisierung eines Punktes auf der Erde, einschließlich Datum, Koordinatenbeschreibung, Koordinatensystem und möglichst einer Projektion“ (CEN 1998). Karten jeglichen Typs beruhen auf einem solchen Bezugssystem der Lage — jeder Punkt auf der Erdoberfläche entspricht einem in der Karte referenzierten Punkt. Mit anderen Worten ermöglicht das eine erschöpfende Beschreibung der Erdoberfläche.

Das entscheidende Problem bei der Kartierung ist die Darstellung der dreidimensionalen Oberfläche des Erdkörpers auf einer zweidimensionalen Ebene (Karte auf Papier). Nur ein dreidimensionales Modell der Erde — ein Globus — kann eine Verzerrung der Entfernungen, Flächen und Formen von geographischen Objekten gleichzeitig vermeiden. Zweidimensionale Karten stellen stets einen Kompromiss in Einklang mit dem Zweck der Karte dar.

Geodätisches Datum

Um die Erdoberfläche auf Papier darstellen zu können, müssen Parameter für die Größe und Form der Erde sowie der Ursprung und die Ausrichtung eines Koordinatensystems definiert werden. Solche Parameter werden durch ein so genanntes geodätisches Datum beschrieben.

Diese Bestimmung der Größe und Form der Ebene kann durch ein einfaches zweidimensionales System erfolgen, bei dem nur die ebene Fläche berücksichtigt wird. Solche ebenen Systeme sind bei Karten in großem Maßstab für Entfernungen von bis zu 10 km ausreichend, bei denen keine Probleme mit der Krümmung der Erdoberfläche auftreten. Beim anderen Extrem — der Beschreibung der Erde als Kugel — werden kugelförmige Modelle mit einem spezifischen Radius für globale Entfernungsannäherungen in sehr kleinem Maßstab verwendet. Für genaue Messungen, z. B. zur Navigation in See- und Luftfahrt, wurden komplexere Systeme definiert, die die eigentlich ellipsoide Form der Erde (abgeflachte Pole), die Topographie (d. h. das Relief) und die Gravitation berücksichtigen. Abbildung 8.11 zeigt ein einfaches Modell für die Größe der Erde.

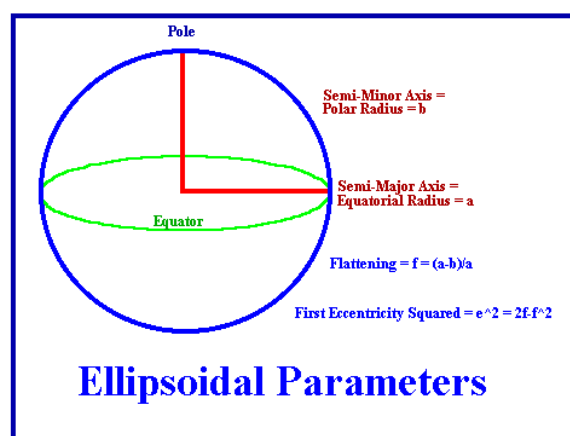


Abbildung 8.11: Das geodätische Datum beschreibt die Größe und Form der Erde.
Ellipsoidparameter (nach DANA 1999)

Die topographische Oberfläche ist sehr unregelmäßig und wandelt sich im Laufe der Zeit. Langfristige geologische Verschiebungen der tektonischen Platten und mittel- bis kurzfristige geomorphologische Bewegungen verändern das Relief. Unterschiede bei Gravitation und Gezeitenkräften beeinflussen

täglich den Meeresspiegel von Ort zu Ort um hunderte Meter. Eine Art durchschnittliche Erdoberfläche — die Geoid-Oberfläche — wurde zur Berücksichtigung der oben erwähnten Faktoren entwickelt.

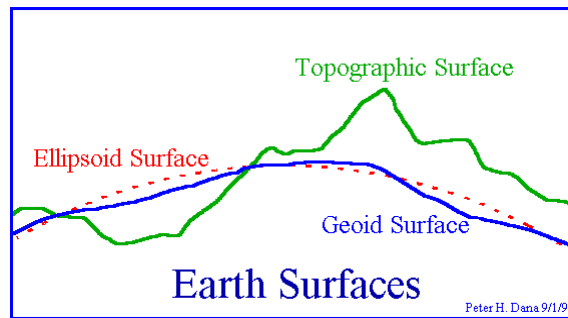


Abbildung 8.12: Die Ellipsoid-, topographische und Geoid-Oberfläche (DANA 1999)

Wie bereits erwähnt, wurden mehrere geodätische Daten für unterschiedliche Zwecke in den einzelnen Ländern definiert. Je nachdem, welches Ellipsoid für einen bestimmten Zweck und das betreffende Land am besten passen, werden viele unterschiedliche Daten von Ländern und Ämtern auf der ganzen Welt verwendet.

Wird bei der Bezugnahme auf geodätische Koordinaten in einem Koordinatensystem ein falsches Datum (d. h. ein anderes als das, auf dem die Karte beruht) verwendet, dann kann dies zu Lagefehlern von hunderten Metern führen. Versucht man, Karten abzugleichen, die auf verschiedenen geodätischen Daten beruhen, ergeben sich Verzerrungen, Lücken oder Überlappungen in der räumlichen Abdeckung.

Der technologische Fortschritt, der bei globalen Positionsmessungen mit Genauigkeiten von unter einem Meter erreicht wurde, erfordert eine sorgfältige Auswahl der geodätischen Daten und eine genaue Konvertierung zwischen Koordinaten, die auf verschiedenen geodätischen Daten beruhen.

Ein weltweit vereinheitlichtes geodätisches System ist für interkontinental genaue geodätische Informationen von wesentlicher Bedeutung. In den 50er Jahren begann man in den USA mit der Entwicklung eines solchen Systems, was zum „World Geodetic System 1960“ (WGS1960) des Department of Defense (DoD — Verteidigungsministerium) führte. Eine erhebliche Verbesserung wurde mit dem WGS72-Datum erzielt, das aus mehr als dreijährigen, umfassenden Bemühungen zur Sammlung von Satelliten-, Oberflächengravitations- und astrogeodätischen Daten aus dem gesamten Jahr 1972 entstand. Das WGS72 wurde durch das WGS84-Datum ersetzt, für das neue und genauere Instrumente und ein umfangreicheres Kontrollnetz von Bodenstationen verwendet wurden. Das WGS84 ist geozentrisch, wobei das Massezentrum für die gesamte Erde, einschließlich Ozeane und Atmosphäre, definiert wird. Sein Maßstab entspricht dem lokalen Erdausschnitt im Sinne einer relativistischen Gravitationstheorie, seine Orientierung wurde ursprünglich im BIH-System (Bureau International de l'Heure) mit 1984,0 angegeben, und seine zeitliche Veränderung in der Orientierung wird zu keiner restlichen Rotation in Bezug auf die Erdkruste führen (McCARTHY, D. 1996).

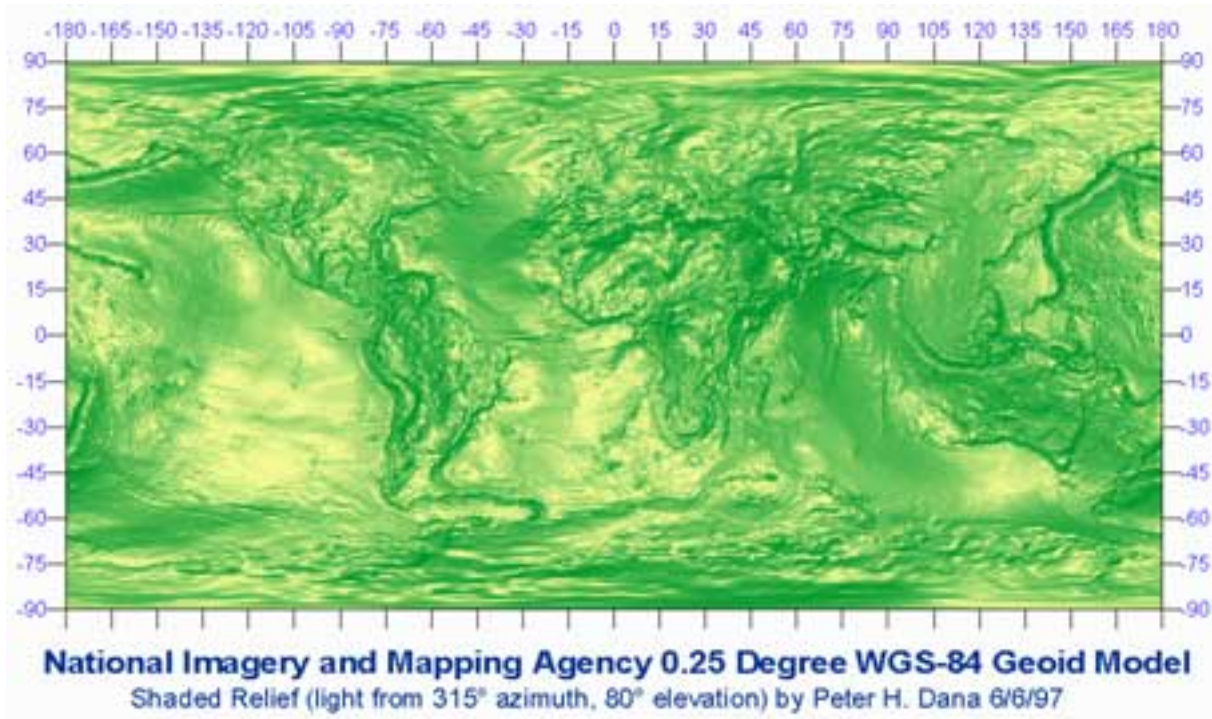


Abbildung 8.13: Schattiertes Relief des Geoidmodells WGS84 (DANA 1999)

Heute ist das „World Geodetic System 1984“ die Grundlage für das GPS, ein weltweites Satellitennavigationssystem, das vom amerikanischen Verteidigungsministerium entwickelt und kontrolliert wird. Eine vollständige Beschreibung des WGS84 ist in folgender Publikation enthalten: National Imagery and Mapping Agency (2000): Technical Report 8350.2, 3. Auflage: World Geodetic System 1984.3.

Kartenprojektionen und Koordinatensysteme

Mit dem geodätischen Datum werden die „Ankerpunkte“ für die absolute Lokalisierung von Orten auf einer Karte festgelegt.

Im nächsten Schritt wird ein System zur Ermittlung eines Punktes der Erde auf einem Blatt Papier mit Hilfe von Koordinaten definiert. Koordinatensysteme können auf verschiedenen **Kartenprojektionen** basieren. Punkte auf der Erdoberfläche (oder die Parallelen und Meridiane) werden auf eine Ebene projiziert. Man kann sich das so vorstellen, dass eine Kugel, auf der Parallelen und Meridiane eingezeichnet sind, von einer Lichtquelle beleuchtet wird. Die Lichtquelle kann sich, wie in Abb. 8.14 dargestellt, in der Kugel (zentrale Projektion), auf einem Punkt der Kugelfläche (stereographische Projektion) oder sehr weit entfernt von ihr — wie die Sonne von der Erde — befinden und parallele Strahlen aussenden (orthographische Projektion).

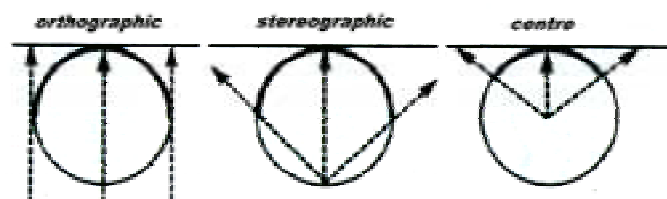


Abbildung 8.14: Orthographische, stereographische und zentrale Projektion (nach BRUNET 1987)

Die Parallelen und Meridiane werden auf eine Ebene projiziert. Wenn diese Ebene — unsere Karte auf Papier — unverändert (planar) verwendet wird, bezeichnet man die Projektion als azimutal. Die Ebene kann die Kugel an einem Punkt, z. B. dem Nordpol, berühren (Tangente) oder durchschneiden (Sekante). Nimmt man das Papier und hüllt damit den Globus ein, erhält man eine zylindrische oder konische Projektion. Es gibt so viele Möglichkeiten, wie in Abb. 8.15 veranschaulicht.

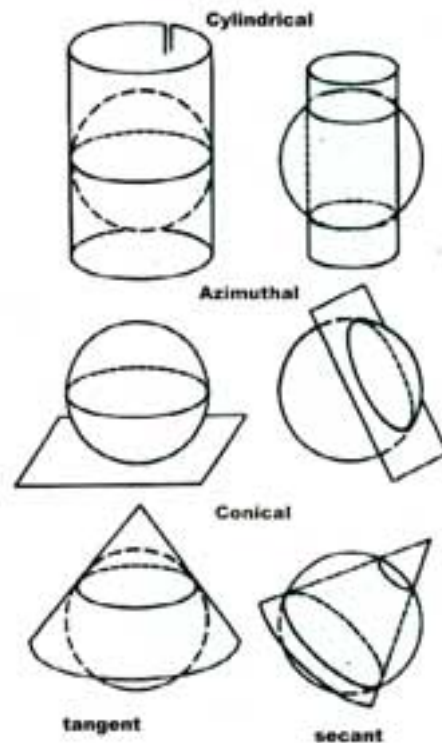


Abbildung 8.15: Prinzipien der Projektion (BRUNET 1987)

Das projizierte Rastersystem der Parallelen und Meridiane wird geometrisch verzerrt sein. Je nach Art der Projektion und ihrer Parameter erscheint eine Gerade, z. B. eine Straße, auf der Papierebene nicht gerade und mit einer falschen Länge; ein Kreis kann zu einer Ellipse werden, ein Quadrat auf der Erdoberfläche kann auf der Ebene als Rechteck erscheinen usw. Ebenfalls in Abhängigkeit vom angewandten Projektionssystem und seinen Parametern kann eine der folgenden Bedingungen erfüllt werden:

Längentreue, d. h. richtige Entfernungsmaße auf der gesamten Karte. Dies ist für Navigationszwecke erforderlich.

Flächentreue, d. h. Flächen können auf der gesamten Karte korrekt berechnet werden. Dies ist für die meisten statistischen Karten wichtig, die zum Vergleich räumlicher statistischer Einheiten verwendet werden.

Winkeltreue, d. h. Formen (wie Winkel) geographischer Gebiete werden gewahrt.

Im Allgemeinen schließt man bei der Auswahl eines Projektionssystems für eine Karte, die einem bestimmten Zweck dient, einen Kompromiss in Bezug auf die oben erwähnten Aspekte.

Auf der Grundlage der ausgewählten Kartenprojektion muss ein Koordinatensystem, das die Identifikation eines Punktes der Erde auf einer Karte ermöglicht, entwickelt werden. Die bekanntesten Koordinaten sind die geographische Länge und Breite.

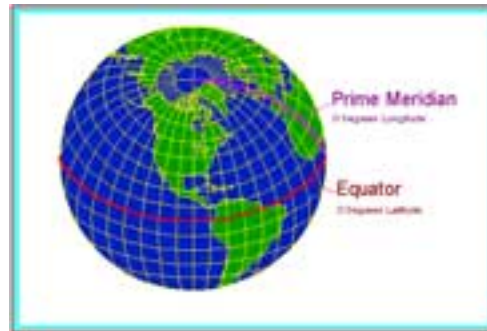


Abbildung 8.16: Geographisches Koordinatensystem (DANA 1999)

Da die Projektionssysteme zahlreich sind, gibt es auch viele Koordinatensysteme. In Deutschland wird zum Beispiel das nach seinen Entwicklern benannte Gauss-Krüger-Koordinatensystem verwendet, das auf einer winkeltreuen Projektion (d. h. die Form von Flächen ist stabil) beruht und mittels Bessel-Ellipsoid, wie das geodätische Datum heißt, referenziert wird. Ähnlichkeiten dazu weist die UTM-Projektion (Universal Transverse Mercator) auf, die weltweit zur Bestimmung von horizontalen Positionen verwendet wird. Dabei wird die Erdoberfläche in 6-Grad-Zonen aufgeteilt und jede davon mit einem zentralen Meridian in der Mitte der Zone mittels der UTM-Projektion kartiert. Die UTM-Zonennummern bezeichnen Längsstreifen von sechs Grad, die sich von 80 Grad südlicher Breite bis 84 Grad nördlicher Breite erstrecken. Die UTM-Zonenbuchstaben bezeichnen 8-Grad-Zonen, die sich nördlich und südlich des Äquators erstrecken (DANA 1999).

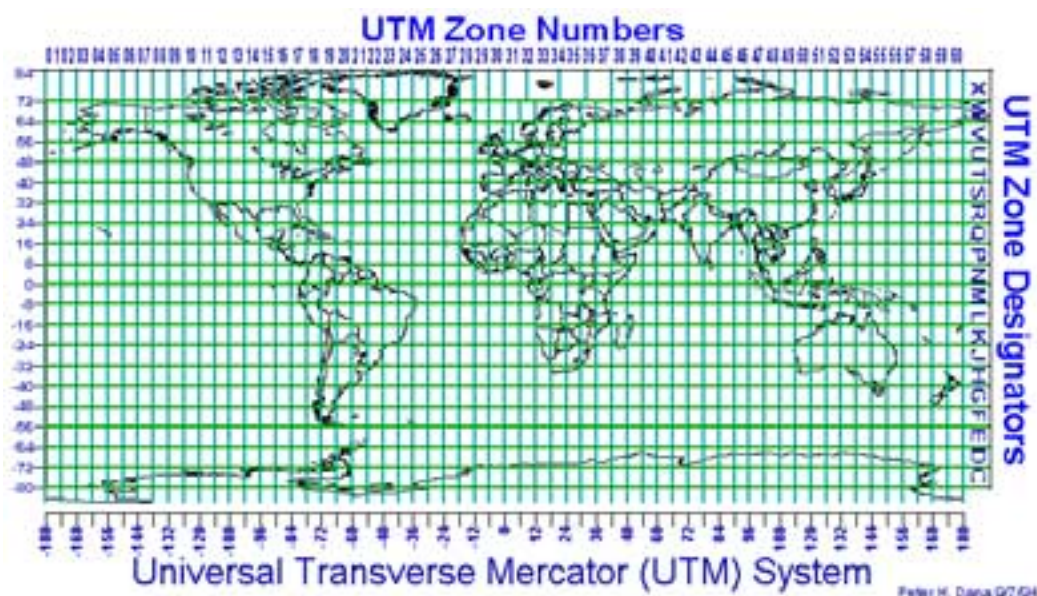


Abbildung 8.17: UTM-Koordinatensystem (DANA 1999)

8.3.2. Regionale Bezugssysteme

Statistische Daten werden meist zu einer geographischen Einheit in Beziehung gesetzt (oder „geocodiert“), z. B. zu einer bestimmten Stadt, einem Land oder einer Ländergruppe wie der Europäische Union. Es wird erwartet, dass die statistischen Informationen für die **gesamte geographische Ausdehnung** dieses so genannten **regionalen Bezugssystems harmonisiert und vergleichbar** sind. In der Fachsprache der Geographie wird ein ähnlicher Begriff als das „geographische Identifikationssystem“ bezeichnet und als eine „strukturierte Sammlung geographischer Ortsangaben mit einem gemeinsamen Thema und Format“ definiert, z. B. Postleitzahlen (CEN 1998).

Im Allgemeinen weisen Statistiken eine **räumliche Differenzierung** innerhalb der geographischen Ausdehnung auf, was bedeutet, dass sie eine räumliche Referenzierung auf kleinere Teile der geographischen Ausdehnung aufweisen, z. B. statistische Regionen, Verwaltungsgebiete oder andere funktionale definierte Regionen (wie Einzugsgebiete für Tagespendler). Wenn diese räumlichen Einheiten, wie dies meist der Fall ist, in einem hierarchischen System definiert sind (d. h. kleinere Regionen können zur Erstellung einer Statistik zu einer größeren Region aggregiert werden), kann man von verschiedenen Ebenen des regionalen Bezugssystems sprechen, z. B. NUTS III, II und I. Je feiner das regionale Bezugssystem ist, desto höher ist die geometrische Auflösung (und die Anzahl der Einheiten) und desto kleiner ist die Darstellungseinheit.

Beispiele für regionale Bezugssysteme:



Abbildung 8.18: NUTS-Regionen (Eurostat 1999)



Abbildung 8.19: Regionales Bezugssystem Berlin, Statistisches Landesamt Berlin

Eine räumliche Aggregation bedeutet nicht unbedingt, dass auch der thematische Inhalt der Daten aggregiert oder „generalisiert“ werden muss. So kann zum Beispiel bei einer Statistik über die Ausbringung von Düngemitteln auf landwirtschaftlich genutzte Flächen nach Land (Mitgliedstaaten der EU), bei der zwischen Stickstoff- und Phosphatdünger unterschieden wird, auf europäische Ebene aggregiert (addiert) werden, so dass man eine Zahl für Dünger (Stickstoff und Phosphat) erhält, ohne dass die beiden Klassen zusammengefasst werden. Wenn Daten bei einer Stichprobe für ganz Europa (europäische Ebene) und für Düngemittel im Allgemeinen erhoben werden, ist es unmöglich, eine Aufschlüsselung i) von europäischer auf einzelstaatliche Ebene und ii) von einer Klasse (Stickstoff + Phosphat) auf zwei Klassen (Stickstoff und Phosphat) vorzunehmen.

Außerhalb der Kartographie wird der Begriff „Maßstab“ meist mit einer weiter gefaßten Bedeutung verwendet. Wenn zum Beispiel Statistiker über den Maßstab sprechen, meinen sie damit die geographische Ausdehnung des von ihnen untersuchten Gebiets oder die Ebene ihres regionalen Bezugssystems, z. B. „... europäischer Maßstab auf der Ebene von NUTS II“. Biologen und Ökologen wiederum können dabei an Habitate denken, was ein Teich, ein Wald oder ein ganzer Gebirgszug sein kann, während Geographen damit Abschnitte einer Landschaft bezeichnen.

Zur Vermeidung von Missverständnissen bei der interdisziplinären Zusammenarbeit, muss man darauf achten, denn im kartographischen Sinn ist eine Karte in kleinem Maßstab hinsichtlich der Geometrie **und** des thematischen Inhalts stark generalisiert (einfach aufgrund der Größe der kleinsten lesbaren Einheit), was nicht zwangsläufig für statistische Informationen für ganz Europa gilt, die trotz einer großen Darstellungseinheit (z. B. nationale Ebene) inhaltlich sehr detailliert sein können (aufgrund der Stichprobe).

8.4 Maßstab

In Diskussionen von Experten aus verschiedenen Fachgebieten verursacht der Ausdruck „Maßstab“ manchmal aufgrund der unterschiedlichen Begriffe, die dahinter stehen, Missverständnisse.

Statistiker verwenden ihn für die Ebene des regionalen Bezugssystems. Ökologen beschreiben mit dem Ausdruck „räumlicher Maßstab“ zwei Merkmale der Datensammlung: **Auflösung**, d. h. die kleinste räumliche oder geometrische Einheit, innerhalb der Daten gesammelt werden, und **Ausdehnung**, d. h. die Größe des untersuchten Gebiets oder die geographische Ausdehnung des regionalen Bezugssystems der Statistiker. Auch die in Verbindung mit dem Maßstab verwendeten

Adjektive „klein“ und „groß“ sorgen manchmal für Missverständnisse. In der Allgemeinsprache bezeichnet man mit einer „Anwendung in großem Maßstab“ ein Projekt, das ein großes Gebiet abdeckt, während eine „Analyse in kleinem Maßstab“ sich auf ein kleines Untersuchungsgebiet bezieht. Im Folgenden wird die kartographische Definition von „Maßstab“ erläutert.

Der Maßstab ist das lineare Verkleinerungsverhältnis zwischen Wirklichkeit und Karte. Die Entfernung von zwei Punkten in der realen Welt wird berechnet, indem man die auf der Karte gemessene Distanz mit dem Maßstabsfaktor multipliziert, z. B. ein Maßstab von 1:1.000.000 bedeutet, dass eine Entfernung von 1 cm auf der Karte einer Strecke von 1.000.000 cm = 10.000 m = 10 km in der realen Welt entspricht. Ohne Maßstabsangabe ist eine Karte keine Karte sondern ein Diagramm. Wie bereits in anderen Kapiteln ausgeführt, ist eine Karte stets eine geometrisch verzerrte, zweidimensionale Darstellung der dreidimensionalen Welt. Diese Verzerrungen können je nach der Projektion und dem Koordinatensystem, die bei der Karte verwendet wurden, Entfernungs- und Flächenmessungen sowie die Form abgegrenzter Flächen beeinflussen. Im engeren Sinn stellt der angegebene Maßstab einer Karte eine Annäherung über das gesamte, auf der Karte abgebildete Gebiet dar, da für jeden Punkt der wahre Maßstab anhand der exakten Parameter der Koordinaten, der Projektion und des geodätischen Datums an diesem Punkt auf der Erdoberfläche berechnet werden kann.

Für die Angabe des Maßstabs gibt es drei Möglichkeiten:

1. verbal, z. B. 1 cm = 10 km, 1" = 1 Meile; das ist leicht verständlich, doch braucht man dazu ein „Lineal“;
2. Maßstabsleiste: Kilometer oder Meilen — äußerst nützlich für die graphische Reproduktion, da sich die Leiste beim Drucken ändert;

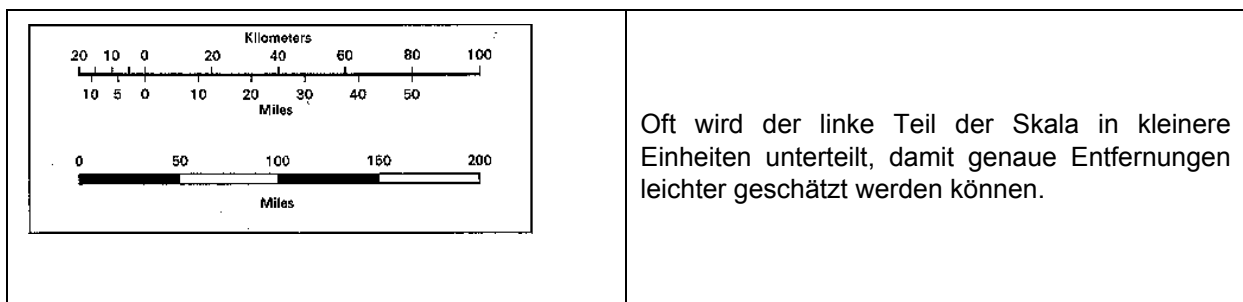


Abbildung 8.20: Beispiele für Maßstabsleisten (University of Texas at Austin - Department of Geography 1999)

3. numerischer Maßstab: gibt das Ausmaß der Verkleinerung als Bruch- oder Verhältniszahl, z. B. 1/100.000 oder 1:100.000 (ohne Einheiten), an und wird zur Beschreibung von Kartenreihen verwendet, kann aber verwirrend sein, da die rechte Seite der Verhältnisangabe bei abnehmendem Maßstab „ansteigt“:

Der Maßstab wird von 1:1.000 zu 1:10.000 und 1:100.000 und 1:1.000.000 usw. immer kleiner.

Die Umwandlung von einem großen Maßstab zu einem kleinen bedingt eine *Generalisierung*, was eine Verringerung der auf der Karte dargestellten Informationsmenge bedeutet, weil einfach auch der auf Papier verfügbare Platz abnimmt. Polygone (Flächen) werden zu Punkten, die beiden Ufer eines Flusses verschmelzen zu einer Linie und einige detaillierte Informationen werden ausgelassen.

Der Maßstab in räumlichen Datenbanken

Genau genommen ist der Maßstab ein kartographischer Begriff, der für abstrakte Darstellungen, die in einer geographischen Datenbank gespeichert sind, **nicht gilt**. In einer idealen geographischen Datenbank sind die Informationen maßstabsfrei, d. h. die Koordinaten eines Punktes (einer Linie, eines Polygons) entsprechen den Koordinaten in der Realität. Allerdings stammen die meisten Daten aus digitalisierten Karten, die in einem bestimmten Maßstab erstellt wurden, und so werden geometrische Fehler in das digitale System übernommen.

Bei **RÄUMLICHEN DATENBANKEN** werden folgende Begriffe verwendet:

- Präzision: die Detailliertheit bei der Meldung einer Messung.

- Genauigkeit: das Verhältnis zwischen einer Messung und der von ihr abzubildenden Realität.
- Auflösung: das kleinste noch darstellbare Objekt.

In der Terminologie der *FERNERKUNDUNG* ist die „**räumliche Auflösung** die kleinste Fläche (räumliche Einheit) am Boden, über die das von einem Sensor erfasste radiometrische Signal integriert wird“. Die Größe dieser Einheit hängt von den Merkmalen des Sensors und der Höhe der Plattform ab. In Gesprächen zwischen Statistikern und Fernerkundungsexperten wird dieser Begriff manchmal mit der „*Beobachtungseinheit*“ oder der „*Kartierungseinheit*“ verwechselt.

GOODCHILD, M (1991): Issue of quality and uncertainty. In: Advances in Cartography.- London (Hrsg. MÜLLER), S. 113-139

Eine Generalisierung des Inhalts einer geographischen Datenbank ist nicht erforderlich, dies wird erst für Darstellungszwecke (auf einem Bildschirm oder auf Papier) notwendig.

8.5. Einheiten

8.5.1 Karteneinheiten

Karteneinheiten sind die Maßeinheiten, in denen die geographischen Daten gespeichert sind (gleichgültig, ob in analogem oder digitalem Format), z. B. Zoll, Fuß, Meter oder Grad, Minuten und Sekunden.

8.5.2 Kartierungseinheit






Die Kartierungseinheit ist die kleinste Fläche, die während der Vermessung gemessen und kartiert wird. Die Größe dieser Einheit wird vor allem von den Nutzeranforderungen bestimmt — in unserem Fall vom Maßstab der zu erstellenden Karte oder, besser gesagt, von der Präzision und Genauigkeit, die zur Identifikation des kleinsten zu kartierenden Objekts erforderlich ist. Ferner hängt die Größe der Einheit von der geometrischen Präzision oder räumlichen Auflösung der Datenerfassungsverfahren oder -werkzeuge ab, die entsprechend ausgewählt werden sollten.

Die Präzision und Genauigkeit der terrestrischen Messungen kann mehrere Millimeter oder Zentimeter betragen, z. B. für das Netz trigonometrischer Punkte, Leitungs- und Katasterkarten. Andere Verfahren, wie zum Beispiel photogrammetrische Messungen anhand von Luft- oder Satellitenbildern, führen je nach räumlicher Auflösung zu Kartierungseinheiten in der Größenordnung von unter einem Meter oder mehreren Metern. Objekte, die kleiner als oder gleich groß wie die räumliche Auflösung sind, können auf optischen Fernerkundungsbildern im Allgemeinen nicht identifiziert werden. Die Zuordnung eines Pixels zum Beispiel zu einer Bodenbedeckungsklasse erfordert die Analyse der benachbarten Pixel, also eines Fensters von mindestens 3 x 3 Pixel. In der Praxis wird nach einem automatischen oder halbautomatischen Klassifikationsverfahren (z. B. Clusteranalyse, Maximum-Likelihood-Klassifikation) ein Filterprozess ausgeführt, um einzelne „Störpixel“ zu eliminieren. Bei jüngsten Entwicklungen im Bereich der Klassifikation von Fernerkundungsbildern werden zuerst Segmente mit homogenen Spektralwerten ermittelt und dann klassifiziert. Die Kartierungseinheit wäre also hier die Mindestgröße dieser zu klassifizierenden Segmente.

8.5.3. Kleinste lesbare Einheit

Die kleinste lesbare Einheit einer Karte ist die Größe einer Linie oder eines Polygons in einer Karte auf Papier, die gerade noch erkennbar ist. Eine schwarze Linie sollte 0,05 mm und eine farbige Linie 0,08-

0,1 mm dick sein. Hinsichtlich der räumlichen Abmessungen sollten Polygone in einer Karte mindestens 0,3 mm breit und farbige Flächen mindestens 1 mm² groß sein.

| | | |
|--|--------------|--|
| Dicke einer schwarzen Linie: | 0,05 mm |  |
| Dicke einer farbigen Linie: | 0,8 - 0,1 mm |  |
| Abstand zwischen Linien: | 0,25 mm |  |
| Abmessungen von Polygonen: | 0,3 mm |  |
| Abstand zwischen ausgefüllten Polygonen: | 0,2 mm |  |

Die Abbildungen sind größer als die angegebenen Maße.

Je nach dem Maßstab der Karte entsprechen dieser Einheit unterschiedliche Flächen in der Realität: die kleinste darstellbare Fläche ist 1 m² (1 mm x 1 mm auf der Karte) bei einem Maßstab von 1:1.000 und 10.000 m² (1 ha) bei einem Maßstab von 1:100.000. Das bedeutet, dass die Präzision und Genauigkeit terrestrischer Messungen in Zentimeter verschwimmt, wenn sie im Maßstab 1:100.000 auf Papier dargestellt werden. Dabei entspricht 1 mm auf der Karte 100 Metern in der Realität. Dasselbe Konzept gilt bei Vermessungen vor Ort: eine Linie eines Blatt Papiers stellt je nach dem Maßstab der zu erstellenden Karte eine bestimmte Fläche dar.

Manchmal wird die kleinste lesbare Einheit mit der „Kartierungseinheit“ einer Karte verwechselt.

8.5.4. Beobachtungseinheit

Bei statistischen Untersuchungen sind die Beobachtungseinheiten die Studienobjekte, z. B. je nach Fragestellung Menschen, Familien, Haushalte, Pflanzen, Tiere, Klimastationen, landwirtschaftliche Parzellen, Verwaltungsgebiete oder andere räumliche Einheiten. Die untersuchten Merkmale, d. h. die Variablen, können unterschiedlicher Art sein: Alter, Anzahl der Kinder, Haushaltseinkommen, Ausmaß der Schädigung (zum Beispiel bei Bäumen), Sonnenscheindauer, Bodenbedeckung oder -nutzung usw.

8.5.5. Darstellungseinheit

Im Allgemeinen ist die Darstellungseinheit die Einheit, in der statistische Daten abgebildet werden. Diese Einheiten können verschiedene zeitliche (Intervall) und räumliche Dimensionen (Regionen) aufweisen.

Die Daten, die bei einer Volkszählung landesweit gesammelt werden, können für jeden Haushalt präsentiert werden. In diesem Fall entspricht die Darstellungseinheit der Beobachtungseinheit. Dies trifft in mehreren nordischen Ländern zu. Die Ergebnisse können aber auch räumlich auf einer höheren Ebene des regionalen Bezugssystems aggregiert werden, z. B. NUTS IV, die dann zur Darstellungseinheit wird. Daten aus einer Flächenstichprobenerhebung sind je nach Stichprobendefinition für eine bestimmte regionale Bezugseinheit repräsentativ.

Eines der größten Probleme bei der interdisziplinären Zusammenarbeit entsteht durch Missverständnisse oder Fehlinterpretationen von Fachausdrücken, die genau definiert sind, aber auf unterschiedlichen sektorspezifischen Begriffen beruhen. Dies trifft insbesondere zu, wenn ähnliche oder sogar dieselben Wörter in der Terminologie verwendet werden.

In Diskussionen zwischen Statistikern und Geographen (Kartographen, Fernerkundungsspezialisten) kann man Missverständnisse oder Verwirrung erkennen, wenn die Begriffe „Kartierungseinheit“ und „Beobachtungseinheit“, „kleinste lesbare Einheit“, „räumliche Auflösung“ und „Darstellungseinheit“ verwendet werden.

Wie oben ausgeführt, ist die Kartierungseinheit in der Fachsprache der Kartographie stets eine Oberfläche. Die erforderliche Größe der Kartierungseinheit hängt vom Maßstab der zu erstellenden Karte ab (der wiederum von der Größe der zu kartierenden Objekte beeinflusst wird), was auch das Verfahren der Datenerfassung bestimmt, z. B. terrestrische Vermessung oder Luftphotogrammetrie. Wenn die Informationsanforderungen eine sehr hohe geometrische Präzision und Genauigkeit notwendig machen (z. B. eine Leitungskarte, in der Wasser- oder Stromleitungen eingezeichnet sind, um die Planung einer Baustelle zu ermöglichen), muss der Maßstab der erarbeiteten Karte sehr groß sein, z. B. 1:100 oder 1:500. Wenn das Eigentum an Grundstücken in der Karte dargestellt werden soll, dann kann der erforderliche Maßstab bei 1:1.000 oder 1:5.000 liegen. Geographische Daten dienen „nur“ als Gerüst für thematische Karten, wie zum Beispiel die Darstellung der Bevölkerungsdichte in den Mitgliedstaaten der EU auf der Ebene NUTS II: die zu erfassende geographische Ausdehnung, nämlich das gesamte Gebiet der EU, und der verfügbare Platz für den Druck der Karte bestimmen den zu verwendenden Maßstab (z. B. 1:30.000.000 beim Format A4). In diesem Fall ist die geometrische Präzision und Genauigkeit keine wichtige Frage.

Wenn zum Beispiel für die gleiche Karte als Darstellungseinheit der Zählbezirk (entspricht der untersten Ebene des regionalen Bezugssystems) verwendet wird, spielt die kleinste lesbare Einheit eine Rolle bei der Bestimmung des Maßstabs. Ein Zählbezirk mit einer Größe von 100 ha erscheint auf einer Karte im Maßstab 1:10.000.000 als eine Fläche von 1 mm², was der kleinsten lesbaren Abgrenzung eines farbigen Punktes in einer Karte auf Papier entspricht.

Wie oben erwähnt, **können** bei statistischen Erhebungen die Beobachtungseinheiten abgegrenzte Gebiete sein, z. B. Parzellen, Habitate, Stadtgebiete, Verwaltungsregionen wie Kommunen, NUTS-Regionen oder Länder. Hier muss zwischen dem regionalen Bezug einer Beobachtungseinheit und einer Beobachtungseinheit, die eine Region **ist**, unterschieden werden.

Die Beobachtungseinheit in der statistischen Terminologie hat fast immer einen regionalen Bezug: Statistiken verweisen normalerweise auf ein geographisches Gebiet — auf ein ganzes Land, z. B. Einwohnerzahl von Frankreich, oder auf ein kleineres, genau abgegrenztes Gebiet, wie die Arbeitslosigkeit in Dublin. Neben diesem geographischen Umfang können Statistiken auch ein feineres geographisches Bezugssystem aufweisen. Dieses erlaubt es, Merkmale der Beobachtungseinheiten in verschiedenen Regionen zu vergleichen. Für gewöhnlich ist solch ein System hierarchisch gegliedert und umfasst auf der untersten regionalen Bezugsebene Anschriften, statistische Blöcke (oder Zählbezirke), Bezirke, Kommunen, Kreise, Länder bis hin zur nationalen und internationalen Ebene (Mitgliedstaaten der EU, OECD, WTO usw.). Natürlich ist es eine Voraussetzung für Vergleiche, dass die Statistiken über das gesamte geographische Gebiet hinweg harmonisiert oder sogar standardisiert sind.

8.6. Geocodierte Statistiken und geographische Informationen

Alle Statistiken sind im Allgemeinen auf irgendeine Art und Weise *geocodiert*, d. h. sie werden mit alphanumerischen Codes für Gebiete oder Orte (z. B. Namen, Nummern) zu einem regionalen Bezugssystem in Beziehung gesetzt: nationale Daten beziehen sich auf das gesamte Land und regionale Daten auf kleinere Gebiete (meist Verwaltungsregionen, wie die europäischen NUTS-Regionen auf drei Ebenen).

Geographische Informationen sind (GOODCHILD 1997):

- Informationen über Orte auf der Erdoberfläche,
- Wissen darüber, wo sich etwas befindet,
- Wissen darüber, was sich an einem gegebenen Ort befindet.

Geographische Informationen werden traditionellerweise in analoger Form in Karten auf Papier „gespeichert“. Dieses Format weist mehrere Einschränkungen hinsichtlich der Präsentation und dem Inhalt der Informationen auf, die vom Maßstab, dem Grad der Generalisierung und dem Kartentyp abhängen. Heute werden geographische Informationen (Geoinformationen), wie viele andere Arten von Informationen, in computergestützten Systemen verwaltet.

Ideale geographische Objekte haben räumliche Grenzen und ein gut definierter Satz von Attributen, zum Beispiel Parzellen mit genauen und präzisen Grenzen, die vor Ort vermessen wurden, und Attributen, wie Eigentümer, tatsächliche und zulässige Nutzung, Grundbesteuerung usw., die einheitlich für das gesamte Objekt gelten.⁷

Punkte, Linien und Flächen bestimmen diese geographischen Objekte in einem definierten und absoluten geographischen Bezugssystem. Linien bestehen aus Punkten mit exakten Koordinaten im absoluten Bezugssystem, und Flächen (Polygone) setzen sich aus Linien zusammen. Die Angaben zur räumlichen Abgrenzung solcher geographischer Phänomene werden als geographische Daten bezeichnet.

Analoge geographische Informationssysteme (= Karten) stellen diese Punkte, Linien und Flächen (Polygone) in einem festgelegten Maßstab auf einem Blatt Papier dar. Digitale geographische Informationssysteme (GIS) speichern die Koordinaten der geographischen Objekte aus der realen Welt in einem numerischen Format.

Ein GIS ist (GOODCHILD 1997):

- ein System zum Eingeben, Speichern, Manipulieren und Ausgeben geographischer Informationen;
- ein Softwaretyp;
- in einem praktischen Anwendungsfall eine Kombination aus Software, Hardware, Daten, einem Nutzer usw. zur Lösung eines Problems, zur Unterstützung der Entscheidungsfindung und der Planung.

⁷ „... es gibt [andere] geographische Phänomene, die häufiger als kontinuierliche Felder betrachtet werden — Luftdruck, Höhe in der Darstellung durch Höhenschichten, hydraulische Höhe oder Abgasfahnen. Diese werden für gewöhnlich durch glatte mathematische Flächen (oft polynome Funktionen) dargestellt, die sich in räumlicher und zeitlicher Hinsicht kontinuierlich und fließend verändern“ (eigene Übersetzung des Zitats aus BURROUGH und FRANK 1996, S. 4). Die Abgrenzung solcher Phänomene ist ein Problem für sich.

8.7. Georeferenzierung, Geocodierung

8.7.1 Georeferenzierung

Wie bereits erwähnt, werden geographische Objekte durch Punkte, Linien (d. s. miteinander verbundene Punkte) und Flächen (d. s. miteinander verbundene Linien) abgegrenzt. Die Zuordnung der Koordinaten eines absoluten geographischen Bezugssystems zu diesen Punkten (Linien, Polygone) wird als *Georeferenzierung* bezeichnet. Die geographischen Koordinaten des Flughafens von Lissabon sind zum Beispiel (etwa) 38°45' nördlich (des Äquators) und 9°19' westlich (von Greenwich).

- In der Terminologie der *FERNERKUNDUNG* betrifft die Georeferenzierung eine Vorverarbeitung zur geometrischen Korrektur der Bilder:
- Die „*geometrische Korrektur*“ ist das Verarbeitungsverfahren, das räumliche Verzerrungen in einem Bild korrigiert.
- Bei der „*Bild-zu-Bild-Registrierung*“ werden zwei oder mehr Bilder oder Photos so überlagert, dass identische geographische Punkte aufeinander liegen.
- Die „*Georeferenzierung*“ ist die Umwandlung des Bildes (jedes Pixels) in Einklang mit einem kartographischen Bezugssystem.

Diese Verarbeitungsmethoden erfordern die Zuordnung, Berechnung oder das „Resampling“ eines neuen Wertes für jedes Pixel, das an eine andere Stelle im Raster des Bildes verschoben werden soll: zum Beispiel mit Hilfe von Passpunkten, deren Koordinaten aus einer Karte bekannt sind, und den entsprechenden Bildpasspunkten können die geographischen Koordinaten des Pixels, d. h. sein präziser und genauer Ort, in einer neuen georeferenzierten Bildmatrix berechnet werden. Der Prozess der neuerlichen Berechnung und Zuordnung eines neuen spektralen Werts für den Platz des Pixels im georeferenzierten Bild wird als „*Resampling*“ bezeichnet. Es beruht auf den Werten im lokalen Bereich um die unkorrigierten Pixel in der ursprünglichen Bildmatrix. Das Resampling kann durchgeführt werden, indem man einfach den Wert des nächstgelegenen Nachbarpixels heranzieht oder eine Interpolation anhand eines Fensters um die alte Pixelposition herum vornimmt.

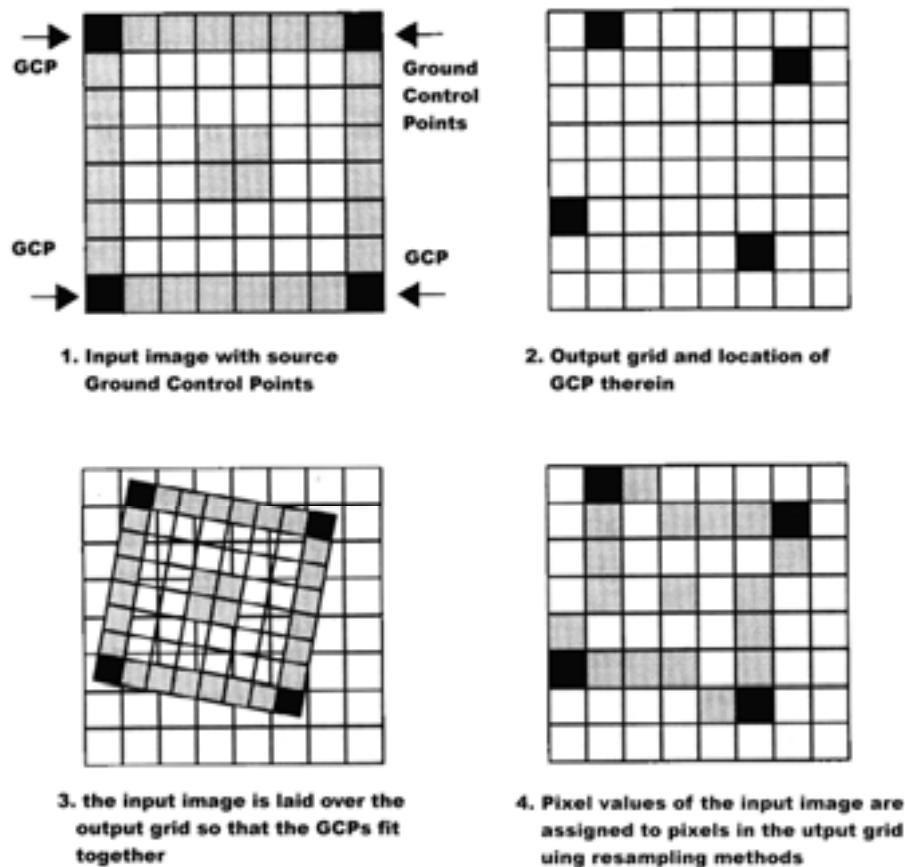


Abbildung 8.21: Prinzip der Georeferenzierung (ERDAS 1994)

8.7.2. Geocodierung

Der Prozess, bei dem einem geographischen Merkmal ein Code (z. B. Name, Nummer) zugeordnet wird, wird als *Geocodierung* bezeichnet.

In der *STATISTIK* werden die Begriffe „Geocodierung“ und „Georeferenzierung“ mit einer weiter gefassten Bedeutung verwendet und bezeichnen die Codierung bzw. Referenzierung einer statistischen Zahl auf eine regionale Bezugseinheit, meist eine statistische Gebietseinheit, z. B. einen statistischen Block, eine NUTS-Region (siehe „Regionale Bezugssysteme“). Der Flughafen von Lissabon ist als RC132 „Grande Lisboa“ auf Ebene NUTS III geocodiert.

In einer Volkszählung können Daten für Beobachtungseinheiten — Personen — zur Adresse (sehr genau) oder zum statistischen Block (räumlich aggregiert) in Beziehung gesetzt (geocodiert) werden. Mit dieser Angabe ist noch keine Georeferenz im engeren Sinn — Zuordnung geographischer Koordinaten — gegeben, da die Daten in Tabellen mit den Adressen oder den Codes der Zählbezirke gespeichert sein können. Zur Georeferenzierung ist es für die geographischen Daten notwendig, dass für den Ort, der aus den Grenzen der Bezugseinheiten besteht, die geographischen Koordinaten angegeben werden (z. B. Grad, Minuten, Sekunden oder Meter in einem definierten Koordinatensystem). Die Georeferenz erlaubt den Aufbau der Topologie, d. h. der Nachbarschaftsbeziehungen zwischen den Bezugsregionen, was für bestimmte Arten räumlicher Analysen von entscheidender Bedeutung ist.

Im Fall einer Flächenstichprobe sind die Informationen, die über einen Teil des Gebiets gesammelt wurden, für das gesamte Gebiet repräsentativ und sind diesem zuzuordnen (Geocodierung).⁸ Wenn Statistiken genauer, d. h. auf einer niedrigeren Ebene des regionalen Bezugssystems, geocodiert werden sollen, muss eine repräsentative Stichprobe in Bezug auf die Größe (Fläche) und die Anzahl der Bezugseinheiten auf den verschiedenen Ebenen dieses regionalen Bezugssystems definiert werden. Das Stichprobendesign bestimmt die kleinste räumliche Darstellungseinheit.

⁸ Die Flächenstichprobe MARS wurde zum Beispiel so definiert, dass sie Schätzungen auf europäischer Ebene erlaubt. Sie ist auf nationaler Ebene (d. h. für einzelne Mitgliedstaaten der EU) nicht repräsentativ.

9. LITERATUR

9 LITERATUR

ABEL, D. J., BENG CHIN O., KIAN-LEE T., SOON HUAT T. (1998): Towards integrated geographical information processing. - In: International Journal on Geographic Information Science, Jg. 12, Nr. 4 1998, S. 353-371.

ALBERTZ, J. (1991): Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern: eine Einführung in die Fernerkundung. Wissenschaftliche Buchgesellschaft Darmstadt.

ALUN, J., CLARK, J. (1997): Driving forces behind European land use change: an overview. CLAUDE Resource Paper Nr. 1.

BÄHR, H.-P. (1985): Digitale Bildverarbeitung: Anwendung in der Photogrammetrie und Fernerkundung. Karlsruhe.

BAULIES, X.I., SZEJWACH, G. (Hrsg.) (1997): Survey of needs, gaps and priorities on data for land use and land cover change research. LUC Data requirements workshop, Barcelona 11.-14. November 1997, LUC report series 3.

BRUNET, R. (1987): La Carte Mode d'Emploi. Paris.

BUNDESAMT FÜR STATISTIK (1996): Arealstatistik Schweiz: Die Bodennutzung in den Kantonen. Gemeindeergebnisse 1979/85 und 1992/97. Diese Reihe (auf Französisch und Deutsch) enthält die neuesten Ergebnisse der Folgeerhebungen nach ihrem Abschluss in jedem Kanton. Die ersten Bände erschienen 1996 und die letzten werden voraussichtlich 2001 veröffentlicht.

BUNGE, M. (1983): Epistemology and methodology I: exploring the world, Bd. 5 von: Treatise on basic philosophy, Dordrecht und Boston, Reidel.

BURROUGH, P.A., FRANK, A.U. (1996): Geographic objects with indeterminate boundaries. GISDATA Series. European Science Foundation, London, Bristol.

Canadian Centre for Remote Sensing (1999): Fundamentals of Remote Sensing Tutorial.

Canadian Centre for Remote Sensing (1999): Glossary - <http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/eduref/ref/glosndxe.html>.

CEN (1998): Geographic information - Vocabulary. - CEN Report CR 13436:1998, Paris.

CHRISMAN, N R. (1998): Rethinking levels of measurements for cartography. In: Cartography and Geographic Information Systems, Jg. 25 Nr. 4, 1998, S. 231-242.

COCHRAN, W.G. (1977): Sampling Techniques. Wiley, New York, 3. Auflage.

CONGALTON, R. (1991): A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. Remote Sensing of Environment, Jg. 37, S. 35-46

COTTER, J.; NEALON, J. (1987): Area Frame Design for Agricultural Surveys. United States Department of Agriculture, National Agricultural Statistics Service, Research and Applications Division.

COWEN, D. J. (1997): NCGIA Core Curriculum in GIScience.

CROI, W. (1999): European Land Cover and Land Use Information Database. Working Party Land Use Statistics. Mai 1999 (Doc. LAND/19).

DANA, H. P. (1999): The Geographer's Craft Project, Department of Geography, The University of Texas at Austin http://www.utexas.edu/depts/grg/gcraft/notes/datum/datum_ftoc.html#Contents.

DI GREGORIO, A., JANSEN, L.J.M. (1997): A new concept for a Land Cover Classification System. Earth observation and evolution classification, 1997, Tagungsband. 13.-16. Oktober 1997, Alexandria, Ägypten, 10 S.

DEVOGELE, T., PARENT, C., SPACCAPIETRA, S. (1998): On spatial database integration. In: International Journal on Geographic Information Science, Jg. 12, Nr. 4 1998, S. 335-352.

- DRURY, S.A. (1990): A Guide to Remote Sensing. Oxford, 199 S.
- DUHAMEL, C., CROI, W. (1998): LANES - Development of a harmonised framework for multi-purpose land cover / land use information systems derived from earth observation data. Abschlussbericht (nicht veröffentlicht).
- DUHAMEL, C. (1998): Cesd-Communautaire: Background paper on nomenclatures, LANES concerted action, Research program on the Environment and climate, Europäische Kommission.
- DUHAMEL, C., VIDAL, C. (1998): Objectives, tools and nomenclatures. In Eurostat (1999): Informationssysteme zur Bodenbedeckung und Bodennutzung für die Politik der Europäischen Union. Seminarbeiträge. Luxemburg, 21.-23. Januar 1998.
- DUPRAT, H. (1972): Les conditions linguistiques du transfert technologique in Revue Automatismes Jg. XVII Nr. 11 Paris.
- ECO, U. (1987): Zeichen, Edition Suhrkamp.
- EKHOLM, A. (1996): A conceptual framework for classification of construction works.
- EUROSTAT (1992): Task force statistiques spatiales, rapport final Statistiques d'utilisation des sols.
- EUROSTAT (1995): Regionen — Systematik der Gebietseinheiten für die Statistik NUTS. Luxemburg (nicht veröffentlicht).
- EUROSTAT (1996): CLUSTERS (Classification of Land Use Statistics - Eurostat Remote Sensing programme). In: Bodennutzung — Der statistische Rahmen (nicht veröffentlicht).
- EUROSTAT (1999): Regionen — Systematik der Gebietseinheiten für die Statistik — NUTS.-Luxemburg.
- EUROSTAT (1998): The GISCO Database Manual (nicht veröffentlicht).
- ERDAS (1994): Field Guide. Atlanta, GA, USA.
- FAO (1996): Multiple frame agricultural surveys. Current surveys based on area and list frame sampling methods. FAO Statistical Development Series, Bd. 1.
- FAO (1998): Multiple frame agricultural surveys. Agricultural survey programs based on area frame or dual frame (area and list) sample designs. FAO Statistical Development Series Bd. 2.
- FRITSCH, D., GLEMSER, M., KLEIN, U., SESTER, M., STRUNZ, G. (1998): Zur Integration von Unsicherheit bei Vektor- und Rasterdaten. In: Geographische Informationssysteme 4 / 1998, S. 26-35.
- GALLEGO, F.J., CARFAGNA, E. (1998): Research project on Geographic sampling strategies and remote sensing – Abschlussbericht (nicht veröffentlicht).
- GALLEGO, F.J. (1995): Sampling Frames of Square Segments. Amt für amtliche Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaften, Luxemburg.
- GÉOIMAGE (1995): Utilisation de la télédétection pour l'inventaire, le suivi et la gestion du couloir rhodanien. Abschlussbericht. Eurostat-Projekt (nicht veröffentlicht).
- GOODCHILD, M. F. (1997): What is Geographic Information Science? - NCGIA Core Curriculum in GIScience, <http://www.ncgia.ucsb.edu/giscc/units/u002/u002.html>, 7. Oktober 1997.
- GOODCHILD; M. F.; LONGLEY, P. A.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. (1999): Geographic Information Systems. 2. Auflage, New York.
- HAKE, G. (1982): Kartographie. Berlin, New York.
- HJELMSLEV, L. (1959): Pour une sémantique structurale in Essais linguistiques. Kopenhagen, Nordisk Sprog- og Kulturforlag.

- HUNTING Technical Service & The Centre for Agricultural Strategy (1997): Quality Control Procedures for Land Use Data derived using Remote Sensing Technology - Abschlussbericht.- Eurostat-Forschungsprojekt (nicht veröffentlicht).
- JAAKKOLA, O. (1998): Multi-scale categorical data bases with automatic generalisation transformations based on map algebra.- In: Cartography and geographic information systems, Jg. 25, Nr. 4, S. 195-207.
- JANSEN, L.J.M.; DI GREGORIO A. (1999): The Problems of Current Land Cover classifications: Development of a new approach. In Eurostat (1999): Informationssysteme zur Bodenbedeckung und Bodennutzung für die Politik der Europäischen Union. Seminarbeiträge. Luxemburg, 21.-23. Januar 1998.
- LAURINI, R. (1998): Spatial multi-database topological continuity and indexing: a step towards seamless GIS data interoperability.- In: International Journal on Geographic Information Science, Jg. 12, Nr. 4 1998, S. 373-402.
- LILLESAND, T.M.; KIEFER, R.W. (1994): Remote sensing and image interpretation. 3. Aufl. Wiley, New York.
- LUND, H.G. (1998): A "Forest" by any other name. Paper in Land Use, Land Use change and forestry in the Kyoto protocol. Environmental Science & Policy, Elsevier Science Publications.
- McCARTHY, D. (1996): International Earth Rotation Service (IERS) Technical Note 21.- IERS Conventions, Observatoire de Paris.
- MÜCHER, C.A., STOMPH, T.J., FRESCO L.O. (1993): Proposal for a global land use classification FAO, Rom, 37 S.
- MEGRIN (1999): Geographical Data Description Directory Version 2.1 - GDDD Data Model.- <http://www.megrin.org/GDDD/Overview.html>.
- NASA Goddard Space Flight Applied Information Sciences Branch Center (1999): Remote Sensing and Photo Interpretation Tutorial, verfügbar unter: <http://rst.gsfc.nasa.gov/ToFC/table.html>.
- National Imagery and Mapping Agency (2000): Technical Report 8350.2 3. Auflage: World Geodetic System 1984. – Bethesda.
- OLSON, J. M. (1998): Maps as Representations of the World, NCGIA Core Curriculum in GIS, National Center for Geographic Information and Analysis, University of California, Santa Barbara, Unit 020, <http://www.ncgia.ucsb.edu/giscc/units/u020/u020.html>, 23. Dezember 1998.
- POIRET, M. (1997): Groupe de travail sur Les Statistiques d'Utilisation des Sols.
- QUATTROCHI, D. A., SIU-NGAN LAM, Nina (1991): Perspectives on Integrating Multiscale. Multitemporal Remote Sensing Data with Geographic Information Systems.- In: The Integration of Remote Sensing and Geographic Information Systems. Bericht einer 1991 in Baltimore abgehaltenen Sondersitzung. ACSM-ASPRS Annual Convention, ASPRS Bethesda, Maryland, USA.
- RADERMACHER, W. (1988): Gedanken zu einer Basisklassifikation der Bodennutzungen.
- ROBINSON, A.; MORRISON, J.; MUEHRCKE, P. C.; KIMERLING, J. and GUPTILL, S. C. (1995): Elements of Cartography.- 6. Auflage. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- SABINS, F.F. (1987): Remote Sensing Principles and Interpretation – 2. Auflage, (W.H. Freeman & Co.), 449 S.
- SIMPSON, G.G. (1961): Principles of Animal Taxonomy, Columbia University Press, New York.
- SOKAL, R. (1974): Classification: purposes, principles, progress, prospects in Science Jg. 185, Nr. 4197, S. 111-123.
- SNEATH, PHA.; SOKAL, R. (1973): Numerical taxonomy, Freeman and Co.
- STATISTICS NORWAY (2000): Land use statistics for urban settlements.- Abschlussbericht für Eurostat.

- STEFANAKIS, E., SELLIS, T. (1998): Enhancing operations with spatial access methods in a database management system for GIS.- In *Cartography and Geographic Information Systems*, Jg. 25, Nr. 4, 1998, S. 16-32.
- STOTT, A.; HAINES-YOUNG, R. (1996): Linking land cover, intensity of use and botanical diversity in an accounting framework in the UK.
- SUTCLIFFE, J.P. (1993): Concept, class and category in the tradition of Aristotle. Kapitel 3 in Van Mecheler et al. (Hrsg.) *Categories and concepts: theoretical views and inductive data analysis*, Academic Press, London.
- SYSAME (1992): Cadastres fonciers nationaux - Synthèse de l'étude comparative des cadastres nationaux réalisée pour le casier viticole communautaire.
- TAYLOR, C.; SANNIER, C.; DELINCÉ, J.; GALLEGU, F.J. (1997): Regional Crop Inventories in Europe assisted by Remote Sensing: 1988-1993. Synthesis Report of the MARS Project - Action 1. Amtliche Veröffentlichung der Europäischen Gemeinschaften, Luxemburg.
- TOMPPO, E. (1992): Multi-source National Forest Inventory of Finland - Finnish Forest Research Institute - Research Papers 444, Helsinki.
- University of Texas at Austin - Department of Geography (1999): The Geographer's Craft Project.- Austin (URL: <http://www.utexas.edu/depts/grg/gcraft/about/about.html>).
- WEISSEL, J. et. al (1999): Glossary. -Lamont-Doherty Earth Observatory of Columbia University; <http://rst.gsfc.nasa.gov/Glossary/glossary.html>.
- WÜSTER, E. (1971): Begriffs- und Themaklassifikationen. Unterschiede in ihrem Wesen und ihrer Anwendung. *Nachrichten für Dokumentation* Bd. 22, Nr. 3 und 4.
- WYATT, B. (1997): Guidelines for Land Use and Land Cover description and classification, Institute of Terrestrial Ecology - Report to FAO.