

Vom Luftbild zur topographischen Orthophotokarte – Einsatz digitaler Farbornorthophotos in der Kartographie

Diplomarbeit von Hannes Rellstab unter der Leitung von Prof. Dr. Kurt Brassel,
Geographisches Institut der Universität Zürich, 2003

Betreuung: Dr. Christoph Brandenberger



Vom Luftbild zur topographischen Orthophotokarte – Einsatz digitaler Farbornthophotos in der Kartographie

Diplomarbeit von Hannes Rellstab unter der Leitung von Prof. Dr. Kurt Brassel,
Geographisches Institut der Universität Zürich

Betreuung: Dr. Christoph Brandenberger

Abgabedatum: 8. Juli 2003

Hannes Rellstab
Zehntenweg 11
CH-4654 Lostorf
+41 62 298 21 40
hannes.rellstab@bluewin.ch

Vorwort

Karten und Luftbilder bzw. deren Folgeprodukte, die Orthophotos, stellen die Erdoberfläche auf unterschiedliche Weise dar. Erstere eher abstrakt und klar bestimmt, letztere anschaulich, aber auch mit vielen Unsicherheiten behaftet. Beide Abbildungsformen stellen für mich ästhetisch ansprechende und informationsreiche Produkte mit unterschiedlichen Stärken und Schwächen dar. Kartographische Produkte, welche die beiden Darstellungsarten kombinieren, überzeugen heutzutage aber meist noch nicht. So bot mir das gewählte Thema die faszinierende Möglichkeit, mich intensiv mit Orthophotos und deren Kombination mit konventionellen kartographischen Elementen beschäftigen zu können. Ein grosser Teil der vorliegenden Arbeit widmet sich der Erstellung eines Musters dieses speziellen Kartentyps. Anhand dieser Karte soll gezeigt werden, wo bei der Erstellung die Probleme liegen, welche Lösungsansätze sich anbieten und welches die Möglichkeiten und Grenzen eines solchen kartographischen Produktes sind.

Ich möchte mich an dieser Stelle bei allen Personen bedanken, welche durch konstruktive Kritik, Einbringen guter Ideen oder anderweitiger Unterstützung zum Gelingen dieses Projektes beigetragen haben. Besonders erwähnen möchte ich folgende Personen:

- *Dr. Christoph Brandenberger*, Mitarbeiter am Institut für Kartographie der ETH Zürich, war der Betreuer dieser Diplomarbeit und hat sich viel Zeit für mich genommen. Er hat die Manuskriptversionen kritisch durchgelesen und verschiedene Anregungen und Verbesserungsvorschläge eingebracht.
- Ebenfalls danken möchte ich *Prof. Dr. Kurt Brassel* vom Geographischen Institut der Universität Zürich für seine Anregungen und Korrekturen.
- *Prof. Dr. Lorenz Hurni*, Vorsteher des Institutes für Kartographie der ETH Zürich, war mir in der Anfangsphase dieses Projektes bei der Suche einer geeigneten thematischen Ausrichtung behilflich.
- *Tobias Brühlmeier*, Dipl. Geogr., war eine wertvolle Hilfe bei verschiedensten computertechnischen Problemen.
- Schliesslich möchte ich auch meinen Eltern, *Hans-Hugo* und *Trudi Rellstab*, für ihre grosszügige finanzielle und anderweitige Unterstützung danken.

Ich habe mich bemüht, in dieser Arbeit für Personen in ihrer Tätigkeit oder Funktion – beispielsweise «Kartenbenutzerin» oder «Kartograph» – etwa gleich oft die männliche wie die weibliche Form zu benutzen. Eine Garantie für eine hundertprozentige Ausgewogenheit kann ich aber nicht geben.

Lostorf, Juli 2003, Hannes Rellstab

Ein paar Gedanken zu Orthophotos und Orthophotokarten

Dank

Handhabung männliche und weibliche Form

Inhalt

I	Abbildungen	XI
II	Tabellen	XIII
III	Zusammenfassung	XV
1	Zielsetzung und Überblick	1
1.1	Einleitung	1
1.1.1	Stand der Forschung	1
1.1.2	Zur Themenwahl	1
1.1.3	Abgrenzung des Themas	1
1.2	Inhaltsüberblick	2
1.2.1	Allgemeiner Teil	2
1.2.2	Projektspezifischer Teil	3
1.2.3	Literaturquellen	4
2	Entstehung von Luftbildern	5
2.1	Begriffsdefinitionen	5
2.2	Photographischer Prozess	5
2.2.1	Aufbau photographischer Filme	5
2.2.2	Entstehung photographischer Bilder	6
2.3	Filmeigenschaften	6
2.3.1	Räumliches Auflösungsvermögen	6
2.3.2	Kontrastübertragungsfunktion	9
2.3.3	Schwärzungskurve	10
2.3.4	Lichtempfindlichkeit der Emulsion	11
2.3.5	GAMMA-Wert	12
2.3.6	Spektrale Sensibilität	12
2.4	Filmarten	13
2.4.1	Schwarzweissfilme	14
2.4.2	Farbfilme	14
2.4.3	Vergleich der verschiedenen Filmarten	16
2.4.4	Filme zur Luftbildaufnahme	17
2.5	Aufnahmegерäte	17
2.5.1	Reihenmesskammer	17
2.5.2	Multispektralkammer	18
2.6	Aufnahmetechnik	18
2.6.1	Aufnahmeanordnung	18
2.6.2	Wahl der Reihenmesskammer	18
2.6.3	Aufnahmezeitpunkt	19
3	Geometrische Eigenschaften von Luftbildern: die Zentralperspektive	21
3.1	Nadir-, Senkrecht- und Schrägaufnahme	21
3.1.1	Nadir- und Senkrechtaufnahme	22
3.1.2	Schrägaufnahme	22
3.2	Das geometrische Modell der Zentralperspektive	22
3.2.1	Beschreibung des Modells	22

3.2.2	Einflüsse von Objektiv und atmosphärischer Refraktion	23
3.2.3	Unterschiede zwischen Zentral- und Parallelprojektion	23
3.2.4	Die Zentralperspektive bei Nadiraufnahmen	24
3.2.5	Die Zentralperspektive bei Senkrecht- und Schrägaufnahmen	25
4	Herstellung von Orthophotos	27
4.1	Begriffsdefinitionen	27
4.2	Photogrammetrische Auswertung	27
4.2.1	Entzerrung	28
4.2.2	Stereoauswertung	28
4.2.3	Differentialentzerrung	29
5	Digitale Bildverarbeitung	33
5.1	Transformationsfunktionen	33
5.2	Radiometrische Korrekturen	34
5.3	Bildverbesserungen	34
5.3.1	Kontrastveränderungen	35
5.3.2	Filteroperationen	36
5.3.3	Farbraumtransformation	36
6	Orthophotos und topographische Karten im Vergleich	39
6.1	Merkmale von Orthophotos	39
6.2	Merkmale topographischer Karten	40
7	Vom Orthophoto zur Orthophotokarte: Gestalterische Problembereiche	41
7.1	Begriffsdefinitionen	41
7.1.1	Linien- und Bildkarten	41
7.1.2	Luftbild- und Orthophotokarte	41
7.1.3	Luftbild- bzw. Orthophotokarte vs. Luftbild- bzw. Orthophotoplan	43
7.2	Grundsätze der Kartengestaltung	44
7.2.1	Aufbau des kartographischen Zeichensystems	44
7.2.2	Graphische Variation der Zeichen	45
7.2.3	Kartenlogische Bedingungen für die Kartengraphik	45
7.2.4	Graphische Mindestgrößen	46
7.2.5	Kartengraphik und Gestaltwahrnehmung	46
7.2.6	Kartographische Gestaltungsmittel	46
7.3	Problembereiche bei der Erstellung von Orthophotoplänen und -karten	48
7.3.1	Grundsatzproblem	48
7.3.2	Nichteinhaltung der Grundsätze der Kartengestaltung	48
7.3.3	Partieller Informationsverlust	49
7.3.4	Ausmass des Einsatzes kartographischer Gestaltungsmittel	50
7.3.5	Inhomogener Bilduntergrund	51
7.3.6	Reliefumkehr	52
7.3.7	Geeigneter Massstabsbereich	52
8	Vorteile und Nachteile von Orthophotokarten gegenüber Strichkarten	55
8.1	Vorteile	55
8.2	Nachteile	56

9	Topographische Orthophoto-Musterkarte «Olten»	57
9.1	Begriffsdefinitionen	57
9.2	Ziele	58
9.3	Basisdaten	59
9.4	Testgebiet	59
9.5	Kartenmassstab	59
9.6	Entwicklungsumgebung	60
9.7	Vorgehen bei der Erstellung von topographischen Orthophotokarten	60
10	Basisdaten	63
10.1	Digitales Farborthophotomosaik «SWISSIMAGE»	63
10.1.1	Produktion	63
10.1.2	Spezifikationen	66
10.1.3	Verwendung der Daten	66
10.1.4	Bearbeitung der Daten	66
10.2	Digitales Landschaftsmodell der Schweiz «VECTOR25»	69
10.2.1	Produktion/Spezifikationen	69
10.2.2	Verwendung der Daten	69
10.2.3	Bearbeitung der Daten	70
10.3	Pixelkarte 1:25 000 «PK25»	70
10.3.1	Produktion/Spezifikationen	70
10.3.2	Verwendung der Daten	71
10.3.3	Bearbeitung der Daten	71
10.4	Landeskarte 1:25 000 «LK25»	72
11	Situationsdarstellung	73
11.1	Fragestellungen	73
11.2	Siedlungen	73
11.2.1	Erkennbarkeit	73
11.2.2	Zu überlagernde Objekte	74
11.3	Bahnen	74
11.3.1	Erkennbarkeit	74
11.3.2	Zu überlagernde Objekte	75
11.3.3	Gestaltungsvorgänge	76
11.3.4	Gestaltungsablauf	76
11.4	Strassen und Wege	78
11.4.1	Erkennbarkeit	78
11.4.2	Zu überlagernde Objekte	79
11.4.3	Gestaltungsvorgänge	80
11.4.4	Gestaltungsablauf	80
11.5	Gewässer	84
11.5.1	Erkennbarkeit	84
11.5.2	Zu überlagernde Objekte	85
11.5.3	Gestaltungsvorgänge	86
11.5.4	Gestaltungsablauf	86
11.6	Bodenbedeckungen	88
11.6.1	Erkennbarkeit	88
11.6.2	Zu überlagernde Objekte	89

11.7	Einzelobjekte	89
11.7.1	Erkennbarkeit	89
11.7.2	Zu überlagernde Objekte	90
11.7.3	Gestaltungsvorgänge	91
11.7.4	Gestaltungsablauf	91
12	Geländedarstellung	95
12.1	Erkennbarkeit	95
12.2	Zu überlagernde Objekte	96
12.2.1	Höhenlinien, Höhenkoten	96
12.2.2	Schummerung	96
12.2.3	Natürliche und künstliche Kleinformen	96
12.3	Gestaltungsvorgänge	97
12.4	Gestaltungsablauf	97
12.4.1	Höhenlinien, Höhenkoten	97
12.4.2	Natürliche und künstliche Kleinformen	98
13	Thematische Inhalte: Grenzen	101
13.1	Erkennbarkeit	101
13.2	Zu überlagernde Objekte	101
13.3	Gestaltungsvorgänge	101
13.4	Gestaltungsablauf	101
14	Schrift	103
14.1	Erkennbarkeit	103
14.2	Zu überlagernde Objekte	103
14.3	Gestaltungsvorgänge	103
14.4	Gestaltungsablauf	103
14.4.1	Schriftart, Schriftschnitt, Spationierung	103
14.4.2	Schriftgrad	105
14.4.3	Farbe, Kontur, Platzierung	107
15	Kartengitter	109
15.1	Erkennbarkeit	109
15.2	Zu überlagernde Objekte	109
15.3	Gestaltungsvorgänge	109
15.4	Gestaltungsablauf	109
16	Schlussbetrachtungen	111
16.1	Resultate	111
16.1.1	Teilbereiche der Orthophotokarte	111
16.1.2	Unproblematische vs. problematische Elemente	112
16.1.3	Lesbarkeit, Signaturengestaltung, Informationsreichtum	112
16.2	Weiterführung des Projektes	113
16.3	Ausblick	113
16.4	Persönlicher Nutzen der Arbeit	114

Literatur	115
Tafeln	117

I Abbildungen

1	Testtafel zur Bestimmung des Auflösungsvermögens (Paine, 1981:240).	7
2	Typischer Verlauf der Schwärzungskurve eines Negativfilmes. Auf der Abszisse ist die Belichtung aufgetragen, auf der Ordinate die Dichte (Albertz, 1991:27; Hildebrandt, 1996:95; Tillmanns, 1991:210).	10
3	Farbbildentstehung beim panchromatischen Positivfarbfilm: Belichtung, Entwicklung, Bildwiedergabe durch subtraktive Mischung der Komplementärfarben (Albertz, 1991:30; Löffler, 1994:39; Paine, 1981:244).	15
4	Mögliche Aufnahmerichtungen bei der Luftbildaufnahme: Nadir-, Senkrecht und Schrägaufnahme (Hildebrandt, 1996:74).	22
5	Zweidimensionale Darstellung der zentralperspektivischen Abbildung eines Geländes im Luftbild.	22
6	Abbildung von Geländestrecken im Luftbild (Paine, 1981:68).	24
7	Versatz eines über der Bezugsebene (Geländeebene) liegenden Punktes vom Bildnadir weg (Hildebrandt, 1996:151).	24
8	Entstehung eines sichttoten Raumes durch ein sich vertikal erhebendes Geländeobjekt (Albertz, 1991:67).	25
9	Resamplingmethoden (Hildebrandt, 1996:481).	31
10	Wichtige Begriffe im Zusammenhang mit Filteroperationen.	36
11	Mögliche Filtermatrix eines Tiefpass- und eines Hochpassfilters (Hildebrandt, 1996:497; Löffler, 1994:70).	36
12	Übersicht über die möglichen Ausprägungen von Bildkarten.	43
13	Übersicht über die bereits lieferbaren und geplanten «SWISSIMAGE»-Kacheln (Stand August 2002) sowie über die für die Orthophotoberechnung verwendeten Geländemodelle (Bundesamt für Landestopographie, 2002).	65
14	Orthophotokacheln und ihre Numerierung am Beispiel der Landeskarte 1:25000 Blatt 1088 «Hauenstein» (Bundesamt für Landestopographie, 2001b:1).	66
15	Histogramme des Orthophotomosaiks bestehend aus den «SWISSIMAGE»-Kacheln 1088-42 und 1088-44 vor der Durchführung von Bildverbesserungsoperationen (Originalzustand).	67
16	Histogramme des Orthophotomosaiks bestehend aus den «SWISSIMAGE»-Kacheln 1088-42 und 1088-44 nach der Durchführung von Bildverbesserungsoperationen.	68
17	Vergleich zweier Schriftarten, deren Buchstaben unterschiedlich grosse Strichstärkenvariabilität sowie Öffnungswinkel aufweisen (LK-Römisch Fett, Myriad Roman).	104
18	Vergleich der geraden und kursiven Schnitte verschiedener Grotteskschriften (Myriad Roman bzw. Italic, Stone Sans Medium bzw. Italic, Syntax Roman bzw. Italic).	104

II Tabellen

1	Faktoren, welche sich je nach Ausprägung positiv oder negativ auf das räumliche Auflösungsvermögen von Luftbildern auswirken können (Albertz, 1991:76–77; Paine, 1981:241).	8
2	Füllungsfarben der einzelnen Strassenklassen mit ihren CMYK-Prozentwerten.	81
3	Minimale reale Strassenbreiten (1. bis 3. Klass-Strassen und Quartierstrassen), den Strassenbreiten entsprechende Strichstärken im Massstab 1:16000 sowie die auf Lesbarkeit optimierten Strichstärken. Die Strichstärkeangaben beziehen sich auf die Strassenfüllung.	82
4	Linienfarben der einzelnen Wegekassen mit ihren CMYK-Prozentwerten.	83
5	Variablenausprägung (Schriftart, Schriftschnitt, Schreibart, Schriftgrad, Flächenfarbe, Konturfarbe) bei den einzelnen Teilen der Kartenbeschriftung.	108

III Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Herstellung von Orthophotokarten – im speziellen topographischen – und den dabei auftretenden Problemstellungen. Da bei einem solchen Kartentyp dem Orthophoto eine bedeutende Stellung zukommt, wird in einem ersten Teil näher auf die Entstehung dieses Bildproduktes eingegangen. Als Ausgangsmaterial für die Orthophotogenerierung kann unterschiedlichstes Bildmaterial Verwendung finden. Diese Arbeit beschränkt sich auf photographische Luftbilder als Basisdaten, weshalb zuerst deren Entstehung und geometrische Eigenschaften analysiert werden. Anschliessend folgt eine Erläuterung der verschiedenen Verfahren der Differentialenzerrung, welche für die Erstellung von Orthophotos angewendet werden können. Das nachfolgende Kapitel widmet sich den bei der Orthophotoherstellung mit Mitteln der digitalen Photogrammetrie wichtigen Methoden der digitalen Bildverarbeitung (Kontrastveränderungen, Filteroperationen, Farbraumtransformation).

Der zweite Teil dieser Arbeit befasst sich mit kartographischen Fragestellungen, welche sich bei der Konzeption bzw. Produktion von Orthophotokarten ergeben. Zuerst werden Unterschiede und Gemeinsamkeiten von noch nicht kartographisch bearbeiteten Orthophotos und topographischen Karten aufgezeigt. Anschliessend folgt eine Erörterung verschiedenster gestalterischer Problembereiche bei der Herstellung von Orthophotokarten wie Nichteinhaltung der Grundsätze der Kartengestaltung, partieller Informationsverlust, inhomogener Bilduntergrund etc. Weiter werden die Vorteile und Nachteile von Orthophotokarten und Strichkarten einander gegenübergestellt. Die restlichen Abschnitte der Arbeit widmen sich der Erstellung einer topographischen Orthophoto-Musterkarte der Stadt Olten und Umgebung im Massstab 1:16000. Anhand dieser Karte werden die vorgängig beschriebenen Problembereiche an einem konkreten Beispiel behandelt und mögliche Lösungsansätze aufgezeigt. Als erstes erfolgt eine Vorstellung der benötigten Basisdaten (digitales Farboroughotomosaik «SWISSIMAGE», digitales Landschaftsmodell der Schweiz «VECTOR25», Pixelkarte 1:25000 «PK25») und der erforderlichen Bearbeitungsschritte. Anschliessend wird bei den einzelnen Teilen der topographischen Orthophotokarte (Situationsdarstellung, Geländedarstellung, Grenzen, Schrift, Kartengitter) untersucht, wie gut einzelne Landschaftsobjekte auf dem Orthophoto erkennbar sind. Aus diesen Erkenntnissen lässt sich ableiten, welche Objekte mittels konventioneller kartographischer Elemente dargestellt werden sollten. Von den möglichen Gestaltungsvarianten wird in der Orthophoto-Musterkarte diejenige eingesetzt, welche kartographisch am meisten überzeugt bzw. das Orthophoto am wenigsten graphisch belastet. Die Tafeln am Schluss dieser Arbeit zeigen verschiedene Gestaltungsmöglichkeiten jeweils einer Objektgruppe sowie die als optimal erachtete Ausführungsvariante der topographischen Orthophoto-Musterkarte.

*Fragestellungen aus den Bereichen
Photogrammetrie und Fernerkundung*

Kartographische Fragestellungen

1 Zielsetzung und Überblick

1.1 Einleitung

1.1.1 Stand der Forschung

Seit den 1960er Jahren, als die ersten befriedigenden Lösungen zur Herstellung von Orthophotos entstanden, wurden relativ viele Texte über den Einsatz von Orthophotos als Grundlage für Orthophotokarten publiziert. Die benutzten Orthophotos waren bis in die heutige Zeit grösstenteils Schwarzweissbilder. Da auch die darauf basierenden Orthophotokarten meist schwarzweiss konzipiert wurden, waren die gestalterischen Möglichkeiten bei der Überlagerung von konventionellen kartographischen Elementen relativ stark eingeschränkt. Bei Verwendung von Farbbildern stellen sich andere Probleme als bei Schwarzweissbildern. Auch Schwarzweiss-Orthophotokarten, die nachträglich mit transparenten farbigen Flächen versehen wurden, können nicht mit echten Farbbildern verglichen werden. Über die Kombination von Farborthophotos mit Elementen aus Strichkarten ist in der Literatur nur wenig zu finden. Dies lässt sich einerseits erklären durch das späte Aufkommen von Farborthophotos als Kartengrundlage, und andererseits durch die meist spärliche Überlagerung der Orthophotokarten mit kartographischen Ergänzungen (beispielsweise Gitternetzlinien und Beschriftung). Bei kartographisch stark bearbeiteten farbigen Orthophotokarten handelt es sich häufig um kommerzielle Produkte, über die meistens keine Publikationen vorliegen (beispielsweise Karten aus dem Hause ENDOXON).

Nur wenig Literatur über Farborthophotokarten

1.1.2 Zur Themenwahl

1995 begann das Unternehmen «Swissphoto AG» mit der Produktion eines flächendeckenden, hochaufgelösten farbigen Orthophotomosaiks der Schweiz. Beim Bundesamt für Landestopographie ist man seit 1998 mit der Abdeckung des gesamten Landes mit Farborthophotos beschäftigt. Somit sind in der Schweiz erstmals qualitativ hochstehende, farbige Orthophotos für die gesamte Landesfläche verfügbar. Diese bieten sich nicht mehr nur für punktuelle, spezifische Anwendungen, sondern auch für das Erstellen ganzer Kartenwerke an. Bereits sind einige topographisch-thematische Orthophotokartenwerke (z. B. Wander- und Stadtkarten) erhältlich, welche kartographisch noch nicht ganz befriedigen. Wie in Kapitel 1.1.1 ausgeführt, existieren erst wenige Untersuchungen zur kartographischen Bearbeitung von Farborthophotos. Mit dieser Arbeit soll daher versucht werden, einen kleinen Beitrag zu dieser Thematik zu leisten, mit dem Ziel, Regeln zu erarbeiten, mit denen informationsreichere, übersichtlichere und besser lesbare Orthophotokarten hergestellt werden können.

Erstmals farbige Orthophotos vom gesamten Gebiet der Schweiz verfügbar

1.1.3 Abgrenzung des Themas

Ausgangsdaten für die Herstellung von Orthophotos können mittels unterschiedlichster Verfahren gewonnene Bilder der Erdoberfläche sein. Diese Arbeit befasst sich nur mit photographischen Luftbildern als Ausgangsmaterial für die Orthophotogenerierung.

Luftbilder als Ausgangsmaterial für die Orthophotogenerierung

Topographische Orthophotokarten im Mittelpunkt

Weiter sollen topographische Orthophotokarten im Mittelpunkt des Interesses stehen. Auf die Eignung von Orthophotos als Basis für thematische Karten und auf die graphische Ausgestaltung solcher thematischer Orthophotokarten wird nicht näher eingetreten.

Aspekte der Gestaltung von Orthophoto-Papierkarten wichtig

Der Einsatz von Orthophotos in Geographischen Informationssystemen (GIS) oder digitalen Produkten wie beispielsweise Multimediaatlanten wird ausgeklammert, da die Aspekte der Gestaltung von Orthophoto-Papierkarten bei dieser Arbeit im Vordergrund stehen. Werden Orthophotos für digitale Produkte verwendet, ergeben sich abweichende Problembereiche (z. B. Darstellungsqualität von Grafik auf Monitoren) und Möglichkeiten (z. B. Zoomen). Die Behandlung dieser Thematik würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen.

1.2 Inhaltsüberblick

1.2.1 Allgemeiner Teil

Kapitel 2

Da Orthophotos nach wie vor zu einem grossen Teil auf photographisch erstellten Luftbildern basieren, wird in Kapitel 2 ab Seite 5 die Entstehung von Luftbildern etwas näher beleuchtet. Behandelte Themen sind: Der photographische Prozess, die Eigenschaften photographischer Filme, Filmarten, Aufnahmegeräte und Aufnahmetechnik.

Kapitel 3

Zwischen den mit einer Kamera gewonnenen Bildern und der aufgenommenen Geländefläche bestehen geometrische Beziehungen. Bei photographischen Systemen lassen sich diese Beziehungen mit dem Modell der Zentralperspektive beschreiben. Kapitel 3 ab Seite 21 geht näher auf das geometrische Modell der Zentralperspektive ein und erläutert in diesem Zusammenhang wichtige Begriffe. Es zeigt den Unterschied zwischen einer Zentral- und einer Parallelprojektion auf und weshalb es notwendig ist, Luftbilder zu entzerren, um sie für die Weiterverarbeitung zu Karten benutzen zu können.

Kapitel 4

In Kapitel 4 ab Seite 27 wird der Begriff des Orthophotos definiert. Die verschiedenen Verfahren, mit welchen Orthophotos erzeugt werden können, sollen kurz erläutert werden. Dabei interessiert vor allem die Herstellung von Orthobildern mit Mitteln der digitalen Photogrammetrie, da dieses Verfahren auch bei den im Projektteil verwendeten Orthophotos zur Anwendung gelangte.

Kapitel 5

Kapitel 5 ab Seite 33 soll die Möglichkeiten der digitalen Bildverarbeitung zur Veränderung von digitalen Bildern wie beispielsweise Orthophotos aufzeigen. Im Zentrum des Interesses stehen die Methoden zur Verbesserung digitaler Bilder mittels Kontrastveränderungen, Filteroperationen sowie Farbraumtransformationen.

Kapitel 6

Sowohl Orthophotos als auch topographische Karten stellen Abbildungen begrenzter Geländeausschnitte dar, welche die Erdoberfläche verkleinert und verebnet wiedergeben. In Kapitel 6 ab Seite 39 soll der Frage nachgegangen werden, welches die Unterschiede und Gemeinsamkeiten – bezüglich Entstehungsprozess, Projektion, Inhalt und Wahrnehmung durch den Betrachter – von topographischen Karten und noch nicht kartographisch bearbeiteten Orthophotos sind.

Kapitel 7

In Kapitel 7 ab Seite 41 soll zuerst versucht werden, die verschiedenen für Karten auf Basis von Luftbildern und Orthophotos benutzten Begriffe zu definieren und einzuordnen. Danach sollen die allgemeinen Grundsätze der Kartengestaltung aufgeführt werden, welche in den Grundzügen auch für die Gestaltung von Orthophotokarten gelten. Anschliessend wird gezeigt, wo die grundsätzlichen Problembereiche bei der Erstellung

von Orthophotoplänen und -karten liegen. Unter anderem wird auf folgende Fragen eingegangen:

- Welche Grundsätze der Kartengestaltung können bei der Erstellung von Orthophotokarten nicht eingehalten werden?
- In welchem Ausmass sollen die kartographischen Gestaltungsmittel bei der Erstellung von Orthophotokarten eingesetzt werden?
- Welcher Massstabsbereich ist für Orthophotokarten geeignet?

Kapitel 8 ab Seite 55, das letzte Kapitel des allgemeinen Teils, untersucht die Frage, welche Vor- und Nachteile Orthophotokarten gegenüber Strichkarten aufweisen.

Kapitel 8

1.2.2 Projektspezifischer Teil

Im zweiten Teil der Arbeit wird auf der Basis farbiger Orthophotos des Bundesamtes für Landestopographie eine topographische Orthophoto-Musterkarte im Massstab 1:16000 erarbeitet. Hauptziel ist, die in den vorangegangenen Kapiteln behandelten Problembereiche bei der Erstellung von Orthophotokarten und mögliche Lösungsansätze an einem konkreten Beispiel praxisnah anwenden zu können. Folgende zentrale Fragestellungen stehen dabei im Mittelpunkt:

Erarbeitung einer topographischen Orthophoto-Musterkarte im Massstab 1:16000

- Welche Elemente einer topographischen Strichkarte sind im Orthophoto problemlos erkennbar und müssen daher nicht mittels konventioneller Kartenelemente dargestellt werden?
- Welche Elemente einer topographischen Strichkarte sind im Orthophoto schlecht oder nicht erkennbar und müssen daher verdeutlicht bzw. ergänzt werden?
- Welche Objekte sind auf einem Orthophoto zu finden, welche auf einer topographischen Strichkarte nicht abgebildet werden?
- Wie und in welchem Umfang sollen die kartographischen Gestaltungsmittel (Punkte, Linien, Flächen, Signaturen, Schrift etc.) eingesetzt werden, um eine attraktive, informationsreiche, übersichtliche und gut lesbare Orthophotokarte erstellen zu können?
- Welche Elemente einer topographischen Strichkarte lassen sich in topographischen Orthophotokarten problemlos darstellen und welche bereiten Schwierigkeiten?

Kapitel 9 ab Seite 57 vermittelt einige grundsätzliche Angaben zur topographischen Orthophoto-Musterkarte «Olten». So werden beispielsweise die Ziele der Musterkartenerstellung, das gewählte Testgebiet und die Wahl des Kartenmassstabes näher erläutert. Vorgestellt wird die Entwicklungsumgebung, und das Vorgehen bei der Erstellung von topographischen Orthophotokarten.

Kapitel 9

Vorangehend wird der Begriff der topographischen Karte näher erläutert. Es wird aufgezeigt, aus welchen Teilen sich eine topographische Karte zusammensetzt und für welche Anwendungsgebiete eine solche eingesetzt wird.

In Kapitel 10 ab Seite 63 wird auf die verwendeten Basisdaten näher eingegangen. Besonders interessiert das digitale Farborthophotomosaik «SWISSIMAGE» des Bundesamtes für Landestopographie, da es ein sehr wichtiger Teil der Musterkarte ist. Weitere Basisdaten sind das digitale Landschaftsmodell der Schweiz «VECTOR25» und die Pixelkarte 1:25000 «PK25», ebenfalls herausgegeben vom Bundesamt für Landestopographie.

Kapitel 10

Kapitel 11 bis Kapitel 15

Die Kapitel 11 ab Seite 73 bis Kapitel 15 widmen sich den einzelnen Objektgruppen der topographischen Orthophoto-Musterkarte «Olten». Es sollen Aussagen zur Erkennbarkeit von Objekten auf dem Orthophoto und graphischen Ausgestaltung der überlagerten konventionellen kartographischen Elemente gemacht werden. Folgende Fragestellungen stehen im Vordergrund:

- Wie gut sind Objekte, die auf der LK25 eingezeichnet sind, auf dem Orthophoto erkennbar?
- Gibt es Objekte, die auf der LK25 nicht eingezeichnet sind, auf dem Orthophoto aber erkennbar sind?
- Welche der nicht oder schlecht erkennbaren Objekte sollen hinzugefügt werden?
- Welche Gestaltungsvorgänge gelangen zum Einsatz?
- Wie sieht der Gestaltungsablauf aus?
- Welche der verschiedenen Gestaltungsvarianten überzeugt kartographisch am meisten?

Kapitel 16

Das letzte Kapitel dieser Arbeit (Kapitel 16 ab Seite 111) fasst die wichtigsten Resultate aus dem projektspezifischen Teil zusammen und gibt einen Ausblick.

1.2.3 Literaturquellen*Bücher, Zeitschriften, Internet*

Die vorliegende Arbeit benutzt als Grundlage in erster Linie deutsch- und englischsprachige Bücher und Zeitschriftenartikel aus den Bereichen Fernerkundung, Kartographie, Vermessung/Photogrammetrie und Bildverarbeitung. Daneben wurde auch das Internet für die Beschaffung aktuellster Informationen – beispielsweise über die verwendeten Basisdaten – eingesetzt. Wie in Kapitel 1.1.1 «Stand der Forschung» erwähnt, existieren relativ viele Artikel zum Thema Orthophotokartographie, jedoch nur wenige, die sich speziell mit dem Punkt der umfangreichen kartographischen Bearbeitung von Farborthophotos beschäftigen.

2 Entstehung von Luftbildern

2.1 Begriffsdefinitionen

Nach Albertz (1991:2) versteht man unter einem Luftbild ein photographisches Bild eines Teils der Erdoberfläche, welches von einem Flugzeug aus aufgenommen wurde. Der Begriff Luftbildaufnahme wird sowohl im Sinne von «Aufnahme von Luftbildern» (Tätigkeit) als auch synonym für «Luftbild» (Produkt) verwendet (Hildebrandt, 1996:74).

2.2 Photographischer Prozess

Die photographische Aufnahme ist ein passives Verfahren, das elektromagnetische Strahlung im Wellenlängenbereich von 0,3 bis 1,2 μm aufnimmt, also vom nahen Ultraviolett (UV) über das sichtbare Licht bis zum nahen Infrarot (IR). Unter den Aufnahmeverfahren der Fernerkundung nimmt die Photographie eine Sonderstellung ein. Sie ist das einzige Verfahren, bei dem das strahlungsempfindliche Material – die photographische Schicht – zugleich als Speichermedium dient. Sie erlaubt die gleichzeitige flächenhafte Aufnahme sowie die Speicherung sehr grosser Datenmengen auf kleinem Raum bei geringen Kosten. Diesem bedeutenden Vorteil stehen auch gewichtige Nachteile gegenüber. So ist beispielsweise die radiometrische Kalibrierung photographischer Systeme schwierig und unsicher, der photographisch erfassbare Spektralbereich ist ziemlich eng, und der photographische Prozess stellt einen unzweckmässigen Zwischenschritt dar, wenn die aufgenommenen Daten rechnerisch verarbeitet werden sollen (Albertz, 1991:25; Robinson et al., 1995:133).

Sonderstellung der Photographie in Fernerkundung

2.2.1 Aufbau photographischer Filme

Photographische Filme bestehen aus einem transparenten, weitgehend massbeständigen Schichtträger aus Polyester (Blankfilm) und einer bzw. mehrerer sich darauf befindlichen Photoschichten (Emulsionen). Die Emulsion ist aus lichtempfindlichen Silbersalzen aufgebaut, welche in eine Gelatineschicht eingebettet sind (Albertz, 1991:26). Die Silbersalzkristalle kommen in unterschiedlichen Grössen vor. Je nach Mischungsverhältnis der verschiedenen Kristallgrössen erhält eine Emulsion bestimmte Eigenschaften. Somit ist die durchschnittliche Grösse von Silbersalzkristallen ein wichtiges Merkmal jedes photographischen Filmes. Zum einen hat sie bedeutenden Einfluss darauf, wieviel Licht für die Herstellung eines photographischen Bildes benötigt wird. Zum anderen bestimmt sie die Körnigkeit eines Films, welche ihrerseits das geometrische Auflösungsvermögen beeinflusst (siehe Kapitel 2.3.1 «Räumliches Auflösungsvermögen» auf Seite 6) (Paine, 1981:238). Feinkörnige Emulsionen weisen eine geringe Lichtempfindlichkeit und ein grosses geometrisches Auflösungsvermögen auf. Grobkörnige Emulsionen hingegen sind sehr lichtempfindlich, haben aber ein geringes geometrisches Auflösungsvermögen (Hildebrandt, 1996:93).

Emulsion besteht aus Gelatineschicht mit eingebetteten lichtempfindlichen Silbersalzen

2.2.2 Entstehung photographischer Bilder

Am Beispiel eines Schwarzweissnegativfilms lässt sich die Entstehung eines photographischen Bildes wie folgt beschreiben: Durch das Einwirken relativ kleiner Lichtmengen auf einen Film (Belichtung) wird die Emulsion zwar nicht äusserlich aber in ihrem Kristallgefüge verändert. Dieser Vorgang resultiert in einem noch nicht sichtbaren, latenten Bild. Erst indem man eine belichtete Schicht in eine wässrige Lösung geeigneter chemischer Substanzen bringt (Entwickler), werden die betroffenen Silbersalzkristalle zu metallischen, schwarz erscheinenden Silberkörnern reduziert und somit sichtbar. Der Entwicklungsvorgang führt zu einer mehr oder weniger starken Schwärzung der Schicht, je nach der Lichtmenge, die zuvor eingewirkt hat. Nicht belichtete und deshalb auch nicht reduzierte Kristalle der Silbersalze verbleiben zunächst in der Schicht und müssen in einer weiteren chemischen Lösung (Fixierbad) entfernt werden. Erst durch den Fixierprozess wird das entstandene Bild lichtbeständig. Nach dem Wässern zum Auswaschen der Chemikalien wird die Schicht getrocknet. Um von einem auf diese Weise entstandenen Negativ positive Kopien oder Vergrösserungen herzustellen, muss derselbe Prozess nochmals angewandt werden (Albertz, 1991:26).

Auf den von Schwarzweissfilmen etwas abweichenden Aufbau von Farbfilmen und die zusätzlich ablaufenden Prozesse bei der Bildentstehung wird in Kapitel 2.4.2.1 «Panchromatischer Farbfilm» auf Seite 14 eingegangen.

2.3 Filmeigenschaften

Filmemulsionen besitzen charakteristische Ausprägungen in bezug auf Körnung und Lichtempfindlichkeit

Wie bereits in Kapitel 2.2.1 «Aufbau photographischer Filme» erwähnt wurde, besitzt jede Filmemulsion je nach durchschnittlicher Grösse der Silbersalzkristalle charakteristische Ausprägungen in bezug auf Körnung und Lichtempfindlichkeit. Diese wirken sich im Zusammenspiel mit den optischen Eigenschaften der Kamera und den äusseren Aufnahmebedingungen auf die photographische Qualität des Bildproduktes und auf die Möglichkeiten der Auswertung und Informationsgewinnung aus (Hildebrandt, 1996:91).

Die photographischen Eigenschaften einer Emulsion beschreibt man durch Parameter, die in den unter kontrollierten Aufnahmebedingungen entstandenen Abbildungen gemessen oder anderweitig bestimmt werden. Wichtige Parameter in diesem Zusammenhang sind das räumliche Auflösungsvermögen, die Kontrastübertragungsfunktion, die Lichtempfindlichkeit der Emulsion, der GAMMA-Wert sowie die spektrale Sensibilität (Hildebrandt, 1996:91).

2.3.1 Räumliches Auflösungsvermögen

Das räumliche oder geometrische Auflösungsvermögen eines Films ist ein Mass für die Fähigkeit des Films, feine Einzelheiten bzw. Strukturen so wiederzugeben, dass sie als solche erkannt und voneinander unterschieden werden können. Es wird ausgedrückt durch die Anzahl von Linien eines schwarz-weißen Linienmusters, die der Film unter standardisierten Aufnahmebedingungen pro Millimeter noch zu differenzieren gestattet (L/mm) (Hildebrandt, 1996:93).

Um das räumliche Auflösungsvermögen eines Films bestimmen zu können, muss eine genormte Testtafel (siehe Abb. 1) mit parallelen Linien in verschiedener Grösse unter standardisierten Bedingungen photographiert werden. Anschliessend wird festgestellt, bei welcher der Testfiguren die Linien gerade noch erkennbar sind. Aufgrund der Massstabsverhältnisse zwischen der Testvorlage und ihrer Bildwiedergabe kann anschliessend angegeben werden, wie vielen Linien pro Millimeter im Bild die noch «aufgelöste» Testfigur entspricht. Da in diesem Fall eine Linie definitionsgemäss aus einem hellen und dem benachbarten dunklen Strich besteht, ist es zur Vermeidung von Missverständnissen üblich, als Masseinheit Linienpaar pro Millimeter (lp/mm) anzugeben. Hat beispielsweise die dünnste auf einem Bild noch erkennbare schwarze Linie eine Dicke von 0,02 mm, so weist das Linienpaar eine Dicke von 0,04 mm auf, und als Auflösung resultieren 25 lp/mm (Albertz, 1991:76; Paine, 1981:241).

Das festgestellte Auflösungsvermögen eines Films ist abhängig vom Mass des Kontrastes der alternierenden hellen und dunklen Balken der Testtafel. Um vergleichbare Zahlenwerte zu erhalten, muss daher zumindest der Kontrast der Testtafel mit genannt werden. Oft werden Tafeln benutzt, bei denen das Leuchtdichteverhältnis zwischen hellen und dunklen Flächen nur 1,6:1 beträgt, da dies für die geringen Kontraste bei der Luftbildaufnahme repräsentativ erscheint. Die Leuchtdichte ist das Mass für die Helligkeit einer selbstleuchtenden oder beleuchteten Fläche, angegeben in Candela pro cm² bzw. Candela pro m² (Tillmanns, 1991:131). Unter dem Leuchtdichteverhältnis (Objektumfang, Helligkeitsumfang, Motivkontrast) ist das lineare Verhältnis zwischen der dunkelsten und hellsten Gegenstandsstelle einer abzubildenden Szene zu verstehen (Mühler, 2000:24). Unter optimalen und standardisierten Bedingungen können höchstauflösende Filme bei oben genanntem Leuchtdichteverhältnis 250 lp/mm auflösen (Albertz, 1991:76–77; Hildebrandt, 1996:93).

Meistens interessiert aber nicht das Auflösungsvermögen einer Filmemulsion für sich betrachtet, sondern das schliesslich im Luftbild gegebene photographische Auflösungsvermögen. Für dieses Auflösungsvermögen des gesamten Aufnahmesystems wirken gemäss Hildebrandt (1996:80, 93) das Auflösungsvermögen des Objektivs AV_O , jenes der Filmemulsion AV_F und eine auf die Bildwanderung zurückzuführende Komponente AV_B zusammen, und zwar nach

$$\frac{1}{AV_{Total}^2} = \frac{1}{AV_O^2} + \frac{1}{AV_F^2} + \frac{1}{AV_B^2}.$$

Das geometrische Auflösungsvermögen eines Objektivs wird analog zum Auflösungsvermögen eines Films definiert (siehe oben). Da das Auflösungsvermögen eines Objektivs von innen nach aussen abnimmt, verwendet man als Vergleichsmass für die Objektivleistung bevorzugt das mit der Fläche gewogene Mittel des Auflösungsvermögens (Hedgcock, 1987:322; Hildebrandt, 1996:81).

Unter der Bildwanderung versteht man die während der Belichtung auftretenden (Flug-)Bewegungen, welche zu Unschärfen führen. Die Bildwanderung ist umso grösser, je länger die Belichtungszeit ist und umgekehrt. Um Luftbildaufnahmen mit relativ langen Belichtungszeiten (hochauflösende Filme mit geringer Allgemeinempfindlichkeit) oder aus geringer Höhe (relativ schnelle Bewegung über dem Gelände) erstellen zu können, stehen Filmkassetten zur Verfügung, die eine Kompensation der Bildbewegung während der Belichtungszeit ermöglichen (Forward Motion Compensation FMC). Mit Hilfe solcher Kassetten werden Unschärfen durch

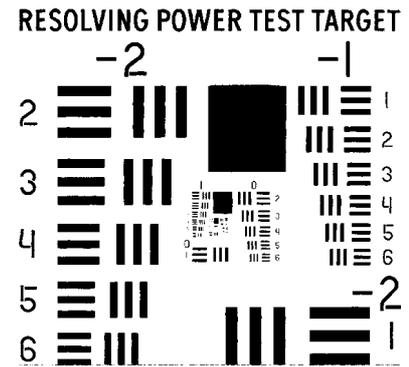


Abb. 1 Testtafel zur Bestimmung des Auflösungsvermögens (Paine, 1981:240).

Photographisches Auflösungsvermögen

Geometrisches Auflösungsvermögen eines Objektivs

Bildwanderung

Als Auflösungsvermögen ermittelte Werte nur begrenzt aussagekräftig

Bildwanderung verhindert bzw. vermindert und somit die räumliche Auflösung und die Kontrastübertragung (siehe Kapitel 2.3.2 «Kontrastübertragungsfunktion» auf Seite 9) im Luftbild verbessert (Albertz, 1991:35, 37; Hildebrandt, 1996:85).

Aus den als Auflösungsvermögen ermittelten Werten dürfen aber keine voreiligen Schlüsse auf die Sichtbarkeit und Interpretierbarkeit von Details gezogen werden. Die Zahlen kennzeichnen die Auflösungsgrenze nur dann, wenn die Objektkontraste und die Objektformen mit den Testtafeln übereinstimmen. Höhere Objektkontraste verbessern, geringere Kontraste verschlechtern die Bildwiedergabe. So können z. B. weisse Markierungen auf dunklem Strassenbelag, glänzende Leitungsdrähte, Schatten von Masten und ähnliches noch sichtbar sein, obwohl sie aufgrund des Bildmasstabes unter der Auflösungsgrenze liegen. Umgekehrt bleiben grössere Objekte im Bild unsichtbar, wenn sie zu wenig Kontrast gegenüber ihrer Umgebung aufweisen (Albertz, 1991:77).

In diesem Zusammenhang sind auch die atmosphärischen Bedingungen während des Bildfluges zu nennen, welche die Objektkontraste und damit auch die Auflösung in den entstehenden Luftbildern mehr oder weniger mindern (Hildebrandt, 1996:94).

Tab. 1 fasst die das räumliche Auflösungsvermögen von Luftbildern beeinflussenden Faktoren nochmals zusammen.

Beeinflussender Faktor		Positive Beeinflussung	Negative Beeinflussung
Film	Durchschnittliche Grösse der Silbersalzkristalle der Emulsion (Körnung)	klein	gross
	Spektrale Sensibilität des Filmes	Panchromatischer Film	Infrarotfilm
Kamera-Optik	Lage eines Objektes innerhalb des Bildes: Durch Linse werden je nach Position im Bild unterschiedlich starke Abbildungsfehler (Verzerrungen) hervorgerufen.	Mitte	Rand
	Blendenöffnung	gross	klein
Aufnahmeplattform	Bildwanderung: Bewegung während Belichtung (hat Unschärfe zur Folge)	wenig	viel
Atmosphärische Bedingungen	z. B. Dunst	wenig	viel
Aufnahmeobjekt	Objektkontrast	hoch	gering
	Geometrische Form der Objekte	gerade Linien, auffallende Formen	unregelmässige kleine Details
	Verhältnis zwischen Länge und Breite eines Objektes	gross	klein

Tab. 1 Faktoren, welche sich je nach Ausprägung positiv oder negativ auf das räumliche Auflösungsvermögen von Luftbildern auswirken können (Albertz, 1991:76–77; Paine, 1981:241).

2.3.2 Kontrastübertragungsfunktion

Die Übertragung im Gelände vorhandener, auf spektrale Reflexionsunterschiede zurückgehende und den Sensor erreichende Objektkontraste durch das photographische Aufnahmesystem in die Abbildung wird durch die Kontrastübertragungsfunktion MTF (Modular Transfer Function) beschrieben. Die Kontrastübertragungsfunktion gibt das Verhältnis zwischen dem der Messung zugrundeliegenden Objektkontrast K und dem nach der Übertragung durch die Aufnahme entstandenen Bildkontrast K' an. Der Quotient K'/K ist dabei abhängig von der Ortsfrequenz N des Testobjekts, d. h. von dessen in L/mm ausgedrückter Dichte der Linienstruktur:

$$MTF(N) = \frac{K'(N)}{K(N)}$$

Dabei sind

$$K(N) = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$$

und

$$K'(N) = \frac{I'_{max} - I'_{min}}{I'_{max} + I'_{min}}$$

I und I' sind Strahlstärken des Testobjektes und deren Äquivalente in der Abbildung bei gegebener Ortsfrequenz N (Hildebrandt, 1996:81–83).

Betrachtet man nur gerade die Kontrastübertragungsfunktion einer Filmschicht (MTF_F), so sagt diese noch nicht sehr viel darüber aus, wie im Gelände vorhandene Objektkontraste im Luftbild schliesslich wiedergegeben werden. Dazu muss man – analog zum räumlichen Auflösungsvermögen – auch die Eigenschaften des Objektivs, die Bildwanderung und die dämpfende Wirkung des zwischen Objekt und Sensor liegenden Luftpolsters miteinbeziehen. Die Kontrastübertragungsfunktion des gesamten Aufnahmesystems MTF nimmt daher gemäss Hildebrandt (1996:81–83) folgende Form an:

Kontrastübertragungsfunktion des gesamten Aufnahmesystems

$$MTF(N) = MTF(N)_O \times MTF(N)_F \times MTF(N)_W \times MTF(N)_L$$

wobei

- MTF_O die Kontrastübertragungsfunktion des Objektivs,
- MTF_F die Kontrastübertragungsfunktion der Filmschicht,
- MTF_W die Kontrastübertragungsfunktion der Bildwanderung und
- MTF_L die Kontrastübertragungsfunktion der Luft ist.

Schwärzungskurve: Zusammenhang zwischen Belichtung und entstehender Schwärzung (Dichte)

2.3.3 Schwärzungskurve

Um die Parameter «Lichtempfindlichkeit der Emulsion» und «GAMMA-Wert» verstehen zu können, muss zuerst kurz auf die Schwärzungskurve eingegangen werden. Die Schwärzungskurve stellt den Zusammenhang zwischen Belichtung und entstehender Schwärzung bzw. Dichte graphisch dar. Die Belichtung ergibt sich aus dem Produkt der Beleuchtungsstärke E und der Belichtungszeit t . Unter der Dichte D ist die Lichtdurchlässigkeit einer entwickelten photographischen Schicht zu verstehen. Sie wird definiert als $D = \log 1/\tau$, wobei die Transparenz τ das Verhältnis zwischen einem auf eine photographische Schicht auffallenden Lichtstromes Φ_0 und dem hindurchgelassenen Lichtstrom Φ darstellt und entweder in einer Prozentzahl oder als Dezimalbruch angegeben wird: $\tau = \Phi/\Phi_0$. Somit kann die Dichte D ausgedrückt werden als $D = \log \Phi_0/\Phi$. Werden beispielsweise 10% eines auf eine photographische Schicht auftreffenden Lichtstromes durchgelassen (Transparenz 0,1), ergibt dies eine Dichte von 1. Ein Durchlassgrad von 1% (Transparenz 0,01) zeigt eine Dichte von 2 an (Albertz, 1991:26; Hildebrandt, 1996:95; Tillmanns, 1991:20, 38, 210, 240).

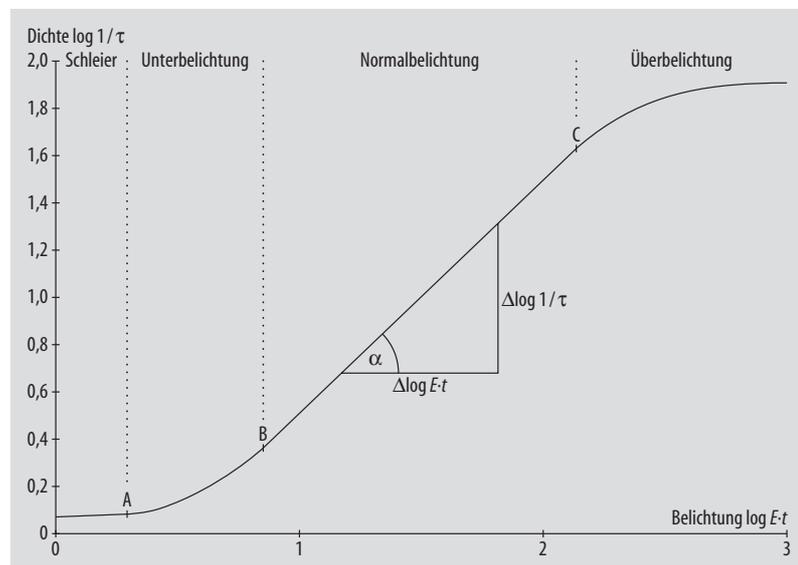


Abb. 2 Typischer Verlauf der Schwärzungskurve eines Negativfilmes. Auf der Abszisse ist die Belichtung aufgetragen, auf der Ordinate die Dichte (Albertz, 1991:27; Hildebrandt, 1996:95; Tillmanns, 1991:210).

*Schwärzungskurve von Umkehrfilmen
spiegelbildlich zu derjenigen von Negativfilmen*

Die Schwärzungskurve nimmt die Form einer S-Kurve an, bei Negativfilmen in dem in Abb. 2 gezeigten Verlauf. Bei Umkehrfilmen nimmt im entstehenden Diapositiv die Dichte mit zunehmender Belichtung ab. Daher präsentiert sich deren Schwärzungskurve spiegelbildlich zu derjenigen von Negativfilmen. Betrachtet man den Verlauf einer Schwärzungskurve, so lassen sich folgende vier Bereiche unterscheiden (siehe Abb. 2) (Hildebrandt, 1996:96):

- **Schleier.** Entwickelt man einen unbelichteten Film, so zeigt sich dennoch eine leichte Schwärzung. Diese wird als «Schleier» bezeichnet und entsteht durch die nicht vollständige Transparenz des Blankfilms und der unbelichteten aber entwickelten Emulsion. In der Schwärzungskurve drückt sich der Schleier in dem, parallel zur Abszisse verlaufenden, kurzen Kurventeile aus. Im Negativfilm liegt dieser am linken, bei Umkehrfilmen am rechten Ende der Kurve.

- **Unterbelichtung.** Das sich an den Schleier anschliessende, in Abb. 2 zwischen A und B um den unteren Wendepunkt der S-Kurve liegende Kurvenstück wird «Fuss» oder «Durchhang» genannt. Es ist der Bereich der Unterbelichtung und geringen Grau- bzw. Farbwertdifferenzierung.
- **Normalbelichtung.** An den Fuss schliesst sich ein bei logarithmischer Abszissentheilung fast geradliniges Kurvenstück zwischen B und C an. Der Abstand B–C zeigt den verfügbaren Spielraum für die richtige bzw. mögliche Belichtung. In diesem Abschnitt entspricht jeder Zunahme der Belichtung ein proportionaler Anstieg der Schwärzung. B–C ist um so kürzer je steiler die Steigung dieses Kurvenstücks verläuft. Dieser geradlinige Teil der Schwärzungskurve ist für die Eigenschaften einer photographischen Schicht entscheidend (siehe Kapitel 2.3.4 «Lichtempfindlichkeit der Emulsion» und Kapitel 2.3.5 «gamma-Wert»).
- **Überbelichtung.** Der letzte Teil der Schwärzungskurve, die «Schulter», liegt um den oberen Wendepunkt der Kurve. Dies ist der Bereich der Überbelichtung, in dem eine Zunahme der Belichtung nur noch zu geringfügigen zusätzlichen Schwärzungen führt.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass bei zu geringer Belichtung (Unterbelichtung) oder zu starker Belichtung (Überbelichtung) die entstehenden Schwärzungen unproportional zur Belichtung sind. Diese Bereiche der Schwärzungskurve sind daher zum Photographieren nicht geeignet. Nur im etwa geradlinig verlaufenden Teil der Schwärzungskurve werden Helligkeitsunterschiede der abgebildeten Objekte in angemessene Schwärzungsunterschiede umgesetzt (Normalbelichtung) (Albertz, 1991:26).

*Unterbelichtung/Überbelichtung:
Schwärzungen unproportional zur Belichtung*

2.3.4 Lichtempfindlichkeit der Emulsion

Die Empfindlichkeit eines Films gibt an, welche Lichtmenge erforderlich ist, um bei der Entwicklung eine bestimmte über dem Schleier liegende Schwärzung im Negativ oder Diapositiv zu erhalten (Albertz, 1991:27; Hildebrandt, 1996:97).

Aus der Schwärzungskurve eines Films lässt sich das Erreichen dieses definierten Grenzwertes ablesen (Punkt A in Abb. 2). Er wird bei hochempfindlichen Filmen «schnell», d. h. schon bei relativ geringer Belichtung, und bei weniger empfindlichen später erreicht. Dementsprechend liegt bei Filmen mit hoher Empfindlichkeit auch das Kurvenstück B–C, d. h. der Bereich richtiger Belichtung über geringeren $\log E \cdot t$ Werten als bei weniger empfindlichen. Somit gibt die Lage des Kurvenstücks B–C direkt Aufschluss über die Lichtempfindlichkeit einer Emulsion. Bei mehrschichtigen Filmen (Farbfilme) besitzt jede Emulsionsschicht eine für sie charakteristische Kurve der Empfindlichkeit (Hildebrandt, 1996:97–99).

Gemessen wird die Empfindlichkeit nach verschiedenen definierten Systemen, meist nach der amerikanischen Norm ASA oder der deutschen Norm DIN. Bei beiden Systemen drückt ein höherer Kennwert eine höhere Empfindlichkeit aus. So ist beispielsweise eine Schicht mit dem Kennwert 24 DIN/200 ASA doppelt so empfindlich und daher nur halb so lang zu belichten wie eine Schicht mit Kennwert 21 DIN/100 ASA. Für Luftbildfilme werden daneben auch andere Empfindlichkeitsskalen benutzt. Der Grund dafür liegt in den gegenüber der gewöhnlichen Photographie durch die grossen Abstände zum Objekt gegebenen anderen Voraussetzungen für die Belichtung. Als Beispiele solcher Empfindlichkeitsmasse sind die «Aerial Film Speed AFS» und die «Effective Aerial Film Speed EAFS» zu nennen (Albertz, 1991:27–28; Hildebrandt, 1996:99).

*Empfindlichkeitsmessung: höherer Kennwert
drückt höhere Empfindlichkeit aus*

2.3.5 GAMMA-Wert

Gradation

Das geradlinige Stück der Schwärzungskurve (Abschnitt B–C in Abb. 2) kann je nach Emulsion unterschiedliche Steigungen aufweisen. Dies zeigt sich in der Gradation, also der Eigenschaft eines Filmes, Objektkontraste als mehr oder weniger grosse Schwärzungsunterschiede wiederzugeben. Die Gradation eines Filmes wird durch den sogenannten GAMMA-Wert beschrieben (siehe Abb. 2):

$$\gamma = \frac{\Delta \log I / \tau}{\Delta \log E \cdot t} = \tan \alpha$$

Da die Gradation bei der Entwicklung in bestimmten Grenzen beeinflusst werden kann, wird der GAMMA-Wert meist als Spanne angegeben (Albertz, 1991:27; Hildebrandt, 1996:96, 100; Tillmanns, 1991:210).

Weiche, normale und harte Filmschichten

Mit zunehmender Höhe des GAMMA-Wertes bzw. steiler werdenden Gradation eines Filmes wird dessen Belichtungsspielraum eingeengt. Es werden aber auch die vorhandenen Objektkontraste in stärkere Dichteunterschiede umgesetzt als bei Filmen mit kleinerem GAMMA-Wert. Je nach Höhe des GAMMA-Wertes können weiche Schichten ($\gamma < 1$), die kontrastarme Bilder ergeben, normale Schichten ($\gamma \approx 1$) und harte Schichten ($\gamma > 1$), die zu kontrastreichen Bildern führen, unterschieden werden. Da man bei Aufnahmen aus der Luft mit geringen natürlichen Objektkontrasten rechnen muss, weisen Luftbildfilme relativ hohe GAMMA-Werte auf. Luftbildfilme mit einem ($\gamma < 1$) sind die Ausnahme (Albertz, 1991:27; Hildebrandt, 1996:101).

Entwickler, Entwicklertemperatur und Entwicklungszeit beeinflussen Schwärzungskurve

Die Lage der Schwärzungskurve über der Belichtungsskala (Empfindlichkeit) und ihr Verlauf (Gradation) sind von den Eigenschaften der Filmemulsion abhängig und gelten nur für genormte Bedingungen. Durch die Wahl des Entwicklers, der Entwicklertemperatur und der Entwicklungszeit kann die Lage und der Verlauf der Schwärzungskurve beeinflusst werden. Dadurch erhalten von den Emulsionseigenschaften her gleiche Filme unterschiedliche Schwärzungskurven (Albertz, 1991:28; Hildebrandt, 1996:96).

2.3.6 Spektrale Sensibilität

Die spektrale Sensibilität eines Filmes beschreibt dessen Reaktionsfähigkeit auf elektromagnetische Strahlung verschiedener Wellenlängen. Abhängig vom Wellenlängenbereich, für den eine Schicht empfindlich ist, lassen sich gemäss Albertz (1991:28–29) und Hildebrandt (1996:102–103) vier Schwarzweissfilme unterscheiden. Diese sind nachfolgend – geordnet nach ihrem zeitlichen Auftreten – aufgeführt:

- **Blausensibler Film.** Photographische Schichten waren ursprünglich nur für kurzwelliges Licht von 0,3 bis etwa 0,5 μm empfindlich (Bereich von ultraviolett bis blaugrün). Da die Empfindlichkeit des menschlichen Auges davon stark abweicht, widerspricht die Hell-Dunkel-Verteilung solcher Bilder sehr stark der subjektiven Helligkeitwahrnehmung. Im Positiv werden blaue Flächen sehr hell, grüne, gelbe oder rote dagegen dunkel bis schwarz wiedergegeben. Solche Filme nennt man «blausensibel» oder «unsensibilisiert».
- **Orthochromatischer Film.** Um zu einer natürlicheren Hell-Dunkel-Verteilung zu gelangen, wurde daher versucht, die photographischen Schichten zu «sensibilisieren», d. h. auch für längerwelliges Licht empfindlich zu ma-

chen. 1873 gelang dies erstmals, indem Bromsilber durch chemische Zusätze, die auch längerwelliges Licht absorbieren, für grün und gelb, also für Wellen bis etwa $0,6\ \mu\text{m}$ empfindlich gemacht werden konnte. Emulsionen mit einem solchen Empfindlichkeitsbereich nennt man «orthochromatisch».

Blausensible und orthochromatische Filme kommen als Positivmaterial immer noch vor und können in der Dunkelkammer bei langwelligem Licht verarbeitet werden. Für normale photographische Aufnahmen sind sie aber nicht geeignet. Luftbildaufnahmefilme dieser Art existieren nicht.

- **Panchromatischer Film.** Im Jahre 1884 gelang schliesslich der entscheidende Schritt, photographische Schichten auch für rotes Licht bis zu $0,7\ \mu\text{m}$ zu sensibilisieren. Solche «panchromatischen» Filme decken das gesamte Spektrum des sichtbaren Lichts ab. Da sie alle Farben in angemessenen, dem Helligkeitsempfinden des menschlichen Auges entsprechenden Grautönen wiedergeben, sind sie am weitesten verbreitet und dienen allgemein als Aufnahmematerial. Typisch für panchromatische Filme ist eine etwas geringere Empfindlichkeit für Grün. Dies entspricht der Sensibilität des menschlichen Auges, für das grün – anders als die «Alarmfarben» rot und gelb – wegen dieser geringeren Empfindlichkeit eine beruhigende, schonende Wirkung besitzt.
- **Infrarotfilm.** Ein weiterer Entwicklungsschritt war 1926 schliesslich die Ausdehnung der Sensibilität der Silberhalogenide über den Bereich des sichtbaren Lichts hinaus ins nahe Infrarot (bis $0,9\ \mu\text{m}$). Solche Filme werden dementsprechend «Infrarotfilme» genannt und sind sowohl für das sichtbare als auch das nicht sichtbare infrarote Licht empfindlich. Wenn abgebildete Objekte infrarote Strahlung wesentlich anders reflektieren als sichtbares Licht, hat dies zur Folge, dass die entstehenden Grautöne vom Helligkeitsempfinden des Menschen abweichen. Wird die kurzwellige Strahlung durch geeignete Filter abgehalten und das Bild somit weitgehend durch infrarote Strahlung erzeugt, verstärkt sich dieser Effekt noch.

Die Möglichkeit, Filmemulsionen unterschiedlich sensibilisieren zu können, ist auch die Voraussetzung für die Herstellung von Farbfilmen in «natürlichen» und «falschen» Farben. Farbfilme bestehen meist aus drei photosensitiven Schichten, wobei jede Schicht eine spezifische spektrale Sensibilisierung aufweist. Dementsprechend stellt jede Schicht einen Sensor für einen bestimmten Spektralbereich dar (Hildebrandt, 1996:103).

2.4 Filmarten

Filme lassen sich aufgrund verschiedener Kriterien unterscheiden. Am augenfälligsten ist sicher die Art der Wiedergabe von Farbe. Während bei Schwarzweissfilmen für die Abbildung elektromagnetischer Strahlung nur Graustufen zur Verfügung stehen, sind beim Farbfilm Darstellungen in den drei primären Farben Blau, Grün und Rot möglich. Innerhalb der beiden Kategorien Schwarzweiss- und Farbfilm lassen sich je nach abgebildetem Wellenlängenbereich des elektromagnetischen Spektrums verschiedene Typen unterscheiden (siehe Kapitel 2.3.6 «Spektrale Sensibilität» auf Seite 12). Die beiden wichtigsten und gebräuchlichsten sind der panchromatische Film und der Infrarotfilm. Auf diese unterschiedlichen Ausprägungen von Filmen soll im folgenden nun kurz eingegangen werden.

2.4.1 Schwarzweissfilme

2.4.1.1 Panchromatischer Schwarzweissfilm. Wie in Kapitel 2.3.6 «Spektrale Sensibilität» ausgeführt, sind panchromatische Schwarzweissfilme für alle Farben des sichtbaren Spektrums und für ultraviolettes Licht empfindlich und setzen diese in annähernd der Helligkeitsempfindung des menschlichen Auges entsprechende Grautöne um. Die starke atmosphärische Streuung der UV- und Blaustrahlung vermindert den Kontrast panchromatischer Schwarzweissbilder. Daher wird normalerweise ein kurzwellige Strahlung absorbierender Filter vor der Kameralinse angebracht. Panchromatische Schwarzweissfilme können auch zur Aufnahme ausgewählter Wellenlängenbereiche eingesetzt werden. Möchte man beispielsweise nur grünes Licht abbilden, so müssen Filter eingesetzt werden, welche das übrige sichtbare sowie ultraviolette Licht absorbieren (Robinson et al., 1995:133). Dieses Verfahren wird bei den in Kapitel 2.5.2 beschriebenen Multispektralkammern eingesetzt.

2.4.1.2 Schwarzweissinfrarotfilm. Die Empfindlichkeit von Schwarzweissinfrarotfilmen erstreckt sich von 0,3 bis 0,9 μm und umfasst somit auch die kurzwellige UV- und Blaustrahlung. Der kurzwellige Bereich der Strahlung wird daher durch Filter ausgeschaltet, so dass das erhaltene Schwarzweissinfrarotbild eine Grauabstufung vom sichtbaren Grün bis zum nahen Infrarot zeigt (Löffler, 1994:37). Gemäss Robinson et al. (1995:134) werden bei Schwarzweissinfrarotfilmen auch Schwarzfilter eingesetzt, welche das gesamte sichtbare und ultraviolette Licht absorbieren. Daher wird bei solchen Aufnahmen nur das nahe Infrarot im Wellenlängenbereich von 0,7 bis 0,9 μm abgebildet. Durch das Ausfiltern kurzer, streuungsanfälliger Wellenlängenbereichen eignet sich die Schwarzweissinfrarot-Photographie sehr gut für Aufnahmen bei Dunst.

Schwarzweissinfrarotbilder wirken besonders kontrastreich, da beschattete Gebiete tiefschwarz dargestellt werden (Albertz, 1991:29).

2.4.2 Farbfilme

2.4.2.1 Panchromatischer Farbfilm. Panchromatische Farbfilme wurden in den dreissiger Jahren des zwanzigsten Jahrhunderts entwickelt. Anfänglich wurden sie aufgrund der hohen Kosten und der geringen Auflösung für Luftbildaufnahmen nur spärlich eingesetzt. Durch Kostenreduktion, Erhöhung der Lichtempfindlichkeit, Verbesserung der Bildqualität und aufgrund der Tatsache, dass Farbbilder einen erhöhten Informationsgehalt aufweisen, wurden sie jedoch immer interessanter (Robinson et al., 1995:134–135). Gemäss Löffler (1994:37–38) wird der panchromatische Farbfilm in der Luftbildphotographie immer noch als «Luxus» angesehen, obwohl die Kosten von Farbaufnahmen diejenigen von Schwarzweissaufnahmen nicht mehr wesentlich übersteigen. Da die Luftbildüberdeckung der meisten Länder bereits in Schwarzweiss vorliegt und an eine erneute systematische Überfliegung nicht zu denken ist, kommt er zum Schluss, dass das Schwarzweissbild wahrscheinlich noch für lange Zeit das Standardprodukt bleiben wird. Wie Kapitel 10.1 zeigen wird, hat sich diese Aussage zumindest für das Gebiet der Schweiz als falsch erwiesen.

Panchromatische Farbfilme bestehen aus drei photosensitiven Schichten, wobei jede Schicht für einen bestimmten Spektral- bzw. Farbbereich empfindlich ist. Wie Abb. 3 (obere Figur) zeigt, besitzt die oberste Schicht eine blauempfindliche (0,4 bis 0,5 μm), die mittlere eine grünempfindliche (0,5 bis 0,6 μm) und die unterste eine rotempfindliche (0,6 bis 0,7 μm) Emulsion. Da die grün- und rotempfindliche Emulsion auch für Blaulicht empfindlich ist, muss ein blauabsorbierender Gelbfilter zwischen

die erste und zweite Schicht eingeschaltet werden, der später bei der Entwicklung herausgelöst wird (Löffler, 1994:39).

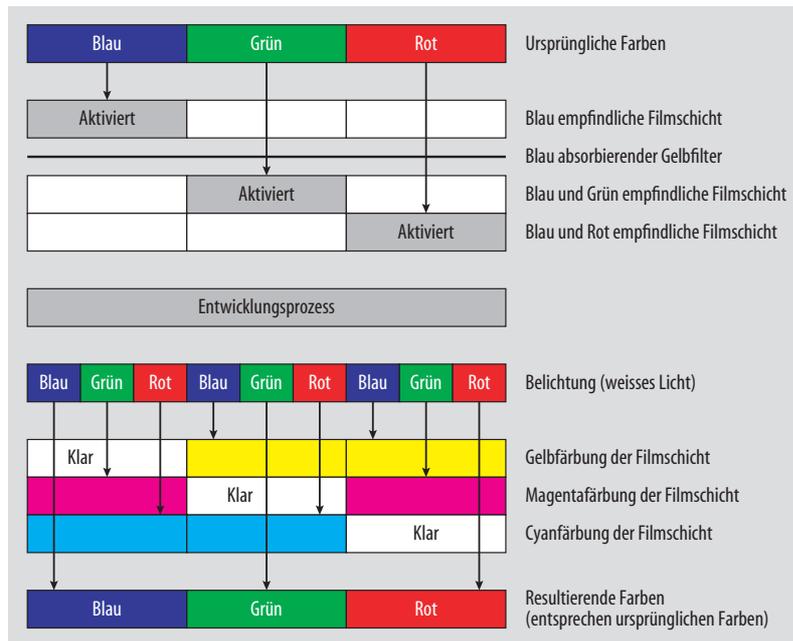


Abb. 3 Farbbildentstehung beim panchromatischen Positivfarbfilm: Belichtung, Entwicklung, Bildwiedergabe durch subtraktive Mischung der Komplementärfarben (Albertz, 1991:30; Löffler, 1994:39; Paine, 1981:244).

Am Beispiel eines panchromatischen Positivfarbfilmes soll die Farbbildentstehung kurz erläutert werden (siehe Abb. 3, untere Figur). Bei der Entwicklung solcher Farbfilme werden Farbstoffe in den zur jeweiligen Schicht komplementären Farben Gelb, Magenta und Cyan eingebracht. Die Menge der eingebrachten Farbstoffe ist dabei indirekt proportional zur Intensität des auf einer Schicht aufgetroffenen Lichtes. Wird beispielsweise die blauempfindliche Schicht infolge eines blauen Objektes stark belichtet, wird nur wenig oder gar kein gelber Farbstoff in diese Schicht eingebracht. Dagegen werden in die darunterliegenden grün- und rottempfindlichen Emulsionen, welche durch blaues Licht nicht beeinflusst werden können, grosse Mengen von magenta- bzw. cyanfarbigen Farbstoffen eingebracht. Wird ein solcher Positivfarbfilm bzw. Farbumkehrfilm nun nach dem Entwicklungsprozess wieder mit weißem Licht angestrahlt, sind aufgrund der subtraktiven Mischung der Komplementärfarben wieder die ursprünglich aufgenommenen Farben erkennbar. So entsteht beispielsweise die blaue Farbe eines Objektes dadurch, dass die magentafarbenen Farbstoffe vom weissen Licht die grüne Komponente und die cyanfarbenen Farbstoffe die rote Komponente subtrahieren. Als Resultat ist die übrigbleibende blaue Komponente sichtbar. Die Primärfarben Grün und Rot entstehen auf entsprechende Weise und sämtliche anderen Farben ergeben sich durch Mischung von Grün, Rot und Blau (Paine, 1981:243).

2.4.2.2 Farbinfrarotfilm. Der Farbinfrarotfilm besteht wie der Farbfilm aus drei farbempfindlichen Schichten, jedoch mit dem Unterschied, dass die blauempfindliche durch eine infrarotempfindliche Schicht ersetzt wird. Die Schichten sind also für das sichtbare Grün und Rot und das nicht sichtbare Infrarot empfindlich. Da die drei im Bereich von 0,4 bis 0,9 μm empfindlichen Emulsionen auch blau reflektierende Objekte aufzeichnen können, wird ein blauabsorbierender Gelbfilter vor dem Objektiv angebracht. Durch Wegfiltern der kurzwelligen Blaustrahlung (blaue Objekte erschei-

Normale Farbdarstellung muss bei Farbinfrarotfilmen ganz aufgegeben werden: Falschfarbenbilder

nen in Schwarz) werden die einzelnen Schichten korrekt belichtet und das Bild wirkt schärfer (Albertz, 1991:30; Paine, 1981:235; Robinson et al., 1995:135).

Bei Farbinfrarotfilmen stellt sich die Frage, mit welcher sichtbaren Farbe das Infrarot dargestellt werden soll. Beim Schwarzweissinfrarotfilm kann die Darstellung des Infrarots relativ einfach mit Hilfe von Grauwerten gelöst werden. Beim Farbinfrarotfilm muss dies auf andere Weise angegangen werden. Da das Blau fehlt und durch das nicht sichtbare Infrarot ersetzt wurde, aber nur die drei Primärfarben Blau, Grün und Rot zur Farbdarstellung zur Verfügung stehen, muss die normale Farbdarstellung bei Farbinfrarotfilmen ganz aufgegeben werden. Die Zuordnung der Farben im Farbinfrarotfilm ist daher ein rein technischer und im Grunde willkürlicher Vorgang, weshalb diese ohne Schwierigkeiten geändert werden kann. Meist wird aber folgende Farbzunordnung verwendet: Grün reflektierende Objekte erscheinen blau, rot reflektierende grün und infrarot reflektierende rot. Da keine der möglichen Farbzunordnungen der tatsächlichen Wahrnehmung entspricht, werden Farbinfrarotbilder auch als «Falschfarbenbilder» bezeichnet (Löffler, 1994:39–40).

Beim Farbinfrarotfilm ist besonders die Behandlung von Vegetation sehr aufschlussreich. So erscheinen lebende, grüne, gesunde und daher Infrarot reflektierende Blätter rot, während abgestorbene Blätter in Grün oder einer Mischfarbe von Grün und Rot abgebildet werden. Auf Grund dieser Eigenschaft wird der im zweiten Weltkrieg entwickelte Vorläufer des Farbinfrarotfilms im englischsprachigen Raum als «camouflage detection film» bezeichnet. Mit ihm war es möglich, künstliche Blätter oder mit grüner Farbe getarnte Objekte, welche kein Infrarot reflektieren und daher blau erscheinen von gesunder Vegetation zu unterscheiden (Paine, 1981:235; Robinson et al., 1995:135).

2.4.3 Vergleich der verschiedenen Filmarten

Vergleicht man Schwarzweissfilme mit Farbfilmen, so ergeben sich für die beiden Gruppen die folgenden Vorteile (Paine, 1981:246–247; Robinson et al., 1995:135):

- **Schwarzweissfilme.** Als einzige Vorteile von Schwarzweissfilmen gegenüber Farbfilmen können die etwas niedrigeren Produktionskosten und die etwas schärferen Abzüge angeführt werden. Letzterer Vorteil gilt aber auch nur bedingt, da Farbbilder in Form von Diapositiven ebenfalls eine sehr hohe Schärfe aufweisen.
- **Farbfilme.** Der grosse Vorteil von Farbfilmen gegenüber Schwarzweissfilmen liegt darin, dass wir fähig sind, tausende verschiedener Farben unterscheiden zu können im Gegensatz zu einer sehr begrenzten Anzahl von Grautönen. Beim panchromatischen Farbfilm kommt hinzu, dass sich viele Objekte aufgrund ihrer typischen Farbe leichter identifizieren lassen. Aber auch beim Farbinfrarotfilm erweist sich die höhere Zahl unterscheidbarer Farbtöne als sehr wertvoll für die Interpretation.

Stellt man panchromatische Filme (schwarzweiss und farbig) und Infrarotfilme (schwarzweiss und farbig) einander gegenüber, so lassen sich folgende Vorteile festhalten (Paine, 1981:235, 238):

- **Panchromatische Filme.** Als erster Vorteil panchromatischer Farb- oder Schwarzweissfilme kann genannt werden, dass solche Abbildungen für das menschliche Auge natürlicher wirken als Infrarotbilder. Weiter sind bei panchromatischen Filmen in schattenbedeckten Gebieten mehr Details erkennbar. Insbesondere in Gebieten mit steiler Topographie und/oder hohen dichten Wäldern und somit grossen beschatteten Flä-

chen kommt dieser Vorteil zum Tragen. Beim besonders problematischen Schwarzweissinfrarotfilm werden beschattete Gebiete tiefschwarz dargestellt und lassen in diesen Bereichen keine Details mehr erkennen. Auch sind panchromatische Filme für unterhalb der Wasseroberfläche befindliche Objekte sensibel, und die Auflösung liegt normalerweise über derjenigen von Infrarotfilmen.

- **Infrarotfilme.** Bei Infrarotfilmen sind als Vorteile die bessere Durchdringung von Dunst sowie die Hervorhebung von Wasserflächen und Feuchtgebieten zu nennen. Weiter können Laub- und Nadelbäume gut voneinander unterschieden werden, und, insbesondere bei Farbinfrarotfilmen, ist kranke, sterbende oder gestresste Vegetation leichter zu erkennen.

2.4.4 Filme zur Luftbildaufnahme

An die Filme zur Aufnahme von Luftbildern werden ausserordentlich hohe Anforderungen gestellt. Sie müssen eine hohe Empfindlichkeit aufweisen, da wegen der Eigenbewegung des Flugzeugs nur kurze Belichtungszeiten (in der Regel zwischen $\frac{1}{100}$ s und $\frac{1}{1000}$ s) zulässig sind. Andererseits wird ein hohes Auflösungsvermögen verlangt, damit möglichst viele Details im Bild wiedergegeben werden können. Diese beiden Forderungen widersprechen sich, so dass bei der Filmherstellung ein Kompromiss eingegangen werden muss. Darüber hinaus ist eine steile Gradation erforderlich, um trotz der vom Flugzeug aus geringen Helligkeitskontraste des Geländes eine gute Bildwiedergabe zu erzielen. Meist werden GAMMA-Werte zwischen 1,1 und 1,4 gebraucht, während sie bei normalen photographischen Aufnahmen um 0,8 liegen. In einzelnen Fällen kommen bei der Luftbild-Aufnahme aber auch GAMMA-Werte über 2 vor. Schliesslich wird für die Photogrammetrie auch eine hohe Masshaltigkeit der Schichtträger verlangt. Dies, da Schrumpfung bzw. Ausdehnung eines Filmes zu Bildverzerrungen führen würde (Albertz, 1991:31).

Anforderungen an Filmmaterial: hohe Empfindlichkeit, hohes Auflösungsvermögen, steile Gradation, hohe Masshaltigkeit

2.5 Aufnahmegeräte

Zum Photographieren von Flugzeugen aus eignet sich im Prinzip jede gewöhnliche Kamera. Die meisten Luftbilder werden jedoch mit Kameras aufgenommen, die speziell zu diesem Zweck gebaut wurden. Für Geräte dieser Art hat sich die Bezeichnung «Kammer» eingebürgert. Von Bedeutung sind in erster Linie die Reihenmesskammer und die Multispektralkammer (Albertz, 1991:33–34).

2.5.1 Reihenmesskammer

Zur Aufnahme von Senkrechtbildern von Flugzeugen aus, insbesondere zur systematischen Aufnahme grösserer Flächen, werden im allgemeinen Einzelobjektivkameras, sogenannte «Reihenbildkameras» oder «Reihenmesskammern» eingesetzt. Diese Begriffe deuten an, dass mit diesen Kameras bzw. Kammern die systematische Aufnahme von Bildreihen möglich ist und die aufgenommenen Bilder für photogrammetrische Messzwecke geeignet sind. Da Reihenmesskammern über automatische Auslösevorrichtungen und automatischen Filmtransport verfügen, können Aufnahmen in der von Flughöhe, Objektivbrennweite und Fluggeschwindigkeit abhängigen Zeitfolge aufgenommen werden. Unter der Objektivbrennweite f ist der Abstand zwischen Brennebene (durch das Negativ gegebene Ebene) und dem Projektionszentrum des Objektivs zu verstehen (siehe Abb. 4 in

Systematische Aufnahme von Bildreihen durch Einsatz von Reihenmesskammern

Kapitel 3.1). Das verwendete Filmformat beträgt meist $23 \times 23 \text{ cm}^2$, und die Filmlänge variiert je nach Stärke des Emulsionsträgers zwischen 120 und 210 Metern (Albertz, 1991:34; Hildebrandt, 1996:85; Löffler, 1994:33–34, 91).

Gleichzeitiges Aufnehmen von deckungsgleichen Gebieten mit verschiedenen Filmen und Filtervorsätzen

2.5.2 Multispektralkammer

Die Farbphotographie mittels Reihenmesskammern stellt im Sinne der Fernerkundung ein dreikanaliges Aufnahmesystem dar, da für jede Geländefläche drei Messwerte in den einzelnen Schichten der Farbfilme registriert werden. Will man die Zahl der Kanäle vermehren, so muss man zu einer mehrlinsigen Kamera, einer sogenannten Multispektralkammer, greifen. Eine solche besteht aus vier oder mehr einzelnen Kammern, deren Auslösevorrichtungen genau miteinander gekoppelt sind. Die Verwendung von Multispektralkammern erlaubt das gleichzeitige Aufnehmen von deckungsgleichen Gebieten mit verschiedenen Filmen und Filtervorsätzen. Dabei kann bei entsprechender Filterwahl das sichtbare und z. T. auch das nicht sichtbare Spektrum unterteilt werden, um Bilder in verschiedenen Wellenlängenbereichen aufzunehmen. Anstatt eines einzigen Farb- oder Falschfarbfilms erhält man auf diese Weise Schwarzweissfilme, die sich in Grauton und Dichte je nach der Intensität der Reflexion innerhalb der einzelnen Spektralbereiche unterscheiden. Soll ein Farbbild erstellt werden, kann dies durch Überlagerung der einzelnen Aufnahmen in transparenter Filmpositivform und der Zuordnung von Farben erzielt werden. Da der Informationsgewinn der Multispektralphotographie gegenüber der Farbphotographie aber bescheiden ist, und sich mit Abtastsystemen Multispektraldaten gewinnen lassen, die in radiometrischer Hinsicht genauer sind und sich direkt digital weiterverarbeiten lassen, hat die flugzeuggestützte Multispektralphotographie nur begrenzte Bedeutung erlangt (Albertz, 1991:38–39; Löffler, 1994:34).

2.6 Aufnahmetechnik

2.6.1 Aufnahmeanordnung

Die senkrechte Luftaufnahme von grösseren Flächen mit Reihenmesskammern stellt die wichtigste und häufigste Aufnahmeform dar. Die Aufnahme erfolgt in der Regel in Parallelstreifen, die sich überlappen. Dabei wird in Flugrichtung eine minimale Längsüberdeckung von 60% eingehalten. Der gleiche Geländeausschnitt wird somit auf zwei aufeinanderfolgenden Bildern wiedergegeben und kann daher stereoskopisch betrachtet werden. Der Abstand zwischen den Flugstreifen wird meist so gewählt, dass eine Querüberdeckung von ungefähr 20% besteht (Albertz, 1991:40; Hildebrandt, 1996:110).

2.6.2 Wahl der Reihenmesskammer

Bei der Wahl der Reihenmesskammer sind die Auswirkungen verschiedener Bildwinkel bzw. Brennweiten zu bedenken. So wächst beispielsweise die Lageversetzung durch Gelände- und Objekthöhen sowie der zum Rand hin ansteigende Helligkeitsabfall in der Bildebene mit zunehmendem Bildwinkel bzw. abnehmender Brennweite an. Daher sind Normalwinkelkammern (Brennweite $f \approx 300 \text{ mm}$) oder Schmalwinkelkammern ($f \approx 610 \text{ mm}$) von diesen Problemen weniger betroffen als Weitwinkelkammern

($f \approx 150$ mm). Im Zweifelsfalle sind aus diesem Grund Normalwinkelkammern den Kammern übriger Brennweite vorzuziehen. Für die Erstellung von Orthophotos grossen und mittleren Massstabs wird in der Literatur ebenfalls der Einsatz von Normalwinkelkammern empfohlen.

Für den Gebrauch von Weitwinkelkammern sprechen meist wirtschaftliche Gründe. So kann man mit Weitwinkelkammern eine Fläche aus einer bestimmten Flughöhe mit einer viel geringeren Zahl von Bildern erfassen als dies mit Normalwinkelkammern möglich wäre.

Schmalwinkelkammern können einerseits für Aufnahmen in sehr grossem Massstab z. B. bis 1:1000 notwendig sein, um zugelassene Mindestflughöhen einzuhalten, und andererseits für Aufnahmen aus sehr grossen Höhen, um einen möglichst grossen Massstab zu erreichen (Albertz, 1991:35–36; 41; Hildebrandt, 1996:114).

2.6.3 Aufnahmezeitpunkt

Die Entscheidung für einen bestimmten Aufnahme- bzw. Befliegungszeitpunkt hängt vor allem von der Zielsetzung der Luftbilderstellung und von regionalen Gegebenheiten ab. Es muss vor der Durchführung eines Bildfluges festgelegt werden, welche Jahres- und Tageszeit sich für den Aufnahmepurpose am besten eignet. Weiter können aber auch noch andere Faktoren wie meteorologische Bedingungen, Beleuchtungsverhältnisse sowie Forderungen an die Aktualität der Luftbilder für die Wahl der Aufnahmezeit entscheidend sein (Albertz, 1991:42).

2.6.3.1 Jahreszeit. Da sich das Bild der meisten Landschaften – insbesondere durch Veränderungen der Vegetation – im Jahresverlauf stark wechselt, stellt die Wahl der Jahreszeit für eine Luftbildaufnahme ein ernstes Problem dar. Die verschiedenen Nutzungsarten und Bearbeitungszustände von Ackerflächen führen zu einer grossen Vielfalt im Erscheinungsbild mit starken Veränderungen im Jahreslauf (Albertz, 1991:42).

2.6.3.2 Tageszeit. Bildflüge für forstliche und vegetationskundliche Zwecke, für die Vermessung sowie insbesondere für Aufnahmen von bebauten Gebieten sollten möglichst eng begrenzt um die Mittagszeit durchgeführt werden. Tieferer Sonnenstände mit entsprechenden Schattenwirkungen sind einzig für einige Sonderfälle wie beispielsweise die archäologische Luftbildauswertung von Vorteil. Wenn möglich sollten Luftbildaufnahmen bei Sonnenständen unter 35° vermieden und solche über 45° angestrebt werden. Diese Forderung begrenzt das Tageszeitfenster für Luftbildaufnahmen umso mehr, je nördlicher oder südlicher des Äquators der Aufnahmeort liegt und je weiter der Aufnahmezeitpunkt vom jährlichen Sonnenhöchststandes eines bestimmten Ortes entfernt ist (Hildebrandt, 1996:125).

2.6.3.3 Bewölkung/Atmosphärische Beeinträchtigungen. Die photographische Qualität und der Informationsgehalt von Luftbildern werden neben der Wahl der Jahres- und Tageszeit auch von der Bewölkung und vom Zustand der Atmosphäre beeinflusst.

Wolken können entweder unter- oder oberhalb der Flughöhe vorkommen. Im ersteren Fall verdecken diese Teile des Geländes und werfen Schatten ggf. auch dorthin, wo das Gelände im Bild zu sehen ist. In der Praxis wird deshalb oft nur $\frac{1}{8}$ Bewölkung unterhalb der Flughöhe zugelassen. Treten oberhalb der Flughöhe Quellwolken auf, so stören diese durch ihren Schattenwurf und beeinträchtigen die Auswertung. Es ist daher von Fall zu Fall zu entscheiden, welcher Bewölkungsgrad eine Luftbildaufnahme ausschliesst. In Gebieten mit häufiger Quellbewölkung, beispielsweise in den humiden Tropen, wird man dabei einen weniger strengen Massstab anlegen

Shadowless photography

müssen, um überhaupt zu Bildflügen zu kommen. Beim regelmässigen Aufziehen solcher Bewölkung zu bestimmten Tageszeiten, kann dies auch die Tageszeit der Aufnahme mitbestimmen.

Bei geschlossener Wolkendecke oberhalb der Flughöhe würde man – aufgrund der schwächeren Ausleuchtung des Geländes – annehmen, dass sich eine solche Situation für Luftbildaufnahmen schlecht eignet. Dies gilt aber nur bedingt, da solche Bewölkungsverhältnisse – bei ausreichender Beleuchtung – unter Umständen sogar von Vorteil sein können. Ein Gebiet wird zwar schwächer, dafür aber diffus sehr gleichmässig beleuchtet, und Wolken- sowie Schlagschatten treten nicht auf. Beispielsweise bei Bildflügen in Gebieten mit steiler Topographie, hohen Bäumen und einem niedrigen Sonnenstand werden durch das Fehlen von Schatten brauchbare Aufnahmen erst möglich. Durch Verwendung eines hochempfindlichen Films und Einsatz einer Kammer mit Bewegungskompensation kann das durch die Wolkendecke hervorgerufene Beleuchtungsdefizit meist ausgeglichen werden. Mittels dieser Methode der «shadowless photography» kann also einerseits die Interpretierbarkeit von Luftbildern in bestimmten Situationen verbessert werden. Andererseits kann – da Bildflüge auch bei niedrigen Sonnenständen durchgeführt werden können – der Bereich innerhalb eines Jahres, welcher sich für Aufnahmen eignet, ausgedehnt werden.

Neben ungünstiger Bewölkung kann auch der vorliegende Atmosphärenzustand eine Luftbildaufnahme zeitweise in Frage stellen bzw. die entstehenden Bildprodukte in ihrem Informationsgehalt mindern. Entschliesst man sich trotz stärkeren Dunstes zur Aufnahme, so können dessen nachteilige Auswirkungen durch entsprechende Filterung und insbesondere durch Verwendung von Schwarzweiss- bzw. Farbinfrarotfilmen reduziert werden (Hildebrandt, 1996:125–127; Paine, 1981:273–274).

3 Geometrische Eigenschaften von Luftbildern: die Zentralperspektive

Zwischen den mit einer Kamera gewonnenen Bildern und der aufgenommenen Gelände­fläche bestehen geometrische Beziehungen. Die Photogrammetrie macht von diesen Zusammenhängen Gebrauch, um das abgebildete Gelände messtechnisch zu erfassen. Aber auch für die Interpretation der Bilder haben sie grosse praktische Bedeutung, da die Auswertergebnisse in der Regel mit angemessener Genauigkeit in Karten eingetragen oder in anderer Weise geometrisch richtig dargestellt werden müssen. Photographische Systeme bilden die Erdoberfläche als Zentralperspektive ab, worauf in den nächsten Kapiteln näher eingegangen werden soll (Albertz, 1991:64).

Photographische Systeme bilden die Erdoberfläche als Zentralperspektive ab

3.1 Nadir-, Senkrecht- und Schrägaufnahme

Gemäss Hildebrandt (1996:74) lässt sich die Luftbildaufnahme bezüglich Aufnahme­richtung in folgende drei Hauptgruppen aufteilen: Nadiraufnahmen, Senkrechtaufnahmen und Schrägaufnahmen. Bei den verschiedenen Aufnahmeformen wirkt sich die zentralperspektivische Darstellung unterschiedlich aus. Um in Kapitel 3.2 auf diese Unterschiede eingehen zu können, müssen die verschiedenen Aufnahmetypen zuerst kurz erläutert werden. Abb. 4 zeigt diese verschiedenen Aufnahmeformen. Die dort bezeichneten Punkte, Strecken, Ebenen und Winkel haben folgende Bedeutung (Hildebrandt, 1996:148–149; Löffler, 1994:90):

- **Bildhauptpunkt.** Im Bildhauptpunkt H' trifft die Aufnahmeachse die Bildebene.
- **Geländenadir.** Der Geländenadir oder Nadirpunkt N ist der zur Zeit der Aufnahme senkrecht unter dem Kameraobjektiv gelegene Punkt des Geländes.
- **Bildnadir.** Im Bildnadir N' wird der Geländenadir N abgebildet. N' liegt lotrecht über N . In einem Nadirbild ist N' der Fluchtpunkt aller im Gelände senkrecht stehenden Linien (z. B. lotrechte Hauskanten).
- **Projektionszentrum.** Das Projektionszentrum bzw. der Aufnahmeort O liegt im Zentrum des Objektivs und ist optisch definiert.
- **Kammerkonstante.** Unter der Kammerkonstante c_K ist der durch Kalibrierung einer Messkammer ermittelte Abstand von O zu H' zu verstehen. Da die Bildebene in der Brennebene des Objektivs liegen soll, ist c_K gleich der Brennweite f .
- **Bildebene.** Unter der Bildebene versteht man die senkrecht auf $\overline{H'O}$ liegende Ebene. Ihr Abstand zu O ist bei Messbildern durch c_K definiert. Ihre Neigung gegenüber der Geländeebene wird durch die Nadirdistanz v bestimmt.
- **Geländeebene.** Die Geländeebene ist diejenige Ebene, welche in N rechtwinklig zur Geraden $\overline{N'N}$ liegt. Sie oder eine in beliebigem Abstand ΔZ zu ihr parallel liegende Ebene ist die Bezugsebene für eine orthogonale Projektion des Geländes.
- **Nadirdistanz.** Unter der Nadirdistanz, Nadirabweichung oder Bildneigung v ist der Winkel zwischen der Aufnahmeachse und der Lotrechten \overline{ON} zu verstehen.

Senkrecht aufgenommene Luftbilder ideal für photogrammetrische Auswertungen

3.1.1 Nadir- und Senkrechtaufnahme

Von einer Nadiraufnahme spricht man, wenn die Nadirdistanz $v = 0^\circ$ beträgt. Bei einer Senkrechtaufnahme dagegen ist die Nadirdistanz kleiner oder gleich 3° . Daraus geht hervor, dass es sich bei der Nadiraufnahme um eine Sonderform der Senkrechtaufnahme handelt.

Luftbildaufnahmen beispielsweise für photogrammetrische Messungen und Kartierungen werden zwar als Nadiraufnahmen geplant, bedingt durch die Bewegungen des Flugzeugs während des Bildflugs ergeben sich de facto aber meist Senkrechtaufnahmen. Senkrecht aufgenommene Luftbilder sind photogrammetrischen Auswertungen sehr gut zugänglich. Ihre Interpretation erfordert aber – ähnlich dem Kartenlesen – ein gewisses Mass an Imagination (Hildebrandt, 1996:74–75).

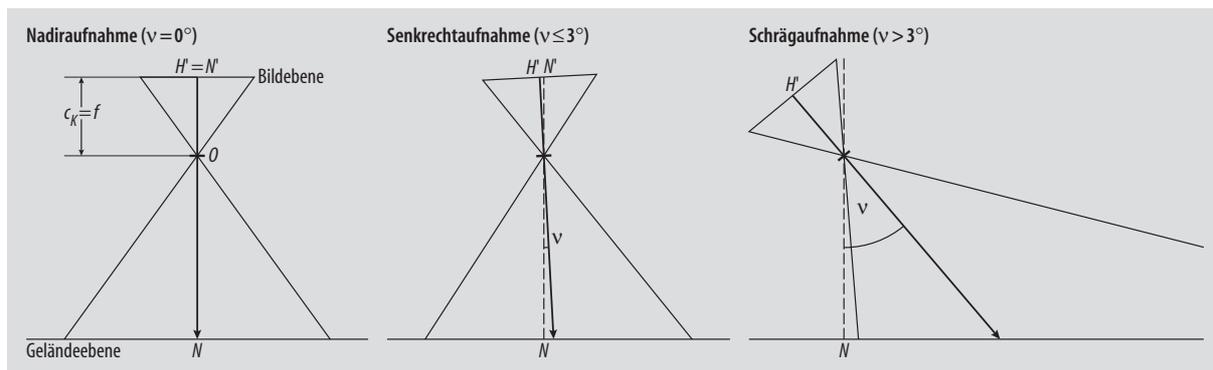


Abb. 4 Mögliche Aufnahmegerichtungen bei der Luftbildaufnahme: Nadir-, Senkrecht und Schrägaufnahme (Hildebrandt, 1996:74).

3.1.2 Schrägaufnahme

Eine Schrägaufnahme liegt vor, wenn die Nadirdistanz mehr als 3° beträgt. Solche Luftbilder sind anschaulicher aber geometrisch/photogrammetrisch schwerer verarbeitbar als Nadir- oder Senkrechtaufnahmen. Ihre Bedeutung liegt vor allem in der bildhaften Dokumentation einzelner Objekte (Hildebrandt, 1996:74–75).

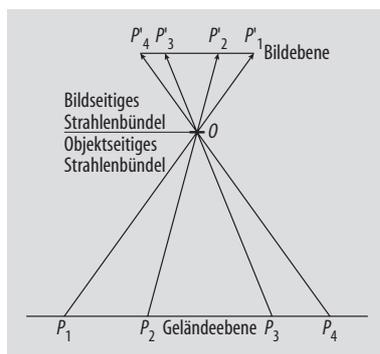


Abb. 5 Zweidimensionale Darstellung der zentralperspektivischen Abbildung eines Geländes im Luftbild.

3.2 Das geometrische Modell der Zentralperspektive

3.2.1 Beschreibung des Modells

Das Luftbild bildet das Gelände nahezu in Zentralperspektive ab. Wie Abb. 5 zeigt, werden von den Geländepunkten (P_1, P_2 etc.) ausgehende reflektierte Strahlen bei der Belichtung durch ein Projektionszentrum O auf die Bildebene projiziert. Dem im Projektionszentrum zusammentreffenden objektseitigen Strahlenbündel entspricht dabei ein verkleinertes bildseitiges, das die Bildebene schneidet und dort die entsprechenden Bildpunkte (P'_1, P'_2 etc.) erzeugt. Das Modell der Zentralperspektive beschreibt das geometrische Ergebnis dieses Vorgangs und die Beziehungen, die geometrisch zwischen der Lage der Geländepunkte und ihrer Lage im Bild bestehen (Hildebrandt, 1996:148, 150).

3.2.2 Einflüsse von Objektiv und atmosphärischer Refraktion

Die in obiger Definition durch das Wort «nahezu» gemachte Einschränkung ist aufgrund der Auswirkungen der Verzeichnung durch das Objektiv und der atmosphärischen Refraktion notwendig.

Unter der Verzeichnung ist ein Abbildungsfehler zu verstehen, der eine gekrümmte Wiedergabe gerader Linien bewirkt. Als Folge eines solchen Abbildungsfehlers wird ein Rechteck entweder tonnenförmig oder kissenförmig verzeichnet abgebildet (Tillmanns, 1991:258). Die Verzeichnungen moderner Normal-, Weitwinkel- und Überweitwinkelobjektive der Messkamern sind jedoch sehr gering. Legt man als strengen Massstab für die Brauchbarkeit des Modells der Zentralperspektive zulässige Abweichungen zwischen Ist- und Soll-Position eines Punktes von 5–7 μm an, so stellen die Verzeichnungen moderner Hochleistungsobjektive dieses Modell nicht in Frage.

Unter der atmosphärischen Refraktion versteht man die Brechung von Lichtstrahlen durch die Atmosphäre (Leser et al., 1995:130). Die verzeichnende Wirkung der atmosphärischen Refraktion ist in ihrer Grösse vom Atmosphärenzustand, der Flughöhe, der Objektivbrennweite und der Lage des Ist-Abbildungspunktes im Luftbild abhängig. Reflektierte Strahlen, die die Atmosphäre schräg durchlaufen, werden zur Erdoberfläche hin gebrochen. Die Refraktion bewirkt eine Versetzung der Ist-Abbildung von der Bildmitte nach aussen.

Die Einflüsse der Verzeichnung des Objektivs und der atmosphärischen Refraktion auf die reflektierte Strahlung werden als Bildfehler im photogrammetrischen Sinn bezeichnet, da sie dem Modell der Zentralperspektive prinzipiell entgegenstehen. Beide Auswirkungen auf die Abbildungsgeometrie halten sich jedoch in Grenzen. Daher kann man für viele Luftbildauswertungen, auch für die Mehrzahl photogrammetrischer, thematischer Kartierungen trotz dieser beiden Einflüsse vom geometrischen Modell einer zentralperspektiven Abbildung ausgehen. Daher sollen bei der weiteren Erläuterung des Modells der Zentralperspektive diese Einflüsse vernachlässigt werden (Hildebrandt, 1996:150, 153–154).

Verzeichnung: Rechtecke werden tonnen- oder kissenförmig abgebildet

Refraktion bewirkt Versetzung der Ist-Abbildung von der Bildmitte nach aussen

Verzeichnung, Refraktion: Bildfehler im photogrammetrischen Sinn

3.2.3 Unterschiede zwischen Zentral- und Parallelprojektion

Wie in Kapitel 3.2.1 ausgeführt, wird bei einer Luftbildaufnahme die Geländeoberfläche durch ein Projektionszentrum, d. h. durch eine Optik abgebildet. Die Abbildungsstrahlen laufen nicht parallel, sondern zentral durch das Kameraobjektiv, weshalb eine solche Abbildung als Zentralprojektion bezeichnet wird. Bei der Zentralprojektion entsteht eine Abbildung, die geometrisch bedingte Reliefverzerrungen und damit Massstabsunterschiede auf der Bildebene aufweist. Auf diesen Umstand wird in Kapitel 3.2.4 «Die Zentralperspektive bei Nadiraufnahmen» sowie in Kapitel 3.2.5 «Die Zentralperspektive bei Senkrecht- und Schrägaufnahmen» näher eingegangen.

Im Gegensatz dazu kann eine Karte als Grundriss der Geländeoberfläche und all der darauf befindlichen Einzelheiten bezeichnet werden. Gräte, Bäche, Gebäude, Strassen und Bäume aber auch die etwas abstrakteren Schichtlinien (Höhenkurven) werden durch parallele, auf der Kartenebene senkrecht stehende Strahlen abgebildet. Eine solche Projektion nennt man deshalb eine orthogonale Parallelprojektion. Als Folge dieser Projektion weist eine Karte einen für das gesamte Blatt geltenden, einheitlichen Massstab auf (Knöpfli, o.J.:3–4; Löffler, 1994:88).

Karte: Grundriss der Geländeoberfläche mit einheitlichem Massstab

Luftbilder sind in der Regel geometrisch nicht kartengleich, sondern allenfalls kartenähnlich

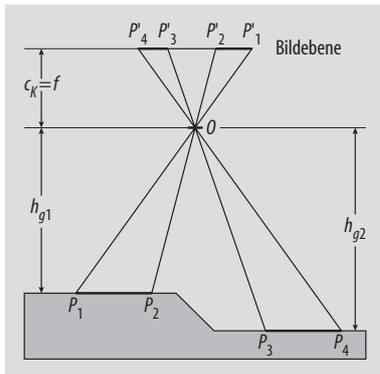


Abb. 6 Abbildung von Geländestrecken im Luftbild (Paine, 1981:68).

3.2.4 Die Zentralperspektive bei Nadiraufnahmen

Wird mittels einer Nadiraufnahme eine absolut ebene, rechtwinklig zur Aufnahmeachse liegende Gelände­fläche abgebildet, erhält man ein Bildprodukt, welches der üblichen orthogonalen Kartenprojektion entspricht. Da diese drei Bedingungen nur ausnahmsweise gleichzeitig erfüllt werden, gilt als Regelfall, dass Luftbilder geometrisch nicht kartengleich, sondern bei Nadir- und Senkrechtaufnahmen allenfalls kartenähnlich sind (Hildebrandt, 1996:151).

3.2.4.1 Bildmassstab. Unter dem Bildmassstab M_b versteht man das Verhältnis einer Bildstrecke zur entsprechenden Gelände­strecke. Sind die Kammerkonstante bzw. Brennweite des Objektivs und die Flughöhe über Grund bekannt, lässt sich dieser folgendermassen ausdrücken:

$$\frac{1}{m_B} = \frac{c_K}{h_g} = \frac{f}{h_g}$$

Gemäss Hildebrandt (1996:149) ist unter der Flughöhe über Grund, d. h. über einem Geländepunkt P , immer die lotrechte Distanz zwischen O und P zu verstehen, unabhängig von der Lage des zugehörigen P' im Bild (siehe Abb. 6).

Aus obiger Beziehung geht hervor, dass der Massstab innerhalb eines Luftbildes nur dann konstant sein kann, wenn die Flughöhe über Grund gleich bleibt. Das trifft nur für flaches Gelände zu. Je reliefierter ein Gelände ist, desto stärker variiert der Massstab. Der Massstab höher gelegener Geländeabschnitte (und damit geringerer Höhe der Kamera über Grund) ist grösser als der Massstab tiefer gelegenen Geländes. Bei Senkrecht- und Schrägaufnahmen mit einer Nadirdistanz v kommen zusätzlich Massstabsunterschiede durch projektive Verzerrungen hinzu.

Wie Abb. 6 zeigt, werden somit gleichlange Strecken ($\overline{P_1P_2} = \overline{P_3P_4}$), welche sich im Gelände auf unterschiedlichen Höhen befinden, im Luftbild unterschiedlich lang ($\overline{P'_1P'_2} \neq \overline{P'_3P'_4}$) wiedergegeben. Anders als in einer Karte stellt damit ein Luftbild das Gelände – eine Ausnahme bildet nur der oben erwähnte Fall einer absolut ebenen Fläche – nicht massstabs­gleich in Bezug auf Horizontalentfernungen dar. Für jeden Abbildungsort ergibt sich «sein» Massstab nach obiger Formel (Alberty, 1991:66; Hildebrandt, 1996:151–152; Löffler, 1994:92).

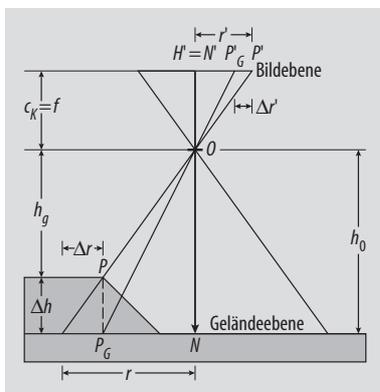


Abb. 7 Versatz eines über der Bezugsebene (Gelände­ebene) liegenden Punktes vom Bildnadir weg (Hildebrandt, 1996:151).

3.2.4.2 Reliefbedingte radiale Punktversetzungen. Die Länge der Abweichung zwischen Ist- und Soll-Abbildung eines Geländepunktes $\Delta r'$ ergibt sich für Nadirbilder nach

$$\Delta r' = \Delta h \frac{r'}{h_0} = \Delta h \frac{r'}{c_K m_B}$$

wobei die Massstabszahl auf die Bezugsebene (Gelände­ebene) zu beziehen ist. Die entsprechende Strecke im Gelände wird mit Δr bezeichnet.

In obiger Gleichung und nebenstehender Abbildung (Abb. 7) ist unter Δh der Höhenunterschied zwischen zwei Geländepunkten (Berggipfel/Talsole, Baumspitze/Baumfuss), unter r' die Entfernung zwischen einem Bildpunkt P' und N' bzw. H' zu verstehen. Das r' entsprechende Geländemass wird mit r bezeichnet. Die Flughöhe über der Bezugs-

ebene, gemessen von O lotrecht auf die Bezugsebene, wird mit h_0 bezeichnet. Der Punkt P'_G im Luftbild zeigt die Soll-Position des Geländepunktes P an. Ihm entspricht der Punkt P_G , welcher sich im Schnittpunkt der Lotrechten von P und der Geländeebene befindet.

Je grösser Δh und je weiter P' von der Bildmitte entfernt liegt, desto grösser ist $\Delta r'$. Je grösser andererseits die Flughöhe und bei gegebenem Bildmassstab die Kammerkonstante, desto kleiner wird $\Delta r'$. In der Bildmitte ist $\Delta r'$ gleich null, was bedeutet, dass keine radialen Punktversetzungen mehr auftreten.

Die Strecken $\Delta r'$ liegen auf Radialstrahlen, die vom Bildnadir N' ausgehen. Sie werden daher auch als radiale Punktversetzungen bezeichnet. Die Versetzungen erfolgen von N' weg, wenn die Geländeorte über, und auf N' hin, wenn sie unter der Bezugsebene liegen (siehe Abb. 7).

Bei Geländeobjekten, die sich vertikal über ihre Nachbarschaft erheben, z. B. bei Bäumen, Häusern etc. finden die radialen Punktversetzungen im Luftbild ihren sichtbaren Ausdruck im «Umkippen» nach aussen. Als Folge davon entstehen hinter solchen Objekten sichttote Räume, Abb. 8 zeigt einen solchen. Die Strecke P_1P_2 im Gelände ist auf dem Luftbild nicht einsehbar, da die entsprechende Bildstrecke $P'_1P'_2$ nur den Baum, nicht aber den dahinterliegenden Raum wiedergibt. Da solche Effekte des Umkippens umso grösser sind, je kürzer die Brennweite der Aufnahmekammer ist (ableitbar aus obiger Formel), sind bei Luftbildaufnahmen von Städten und Wäldern Normalwinkelkamern gegenüber Weitwinkel- oder gar Überweitwinkelkamern vorzuziehen (Albertz, 1991:66; Hildebrandt, 1996:149, 152).

3.2.4.3 Erdkrümmungsbedingte radiale Punktversetzungen. Eine gleichartige, wenn auch in ihrem Ausmass wesentlich geringere Wirkung wie die reliefbedingten radialen Punktversetzungen löst die Erdkrümmung in der Abbildung aus. Die Länge der Abweichungen zwischen Ist- und Soll-Abbildung eines Geländepunktes nimmt durch die Wegkrümmung der Erdoberfläche gegenüber einer tangential an dieser liegenden Bezugsebene mit zunehmendem Abstand vom Nadir zu. Die auf die Erdkrümmung zurückzuführenden radialen Punktversetzungen bewirken eine Verschiebung der Ist-Abbildung zum Bildnadir N' hin. Wenn erforderlich, ist also eine Korrektur von N' weg nach aussen vorzunehmen.

Diese radialen Punktversetzungen sind für gross- und mittelmassstäbige Nadirbilder unauffällig. Bei Normalwinkel aufnahmen 1:10000 treten am Bildrand Punktversetzungen gegenüber der orthogonalen Lage von 2–3 μm auf. Bei klein- und ultrakleinmassstäbigen Luftbildern wirkt sich die Erdkrümmung naturgemäss stärker aus. So betragen beispielsweise die radialen Punktversetzungen am Bildrand von KFA 1000-Aufnahmen ($c_K=1000\text{ mm}$, $h_0=350\text{ km}$) um 25 μm .

Weder bei den reliefbedingten noch bei den auf die Erdkrümmung zurückgehenden radialen Punktversetzungen handelt es sich um Bildfehler im photogrammetrischen Sinn. Solche Punktversetzungen widersprechen nicht dem geometrischen Modell der Zentralperspektive. Dies im Gegensatz zu den in Kapitel 3.2.2 behandelten Einflüssen der Verzeichnung des Objektivs und der atmosphärischen Refraktion auf die reflektierte Strahlung (Hildebrandt, 1996:152–153).

3.2.5 Die Zentralperspektive bei Senkrecht- und Schrägaufnahmen

Das Modell der Zentralperspektive ist auch für Senkrechtaufnahmen mit geringen Nadirabweichungen, also für den Regelfall der Luftbildaufnahme anwendbar. Es gilt prinzipiell auch für Schrägaufnahmen. Sobald eine Nadirdistanz auftritt, verliert jedoch das Aufnahmestrahlenbündel – da es ver-

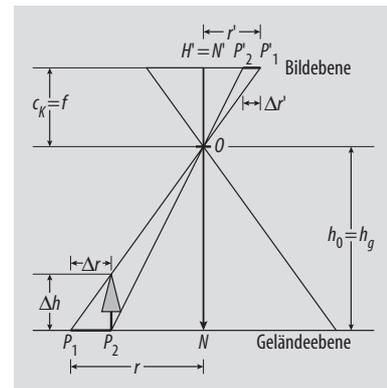


Abb. 8 Entstehung eines sichttoten Raumes durch ein sich vertikal erhebendes Geländeobjekt (Albertz, 1991:67).

Radiale Punktversetzungen für gross- und mittelmassstäbige Nadirbilder unauffällig

Radiale Punktversetzungen widersprechen nicht dem Modell der Zentralperspektive

Aufnahmestrahlenbündel verliert rotationssymmetrische Form

zerzt wird – die bei Nadiraufnahmen vorhandene rotationssymmetrische Form. Anders als bei Nadiraufnahmen ist in diesem Falle das Luftbild auch dann nicht massstabs- und kartengleich, wenn das Gelände völlig eben ist.

In Senkrechtaufnahmen mit geringer Nadirdistanz sind die auftretenden Verzerrungen noch so klein, dass sie insbesondere bei Aufnahmen mit einem Normalwinkelobjektiv bei Luftbildinterpretationen in der Regel vernachlässigbar sind. Dies gilt auch für thematische Kartierungen, bei denen die Genauigkeitsansprüche bezüglich der Lage von Geländeorten gering sind. Für weitergehende photogrammetrische Auswertungen ist ihnen aber in jedem Fall Rechnung zu tragen. Dies bedeutet, dass solche Luftbilder entzerrt werden müssen.

*Schrägaufnahmen mit grosser Nadirdistanz:
Verlust der Kartenähnlichkeit*

Die geometrische Unähnlichkeit mit der orthogonalen Kartendarstellung und damit auftretende Massstabsunterschiede nehmen mit zunehmendem v und wie bei Nadiraufnahmen auch mit grösser werdenden Höhenunterschieden im Gelände zu. Bei Schrägaufnahmen mit sehr grosser Nadirdistanz verliert die Abbildung ihre Kartenähnlichkeit schliesslich ganz (Hildebrandt, 1996:155–156).

4 Herstellung von Orthophotos

4.1 Begriffsdefinitionen

Gemäss Hildebrandt (1996:278) versteht man unter einem Orthophoto ein differentiell entzerrtes bzw. umgebildetes und dadurch von der Zentralperspektive in eine orthogonale Projektion gebrachtes Luftbild. Sofern dabei mit Mitteln der digitalen Photogrammetrie gearbeitet wird, spricht man im Hinblick auf die Art seiner Entstehung zweckmässigerweise von einem digitalen Orthophoto (DOP) oder auch von einem Ortho-Bild (ortho-image). Im Ausland, z. B. in den USA, ist es vielfach üblich, entzerrte Bilder allgemein als Orthophotos zu bezeichnen, nicht nur die differentiell entzerrten. Dort bezieht sich also der Begriff auf die Eigenschaft des Ergebnisses, im deutschen Sprachraum jedoch auf die Methode der Herstellung (Albertz, 1991:137). In dieser Diplomarbeit soll die im deutschen Sprachraum übliche Definition Verwendung finden.

Durch die Differentialentzerrung wird ein Luftbild derart umgeformt, dass es geometrisch die Eigenschaften einer Karte aufweist. Dies bedeutet, dass Orthophotos einen einheitlichen, für das gesamte Bild geltenden Massstab aufweisen, was die Messung von geometrischen Grössen (z. B. Flächenmessungen) erlaubt. Ein Orthophoto kann einerseits wie ein normales Luftbild zur Interpretation des Bildinhalts herangezogen werden, andererseits jedoch auch als massstabgetreue Karte Verwendung finden (Albertz, 1991:137; Löffler, 1994:107, 109).

Orthophoto: differentiell entzerrtes Luftbild

Orthophoto weist geometrische Eigenschaften einer Karte auf

4.2 Photogrammetrische Auswertung

Um das Verfahren der Differentialentzerrung verstehen zu können, müssen zuerst einige grundlegende Aussagen über die photogrammetrische Auswertung von Luftbildern gemacht werden.

Bei der photogrammetrischen Auswertung von Luftbildern steht die Bestimmung geometrischer Grössen im Vordergrund. Die inhaltliche Interpretation der Bilder ist nur insoweit betroffen als sie der Identifikation der zu messenden Grössen gilt. Die photogrammetrische Auswertung beruht auf der geometrischen Rekonstruktion des Aufnahmevorgangs. Diese ist nur dann mit der angemessenen Genauigkeit möglich, wenn die auszuwertenden Bilder mit einer Reihenmesskammer aufgenommen wurden. Dann ist die innere Orientierung gegeben, welche das abbildende Strahlenbündel definiert. Unter der inneren Orientierung ist die räumliche Lage des Projektionszentrums relativ zur Bildebene zu verstehen (Albertz, 1991:35–36, 127).

Zwischen Aufnahme und Auswertung besteht allerdings ein grundlegender Unterschied: Bei der Aufnahme wird jedem Geländepunkt (definiert durch die 3 Koordinaten X , Y und Z) ein eindeutig bestimmter Bildpunkt (definiert durch die Bildkoordinaten x' und y') zugeordnet. Umgekehrt kann jedoch die Raumlage des Geländepunktes aus einem Bildpunkt nicht eindeutig rekonstruiert werden. Dazu bedarf es einer zusätzlichen geometrischen Information (Albertz, 1991:127). In der Photogrammetrie haben sich nun zwei Gruppen von Auswerteverfahren entwickelt, die die erforderliche Zusatzinformation auf verschiedene Weise gewinnen: Entzerrung und Stereoauswertung (Albertz, 1991:127). Auf diese beiden Verfahren soll in den nächsten beiden Kapiteln eingegangen werden.

Photogrammetrische Auswertung: Bestimmung geometrischer Grössen

4.2.1 Entzerrung

Beim Verfahren der Entzerrung wird die dritte Koordinate (Höhe) dadurch bestimmt, dass der Objektpunkt innerhalb einer gegebenen Geländeebene liegen muss. Mittels der Entzerrung sollen die im Luftbild durch die Abweichung der Aufnahme- von der Lotrichtung entstandenen Verzerrungen ausgeglichen werden (Albertz, 1991:127, 130).

Entzerrung: Luftbild erhält geometrische Eigenschaften einer Nadiraufnahme

Die Verfahren der Entzerrung (graphische Lösungen, Luftbildumzeichner, optisch-photographische Entzerrung) dienen entweder dazu, einzelne Punkte bzw. Linien aus einem Luftbild in den Grundriss einer Karte zu übertragen oder aber den ganzen Bildinhalt so umzuformen, dass er die geometrischen Eigenschaften einer Nadiraufnahme erhält. Bei völlig ebenem Gelände wird das Luftbild durch die Entzerrung grundrisstreu und somit kartengleich und erhält den Charakter eines Orthophotos. Bei unebenem Gelände gilt dies aufgrund der durch die Höhenunterschiede im Gelände hervorgerufenen radialen Punktversetzungen nicht mehr. In der Praxis genügt es, wenn das Gelände annähernd eben ist, so dass die radialen Versetzungen eine gewisse Toleranz nicht überschreiten (Albertz, 1991:128; Hildebrandt, 1996:177).

Der Anwendbarkeit der Entzerrungsverfahren sind durch die Geländeformen bestimmte Grenzen gesetzt. Wenn die durch die Geländehöhenunterschiede verursachten Lagefehler das im Ergebnis tolerierbare Maß überschreiten, muss die sehr viel aufwändigere Differentialentzerrung angewendet werden, um ein grundrisstreuere Bild zu erhalten (siehe Kapitel 4.2.3) (Albertz, 1991:132).

4.2.2 Stereoauswertung

Um die Raumlage eines Geländepunktes zu bestimmen, wird beim Verfahren der Stereoauswertung die fehlende Information aus einem zweiten Bild herangezogen. Es werden im allgemeinen Bildpaare eingesetzt, die sich zu etwa 60% überdecken (Albertz, 1991:127, 132).

Ableitung einer orthogonalen Parallelprojektion auf die Kartenfläche

Bei der Stereoauswertung wird der geometrische Zusammenhang rekonstruiert, wie dieser bei der Aufnahme der Bilder bestand, und durch Projektion ein formtreues (ähnliches), aber verkleinertes Modell des Geländes erzeugt. In diesem stereoskopisch zu betrachtenden Modell bewegt die Auswerterin eine Messmarke (wandernde Marke) im Raum und sucht damit die zu kartierenden Punkte oder Linien auf. Die Lagekoordinaten dieser Bewegungen werden auf eine Zeichenfläche übertragen bzw. auf einem Datenträger abgespeichert. Aus den beiden Zentralperspektiven der Bilder wird durch diesen Prozess eine orthogonale Parallelprojektion auf die Kartenfläche abgeleitet (Albertz, 1991:133, 135).

Aufnahmegeometrie muss durch Orientierung des Bildpaares rekonstruiert werden

Um eine Stereoauswertung vornehmen zu können, muss zuvor die Aufnahmegeometrie durch Orientierung des Bildpaares rekonstruiert werden. Dieser Vorgang lässt sich in drei Phasen aufteilen. Zunächst wird die innere Orientierung der Aufnahmekammer wiederhergestellt. Dann stimmen die im Auswertegerät projizierten Strahlenbündel mit den beim Aufnahmevorgang wirksamen Zentralprojektionen überein. Dann wird durch die relative Orientierung die gegenseitige räumliche Lage der beiden Strahlenbündel rekonstruiert. Danach schneiden sich alle einander entsprechenden (homologen) Projektionsstrahlen und bilden in ihrer Gesamtheit ein räumliches Modell (Stereomodell) des betreffenden Geländes. Es ist – im mathematischen Sinn – dem Gelände ähnlich, weist also dieselbe Form auf. Sein Maßstab ist allerdings noch zufällig, so wie er sich aus dem Verhältnis der Aufnahmebasis (Strecke zwischen den beiden Aufnahmeorten O_1 und O_2 zweier nacheinander aufgenommenen Luftbilder) zu der im Auswertegerät realisierten Bild- oder Photobasis ergibt. Unter der Bild- oder Photo-

basis versteht man die der Aufnahmebasis entsprechende Bildstrecke auf dem Luftbild, also der Abstand von einem Bildnadir zu dem vom Stereopartner übertragenen Bildnadir. Ausserdem nimmt das Modell noch eine beliebige, meist leicht schräge Lage im Raum ein. Deshalb wird das Stereomodell schliesslich durch die absolute Orientierung mit Hilfe von Passpunkten in die richtige Raumlage und auf einen runden Massstab gebracht (Albertz, 1991:134; Hildebrandt, 1996:148; Löffler, 1994:91).

Sowohl beim Verfahren der Entzerrung als auch bei dem der Stereoauswertung müssen die geometrischen Beziehungen zwischen den Bildkoordinaten und den Geländekoordinaten bekannt sein. Um diese Beziehungen zu bestimmen, verwendet man Passpunkte, deren Koordinaten im System der Landesvermessung gegeben sind. Im Falle der Entzerrung dienen die Passpunkte dazu, den geometrischen Bezug zwischen der Bildebene und der Geländeebene herzustellen. Bei der Stereoauswertung ist es sogar erforderlich, mittels der Passpunkte die Lage der Aufnahmekammer im Raum (äussere Orientierung) mit hoher Genauigkeit zu bestimmen (Albertz, 1991:127).

4.2.3 Differentialentzerrung

Das in Kapitel 4.2.1 behandelte Verfahren der Entzerrung geht von der Annahme aus, dass die Geländefläche genähert als Ebene betrachtet werden kann. Wenn die Unterschiede der Geländehöhen die zulässige Grenze überschreiten, entstehen Fehler, die nicht mehr toleriert werden können. Sie müssen deshalb durch eine Differentialentzerrung korrigiert werden. Die durch das Geländere relief verursachten Lagefehler werden dabei eliminiert. Das Verfahren ist technisch aufwändig und setzt voraus, dass die Geländehöhen in geeigneter Form gegeben sind (z. B. in Form eines digitalen Geländemodells). Häufig sind die Geländehöhen durch stereophotogrammetrische Messungen zu bestimmen. Deshalb kann die Differentialentzerrung auch als Kombination von Stereoauswertung und Entzerrung verstanden werden (Albertz, 1991:136–137).

Erste praktikable, aber noch unvollkommene Geräte zur Herstellung von Orthophotos wurden Mitte der 1950er Jahre entwickelt. Eine befriedigende Lösung brachte aber erst der 1964 von Zeiss auf den Markt gebrachte Orthoprojektor GZ 1. Ab Mitte der 1970er Jahre erfolgte dann nach und nach die Ablösung dieser optischen Orthoprojektoren durch rechnergesteuerte, analytische Orthophotogeräte. In der zweiten Hälfte der 1980er Jahre beginnt schliesslich die Ortho-Bild-Produktion auch mit Mitteln der digitalen Photogrammetrie (Hildebrandt, 1996:278).

In den folgenden drei Kapiteln soll kurz auf diese drei unterschiedlichen Verfahren zur Orthophotoherstellung eingegangen werden. Dabei soll die Herstellung von Orthobildern mit Mitteln der digitalen Photogrammetrie etwas näher beleuchtet werden, da die in dieser Diplomarbeit verwendeten digitalen Orthophotos auf diese Weise generiert wurden.

4.2.3.1 Analoge Orthophotoherstellung. Bei den nicht rechnergesteuerten Orthoprojektoren handelt es sich um Geräte, mittels welcher – entlang einer vorgegebenen Bahn – die Entzerrung und Aufbelichtung kleiner Bildsegmente vorgenommen wird. Dies wird erreicht, einerseits durch eine Schlitzblende, welche über einen mit Photopapier belegten Projektionstisch geführt wird, und andererseits durch kontinuierliche Veränderung der Projektionsweite. Das Projektionssystem befindet sich zu diesem Zweck auf einem gegenüber dem Projektionstisch in der Höhe veränderbaren Träger. Die fortlaufende Veränderung der Projektionsweite erfolgt entsprechend der Höhendifferenz ΔZ des jeweiligen im Bildsegment abgebildeten Geländestücks gegenüber der Bezugshöhe und bewirkt die Eliminierung der radialen Punktver-

Differentialentzerrung: Eliminierung der durch Geländere relief verursachten Lagefehler

setzungen. Die für diesen Vorgang andauernd benötigten Eingangswerte gewinnt man aus stereophotogrammetrischen Höhenprofilmessungen entlang der Wegspur der Schlitzblendenmitte. Zu diesem Zweck wird ein Orthoprojektor direkt an ein analoges Stereokartiergerät angeschlossen oder im off-line Betrieb von derart erhobenen, aber zwischengespeicherten Höhenprofildaten gesteuert (Hildebrandt, 1996:279–280).

Die mäanderförmige Grundrissbewegung der Messmarke des Stereoauswertegeräts wird vom Orthoprojektor nach vorprogrammierter Laufgeschwindigkeit der Schlitzblende und gewählter Schlitzbreite gesteuert. Die Auswerterin am Stereoauswertegerät führt dabei die Messmarke in der Höhe durch kontinuierliche Anpassung an das Relief im Stereomodell nach. Die Höhenänderungen der Messmarke werden auf die Trägerbühne des Projektors übertragen und bewirken damit die erforderlichen laufenden Änderungen der Projektionsweite (Hildebrandt, 1996:280).

Der off-line Betrieb bietet mehrere Vorteile. Einerseits können Fehler, die bei der Höhenprofilmessung unterlaufen sind, nachträglich verbessert werden. Andererseits lassen sich gemessene und gespeicherte Profile bei der Entzerrung weiterer Luftbilder wiederverwenden. Auch eröffnet die Trennung der zeitaufwändigen stereophotogrammetrischen Profilmessung von der weniger aufwändigen Orthoprojektion Möglichkeiten der Rationalisierung (Hildebrandt, 1996:280).

4.2.3.2 Orthophotoherstellung mit analytisch-photogrammetrischen Mitteln. Bei analytischen Orthoprojektorgeräten stellt der Rechner des Systems die für die differentielle Entzerrung eines Luftbildes erforderlichen Beziehungen zwischen dem Koordinatensystem des Geländes, des zu entzerrenden Originalbildes und des herzustellenden Orthophotos her. Ebenso werden die optischen Komponenten des Geräts während des sequentiellen Belichtungsvorganges vom Rechner aus gesteuert. Die benötigten Höheninformationen werden auch bei diesem Herstellungsverfahren aus stereophotogrammetrisch gemessenen Höhenprofilen gewonnen oder – bei Geräten die für off-line Betrieb eingerichtet sind – auch aus vorhandenen digitalen Geländemodellen abgeleitet und über einen Datenträger eingegeben (Hildebrandt, 1996:280).

Bei der Orthophotoherstellung mit analytisch-photogrammetrischen Mitteln werden mit Hilfe der Orientierungsdaten des Luftbildes sowie den Höheninformationen – z. B. aus einem digitalen Geländemodell – zunächst die Steuerdaten für das Orthophotosystem errechnet. Diese Daten werden anschliessend dem Gerätesystem zugeführt, welches die Projektion bzw. die Belichtung des entzerrten Bildsegmentes durchführt (Albertz, 1991:138).

4.2.3.3 Herstellung von Orthobildern mit Mitteln der digitalen Photogrammetrie. Zu den bereits praktikablen Verfahren der digitalen Photogrammetrie gehört die automatische Herstellung von Orthobildern. Für dieses Verfahren sind keine speziellen Hardware-Systeme erforderlich, welche das Luftbild mit optischen Projektionssystemen in ein Orthophoto umwandeln. Neben einem leistungsfähigen Computer wird lediglich noch ein Scanner benötigt, welcher das zu entzerrende analoge photographische Luftbild in eine Matrix von digitalen Grau- bzw. Farbwerten umwandelt. Diese Matrix kann anschliessend rechnerisch entzerrt und das resultierende digitale Orthophoto am Bildschirm oder auf einem anderen Ausgabegerät ausgegeben werden (Albertz, 1991:139; Hildebrandt, 1996:282).

Dieses Fehlen von komplexen Projektionssystemen stellt natürlich einen grossen Vorteil gegenüber den in Kapitel 4.2.3.1 und Kapitel 4.2.3.2 behandelten Verfahren dar. Als weitere Vorzüge der Orthobildherstellung mit Mitteln der digitalen Photogrammetrie sind die gegebenen Möglichkei-

Kein komplexes Projektionssystem, einfache GIS-Integration, hoher Automatisierungsgrad

ten der Bildverbesserung im Zuge von Vorverarbeitungsschritten (z. B. Kontrastveränderungen) und radiometrische Angleichungen mehrere Bilder für Mosaike zu nennen. Auch die besseren Voraussetzungen für die Herstellung farbiger Orthophotos, die guten Möglichkeiten für die Integration der geokodierten Rasterdaten der digitalen Orthophotos in GIS und der hohe Automatisierungsgrad sprechen für die Herstellung von Orthophotos mit Mitteln der digitalen Photogrammetrie (Hildebrandt, 1996:283).

Die differentielle Entzerrung eines digitalisierten Luftbildes mit Mitteln der digitalen Photogrammetrie geschieht durch Anwendung von Transformationsgleichungen (siehe Kapitel 5.1). Diese beschreiben die zentralperspektivische Abbildung und somit die geometrischen Beziehungen zwischen Bild- und Geländepunkten. Um eine solche Transformation durchführen zu können, benötigt man die Parameter der inneren und äusseren Orientierung sowie ein digitales Geländemodell DGM (Reliefmodell, Höhenmodell), welches der Gewinnung der Höheninformationen dient. Als DGM kann ein geeignetes, vorhandenes oder ein im Zuge der digital-photogrammetrischen Bearbeitung hergeleitetes dienen. Die Höhengenaugigkeit eines DGM und aus diesem abzuleitender Höhendaten für die digital differentielle Entzerrung der einzelnen Bildelemente ist vom Abstand der Gitterpunkte des DGM abhängig. Es ist daher unter Berücksichtigung der Reliefverhältnisse ein entsprechend kleiner Abstand der Gitterpunkte erforderlich (Albertz, 1991:139; Hildebrandt, 1996:282).

Die differentielle Entzerrung erfolgt durch Einsatz der sogenannten indirekten Entzerrungsmethode (indirekte Transformation). Wie Abb. 9 zeigt, wird bei dieser Methode mittels der Transformationsfunktionen von jedem Pixel des Orthophotos über das digitale Geländemodell in die Matrix des digitalisierten Luftbildes zurückgerechnet, um dort für jedes Pixel des Orthophotos den zugehörigen Grau- bzw. Farbwert zu entnehmen bzw. zu interpolieren. Dadurch erhält man unmittelbar die entzerrte Bildmatrix (Albertz, 1991:94–95, 138–139).

Die Berechnung der differentiellen Entzerrung kann entweder pixelweise, d. h. Bildelement für Bildelement, unter Anwendung der jeweils vollständigen Transformationsformeln oder stützpunktweise erfolgen. Die erste, strenge Lösung ist sehr rechenintensiv und relativ langsam. Im zweiten Fall werden die strengen Transformationen nur für die als Ankerpunkte benutzten Gitterpunkte des DGM berechnet (Ankerpunktmethode). Die für die Entzerrung aller anderen Bildelemente gesuchten Vektoren findet man durch bilineare Interpolation zwischen den jeweils zugehörigen vier benachbarten Ankerpunkten (Hildebrandt, 1996:282–283).

Da sich bei der indirekten Entzerrungsmethode die Bildelemente des Orthophotos aus unterschiedlichen Anteilen von Bildelementen der Matrix des Luftbildes zusammensetzen, stellt sich die Frage, welche Grau- bzw. Farbwerte die Orthophotopixel erhalten sollen. Um dieses Problem lösen zu können, werden Verfahren benötigt, die es ermöglichen, dem Orthophoto sinnvolle und, da es sich um digitale Werte handelt, auch ganzzahlige Werte zuzuordnen. Dieser Vorgang wird als Resampling bezeichnet. Es gibt verschiedene Methoden des Resampling, die sich in Rechenaufwand und Genauigkeit der Zuordnung unterscheiden und die Feinheiten der Objektstrukturen mehr oder weniger gut wiedergeben (siehe Abb. 9). Rechnerisch relativ einfach ist das Verfahren der nächsten Nachbarschaft. Bei dieser Methode erhält jedes Pixel des Orthophotos den Grau- bzw. Farbwert des Luftbildpixels, in das sein rückübertragener Bildmittelpunkt fällt (Albertz, 1991:95; Hildebrandt, 1996:480–481; Löffler, 1994:59).

Bessere Ergebnisse liefern Verfahren, die die Grau- bzw. Farbwerte der Bildelemente des Orthophotos mit Hilfe der jeweils umgebenden Bildelemente im Luftbild neu berechnen. Bei der bilinearen Interpolation wird jedes Pixel des Orthophotos mit einem Grau- bzw. Farbwert belegt, der als

Für Transformation werden Parameter der inneren und äusseren Orientierung und digitales Geländemodell benötigt

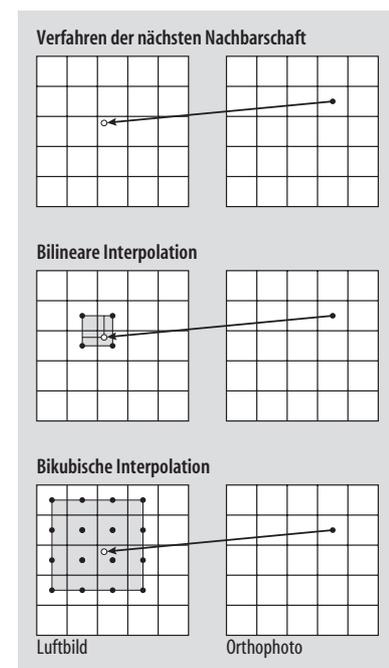


Abb. 9 Resamplingmethoden (Hildebrandt, 1996:481).

Bikubische Interpolation liefert die besten Resampling-Ergebnisse

gewichtetes Mittel der vier dem rückübertragenen Bildpunkt benachbarten Pixel des Luftbildes berechnet wird. Noch aufwändiger ist die bikubische Interpolation, bei der jedes Bildelement des Orthophotos einen Grau- bzw. Farbwert erhält, der auf die gewichteten Mittel aus der 4×4 Pixelumgebung des rückübertragenen Bildpunktes zurückgeht. Die bikubische Interpolation liefert die besten Ergebnisse, ist jedoch auch am rechenintensivsten (Albertz, 1991:95–96; Hildebrandt, 1996:481; Löffler, 1994:61).

5 Digitale Bildverarbeitung

Unter Bildverarbeitung versteht man die Transformation eines Eingabebildes in ein Ausgabebild (Albertz, 1991:90). Eine solche Transformation kann verschiedene Ziele verfolgen, letztendlich dienen alle der besseren Interpretierbarkeit, Wiedergabe und einfacheren Anwendung der Bilder. Beim einzelnen Bild beziehen sich die durch die Bildverarbeitung hervorgerufenen Veränderungen entweder auf die Geometrie oder die Struktur. Die geometrischen Veränderungen dienen in erster Linie der Entzerrung von Bildern. Die strukturellen Veränderungen beinhalten radiometrische Korrekturen und Bildverbesserungen sowie die Kombination mehrerer Bilder (radiometrische Mosaikbildung, Bild- und Datenüberlagerung). Die Technik der Bildverarbeitung beruht auf analogen (photographischen) oder digitalen Verfahren. Bei der analogen Bildverarbeitung sind die Transformationen der Eingabe- in Ausgabebilder durch physikalische bzw. chemische Gesetze definiert. Die digitale Bildverarbeitung hingegen bedient sich mathematischer Transformationsfunktionen (Albertz, 1991:90, 96–105; Hake und Grünreich, 1994:268; Löffler, 1994:58, 61–73).

Auf die für die Herstellung von Orthophotos wichtigen analogen und digitalen differentiellen Entzerrungsverfahren wurde bereits im vorangegangenen Kapitel ausführlich eingegangen. Daher sollen nun im folgenden die geometrischen Bildveränderungen (geometrische Transformationen) nur kurz gestreift, dafür die strukturellen Bildveränderungen (radiometrische Transformationen), welche mittels der digitalen Bildverarbeitung möglich sind, etwas näher betrachtet werden. Da die analoge Bildverarbeitung zunehmend an Bedeutung verliert, die flexiblere digitale Bildverarbeitung dagegen immer wichtiger wird, sollen sich die folgenden Betrachtungen auf letztere beschränken.

Bildverarbeitung: Veränderung der Geometrie oder der Struktur eines Bildes

Analoge Bildverarbeitung wird durch digitale Bildverarbeitung verdrängt

5.1 Transformationsfunktionen

Das Prinzip der digitalen Bildverarbeitung beruht darauf, die Werte der einzelnen Bildelemente einer Bildszene oder eines Bildausschnittes über mathematische Gleichungen, die oben erwähnten Transformationsfunktionen, in andere zu überführen. Durch eine Transformation T wird die diskrete zweidimensionale Grauwertfunktion $g(x, y)$ des Eingabebildes in die ebenfalls diskrete zweidimensionale Grauwertfunktion $g'(x', y')$ des Ausgabebildes transformiert. In den genannten Funktionen geben x und y die Pixelposition in der Matrix des Eingabebildes und x' und y' die Pixelposition in der Matrix des Ausgabebildes an. Die Transformationsfunktion T , die das Eingabebild in einer bestimmten Weise verändern soll, kann im Prinzip frei gewählt werden. Eine Einschränkung besteht lediglich dadurch, dass die Grauwerte stets positiv sein müssen und in aller Regel nur die 256 Werte von 0 bis 255 vorkommen dürfen. Die in Frage kommenden Funktionen können zwei Gruppen zugeordnet werden, den geometrischen und radiometrischen Transformationen (Albertz, 1991:90–91; Hildebrandt, 1996:472; Löffler, 1994:58).

Durch geometrische Transformationen werden Bilder in ihrer Form verändert, die Grauwerte bleiben dabei aber erhalten. Es ist demnach $x' = f_x(x, y)$, $y' = f_y(x, y)$ und $g' = g$. Zu dieser Gruppe gehören alle Verfahren, die zur Entzerrung von Bilddaten dienen. Auch das für die differentielle Entzerrung von Luftbildern mit Mitteln der digitalen Photo-

grammetrie benötigte Verfahren zählt dazu (siehe Kapitel 4.2.3.3) (Albertz, 1991:90).

Im Gegensatz zu den geometrischen Transformationen werden bei den radiometrischen Transformationen die Grauwerte verändert, während die geometrischen Eigenschaften erhalten bleiben. Es gilt also $x' = x$, $y' = y$ und $g' = f(g)$. Radiometrische Transformationen werden sowohl zur Korrektur von verschiedenartigen Störeinflüssen (z. B. Atmosphären-Einfluss) eingesetzt als auch zur Bildverbesserung im Hinblick auf die spätere Auswertung. Bei den in den nächsten Kapiteln behandelten strukturellen Bildveränderungen spielen die radiometrischen Transformationen eine zentrale Rolle (Albertz, 1991:91).

5.2 Radiometrische Korrekturen

Radiometrische Korrekturen: Störeinflüsse kompensieren bzw. reduzieren

Gemäss Albertz (1991:96) sind als radiometrische Korrekturen (Image Restoration) Verfahren zu bezeichnen, mit denen während der Datenaufnahme oder -übertragung auftretende Störeinflüsse kompensiert oder wenigstens reduziert werden sollen. Solche Störeinflüsse sind beispielsweise ein in der Bildebene eines Objektivs auftretender Helligkeitsabfall oder das Ausgangssignal eines Detektors, welches bei der Datenaufnahme nicht proportional zur Belichtung ist. Als weiterer gewichtiger Störfaktor sind die atmosphärischen Einflüsse (Dunst, leichter Nebel, Rauch, Staub) zu nennen. Diese führen im Bild stets zu einer Aufhellung und Kontrastminderung, ihre Wirkung hängt jedoch stark vom Spektralbereich, vom momentanen Zustand der Atmosphäre und von anderen Faktoren ab. Generell bewirken die verschiedenen Störeinflüsse verfälschte Bilddaten, sie verschlechtern die Bildqualität und sie führen zu optisch störenden Erscheinungen wie beispielsweise Streifen (Löffler, 1994:61–62).

Kosmetische Verfahren ohne zusätzlichen Informationsgewinn

Es gibt eine Vielzahl von Verfahren, um beispielsweise die Atmosphäreneinflüsse oder die bei zeilenweise arbeitenden Aufnahmesystemen häufig auftretenden Streifenstrukturen zu eliminieren. Das Prinzip dieser radiometrischen Korrekturen beruht darauf, den ursprünglichen Datensatz mit Hilfe von Rechenoperationen in einen anderen, die unverfälschten Grauwerte wiedergebenden zu transformieren. Zu erwähnen wäre noch, dass solche Korrekturen letztlich kosmetische Verfahren sind, die keinen zusätzlichen Informationsgewinn bringen, sondern nur zu einer optisch besseren Bildqualität führen. Die vorhandenen Daten werden nicht «verbessert», es werden lediglich offensichtlich fehlerhafte Werte eliminiert und durch neue ersetzt, die mit Hilfe vorhandener Daten aus Nachbarpixeln errechnet wurden (Albertz, 1991:96–97; Löffler, 1994:62, 66).

Da radiometrische Korrekturen in erster Linie bei Satellitenbildern eingesetzt werden und bei Luftbildern praktische keine Rolle spielen, sollen diese Verfahren hier nicht weiter erläutert werden.

5.3 Bildverbesserungen

Aussagekraft von Bildprodukten soll erhöht werden

Gemäss Albertz (1991:98–99) dienen die verschiedenen Methoden der Bildverbesserung (Image Enhancement) dazu, vorliegende Bilddaten so aufzubereiten, dass ein bestimmter Zweck besser erfüllt werden kann. Die Wahl der Methoden muss sich daher in erster Linie an der Zielsetzung der jeweiligen Anwendung orientieren. Mittels digitaler Bildverbesserungen soll die Aussagekraft von Bildprodukten erhöht werden. Dies wird erreicht,

indem die vorhandenen Strahlungswerte möglichst günstig optisch umgesetzt werden. Dafür werden in erster Linie folgende Verfahren eingesetzt: Kontrastveränderungen, Filteroperationen und die Farbraumtransformation. Auf diese drei Verfahren soll nun etwas näher eingegangen werden (Löffler, 1994:66).

5.3.1 Kontrastveränderungen

Veränderungen der Kontraste der originalen Bilddaten gehören zu den oft benutzten digitalen Bildverbesserungen. Durch sie sollen bestimmte Grauwertbereiche hervorgehoben und andere ggf. unterdrückt oder besonders interessierende auch stärker differenziert werden (Hildebrandt, 1996:488).

Ein Histogramm eines noch nicht digital verbesserten Bildes zeigt meist ein typisches Bild: Innerhalb eines gewissen Bereiches ist eine Häufung von Werten vorhanden, und andere Teile der Grauskala werden überhaupt nicht ausgenutzt. Ein solches Bild erscheint daher kontrastarm, und viele radiometrische Details gehen verloren. Mittels der Kontrastdehnung soll dieses Problem behoben werden, indem die tatsächlich auftretenden Helligkeitswerte über die gesamte Grauskala verteilt werden. Bei Farbbildern kann die Kontrastdehnung in den drei Spektralkanälen Rot, Grün und Blau separat oder auch gemeinsam durchgeführt werden. In Kapitel 10.1.4 ab Seite 66 (Abb. 15 und Abb. 16 sowie Tafel 1 und Tafel 2) wird, anhand eines farbigen Orthophotos, näher auf die Auswirkungen von Kontrastdehnungen auf das Bild an sich sowie auf die entsprechenden Histogramme eingegangen (Albertz, 1991:100; Löffler, 1994:66).

Viele noch nicht verbesserte digitale Bilder sind kontrastarm

Erfolgt eine solche Grauwertverteilung linear, spricht man von einer linearen Dehnung. Helle Abbildungsflächen werden noch heller, dunkle noch dunkler, und Kontraste werden gleichmässig verstärkt. Der Nachteil der linearen Dehnung besteht darin, dass die Verteilung der Grauwerte ohne Rücksicht auf deren Häufigkeit geschieht. Will man dies vermeiden, so führt man eine Dehnung durch, bei der die Grauwertverteilung an das Histogramm angepasst wird. Den häufiger vorkommenden Helligkeitswerten werden dadurch wesentlich mehr Grauwerte zugeordnet als den weniger häufig vorkommenden. Denkbar sind auch eine lineare Kontrastdehnung mit gleichzeitiger Aufhellung des gesamten Bildes sowie eine Kontrastdehnung für einen speziell interessierenden Grauwertbereich. In ersterem Fall wird auf die volle Ausnützung des Dynamikbereichs verzichtet, um auch dunkle Abbildungsflächen aufzuhellen. Die Kontrasterhöhung ist daher nicht maximal. In letzterem Fall wird ein ausgewählter Grauwertbereich des Eingabebildes über die gesamte Grauskala gedehnt. Dies führt zu einer Kontrasterhöhung im gewählten und einer Kontrastunterdrückung im nicht interessierenden Grauwertbereich des Eingabebildes (Hildebrandt, 1996:488; Löffler, 1994:66–68).

Verschiedene Varianten der Kontrastdehnung

Als Sonderfall von Kontrastveränderungen kann man die Herleitung von Äquidensitenbildern betrachten. Dabei werden Grauwertbereiche zu jeweils einem Grauwert zusammengefasst. Die dafür gewählten Grauwerte verteilt man über den gesamten Dynamikbereich so, dass sie deutlich gegeneinander kontrastieren. Feine Grauwertstrukturen gehen dabei verloren, dafür treten die Grauwertbereiche klar hervor. Eine noch stärkere Hervorhebung erreicht man durch eine geeignete Farbkodierung der einzelnen Grauwertbereiche (Density Slicing) (Hildebrandt, 1996:488–489).

Äquidensitenbilder

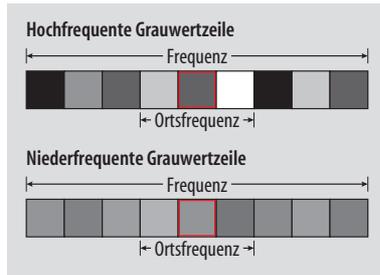


Abb. 10 Wichtige Begriffe im Zusammenhang mit Filteroperationen.

Digitale Filter verändern gegebene Frequenz

Zentrales Pixel einer Filtermatrix wird durch Mittelbildung bestimmt

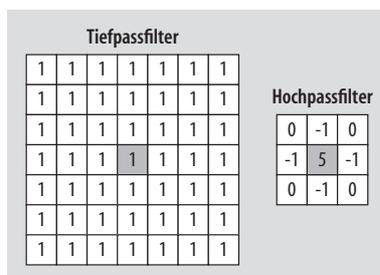


Abb. 11 Mögliche Filtermatrix eines Tiefpass- und eines Hochpassfilters (Hildebrandt, 1996:497; Löffler, 1994:70).

Durch Farbraumtransformation Verbesserung der optischen Bildqualität

5.3.2 Filteroperationen

Filteroperationen stellen einen wichtigen Bereich der digitalen Bildverbesserungen dar. Um diese Operationen verstehen zu können, müssen zuerst die beiden wichtigen Begriffe «Frequenz» und «Ortsfrequenz» erläutert werden. In den Zeilen und Spalten einer Bildmatrix wechseln die Grauwerte von Bildelement zu Bildelement. Diese Wechsel bezeichnet man in der digitalen Bildverarbeitung als «Frequenz» und für den unmittelbaren Nachbarschaftsbereich eines Bildelements als «Ortsfrequenz» (siehe Abb. 10). Eine Zeile mit Grauwerten, bei welcher einander nachfolgende Pixel stark unterschiedliche Werte annehmen, wird als hochfrequent bezeichnet. Eine Grauwertzeile ist hingegen niederfrequent, wenn sich die Werte einander nachfolgender Pixel nur unwesentlich unterscheiden (Hildebrandt, 1996:497).

Algorithmen, die eine gegebene Frequenz verändern und damit radiometrische Transformationen bewirken, nennt man digitale Filter. Durch Filteroperationen ist es möglich, Bildstrukturen zu verändern, die sich nicht in den Grauwerten einzelner Pixel, sondern in den Grauwert-Relationen benachbarter Pixel ausdrücken. Mittels einer Filterung sollen bestimmte Strukturen und Erscheinungen deutlicher hervortreten oder auch unterdrückt werden. Kapitel 10.1.4 ab Seite 66 (Tafel 3 und Tafel 4) zeigt als Beispiel den Einsatz eines Filters zur Bildschärfung (Albertz, 1991:100; Hildebrandt, 1996:497; Löffler, 1994:70).

Eine Filteroperation wird durchgeführt, indem eine Filtermatrix der Größe von beispielsweise 3×3 oder 5×5 Pixel über die zu bearbeitende Bildmatrix geschoben und das zentrale Pixel durch Mittelbildung bestimmt wird. Die Filtermatrix muss nicht aus dem Wert 1 aufgebaut sein, sondern kann je nach Ziel der Filterung aus einer fast beliebig wählbaren Kombination von positiven und negativen Zahlen bestehen. Die randlichen Bildelemente (1 Pixelreihe/-kolonne bei einer 3×3 Matrix, 2 Pixelreihen/-kolonnen bei einer 5×5 Matrix) werden durch die Filterung nicht beeinflusst. Daher muss das Ausgabebild allseitig um jeweils diese Anzahl Pixel kleiner sein, oder es müssen die ungefilterten randlichen Eingabepixel übernommen werden (Hildebrandt, 1996:497; Löffler, 1994:68–69).

Die Wirkungsweise von Filtern kann sehr verschieden sein. Sie hängt von der Größe der Filtermatrix und der Wahl der Koeffizienten ab. Für die digitalen Bildverbesserungen besonders wichtig sind die Tiefpass- und Hochpassfilter. Tiefpassfilter dämpfen die Frequenzen, was zu einer Glättung des Bildes und zu einer Unterdrückung feinerer Bilddetails führt. Hochpassfilter erhöhen hingegen die Ortsfrequenzen und werden vor allem bei kontrastarmen Bildern eingesetzt. Durch Hochpassfilter wird ein ähnlicher Effekt wie durch die Kontrastdehnung erreicht: ein Bild erscheint optisch schärfer. Hochpassfilter werden meist eingesetzt, um Kanten und andere Bilddetails hervorzuheben. Abb. 11 zeigt eine mögliche Filtermatrix eines Hochpass- und eines Tiefpassfilters (Albertz, 1991:101; Hildebrandt, 1996:497; Löffler, 1994:69).

5.3.3 Farbraumtransformation

Handelt es sich bei den digitalen Bilddaten um Farbbilder, so kann mittels einer Farbraumtransformation in den IHS-Raum eine wesentliche Verbesserung der optischen Bildqualität erreicht werden. Im Gegensatz zum RGB-Farbraum, welcher durch die Primärfarben Rot, Grün und Blau definiert ist, stellt der IHS-Raum ein Farbsystem dar, welches durch Intensität (Intensity), Farbfrequenz (Hue) und Farbsättigung (Saturation) aufgebaut wird. Unter der Intensität wird die Helligkeit bzw. Strahlstärke eines digitalen Bildes verstanden. Diese resultiert aus verschiedenen Faktoren, unter anderem den Reflexionseigenschaften der abgebildeten Objektoberflächen,

den Beleuchtungsverhältnissen und der Atmosphäre. Die Farbfrequenz bzw. der Farbton gibt den Wellenlängenbereich an. Auch nennt man jene Eigenschaft Farbton, durch die sich die bunten Farben (Gelb, Rot, Blau etc.) von den unbunten (Weiss, Grau, Schwarz) unterscheiden. Schliesslich gibt die Farbsättigung bzw. Farbreinheit an, ob eine Farbe (bei gleicher Intensität und gleicher Farbfrequenz) blasser oder kräftiger erscheint (Albertz, 2001:127; Hildebrandt, 1996:510; Löffler, 1994:71).

Nach der Transformation eines RGB-Bildes in den IHS-Raum entstehen drei neue Bildmatrizen, welche Kontrastveränderungen und anderen Bildverbesserungen unterworfen werden können. Nach diesen Operationen wird das Bild wieder in den RGB-Farbraum zurücktransformiert. Mittels solcher Farbraumtransformationen kann beispielsweise erreicht werden, dass – durch eine Kontrastdehnung bei der Sättigungskomponenten – der Farbeindruck eines Eingabebildes verstärkt wird, ohne aber die Intensität und die Farbzuzuordnung zu verändern (Hildebrandt, 1996:511; Löffler, 1994:71).

6 Orthophotos und topographische Karten im Vergleich

Sowohl Orthophotos als auch topographische Karten stellen Abbildungen begrenzter Geländeausschnitte dar, die die Erdoberfläche verkleinert und verebnet wiedergeben. In ihnen sind Informationen über Erscheinungen und Sachverhalte an der Erdoberfläche gespeichert. Beide Abbildungsformen können deshalb qualitativ (Antwort auf die Frage «was ist wo?») und quantitativ (Antwort auf die Frage «wieviel ist wo?») ausgewertet werden.

Orthophotos wie auch topographische Karten bilden die Erdoberfläche mittels einer senkrechten Parallelprojektion ab. Es handelt sich bei beiden – abgesehen von geringen Abweichungen – um massstabsgerechte und lagetreue Abbildungen. Bei topographischen Karten entstehen solche Abweichungen durch die Generalisierung und die Objektverdrängung. Bei Orthophotos können Abweichungen beispielsweise Folge eines relativ grobmaschigen und daher ungenauen digitalen Geländemodells sein (Albertz, 1991:82, 84).

Neben diesen Gemeinsamkeiten von Orthophotos und topographischen Karten existiert eine Vielzahl von Bereichen, in denen sich die beiden Abbildungsformen voneinander unterscheiden. Darauf soll nun im folgenden etwas näher eingegangen werden.

6.1 Merkmale von Orthophotos

Orthophotos bzw. deren Vorläuferprodukte, die Luftbilder, entstehen im Verlauf physikalisch-chemischer Prozesse. Zwischen dem Orthophoto und dem in diesem wiedergegebenen Gelände bestehen deshalb kausale Zusammenhänge, die durch die elektromagnetische Strahlung vermittelt werden und zu bestimmten Grauwert- bzw. Farbverteilungen im Bild führen. Durch Zuordnung der Grauwert- und Farbverteilungen zu abgrenzbaren Formen und Flächen wird es der Betrachterin möglich, konkrete Objekte im Bild wiederzuerkennen, die ihr aus ihrer Umwelt oder sonstiger Erfahrung vertraut sind. Die Betrachterin versucht nun, die sich ihr präsentierenden «Bildgestalten» aufgrund ihrer Erfahrung und ihres allgemeinen Vorstellungsvermögens als Abbild eines bestimmten Gegenstandes zu identifizieren. Dabei kann sie nicht davon ausgehen, dass gleiches auch gleich wiedergegeben wird – wie dies in Karten der Fall ist. Ein und dasselbe Objekt kann in einem Orthophoto je nach Umgebung, Beleuchtung, Jahreszeit usw. sehr verschieden erscheinen. So wirken beispielsweise wichtige Verkehrswege in Waldgebieten schmal und kontrastarm, in offener Feldlage hingegen breit und kontrastreich. Bei der Identifikation der Bildgestalten kommt es natürlich auch vor, dass gewisse Einzelheiten nicht eindeutig erkannt und erst mittels weiterer Informationen (z. B. terrestrische Erkundungen vor Ort) mit einem Sinn erfüllt werden können. Es ist daher möglich, dass ein und dasselbe Objekt je nach Betrachter unterschiedlich gedeutet wird (Albertz, 1991:82–84; Albertz et al., 1992:209; Hake und Grünreich, 1994:483).

Da in einem Orthophoto alle luft sichtbaren, über der Auflösungsgrenze liegenden Objekte enthalten sind, weist es eine hohe Informationsdichte und eine grosse Vielfalt an Formen auf. Es findet also keine Objekts Selektion statt, weshalb in einem Orthophoto auch viel Unwichtiges wiedergegeben wird. Sämtliche auf einem Orthophoto sichtbaren Objekte werden immer massstäblich dargestellt und eine Verdrängung von Objek-

Abbildungen begrenzter Geländeausschnitte

Abbildung der Erdoberfläche mittels senkrechter Parallelprojektion

Gleiches wird nicht unbedingt gleich wiedergegeben, unterschiedliche Deutung eines Objektes möglich

Hohe Informationsdichte, unendliche Vielfalt an Formen, keine Objekts Selektion, anschauliche und objektive Abbildung

ten aufgrund der Ausgestaltung der kartographischen Symbolisierung findet nicht statt. Ein Orthophoto ist eine anschauliche, objektive Abbildung. Es werden alle im Moment der Aufnahme vorhandenen Einzelheiten festgehalten, wodurch dynamische Vorgänge mittels Vergleich zeitlich getrennter Aufnahmen erfasst werden können. Die Bildqualität eines Orthophotos ist unter anderem vom Atmosphärenzustand zum Aufnahmezeitpunkt abhängig und somit nicht konstant. Schliesslich gibt das Orthophoto auf wichtige geographische Fragen keine Antwort, z. B. auf Fragen nach der Art, Qualität und Bedeutung von beispielsweise Verkehrswegen, nach den Höhenverhältnissen und Geländeformen, nach den Orts- und Gebietsnamen und nach den Grenzlinien (Albertz, 1991:84; Härry, 1969:44; Radlinski, 1968:121).

6.2 Merkmale topographischer Karten

Objekte müssen nicht interpretiert werden, sondern sind direkt lesbar

Topographische Karten dienen der Darstellung aller wesentlichen topographischen Gegebenheiten eines Landes (Siedlungen, Verkehrswege, Gewässer, Bodenbedeckungen, Geländere relief). Sie sind das Ergebnis eines bewussten Auswahl- und graphischen Gestaltungsprozesses durch die Kartographin. Zwischen der topographischen Karte und dem Gelände bestehen deshalb keine kausalen, sondern durch Vereinbarung definierte, also konventionale Zusammenhänge. Das Gegenstück zu den Bildgestalten in Orthophotos sind die graphischen Zeichen und Signaturen, welche in begrenzter Zahl in einer Karte vorkommen. Die Wahrnehmung dieser «graphischen Gestalten» vermittelt dem Kartenbenutzer die Kenntnis von Art und Lage der topographischen Objekte. Dies setzt voraus, dass ihm die Bedeutung der graphischen Zeichen bekannt ist. Kartenhersteller und Kartenbenutzer müssen deshalb über einen gemeinsamen Zeichenvorrat verfügen. Dieser ist in der Kartenlegende bzw. in Musterblättern festgelegt. Zeichen, denen keine erkennbare Bedeutung zukommt, treten nicht auf. Weiter enthält eine Karte noch zusätzliche Informationen in Form der Beschriftung. In einer Karte müssen also Objekte nicht interpretiert werden, sondern diese sind durch Signaturen, deren Grösse und relative Lage direkt lesbar. Die Aussage einer Karte ist immer eindeutig und unabhängig von der Kartenbenutzerin (Albertz, 1991:83–84).

Abstrahiertes und subjektives Geländebild, topographisch Wichtiges wird betont, stets vollständige Lesbarkeit gewährleistet

Eine topographische Karte stellt ein nach bestimmten Regeln abstrahiertes Geländebild dar: «Das Kartenbild bleibt, selbst wenn es möglichst naturähnlich gestaltet wird, in seinem Wesen abstrakt und mehr oder weniger subjektiv, d. h. abhängig vom Ersteller.» (Imhof, 1965:58). Die Informationsdichte ist geringer als bei einem Orthophoto, da topographisch Wichtiges betont, Unwichtiges hingegen zurückgedrängt oder weggelassen wird. Durch diesen Generalisierungsprozess nehmen die in einer topographischen Karte vorhandenen Informationen mit kleiner werdendem Massstab beständig ab, wodurch stets eine vollständige Lesbarkeit gewährleistet ist. Die in einer topographischen Karte abgebildeten Objekte müssen je nach Kartenmassstab vergrössert dargestellt werden, wodurch – und auf Grund der Generalisierung – eine Objektverdrängung stattfindet. Im Gegensatz zu einem Orthophoto stellt eine topographische Karte keine Momentaufnahme dar, sondern enthält topographisch Beständiges (Albertz, 1991:84).

7 Vom Orthophoto zur Orthophotokarte: Gestalterische Problembereiche

7.1 Begriffsdefinitionen

7.1.1 Linien- und Bildkarten

Gemäss Gierloff-Emden (1989:21) lassen sich Karten in die beiden Hauptkategorien Linien- oder Strichkarten und Bildkarten einteilen. Strichkarten bestehen vorwiegend aus linearen kartographischen Elementen. Die Bildkarten gehören zu den kartenverwandten Darstellungen und unterscheiden sich hinsichtlich der geometrischen Eigenschaften (Kartenprojektion) und/oder des Gestaltungsstils (abstrakte vs. photorealistische Darstellungen) von Linienkarten. Bildkarten basieren auf entzerrtem oder differentiell entzerrtem Bildmaterial, welches von einem fliegenden Luft- oder Raumfahrzeug aus aufgenommen und anschliessend mit einer mehr oder weniger hohen Anzahl kartographischer Ergänzungen (Kartengitter, Höhenliniendarstellung, Beschriftung etc.) versehen und in die äussere Form einer Karte gebracht wird (z. B. Abgrenzung nach gegebenem Blattschnitt). Den beiden Aufnahmeplattformen entsprechend ergeben sich die beiden Kategorien Luftbild- und Weltraumbild- bzw. Satellitenbildkarten, wobei letztere hier nicht mehr weiter interessieren sollen. Die den Luftbildkarten zugrunde liegenden Abbildungen können sowohl auf photographischem Weg mittels einer analogen oder digitalen Kamera oder durch Scanner- und Radar-Aufnahmesysteme entstanden sein. Diesen drei Gruppen liegen verschiedenartige Abbildungsgesetze zugrunde, welche u. a. dazu führen, dass sich Höhenunterschiede im Gelände sehr unterschiedlich auf die Bildgeometrie auswirken. In dieser Arbeit soll der Begriff Luftbildkarte jedoch nur diejenigen Karten beinhalten, deren Bildmaterial mittels analogen oder digitalen photographischen Systemen gewonnen wurde (Albertz, 2001:52–53, 71–72, 179; Gierloff-Emden, 1989:21; Hake et al., 2002:175, 177–179).

Luftbildkarten sind nach verschiedenen Kriterien unterteilbar. Einerseits lassen sich Luftbild- und Orthophotokarten einander gegenüberstellen, andererseits gilt es auch, Luftbild- bzw. Orthophotopläne von Luftbild- bzw. Orthophotokarte abzugrenzen. Darauf soll in den nächsten zwei Kapiteln eingegangen werden.

7.1.2 Luftbild- und Orthophotokarte

Der Begriff Luftbildkarte wird nicht nur zur Abgrenzung gegenüber der Satellitenbildkarte, sondern auch gegenüber der Orthophotokarte verwendet. Luftbild- und Orthophotokarten unterscheiden sich durch das bei der Entzerrung des Bildmaterials angewendete Verfahren sowie durch die Kartenprojektion.

Eine Luftbildkarte basiert auf puzzleartig zusammengesetzten analogen oder digitalen Luftbildern, welche innerhalb der Überlappungsbereiche mit den Nachbarbildern beschnitten werden. Bei den Luftbildern werden – durch das Verfahren der Entzerrung – nur gerade die durch die Abweichung der Aufnahmerichtung von der Lotrechten hervorgerufenen Verzerrungen korrigiert (siehe Kapitel 4.2.1). Bei ebenem Gelände erhält man dadurch einen einheitlichen Bildmassstab und die geometrischen Eigenschaften einer Karte. Bei unebenem Gelände wirkt sich jedoch die zentralperspektivische Abbildung aus, da die durch das Geländere relief hervor-

*Kartenprojektion und/oder Gestaltungsstil
grenzen Bildkarten von Linienkarten ab*

*Luftbildkarten basieren auf entzerrten
Luftbildern*

Orthophotokarten basieren auf differentiell entzerrten Luftbildern

gerufenen radialen Punktversetzungen nicht eliminiert sind. Daher eignen sich Luftbildkarten einzig für ebene oder nur mässig kupierte Gebiete (Albertz, 2001:151–152; Hake et al., 2002:178; Hildebrandt, 1996:177–178).

Möchte man Luftbildkarten hügeliger bzw. gebirgiger Gebiete erstellen, sollten differentiell entzerrte Luftbilder – d. h. Orthophotos – als Grundlage verwendet werden. Diese bilden das Gelände in einer Parallelprojektion ab und entsprechen der Geometrie einer Karte. Man spricht bei solchen Karten von Orthophotokarten. Diese Karten erfüllen heute für die Mehrzahl der Fälle die für topographische und thematische Karten geforderten geometrischen Genauigkeiten. Bei guter photographischer Qualität der verwendeten Luftbilder ist beim heutigen Stand der Orthophototechnik auch eine sehr gute Abbildungsqualität gesichert (Hake et al., 2002:180; Hildebrandt, 1996:278, 284).

In der Literatur werden die Begriffe Luftbildkarte und Orthophotokarte meist synonym verwendet

Eigentliche Luftbildkarten gemäss obiger Definition sind nicht mehr gebräuchlich. Der Fall eines völlig ebenen Geländes ist eher selten, und infolge von geforderten Genauigkeitsansprüchen werden meistens differentiell entzerrte Luftbilder benötigt. Daher geht die Bedeutung der Luftbildkarten seit Mitte der sechziger Jahre – dem Zeitpunkt der Einführung der Orthophototechnik – zurück. Luftbildkarten werden immer wie mehr durch Orthophotokarten ersetzt. In der Literatur wird der Begriff Luftbildkarte – als Synonym für Orthophotokarte – jedoch weiterhin verwendet. So definiert z. B. auch Schweisstal (1967, zit. in: Schweisstal, 1969:107) den Begriff Luftbildkarte im Sinne einer Orthophotokarte: «Eine Luftbildkarte ist die Synthese von massstäblichen, entzerrten Einzelluftbildern oder von mehreren gleichmassstäbigen, entzerrten und zusammengesetzten (montierten) Luftbildern bzw. von Teilen derselben und abstrakter kartographischer Ergänzung durch Signaturen und Höhenlinien sowie durch schriftliche Erläuterungen. Die Lagegenauigkeit von Luftbildkarten soll der Lagegenauigkeit topographischer Karten gleicher Massstäbe entsprechen.» In der vorliegenden Arbeit werden diese beiden Begriffe – eine Ausnahme bilden höchstens wörtlich zitierte Textpassagen – nicht als Synonyme, sondern gemäss obigen Definitionen verstanden (Hake et al., 2002:180; Hildebrandt, 1996:178).

Luftbildmosaiken basieren auf nicht entzerrten Luftbildern

Der Vollständigkeit halber soll auch der Begriff des Luftbildmosaiks noch kurz erläutert werden. Darunter sind aus Teilen nicht entzerrter Luftbilder zusammengefügte, bildhafte Darstellungen eines grösseren Gebietes zu verstehen. Solche kommen zum Einsatz, wenn weder Entzerrungsgeräte noch entsprechende Zeit zur Verfügung steht, und man dennoch auf einen kartenähnlichen Überblick über ein Gebiet angewiesen ist. Auf besondere geometrische Genauigkeit der Grundrissdarstellung muss dabei verzichtet werden. Solche Produkte werden beispielsweise bei Geländearbeiten in ausgedehnten, weitgehend kartenlosen Gebieten eingesetzt. Luftbildmosaiken bilden das Gelände zentralperspektivisch ab. Sie weisen zusätzlich zu den reliefbedingten Punktversetzungen auch Verzerrungen durch die Abweichung der Aufnahmerichtung von der Lotrechten auf. Weiter kann der mittlere Bildmassstab der einzelnen für das Mosaik verwendeten Luftbilder wegen unterschiedlicher Flughöhe über Grund variieren. Da Luftbildmosaiken somit geometrisch stark von Karten abweichen und auch keine kartographischen Ergänzungen aufweisen, sollen sie hier nicht mehr weiter interessieren (Hildebrandt, 1996:179).

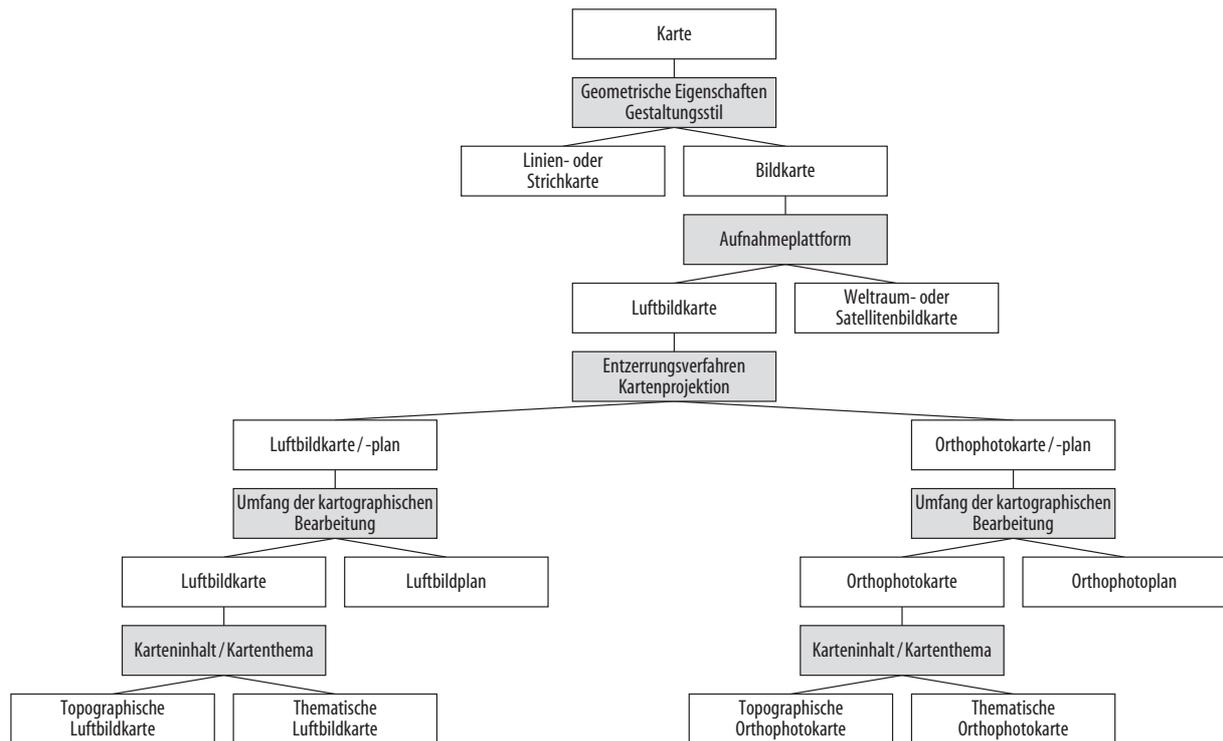


Abb. 12 Übersicht über die möglichen Ausprägungen von Bildkarten.

7.1.3 Luftbild- bzw. Orthophotokarte vs. Luftbild- bzw. Orthophotoplan

Betrachtet man den Umfang der kartographischen Bearbeitung, so lassen sich die beiden Gruppen Luftbild- bzw. Orthophotokarten sowie Luftbild- bzw. Orthophotopläne unterscheiden. Unter einem Plan ist allgemein eine geometrisch exakte, aber kartographisch einfach gestaltete Kartierung in sehr grossen Massstäben (z. B. 1:1000) zu verstehen. Unter einem Luftbild- bzw. Orthophotoplan soll daher eine in der kartographischen Ausgestaltung einfach gehaltene Luftbild- bzw. Orthophotokarte verstanden werden. Als kartographische Ergänzungen denkbar sind die Beschriftung, der Kartenrand mit Benennung, Massstabsangabe etc. sowie eventuell Höhenschichtlinien. Trotz obiger Definition eines Plans, sollen sich Luftbild- bzw. Orthophotopläne und Luftbild- bzw. Orthophotokarten nicht aufgrund ihres Massstabes, sondern nur anhand des Umfangs der kartographischen Bearbeitung voneinander unterscheiden. Solche Pläne eignen sich besonders als Basis für Planungen, aber auch zur Bestandes-Dokumentation für einen bestimmten Zeitpunkt. Luftbild- bzw. Orthophotoplanwerke gibt es daher sehr häufig für den Bereich von Städten, Flurbereinigungen, Verkehrswegen und Forsten. So wie die Luftbildkarten durch Orthophotokarten abgelöst wurden, erfolgte auch nach und nach eine Ersetzung der Luftbildpläne durch Orthophotopläne (Hake und Grünreich, 1994:17; Hake et al., 2002:178–179; Hildebrandt, 1996:178).

Aus dem eben Gesagten folgt, dass Luftbild- bzw. Orthophotokarten definiert werden können als Luftbild- bzw. Orthophotopläne, welche zusätzlich in grösserem Umfang mit kartographischen Gestaltungsmitteln (z. B. Signaturen, Linien, Flächen, Schrift) versehen werden. Solche kartographischen Ergänzungen können sehr weit gehen (siehe Kapitel 7.3.4). Luftbild- bzw. Orthophotokarten lassen sich noch den Bereichen der topographischen und thematischen Kartographie zuordnen (Hake et al., 2002:179; Schmidt-Falkenberg, 1974:74).

Unterscheidung durch Umfang der kartographischen Bearbeitung

*Anwendung vorwiegend im Massstabsbereich
1:2000 bis 1:25 000*

Luftbild- bzw. Orthophotokarten und Luftbild- bzw. Orthophotopläne kommen vorwiegend im Massstabsbereich 1:2000 bis 1:25 000 vor. Das Bildmaterial solcher Pläne bzw. Karten kann auf verschiedene Weise mit kartographischen Gestaltungsmitteln überlagert werden. Auch die Ausgabe des fertigen Produktes kann auf mehrere Arten erfolgen. Bei einem Verfahren, welches an Bedeutung verloren hat, erfolgt die Herstellung der Orthophotokarte durch das Zusammenkopieren des Orthophotos mit dem Strichbild. Beim Vorhandensein von digitalen Bildern findet die Überlagerung mit kartographischen Gestaltungsmitteln sinnvollerweise am Bildschirm statt, und das so erzeugte kartographische Produkt wird als Ganzes ausgegeben. Die überlagerten Bilder können als buntes oder unbuntes Halbtonphoto, in gedruckter (aufgerasterter) Form sowie in digitaler Form z. B. am Monitor (Pixelbild bzw. kombiniertes Pixel-/Vektorbild) ausgegeben werden (Hake et al., 2002:178, 180; Hildebrandt, 1996:284).

7.2 Grundsätze der Kartengestaltung

*Einsatz kartographischer Gestaltungsmittel:
Orthophotos sollen besser lesbar werden*

Wie Kapitel 6 gezeigt hat, weisen Orthophotos und Karten neben einigen gemeinsamen Merkmalen eine Vielzahl von Unterschieden in der Art der Speicherung und Wiedergabe räumlicher Informationen auf. Durch den Einsatz der kartographischen Gestaltungsmittel sollen Orthophotos kartenähnlicher und damit besser lesbar werden: «Der Einsatz kartographischer Gestaltungsmittel bewirkt allgemein, dass an die Stelle einer mitunter schwierigen oder gar unmöglichen Bildinterpretation eine aufbereitete und damit eindeutige Aussage tritt.» (Hake und Grünreich, 1994:484). Gemäss Hake und Grünreich (1994:483) soll es durch solche Überarbeitungen möglich werden, dass Orthophotokarten ganz oder teilweise auch die Funktion klassischer Strichkarten übernehmen können. Dabei ist denkbar, dass Orthophotokarten neben vorhandene Strichkarten treten, als Ergänzung oder Aktualisierung. Weiter können sie auch den Platz geplanter oder veralteter Strichkarten einnehmen. Bei letzterem Fall können Orthophotokarten eine Vorstufe bis zur späteren Fertigstellung der Strichkarten oder – bei Verzicht auf eine Strichkarte – ein Endprodukt darstellen.

*Auch für Orthophotokarten gelten die
allgemeinen kartographischen Regeln*

Obschon die kartographischen Gestaltungsmittel in Orthophotokarten nicht in absolut identischer Weise wie in konventionellen Strichkarten eingesetzt werden können, gelten auch für Orthophotokarten grundsätzlich die allgemeinen kartographischen Regeln. In den folgenden sechs Kapiteln sollen daher diese Grundsätze der Kartengestaltung erläutert werden. Auf die Regeln, welche bei Orthophotokarten Schwierigkeiten bereiten, wird in Kapitel 7.3.2 eingegangen. Grundlage für die Beschreibung der Kartengraphik als Zeichensystem bildet das Lehrbuch «Kartographie» von Hake und Grünreich (1994:89–105).

7.2.1 Aufbau des kartographischen Zeichensystems

*Dreistufiges Zeichensystem: Graphische
Elemente, zusammengesetzte Zeichen,
graphische Gefüge*

Jedes Kartenzeichen stellt eine codierte Information dar, die allein sowie aus der Beziehung zwischen den Zeichen mannigfaltige Aussagen über Raumbezüge und Eigenschaften von Objekten liefert. Das Zeichensystem der Kartengraphik ist dreistufig aufgebaut:

1. *Graphische Elemente* sind Punkte, Linien und Flächen. Sie bilden die Bausteine jeder graphischen Darstellung und lassen sich mit den Buchstaben der Sprache vergleichen.

2. *Zusammengesetzte Zeichen* sind spezifische Zusammenfügungen der graphischen Elemente zu höheren Gebilden. Das für die Kartographie typischste und bedeutendste Zeichen ist die Signatur (das Kartenzeichen). Weitere zusammengesetzte Zeichen sind das Diagramm, der Halbton und die Schrift. Graphische Elemente und zusammengesetzte Zeichen bilden gemeinsam die kartographischen Gestaltungsmittel und sind mit dem Wort der Sprache vergleichbar.
3. *Graphische Gefüge* ergeben sich, wenn die Elemente und Zeichen bei jeweils bestimmten Objektarten typische graphische Strukturen erzeugen. Dem graphischen Gefüge entspricht etwa der Satz der Sprache mit seiner Aussage. Als Beispiel für ein lineares graphisches Gefüge könnte man das Gewässernetz nennen.

7.2.2 Graphische Variation der Zeichen

Durch den Einsatz graphischer Variablen können die kartographischen Gestaltungsmittel in ihrer Erscheinung verändert werden. Allgemein führen alle Variablen zu folgenden Wirkungen:

Graphische Variablen: Grösse, Form, Füllung, Tonwert, Richtung, Farbe

- *Objektive Gliederung* durch differenzierte Darstellung nach Qualitäten und/oder Quantitäten der Objekte.
- *Subjektive Bewertung* durch Betonen oder Zurückdrängen.
- *Verstärkte Anschaulichkeit* auf der Basis von Assoziationen.

Folgende Variablen sind vorhanden:

- Grösse bzw. Breite (unterschiedliche Quantitäten)
- Form (unterschiedliche Qualitäten)
- Füllung bestehend aus graphischen Elementen (Gliederung von Quantitäten, seltener Qualitäten)
- Tonwert (Beschreibung von Quantitäten, vor allem flächenbezogene Relativzahlen wie beispielsweise Dichtewerte)
- Richtung bzw. Orientierung (weitere Aufgliederung von Merkmalen)
- Farbe (als Farbton Beschreibung unterschiedlicher Qualitäten, als Farbsättigung unterschiedlicher Quantitäten).

7.2.3 Kartenlogische Bedingungen für die Kartengraphik

Für die Anwendung der Kartengraphik gelten die folgenden Rahmenbedingungen:

1. Massstab und Grundrissdarstellung erfordern eine geometrisch möglichst exakte Anordnung der Zeichen.
2. Bedeutung (Semantik) und Generalisierung führen bei den Gestaltungsmitteln und ihrer Variation zu folgenden Grundsätzen:
 - Gleiches gleich, Ungleiches ungleich darstellen
 - Wichtiges erhalten, Unwichtiges fortlassen
 - Charakteristisches betonen, weniger Typisches abschwächen.

3. Voraussetzungen für die Lesbarkeit des einzelnen Kartenzeichens:
 - visuell noch wahrnehmbare graphische Mindestgrösse
 - Wahrnehmbarkeit seiner typischen Gestalt
 - Ausgabegeräte (z. B. Druckmaschinen), welche die Kartengraphik konstant in der geforderten Qualität wiedergeben können (kein «Verschmieren» schmaler Zwischenräume etc.).
4. Die Lesbarkeit in Bezug auf die gegenseitigen Beziehungen zwischen den Zeichen hat die Aspekte der graphischen Dichte, des Kontrasts, der Differenzierung und der Gewichtung zu berücksichtigen.

7.2.4 Graphische Mindestgrössen

Mindestgrössen zeigen Grenze der Lesbarkeit an

Mit kleiner werdendem Massstab schrumpft auch jede massstäbliche Objektwiedergabe immer mehr zusammen, bis schliesslich ihre Lesbarkeit in Frage gestellt ist. Daher müssen Mindestgrössen festgelegt werden, bei welchen ein Zeichen gerade noch lesbar ist. Diese werden durch das menschliche Sehvermögen und die Leistungsfähigkeit der kartentechnischen Verfahren (Güteverluste in Form von Abbildungsunschärfen, Passerungenauigkeiten, Strichverbreiterungen etc.) bestimmt. So sollen beispielsweise in konventionellen Strichkarten schwarze Linien eine Strichstärke von 0,05 mm und farbige Linien eine solche von 0,08–0,1 mm nicht unterschreiten. Weitere Minimaldimensionen für Linienabstände, Flächendimensionen, Flächenzwischenräume etc. können der Literatur entnommen werden und sollen hier nicht weiter aufgelistet werden. Siehe zu dieser Thematik beispielsweise Spiess (1995:99–103).

7.2.5 Kartengraphik und Gestaltwahrnehmung

Aus Erkenntnissen der Gestaltpsychologie abgeleitete Grundsätze

Nicht nur die graphischen Mindestgrössen, sondern auch die Gesetze der subjektiven Wahrnehmung sind bei der Kartengestaltung zu berücksichtigen. Aufgrund der Erkenntnisse der Gestaltpsychologie ergeben sich für die Kartengraphik folgende Grundsätze:

- Die *graphische Differenzierung* muss ausreichend sein (z. B. Linien unterschiedlicher Strichstärke müssen sich deutlich voneinander unterscheiden).
- Die *graphische Dichte* darf nicht zu gross sein (vor allem bei Karten mittlerer und kleiner Massstäbe problematisch).
- *Kontrast* und *Objekttrennung* müssen ausreichend sein. Dies erfordert vor allem hellen Untergrund, kräftige Linienfarben und eine erkennbare Abstufung bei Farbtönen und Tonwerten, ferner eine klare Freistellung zwischen den Gestaltungsmitteln.
- *Optische Täuschungen* sind zu vermeiden oder möglichst gering zu halten (Flächen können je nach Umgebung heller oder dunkler wirken).
- Auch *Gewohnheiten* und *Erwartungen* im Umgang mit Karten spielen eine Rolle (Nordorientierung, Lichteinfall bei Schummerungen etc.).

7.2.6 Kartographische Gestaltungsmittel

Kartenzeichen: Typische Aussagen über Objektmerkmale

Wie Kapitel 7.2.1 gezeigt hat, werden die kartographischen Gestaltungsmittel aus den graphischen Elementen Punkt, Linie und Fläche sowie den zusammengesetzten Zeichen Signatur, Diagramm, Halbton und Schrift gebildet. Mit diesen Zeichen und ihren graphischen Variationen lassen sich

jeweils typische Aussagen über Objektmerkmale vornehmen. Damit ergibt sich eine erwünschte Zuordnung zwischen Objekteigenschaften und Kartengraphik. Nachfolgend soll kurz aufgezeigt werden, welche Objektmerkmale mit den kartographischen Gestaltungsmitteln allgemein dargestellt werden können.

7.2.6.1 Punkte. Mit einem Punkt kann die Lage eines Objektes angegeben werden. Die graphische Variation ist fast nur mit der Farbe und damit zur Angabe unterschiedlicher Objektqualitäten möglich.

7.2.6.2 Linien. Unter diesen Begriff fallen alle nicht unterbrochenen Striche, die eine Lage angeben. Die graphische Variation ist nach der Farbe (Qualitätsangabe) oder nach der Strichstärke (Quantität/Betonung) möglich. Mittels Linien können diskrete Objekte abgegrenzt (z. B. Gewässer) oder gleiche Werte im Kontinuum (Isolinien, z. B. Höhenlinien) verbunden werden.

7.2.6.3 Flächen. Darunter sind Vollflächen zu verstehen, die in ihrer gesamten Ausdehnung in Farbton und Tonwert konstant sind. Grobe, dem Auge als solche erkennbare Raster (Schraffuren) zählen zu den Flächensignaturen. Die graphische Variation ist nur nach Farbton und Tonwert möglich. Die Flächendarstellung gestattet folgende Aussagen:

- Angabe von Lage und Qualität flächenhafter Diskreta (Objekt- oder Verbreitungsflächen).
- Angabe flächenbezogener Quantitäten, meist in Form von Relativzahlen (Flächendichtekarte).
- Angabe von Wertstufen eines Kontinuums (z. B. farbige Höhenschichten).

7.2.6.4 Signaturen. Signaturen sind abstrahierte Objektbilder und gehören zu den wichtigsten Gestaltungsmitteln in Karten. Man kann sie allen graphischen Variationen unterziehen, und sie beinhalten stets eine qualitative Angabe, dazu in vielen Fällen eine Lageangabe und in manchen Fällen auch noch eine quantitative Angabe. Die Signatur tritt allein oder in Verbindung mit anderen Gestaltungsmitteln auf.

Signaturen können nach ihrer Form und nach der Anordnung im Kartenbild gruppiert werden. Bei den Formen können die beiden Hauptgruppen der bildhaften und geometrischen bzw. abstrakten Signaturen unterschieden werden. Eine weitere Gruppe bilden die Ziffern, Buchstaben und Unterstreichungen.

Betrachtet man die Anordnung der Signaturen, so können lokale Signaturen (Positionssignaturen), lineare und flächenhafte (flächig verteilte) Signaturen unterschieden werden. Eine weitere Gruppe bilden die Signaturen für Kartogramme, mit welchen Zahlenwerte je Bezugsfläche dargestellt werden sollen.

7.2.6.5 Diagramme. Diagramme sind graphische Mittel zur Wiedergabe quantitativer Daten, vor allem statistischer Größen, bei denen die sachliche Aufgliederung oder die zeitliche Entwicklung eines Sachverhaltes gezeigt wird. Die graphische Variation von Diagrammen ändert Art und Umfang der Aussage nicht, kann aber die Verdeutlichung fördern. Die quantitativen Angaben können sich auf einen festen Punkt oder auf eine bestimmte, in der Karte noch erkennbare Fläche beziehen.

7.2.6.6 Halbtöne. Halbtöne sind Flächen, die im Gegensatz zu den Flächenfarben wechselnde Tonwerte aufweisen. Halbtöne kommen einerseits als Schummerung zum Zwecke einer möglichst formanschaulichen Gelände-

darstellung vor. Andererseits erscheinen sie als Ergebnis photographischer Aufnahmen z. B. in Luftbildern und den daraus abgeleiteten Folgeprodukten (Luftbild- und Orthophotopläne, Luftbildkarten).

Bei der Kartenvervielfältigung im herkömmlichen Druckverfahren werden die Halbtöne in beiden Fällen in feine Rasterelemente aufgelöst. Daher muss streng genommen von Pseudo-Halbtönen gesprochen werden.

7.2.6.7 Kartenschrift. Die Kartenschrift gilt als besonderer Bestandteil des Karteninhalts, da sie unter allen Gestaltungsmitteln die geringste geometrische Aussagemöglichkeit besitzt, dafür aber das wichtigste erläuternde Element der Karte darstellt. Durch die Variation nach Form und Farbe lassen sich Qualitäten beschreiben, durch die Variation nach Grösse auch Quantitäten angeben. Eine Kartenschrift kann auf zwei verschiedenen Arten eingesetzt werden:

1. Kartenschrift in Verbindung mit einem anderen Gestaltungsmittel (qualitative oder quantitative Angaben).
2. Kartenschrift allein zur Angabe einer Qualität und Lage (z. B. Verbreitungsgebiete, landschaftliche Bereiche).

Die Lage der Schrift (Schriftplatzierung) soll eine klare Zuordnung zum bezeichneten Objekt gewährleisten und möglichst wenig andere Darstellungen verdecken. Es existiert eine Vielzahl von Regeln, wie die Kartenschrift optimal zu platzieren ist. Entsprechende Ausführungen finden sich bei Hake und Grünreich (1994) und Imhof (1962).

7.3 Problembereiche bei der Erstellung von Orthophotoplänen und -karten

7.3.1 Grundsatzproblem

Vermengung graphisch wesensfremder Dinge

Das Grundsatzproblem bei der Gestaltung von Orthophotoplänen und -karten besteht darin, dass bei solchen Produkten eine Vermengung graphisch wesensfremder Dinge stattfindet (Imhof, 1965:58). Es gilt, zwei gänzlich verschiedene Dinge, die diskrete, scharf und kontrastreich abgegrenzte Kartengraphik mit der flächigen, unscharfen und kontrastärmeren Bildvorlage zu vereinigen. Diese Vereinigung soll so geschehen, dass sowohl Kartengraphik als auch Bildvorlage gut erkennbar sind und sich gegenseitig möglichst wenig beeinträchtigen (Albertz et al., 1992:210). Schweissthal (1970:271) beschreibt diesen Problembereich folgendermassen: «Das Luftbild ist seinem Wesen nach anschaulich, die Karte dagegen weitgehend abstrakt. Dem Kartographen kommt die Aufgabe zu, diesen Widerspruch in der Synthese von Luftbild und Karte so zu mildern, dass als Ergebnis eine «Karte» entsteht, die sowohl informationsreich und gut lesbar als auch in ästhetischer Hinsicht ansprechend ist.»

7.3.2 Nichteinhaltung der Grundsätze der Kartengestaltung

Grundsätze der Kartengestaltung können nicht oder nur teilweise eingehalten werden

Beim Gestalten von Orthophotokarten ergibt sich das Problem, dass die Grundsätze der Kartengestaltung – je nach dem Mass der Überlagerung des Orthophotos – nur zum Teil oder gar nicht eingehalten werden können. Es lassen sich – wie teilweise schon in Kapitel 6 «Orthophotos und topographische Karten im Vergleich» erwähnt wurde – folgende Problembereiche differenzieren:

- Gleiches sollte in einer Karte gleich, Ungleiches ungleich dargestellt werden. In Orthophotokarten kann jedoch Gleichwertiges ungleich und Ungleichwertiges gleich erscheinen.
- Ein weiterer wichtiger Grundsatz der Kartographie besagt, dass Wichtiges erhalten, Unwichtiges hingegen fortgelassen werden soll. Auch dies ist in Orthophotokarten eher schwierig zu realisieren. Wesentliches und Unwesentliches kann nur bedingt voneinander getrennt werden. Auch kann Unwesentliches oder Zufälliges auf Kosten von Wesentlichem übermässig hervortreten (Härry, 1969:44).
- Auch das Konzept der graphischen Mindestgrössen ist schwierig auf Orthophotokarten übertragbar. Beim Festlegen der Minimaldimensionen wird davon ausgegangen, dass ein Kartenzeichen und sein Untergrund einen starken Kontrast bilden. Bei einem Orthophoto hingegen kann der Kontrast beispielsweise eines Hauses zu seiner Umgebung innerhalb eines Bildes sehr unterschiedlich sein. Die Sichtbarkeit von Objekten im Orthophoto ist in erster Linie vom Massstab, von der Objektgrösse und vom Objektkontrast abhängig. Somit kann ein Objekt, welches zwar die Mindestgrösse erreicht, jedoch einen ungenügenden Kontrast zu seiner Umgebung aufweist, trotzdem unsichtbar bleiben. Es macht daher wenig Sinn, für ein Orthophoto graphische Mindestgrössen festzulegen. Innerhalb einer Orthophotokarte gelten die graphischen Mindestgrössen nur für die dem Orthophoto überlagerten kartographischen Gestaltungsmittel. Infolge des inhomogenen Bilduntergrunds (siehe Kapitel 7.3.5) müssen die Werte aber sicherlich nach oben angepasst werden.
- Die aus den Erkenntnissen der Gestaltpsychologie abgeleiteten Grundsätze der Kartengestaltung sind in Orthophotokarten ebenfalls schwer einzuhalten. So ist beispielsweise die graphische Dichte innerhalb von Orthophotokarten naturgemäss sehr gross. Weiter sind auch – wie bei den graphischen Mindestgrössen schon angesprochen – Kontrast und Objekt-trennung nicht immer ausreichend. So wird beispielsweise die Forderung, dass Karten einen hellen Untergrund aufweisen sollten, in Orthophotokarten meist nicht erfüllbar sein. Eine Ausnahme bilden hier Orthophotokarten arider Gebiete (siehe Kapitel 7.3.5).

7.3.3 Partieller Informationsverlust

Ein weiterer Problembereich, mit dem man sich bei der Gestaltung von Orthophotokarten beschäftigen muss, ist der partielle Verlust von Information. Dieser ist bei kartographisch unbearbeiteten Orthophotos in der Regel vorhanden. So sind gewisse Objekte aufgrund von Belaubung, Beschattung oder durch das «Umkippen» beispielsweise von Bauwerken schlecht oder überhaupt nicht sichtbar (Brunner, 1980:151).

Beschattung und Umklappungen wirken sich jedoch nicht nur informationsvermindernd und daher negativ aus. Es können daraus auch zusätzliche Informationen gewonnen werden. So sind beispielsweise Schattierungen – besonders wenn der Boden vegetationsfrei oder mit sehr gleichmässiger Vegetation überdeckt ist – zum Erkennen von Oberflächenformen sehr wichtig. In Orthophotos grösserer Massstäbe vermitteln Schlagschatten, welche durch aufragende Objekte wie Gebäude, Brücken, Bäume oder Masten hervorgerufen werden, viele Einzelheiten über Form und Höhe dieser Objekte. Die Wirkung ist am deutlichsten, wenn die Schatten auf eine annähernd horizontale und möglichst glatte Fläche fallen (Albertz, 1991:108–110).

Im Gegensatz zu den radialen Punktversetzungen, welche sich aufgrund des Reliefs ergeben, werden von über der Erdoberfläche liegenden

Informationsverlust durch Belaubung, Beschattung und Umkippen, ...

... aber auch Informationsgewinn

Objekten hervorgerufene Punktversetzungen in Orthophotos normalerweise nicht korrigiert. Dies manifestiert sich in Umklappungen, welche mit zunehmendem Abstand von der Bildmitte grösser werden. Die Grundrissdarstellung geht in eine dreidimensionale Darstellung über. Durch das Sichtbarwerden von beispielsweise Häuserfronten kann dies ggf. für die Orientierung mit einem Stadtplan nützlich sein.

7.3.4 Ausmass des Einsatzes kartographischer Gestaltungsmittel

Gewinn und Verlust

In welchem Mass kartographische Gestaltungsmittel eingesetzt werden sollen, um den «stummen» Bildinhalt in geeigneter Weise zu strukturieren, zu erläutern und inhaltlich zu ergänzen ist eine der wichtigsten Fragen, die man sich bei der Herstellung von Orthophotokarten stellen muss. Jedes kartographische Element, mit welchem eine Orthophotokarte ergänzt wird, stellt eine zusätzliche Information dar. Zugleich verdeckt oder unterbricht es aber gewisse Bildeinzelheiten, wodurch Bildinformationen verloren gehen und die Interpretierbarkeit erschwert wird. Diese Problematik verlangt ein stetes Abwägen zwischen dem Gewinn, den die Bildkarte durch die Graphik erfährt, und dem Verlust, der damit verbunden ist (Albertz et al., 1992:210–211).

Zeichenschlüssel sollen sich photographischer Abbildung anpassen und Aussagekraft des Bildes heben

In der Literatur herrscht weitgehend Einigkeit, dass – aus Gründen der Lesbarkeit und Wirtschaftlichkeit – die Ausgestaltung von Orthophotokarten mit kartographischen Gestaltungsmitteln eher zurückhaltend geschehen sollte (Radlinski, 1968:119; Schmidt-Falkenberg, 1984:110). Auch Pape (1971:47) stellt fest, dass die sparsame Verwendung von Signaturen und Farben ein allgemeingültiger Grundsatz für die Gestaltung von Luftbildkarten sein dürfte: «Es entspricht nicht dem Sinn von Luftbildkarten, wenn sie erst durch aufwendige kartographische und reproduktionstechnische Massnahmen zu lesbaren Erdabbildungen gemacht werden müssen, wobei sie überdies ihren spezifischen Vorteil als Bildkarte zu einem grossen Teil einbüssen würden.» Es gilt daher Zeichenschlüssel zu entwerfen, die sich einerseits der photographischen Abbildung anpassen, um das Spezifische des Bildes zu erhalten, andererseits aber die Aussagekraft und damit den Informations- und Interpretationsgehalt des Bildes heben (Pape, 1971:47).

Strichkarte mit unterlegtem Orthophoto

Die kartographische Bearbeitung von Orthophotos kann so weit gehen, dass es angebracht ist, von einer Strichkarte mit unterlegtem Orthophoto zu sprechen. Ein solches Beispiel stellt die Ökonomische Karte von Schweden 1:10000 dar. In diesem Kartenwerk sind das Verkehrs- und Gewässernetz, das Siedlungsbild, die Flureinteilung und die Vegetationsgrenzen überzeichnet. Das Orthophoto tritt daher praktisch nur noch in Waldgebieten in Erscheinung (Finsterwalder, 1974:129–130).

Beeinflussung durch Kartenzweck, ...

Wie stark eine Orthophotokarte kartographisch bearbeitet werden soll, hängt unter anderem vom Kartenzweck ab. Vor der Gestaltung von Orthophotoplänen und -karten muss daher entschieden werden, ob nur eine bildhafte Übersicht im Vordergrund steht oder ob durch systematische kartographische Ergänzungen die Bildkarte einer Strichkarte angenähert werden soll. In ersterem Fall – denkbar ist eine Orthophotokarte als Ergänzung zu einer Strichkarte – kommt der zu integrierenden Graphik visuell eine untergeordnete, sekundäre Funktion zu. Die Aufmerksamkeit des Betrachters soll nicht primär auf die graphischen Ergänzungen des Bildes gelenkt werden. Vielmehr soll beispielsweise die Kartenschrift in das Bild «eintauchen» und erst auf den zweiten Blick sicher aufzufinden und zu erkennen sein. In zweiterem Fall stehen Bild und Graphik in einem etwa gleichgewichtigen Verhältnis (Albertz et al., 1992:210).

Auch Strathmann (1989:204) befasst sich mit dem Verhältnis von Bild- und Kartendaten, welches je nach Kartenzweck unterschiedlich ausgestaltet ist: «Bei der geometrisch-exakten Überlagerung von Karten- und Fernerkundungsinformation ergeben sich je nach Dominanz der beiden Medien in der Bildkarte verschiedenartige Mischformen. So können Bildinhalte als Basisbild für eine Themakarte dienen, oder aber die topographische/administrative Basiskarte kann der fernerkundeten Information ein Orientierungsgerüst bieten. Die Grenzen zwischen Basiskarte/Basisbild und thematischer Überlagerung sind fließend. Je nach Sättigung und Farbtintensität in der Betonung von Bild- und Karteninformation ergeben sich bei der Überlagerung der Teile einander ergänzende Partner unterschiedlicher Belichtungs-, Farb- oder Grautonstufen.»

Der Massstab hat ebenfalls einen starken Einfluss darauf, wie intensiv die kartographischen Gestaltungsmittel in einer Orthophotokarte eingesetzt werden müssen. Gemäss Pape (1971:47) kann bei grossmassstäblichen Orthophotokarten beispielsweise auf Signaturen für die Darstellung des Verkehrsnetzes verzichtet werden, da es deutlich sichtbar ist. Gleiches gilt für Siedlungen, deren Grundriss klar erkennbar ist. Bei kleinmassstäblichen Orthophotos kann das menschliche Auge eine Selektion – besonders bei Siedlungen – jedoch nicht mehr vornehmen. Daher muss das Orthophoto mit zusätzlichen kartographischen Mitteln erst lesbar gemacht werden. Schliesslich muss sich gemäss Albertz et al. (1992:210–211) die Qualität und Quantität der eingesetzten Kartengraphik auch noch an der Physiognomie des wiedergegebenen Landschaftsbildes orientieren.

... Massstab und Physiognomie des Landschaftsbildes

7.3.5 Inhomogener Bilduntergrund

Die Gestaltung von Orthophotoplänen und -karten wird dadurch erschwert, dass ein Orthophoto im Gegensatz zu einer Strichkarte eine Fülle von Helligkeitsunterschieden und Farbtönen in sehr stark wechselnder struktureller Verteilung aufweist. Innerhalb eines Bildes können sowohl grossflächige Strukturen (homogene Acker-, Wald- oder Gewässerflächen) als auch feingegliederte und stark variierende Strukturen (Siedlungsflächen, kleinparzellierte Gebiete) auftreten. Solche Veränderungen von Farbton und Helligkeit im Umfeld eines Kartenzeichens können dessen Kontrast – auch in relativ kleinen Bereichen – stark verändern. Kartenzeichen können daher – je nach den ihnen zugewiesenen Farbtönen und Helligkeitswerten – innerhalb eines Orthophotos gut und schlecht lesbar sein. Es ist eine sehr schwierige Aufgabe, die kartographischen Gestaltungsmittel so auszubilden und zu platzieren, dass sie gut erkennbar sind und das z. T. schon vor der Bearbeitung unruhige Bild nicht noch zusätzlich stören (Albertz et al., 1992:211; Eilhardt und Geisler, 1982:143). Albertz et al. (1992:211) meint dazu: «Darüber hinaus ist dies [die Integration graphischer Elemente in die Bilddaten, Anmerkung d. Verf.] aber eine gestalterische Aufgabenstellung, die in der Kartographie neu ist und noch keineswegs als gelöst gelten kann. Zwar gibt es eine lange Tradition und reiche Erfahrung mit der Kombination graphischer Elemente in einer Karte. Bisher liegen aber noch sehr wenige Erfahrungen mit der Integration von Schriften, Linien, Signaturen usw. in Bildkarten vor.»

Inhomogener Bilduntergrund: Kontrast eines Kartenzeichens kann stark variieren

Gemäss Pape (1971:44–46) findet man hinsichtlich des Bilduntergrunds besonders in ariden Gebieten ideale Voraussetzungen für die Gestaltung von Orthophotokarten. Landschaften solcher Gegenden weisen weitgehend homogene Farben auf. Die stark genutzten mitteleuropäischen Landschaften stellen den Bearbeiter von Orthophotokarten dagegen sicherlich vor grössere Probleme.

Aride Gebiete: Idealer Bilduntergrund mit homogenen Farben

Südorientierung: Beste räumliche Wirkung und Vermeidung von Fehlwahrnehmungen

7.3.6 Reliefumkehr

Die Gegenstände unserer Umwelt werden praktisch immer von oben beleuchtet. Durch diese Erfahrung werden auch bei der Betrachtung von Bildern unbewusst ähnliche Beleuchtungsverhältnisse angenommen. Der menschliche Beobachter geht also bei der Betrachtung räumlicher Objekte davon aus, dass sich die Lichtquelle links oben befindet, und die Schatten nach rechts unten fallen. Bei nordorientierten Orthophotos der Nordhalbkugel – diese werden von Süden her beleuchtet – fallen die Schatten aber nach Norden bzw. oben. Dies kann bei der Betrachterin zu Fehlwahrnehmungen in Form der Reliefumkehr führen. Um solche Täuschungen zu vermeiden und die beste räumliche Wirkung von Orthophotos zu erzielen, sollten diese – entgegen der in der Kartographie üblichen Nordorientierung – nach Süden ausgerichtet werden (Albertz, 1991:109–110; Kraus, 1990:359; Thrower und Jensen, 1976:49). Kraus (1990:359) gibt aber zu bedenken, dass der Betrachter einer Orthophotokarte in der Regel die Geographie nach Norden orientiert «gespeichert» hat und durch eine Südorientierung irritiert würde. Daher wird in der Praxis die Orientierung nach Norden bevorzugt.

Bei der Herstellung von Orthophotokarten ist also von Fall zu Fall abzuwägen, ob das Relief fast zwingend eine Südorientierung erfordert (hügeliges, vegetationsloses Gelände) oder ob die Gewohnheiten der Kartenbenutzerin stärker zu gewichten sind, und daher eine Nordorientierung zu wählen ist.

Einsatz von Orthophotokarten primär im grossmassstäblichen Bereich

7.3.7 Geeigneter Massstabsbereich

Die Frage, welcher Massstab für eine Orthophotokarte verwendet werden soll, ist in erster Linie vom Kartenzweck abhängig. In der Literatur herrscht jedoch weitgehend Einigkeit, dass Orthophotokarten primär im grossmassstäblichen Bereich eingesetzt werden sollten. Für Brunner (1980:152) beispielsweise liegt der geeignete Massstabsbereich für Orthophotokarten zwischen 1:5000 und 1:15000. Hake und Grünreich (1994:484) fassen diesen Bereich etwas weiter und nennen für die hauptsächliche Anwendung von Orthophotokarten die Massstäbe 1:2000 bis 1:25000. Für Schmidt-Falkenberg (1984:110) schliesslich sind die Massstäbe 1:2500 bis 1:10000 für eine mitteleuropäische Landschaftsstruktur brauchbar. Diese Aussage macht deutlich, dass auch der durch natürliche und anthropogene Faktoren unterschiedlich geprägte Landschaftstyp einen Einfluss auf die Festlegung des kleinsten noch sinnvollen Massstabes hat: «Die für Luftbildkarten bisher als gültig angesehenen Massstabsgrenzen können bei günstigen landschaftlichen Voraussetzungen zu den kleinen Massstäben hin wesentlich erweitert werden.» (Pape, 1971:44). Solche günstigen Voraussetzungen liegen unter anderem in ariden Gebieten vor, da sich in solchen Gegenden beispielsweise landwirtschaftlich genutzte Flächen auch in kleinen Massstäben noch deutlich von der vorherrschenden vegetationslosen Wüste unterscheiden (Pape, 1971:46).

Kartographisch unerschlossene Gebiete: Kleinmassstäbliche Orthophotokarten sinnvoll

Neben dem Landschaftstyp spielt für die Wahl des Kartenmassstabes sicher auch die kartographische Erschliessung einer darzustellenden Region eine Rolle. So kommen in kartographisch unerschlossenen Gebieten auch kleinmassstäbliche Orthophotokarten als Übersichtskarten in Frage (Schweisstal, 1970:270).

Für grossmassstäbliche Orthophotokarten sprechen jedoch folgende beiden Gründe:

- **Lesbarkeit.** Eine Orthophotokarte ist in den grossen Bildmassstäben in der Regel leichter lesbar als eine Strichkarte und kann besondere Informationen liefern, die in einer Strichkarte nicht enthalten sind. Die topographische Informationsfülle von Orthophotokarten übersteigt daher diejenige vergleichbarer Strichkarten bei weitem. Mit kleiner werdendem Massstab nehmen die Interpretationsmöglichkeiten bzw. die Aussagekraft von Orthophotokarten jedoch ab. So ist beispielsweise die Lesbarkeit bedeutender linearer Objekte (z. B. Wasserläufe, Verkehrswege) in Frage gestellt, und die Geländebedeckung kann nicht mehr genügend erkannt werden (Hake und Grünreich, 1994:484; Härry, 1969:45; Imhof, 1965:397; Pape, 1971:44).
- **Grundrisstreue Darstellung.** Gemäss Schweissthal (1970:272) lässt sich ein Orthophoto naturgemäss nicht generalisieren, ohne die Photographie zu «vergewaltigen». Infolge der massstäblichen Wiedergabe aller Gegenstände sind der visuellen Aussage von Orthophotokarten relativ enge Grenzen gesetzt. Für Orthophotokarten sollte daher derjenige Massstabsbereich verwendet werden, bei welchem noch eine grundrisstreue Darstellung möglich ist. Dies trifft gemäss Brunner (1980:152) für die Massstäbe 1:5000 bis 1:15000 zu. Bei Strichkarten kann in diesem Bereich eine Vereinfachung und Zusammenfassung des Karteninhaltes durch Generalisierung weitgehend unterbleiben.
Bewegt man sich in Richtung der sehr grossen Massstäbe (grösser als 1:5000) macht sich das Problem der radialen Punktversetzungen bei Häuservertikalkanten, Bäumen etc. störend bemerkbar. Diese Umklappungen können sich daher auf die Anwendung von Orthophotokarten im grossmassstäblichen Bereich einschränkend auswirken (Brunner, 1980:152).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass für die Wahl des Kartenmassstabes für Orthophotokarten die Faktoren Kartenzweck, Landschaftstyp und kartographische Erschliessung eines Gebietes entscheidend sind. Orthophotokarten sollten in erster Linie in den grossen Massstäben eingesetzt werden, da dort eine grundrisstreue Darstellung möglich ist, und sie gegenüber Strichkarten leichter zu lesen sind. Jedoch haben auch kleinmassstäbliche Orthophotokarten in bestimmten Situationen ihre Berechtigung.

*Massstabwahl abhängig von Kartenzweck,
Landschaftstyp und kartographischer
Erschliessung*

8 Vorteile und Nachteile von Orthophotokarten gegenüber Strichkarten

8.1 Vorteile

- **Kombination Photographie und Strichkarte.** Orthophotokarten vereinen die Naturähnlichkeit und den Detailreichtum eines Photobildes mit geometrischen und anderen Eigenschaften einer Strichkarte (Imhof, 1965:58). Dies ist einer der wesentlichsten Vorteile von Orthophotokarten, und sicherlich ein wichtiger Grund, warum solche überhaupt produziert werden.
- **Anschaulichkeit.** Mittels Orthophotokarten können gemäss Albertz et al. (1992:212) Informationen vermittelt und anschaulich wiedergegeben werden, mit denen die konventionelle Kartographie grosse Probleme hat. Auch Schweissthal (1970:270) stellt fest, dass Orthophotokarten von bestimmten Landschaften grundsätzlich eine bessere Wiedergabe der Erdoberfläche bieten als jegliche kartographischen Darstellungen es vermögen. Beispiele hierfür sind Sumpf-, Moor-, Tundren- und Wüstengebiete (Thrower und Jensen, 1976:53). So schreibt Imhof (1965:398) über die Kartierung eines Sanddünenfeldes in Lybien im Massstab 1:25 000: «Für solch fein gegliederte, unbedeckte und im ganzen flache Geländeflächen ist die Photographie dem stets abstrahierenden, uniformierenden und zeitraubenden Zeichnen überlegen.»
Auch Schweissthal (1970:272) sieht in der Anschaulichkeit von Orthophotokarten einen wesentlichen Vorteil gegenüber Strichkarten: «Das (überarbeitete) Luftbild kann von jedem Laien mühelos gelesen werden, da ihm die Landschaft anschaulich und nicht abstrakt dargeboten wird.»
Dadurch wird das Orientieren im Gelände vereinfacht. Thrower und Jensen (1976:49) stellen ebenfalls fest, dass durch Orthophotokarten die Geländeorientierung für unerfahrene Kartenleserinnen vereinfacht wird: «By imaging a base map of the real-world, the unimaginitive reader may be able to orient himself better by viewing the continuous lanscape instead of a selectively symbolized ground of discrete symbolic features separated by blank spaces.»
- **Hohe Aktualität.** Karten sind nur dann zuverlässige und brauchbare Arbeits- und Entscheidungsgrundlagen beispielsweise für Planungsaufgaben, wenn sie den «neusten» Stand zeigen, also in möglichst kurzer Zeit hergestellt und in möglichst kurzen Zeitabständen fortgeführt bzw. erneuert werden (Schmidt-Falkenberg, 1974:74; Schmidt-Falkenberg, 1984:109). Topographische Strichkarten erfüllen diese Anforderungen oft nicht, da es meist mehrere Jahre dauert, bis wieder eine nachgeführte Version vorliegt (welche dann schon wieder veraltet ist). Orthophotokarten dagegen können – bei massvollem Einsatz der kartographischen Gestaltungsmittel – in relativ kurzer Zeit hergestellt werden. Werden neuste Luftbilder verwendet, stellen Orthophotokarten zudem ein sehr aktuelles Kartenprodukt dar. Auch gestaltet sich die Nachführung von Orthophotokarten relativ einfach, da Aktualisierungen kurzfristig mittels neuer Bilddaten vorgenommen werden können (Albertz et al., 1992:212).
- **Informationsreichtum, objektive Abbildung.** Ein weiterer Vorteil von Orthophotokarten ist darin zu sehen, dass in diesen mehr bzw. andere Informationen als in konventionellen Strichkarten gezeigt werden können (Radlinski, 1968:121). Orthophotokarten stellen eine umfassende objektive

Abbildung von Teilen der Erdoberfläche dar, die zunächst nicht, wie der vom Massstab her vergleichbare Inhalt herkömmlicher Strichkarten, einer subjektiv-wertenden Selektion unterliegen (Pape, 1971:44). Dies kann gemäss Thrower und Jensen (1976:49) gerade für thematische Karten (z. B. Landnutzung, Bevölkerungsdichte urbaner Regionen) von Vorteil sein: «The viewer can actually look through the symbolization and see terrestrial features as they exist in reality.»

- **Herstellung schnell und preisgünstig.** Für Orthophotokarten spricht schliesslich noch ihre relativ schnelle und preisgünstige Herstellung im Vergleich zur herkömmlichen Strichkarte. Dies gilt jedoch nur, wenn auf eine intensive kartographische Überarbeitung verzichtet wird (Brunner, 1980:152). Gerade für Länder, in welchen für grosse Gebiete in bestimmten Massstäben noch keine topographischen Strichkarten vorliegen, können Orthophotokarten daher eine brauchbare Alternative darstellen. Denn gemäss Imhof (1965:398) genügen Orthophotokarten in vielen Fällen als Orientierungs- und Auskunftsmittel.

8.2 Nachteile

- **Ästhetisch unbefriedigend.** Wie schon in Kapitel 7.3.1 erläutert wurde, handelt es sich bei Orthophotokarten um graphische «Mischlinge». Imhof (1965:398) vertritt die Auffassung, dass solche Kartenprodukte ästhetisch wenig befriedigen und einen «verdorbenen» Stil zeigen. Dies ist sicherlich mit ein Grund, warum auch heute noch viele Kartographen und Geographen Orthophotokarten gegenüber eher skeptisch eingestellt sind.
- **Problem der Lesbarkeit, Informationsarmut.** Im Gegensatz zu dem im vorangehenden Kapitel Gesagten, vertritt Schweisstal (1969:108) die Meinung, dass Orthophotokarten für die ungeübte Kartenleserin schwerer lesbar sind als Strichkarten. Auch stellt er fest, dass kartographisch nur geringfügig ergänzte Orthophotokarten hinsichtlich gezielter Informationsforderungen des Kartenbenutzers – trotz des Inhaltsreichtums eines Orthophotos – informationsärmer als Strichkarten sind. Als Beispiele führt er punktuelle oder verdeckte Objekte an.
Für Thrower und Jensen (1976:48) wirkt sich der überwältigende Detailreichtum von Orthophotokarten nicht nur positiv aus, da dieser die Kommunikation stören kann.
- **Eingeschränkter Massstabsbereich.** Der Lesbarkeit von Orthophotokarten sind vom Massstab her Grenzen gesetzt (Pape, 1971:43). Daher ist deren Einsatz nicht in sämtlichen Massstäben sinnvoll. Wie Kapitel 7.3.7 gezeigt hat, eignen sich Orthophotokarten im wesentlichen für den grossmassstäblichen Bereich.

9 Topographische Orthophoto-Musterkarte «Olten»

In diesem Kapitel werden die Rahmenbedingungen für die Erstellung einer topographischen Orthophoto-Musterkarte behandelt. Als erstes wird der Begriff der topographischen Karte erläutert. Anschliessend sind die Ziele der Herstellung einer solchen Musterkarte skizziert. Es folgen die Themen Basisdaten, Testgebiet und Kartenmassstab sowie Entwicklungsumgebung. Schliesslich soll noch das Vorgehen bei der Erstellung von topographischen Orthophotokarten beschrieben werden.

Rahmenbedingungen für die Erstellung einer topographischen Orthophoto-Musterkarte

9.1 Begriffsdefinitionen

Gemäss der Internationalen Kartographischen Vereinigung (1973, zit. in: Hake und Grünreich, 1994:369) gilt als topographische Karte jede «Karte, in der Situation, Gewässer, Geländeformen, Bodenbewachsung und eine Reihe sonstiger zur allgemeinen Orientierung notwendiger oder ausgezeichneter Erscheinungen den Hauptgegenstand bilden und durch Kartenbeschriftung eingehend erläutert sind». Reine topographische Karten sind nur sehr selten anzutreffen. Meistens enthalten diese auch thematische Angaben wie politische Grenzen, Nummern von Fernstrassen, Einwohnerzahlen (z. B. erkennbar an Art und Grösse der Ortsnamen) etc. (Hake und Grünreich, 1994:369).

Topographische Karte

Topographisch-thematische Karten liegen im Übergangsbereich zwischen topographischen und thematischen Karten. Sie enthalten meist noch einen weitgehend vollständigen topographischen Inhalt, jedoch ihrer Zweckbestimmung entsprechend in stärkerem Masse auch thematische Angaben. Zu dieser Kategorie gehören u. a. Stadt-, Gewässer-, Watt- und Gletscherkarten sowie Karten für Tourismus und Freizeit (Hake und Grünreich, 1994:407).

Topographisch-thematische Karten

Topographische Karten müssen die verschiedensten Anforderungen erfüllen. Gemäss Hake und Grünreich (1994:369) werden topographische Karten in den folgenden Bereichen bzw. für folgende Aufgaben eingesetzt: Bildung und Information, Geländeorientierung, Verwaltung und Planung, wissenschaftliche Interpretation, kartographische Grundlage.

Einsatzspektrum

Der Inhalt von topographischen Karten setzt sich aus folgenden Teilen zusammen (Hake und Grünreich, 1994:42, 371–397):

Karteninhalt

- **Situationsdarstellung.** In dieser sind alle topographischen Objekte mit Ausnahme der Geländeoberfläche enthalten. Die Situationsdarstellung umfasst somit die Objekte Siedlungen, Verkehrswege, Gewässer, Bodenbedeckungen und Einzelobjekte (z. B. Denkmal, Turm, Ruine, Damm/Deich, Hochspannungsleitung).
- **Geländedarstellung.** Diese beinhaltet Höhenlinien und Höhenpunkte (Koten), die Schummerung (Schattierung) sowie Formzeichen und Formzeichnungen. Letztere sind dazu bestimmt, das Höhenlinienbild zu ergänzen, indem sie Kleinformen vollständig oder überhaupt erst erkennbar machen. Als Gestaltungsmittel hierfür dienen lineare oder flächenhafte Signaturen, in erster Linie Schraffen. Weiter kann die absolute Höhe von Geländebereichen auch durch farbige Höhenstufen (Höhenschichtenfarben) dargestellt werden.

- **Schrift.** Die Schrift beeinträchtigt teilweise die Situations- und Geländedarstellung, ist aber zu deren Ergänzung unentbehrlich, weil sie zusätzliche Angaben liefert, die sich nicht als Graphik darstellen lassen. So z. B. zur individuellen Benennung durch Eigennamen (Siedlungen, Gebirge, Strassen, Gewässer etc.), Gattungsnamen (z. B. Naturpark), Abkürzungen und zur Angabe von Zahlenwerten (Höhen- und Tiefenpunkte, Zähllinien, Entfernungen bei Verkehrswegen, Häusernumerierung etc.).
- **Kartennetz/Kartengitter und Suchnetz.** Das *Kartennetz* ist das Gerüst für die geometrische Lage des Karteninhalts. Nach mathematischen Abbildungsgesetzen werden die Netzlinien und Punkte des Koordinatensystems der Erdoberfläche (Längen- und Breitenkreise) in die Kartenebene abgebildet. Die Netzlinien stellen konstante und meist runde Zahlenwerte (z. B. alle 2°) der geographischen Koordinaten (Grad, Minuten) dar. Das *Kartengitter* übernimmt die gleiche Funktion für die ebenen-rechtwinkligen bzw. geodätischen Koordinaten (Kilometer, Meter). So zeigen beispielsweise bei der Landeskarte der Schweiz 1:25 000 die Linien des Kartengitters eine Distanz von einem Kilometer an. Das *Suchnetz* ist ein rechtwinkliges Suchgitter oder polares Strahlennetz in Stadt-, Strassen- und Atlaskarten. Dieses dient dem Auffinden von Strassen, Orten etc. mit Hilfe von Kennbuchstaben und -ziffern.
- **Kartenrand und Kartenrahmen.** Der *Kartenrand*, die ausserhalb des Kartenbildes gelegene Kartenfläche, enthält zusammen mit dem Kartenrahmen die zum Verständnis und zur Auswertung des Karteninhaltes erforderlichen Angaben. Zu den wichtigsten Angaben im Kartenrand gehören Kartentitel (Kartenart, geographischer Bereich, Massstab, Blattnummer), Massstabsbalken, Legende und Angaben über den Herausgeber und das Erscheinungsdatum. Häufig sind auch noch nähere Angaben zum Nachführungsstand, Hinweise zur magnetischen Deklination, Angaben zum Kartennetzentwurf, Verzeichnisse bei Stadt-, Strassen- und Wanderkarten sowie Nebenkarten als Blattübersichten und zur Darstellung von Verwaltungsgrenzen aufgeführt. Der *Kartenrahmen* besteht aus den Rahmenlinien und verschiedenen Angaben wie den Koordinatenzahlen für das Kartennetz, den Zahlen und Buchstaben des Suchnetzes, den Hinweisen zu den Nachbarblättern, den Richtungsangaben zum Verkehrsnetz sowie Teilen der Schrift, die als sog. Abgangsschrift das Kartenfeld verlässt oder als sog. Zugangsschrift in das Kartenfeld hineinführt (z. B. Gebirgsnamen).

Die Behandlung der einzelnen Elemente der topographischen Orthophoto-Musterkarte «Olten» (Kapitel 11 bis Kapitel 15) erfolgt entsprechend obiger Aufteilung. Dabei wird jedem Teilbereich ein eigenes Kapitel gewidmet. Die Thematik Kartenrand und Kartenrahmen soll nicht besprochen werden, da diese Elemente grösstenteils analog zu Strichkarten ausgeführt werden können. Sie kommen bei der im Rahmen dieser Arbeit produzierten Musterkarte nicht vor, da die Karte nicht als eigenständiges Produkt, sondern in den Text integriert herausgegeben wird, und daher diese Teile nicht benötigt werden.

9.2 Ziele

- Anhand der Orthophoto-Musterkarte «Olten» werden die in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen Problembereiche bei der Gestaltung von Orthophotokarten an einem konkreten Beispiel behandelt.

- Zu den verschiedenen Problembereichen sollen mögliche Lösungsansätze aufgezeigt werden (z. B. welche Elemente einer LK25 können übernommen werden und wie sollten diese ausgestaltet werden, Problem Reliefumkehr etc.).
- Als Endprodukt soll eine farbige, topographische Orthophotokarte im Format A4 vorliegen, welche informationsreich, attraktiv, übersichtlich und gut lesbar ist.

9.3 Basisdaten

Wichtigste Basisdaten für dieses Projekt sind digitale Farbornthophotos aus dem Orthophotomosaik «SWISSIMAGE» des Bundesamtes für Landestopographie. Als weitere wichtige Basisdaten sind ein Ausschnitt aus dem digitalen Landschaftsmodell der Schweiz «VECTOR25» sowie ein Teilbereich der Pixelkarte 1:25000 «PK25» zu nennen, beides Datensätze des Bundesamtes für Landestopographie. Im Kapitel 10 ab Seite 63 werden die Basisdaten näher beschrieben.

SWISSIMAGE, VECTOR25, PK25

9.4 Testgebiet

Als Testgebiet wurde ein Ausschnitt aus den SWISSIMAGE-Kacheln 1088-42 und 1088-44 gewählt (siehe Tafel 5), welche den südöstlichen Teil des Blattes 1088 «Hauenstein» der Landeskarte der Schweiz 1:25000 abdecken. Die Ausdehnung des Testgebietes beträgt sowohl in West-Ost-Richtung als auch in Nord-Süd-Richtung jeweils 3 km.

Südöstlicher Teil des Blattes 1088 «Hauenstein» der LK25

Das quadratische Testgebiet – nordorientiert betrachtet – wird durch die Koordinaten 634000/246000 (linke obere Ecke) und 637000/243000 (rechte untere Ecke) begrenzt. Dieses Gebiet ist sehr gut für Testzwecke geeignet, da auf relativ kleiner Fläche die Situation (Siedlungen, Verkehrswege, Gewässer, Bodenbedeckungen, Einzelobjekte) in unterschiedlicher Ausprägung vorhanden ist. So weist es beispielsweise ländliche und urbane Siedlungen, verschiedenste Strassenklassen sowie bei den Gewässern Bäche und einen markanten Flusslauf auf.

Auf relativ kleiner Fläche Situation in unterschiedlichen Ausprägungen vorhanden

9.5 Kartenmassstab

Wie in Kapitel 7.3.7 «Geeigneter Massstabsbereich» auf Seite 52 ausgeführt, ist 1:15000 der kleinste Massstab, bei welchem eine Vereinfachung und Zusammenfassung des Karteninhaltes durch Generalisierung noch weitgehend unterbleiben kann. Ein solcher Massstab bietet sich aus zwei Gründen für eine topographische Orthophotokarte an:

Massstab 1:15 000 bietet sich für topographische Orthophotokarten an

- Ein Orthophoto lässt sich nicht generalisieren, ein kleinerer Massstab würde daher viele Probleme mit sich bringen.
- Ein grösserer Massstab wäre ebenfalls problematisch, da dadurch nur relativ wenig Fläche pro Kartenblatt dargestellt werden könnte und somit das Handling unpraktisch würde. Beim Wandern müssten beispielsweise viele Karten mitgenommen werden und es wäre schwierig, sich eine Übersicht über ein grösseres Gebiet zu verschaffen.

Ausdehnung der Kartengitterzellen sollte rechnerisch sinnvollen Wert annehmen

Neben dem Handling und der Generalisierung muss jedoch noch ein weiterer Gesichtspunkt bei der Massstabwahl berücksichtigt werden. Bei einer mittelmassstäbigen topographischen Karte erwartet der Kartenbenutzer ein Kartengitter mit 1×1 km grossen Zellen. In der Karte sollte die Ausdehnung einer solchen Zelle einen Wert annehmen, mit dem gut gerechnet werden kann. Dies erweist sich sowohl bei der Herstellung als auch bei der Benutzung der Karte als praktisch. Die Zellenausdehnung sollte daher keinen Wert mit unendlich vielen Stellen nach dem Komma annehmen, da ein solcher gerundet werden müsste. In der Landeskarte 1:25000 entsprechen beispielsweise 4 cm in der Karte 1 km in der Natur, in der Landeskarte 1:50000 ist das Verhältnis 2 cm zu 1 km. Bei einer Karte im Massstab 1:15000 kann obige Forderung nicht erfüllt werden, 1 km beträgt hier 6,666... cm. Es muss daher ein Massstab gefunden werden, welcher einen Kompromiss zwischen einer grundrisstreuen Darstellung und herstellungstechnischen Anforderungen bzw. Aspekten der Benutzerfreundlichkeit darstellt. Auch sollte es sich sinnvollerweise um eine runde Massstabszahl handeln. Der Massstab 1:16000 erweist sich schliesslich als geeignet für die topographische Orthophoto-Musterkarte «Olten». Die Zellengrösse in diesem Massstab nimmt mit 6,25 cm einen rechnerisch sinnvolleren Wert an, und die sich auf die grundrisstreue Darstellung auswirkende Abweichung vom Massstab 1:15000 ist noch gering.

9.6 Entwicklungsumgebung

Die Erstellung der topographischen Orthophoto-Musterkarte «Olten» erfolgte anfänglich auf einem Apple Power Macintosh G3/350 unter Mac OS 9.2.2 und später auf einem Apple PowerBook G4/800 unter Mac OS X 10.2.3 sowie einem 21 Zoll CRT-Monitor. Für reine GIS-Arbeiten wurde ein PC mit Microsoft Windows NT verwendet. Die Papierausdrucke werden mit einem Tektronix Phaser 740 Farblaserdrucker erstellt.

Standardgraphikprogramme kommen zum Einsatz

Softwareseitig kommt in erster Linie das Standard-Vektorgraphikprogramm Adobe Illustrator 10 zum Einsatz. Für die Übernahme von GIS-Daten wird Illustrator 9 zusammen mit dem Programm MAPublisher 4 der Firma Avenza verwendet. Bildbearbeitungsoperationen werden mit Adobe Photoshop 7 ausgeführt. Schliesslich ist noch das Programm ArcInfo (Arc 8.0.2) der Firma ESRI zu erwähnen, welches zur Ausführung von GIS-Arbeiten diente, welche sich mit Illustrator/MAPublisher nicht bzw. nicht gut erledigen liessen.

9.7 Vorgehen bei der Erstellung von topographischen Orthophotokarten

Erkennbarkeit einzelner Objekte

Damit eine topographische Orthophotokarte auch als topographische Karte eingesetzt werden kann, sollte sie ebenfalls über die in Kapitel 9.1 genannten Elemente (Situationsdarstellung, Geländedarstellung etc.) verfügen. Bei der Gestaltung einer topographischen Orthophotokarte muss zuerst festgestellt werden, wie die Erkennbarkeit der einzelnen Objekte (z. B. Strassen, Gewässer, Wald) ist. Ist ein Objekt generell gut erkennbar, so ist keine weitere kartographische Bearbeitung nötig. Sind Objekte ungenügend oder überhaupt nicht erkennbar, muss eine Überlagerung mit konventionellen Kartenelementen ins Auge gefasst werden. Dabei ist der Grundsatz zu beachten, dass möglichst wenig Bildinformation durch ein-

zufügende Kartenzeichen verdeckt und somit unlesbar gemacht wird. Bei einer Überlagerung, welche das Orthophoto sehr stark beeinträchtigt, ist zu überlegen, ob der Informationsgewinn den Verlust an Bildinformation aufwiegt. Ansonsten ist auf den Einsatz der konventionellen Kartenelemente zu verzichten.

Wird eine topographische Orthophotokarte durch den Einsatz kartographischer Gestaltungsmittel verändert, so lassen sich beim Betrachten ihrer Wirkung bzw. ihres Zwecks gemäss Hake und Grünreich (1994:484) vier verschiedene Gestaltungsvorgänge unterscheiden:

Gestaltungsvorgänge

- **Ergänzen.** Objekte, welche im Luftbild nicht sichtbar sind, weil diese verdeckt liegen (z. B. Waldweg), für den Bildmassstab zu klein sind (z. B. Antenne) oder als abstrakte Sachverhalte überhaupt nicht vorliegen (z. B. Kantonsgrenze, Höhenlinien), müssen durch Ergänzung des Orthophotos mit geeigneten kartographischen Gestaltungsmitteln erkennbar gemacht werden.
- **Erläutern.** Wie in konventionellen Strichkarten stellt die Beschriftung auch in Luftbildkarten den wichtigsten erläuternden Kartenbestandteil dar. Besonders bei Orthophotoplänen ist die Beschriftung – neben den Kartenrandangaben – oft die einzige kartographische Ergänzung des Orthophotos, und daher von entsprechender Bedeutung.
- **Verdeutlichen.** Nicht gut identifizierbare Objekte müssen durch Nachzeichnen der Kontur (z. B. Strassen), der Mittellinie (z. B. Eisenbahnlinien) oder durch lokale Signaturen (z. B. Kirchen, Schlösser) hervorgehoben werden. Für Gewässerflächen ist der Einsatz von Farbdeckern denkbar.
- **Klassifizieren.** Durch graphisches Vereinheitlichen und Betonen soll beispielsweise das Strassennetz in einzelne Klassen eingeteilt werden. Dies, da in Orthophotos die Breite von linienhaften Objekten wie Strassen nicht in erster Linie von ihrer Bedeutung, sondern vom landschaftlichen Kontext (z. B. Wald vs. offenes Feld) abhängt.

Wie diese Gestaltungsvorgänge graphisch umgesetzt werden können, soll an dieser Stelle noch nicht behandelt werden. Die Kapitel 11 «Situationsdarstellung» bis Kapitel 15 «Kartengitter» werden dies ausführlich zeigen.

10 Basisdaten

In diesem Kapitel werden die Basisdaten vorgestellt, welche für die Erstellung der Orthophoto-Musterkarte «Olten» verwendet wurden. Es handelt sich in erster Linie um das digitale Farbothophotomosaik «SWISSIMAGE» sowie um das digitale Landschaftsmodell der Schweiz «VECTOR25» und die Pixelkarte 1:25 000 «PK25». Diese drei Datensätze werden vom Bundesamt für Landestopographie angeboten.

10.1 Digitales Farbothophotomosaik «SWISSIMAGE»

Die für die Orthophoto-Musterkarte «Olten» verwendeten digitalen Orthophotos entstammen dem hochaufgelösten (0,5 m) digitalen Farbothophotomosaik «SWISSIMAGE» des Bundesamtes für Landestopographie. Die Arbeit an diesem Farbothophotomosaik, welches das gesamte Gebiet der Schweiz abdecken soll, wurde 1998 aufgenommen. Ausschlaggebend dafür war, dass ein grosses Bedürfnis für Orthophotodaten sowohl für Anwendungen innerhalb der L+T, in der Bundesverwaltung, insbesondere im Bereich Umweltmonitoring, bei der Armee, wie auch bei den übrigen Kunden des Bundesamtes für Landestopographie bestand. Dazu kam, dass 1996 mit der Anschaffung des digitalen Photogrammetrischen Systemes (DPS) der Schritt zur digitalen Photogrammetrie vollzogen wurde, und somit die zur Herstellung digitaler Orthophotos notwendige Infrastruktur vorhanden war (Käser et al., 2001:532).

In Kapitel 10.1.1 sollen die Produktion erläutert und in Kapitel 10.1.2 die Spezifikationen des digitalen Farbothophotomosaiks «SWISSIMAGE» aufgeführt werden.

10.1.1 Produktion

Die Produktion von «SWISSIMAGE» ist durch die Anwendung automatisierter Prozesse der digitalen Photogrammetrie und der digitalen Bildverarbeitung charakterisiert. Dabei werden unter Einbezug eines digitalen Geländemodells aus digitalen Luftbildern digitale Orthophotos berechnet, die anschliessend zu homogenen Orthophotomosaiken zusammengefügt werden. Automatisierte Prozesse sind unter anderem der Import der Bilddaten, die Wiederherstellung der inneren Orientierung, Teilprozesse der Aerotriangulation, die Orthophotoberechnung und Teilprozesse bei der Bildung des Orthophotomosaiks. Die gesamte digitale Produktionskette der L+T unterteilt sich in die folgenden Einzelschritte: Bildflug, Luftbildscan, Archivierung der digitalen Luftbilddaten, Aerotriangulation, Orthophotoberechnung, Orthophotomosaikierung, umfassende Qualitätskontrolle des Orthophotomosaiks, Archivierung des digitalen Orthophotomosaiks sowie Datenausgabe. Im Folgenden sollen diese einzelnen Produktionsschritte näher erläutert werden (Bundesamt für Landestopographie, 2001b:1; Käser et al., 2001:532–534).

- **Bildflug.** Die digitalen Luftbilder für die Orthophotoproduktion der L+T werden aus analogen Farbluftbildern, welche für die Landeskartenherstellung angefertigt wurden, durch Digitalisierung mit einem präzisen arbeitenden photogrammetrischen Scanner gewonnen. Die dazu erforderlichen Bildflüge für Farbbilder mit Massstab 1:30 000 erfolgten in den Jahren 1998, 1999 und 2000 während der Vegetationszeit mit den Vermessungsflugzeugen der L+T. Die Flugzeuge arbeiten mit hochpräzisen Luftbildka-

1998 Beginn der Arbeit am Farbothophotomosaik «SWISSIMAGE»

Produktion von «SWISSIMAGE» durch Anwendung automatisierter Prozesse charakterisiert

meras, stabilisierten Kameraplattformen, automatischer Luftbildauslösung und erfassen die Projektionszentren mittels Differentiellem GPS (DGPS) während des Fluges.

- **Luftbildscan/Archivierung.** Die analogen Farbluftbilder (Negative) werden mit einem photogrammetrischen Scanner, der sich durch eine sehr hohe geometrische und radiometrische Genauigkeit und Stabilität auszeichnet, mit einer Auflösung von 1814 dpi und einer Farbtiefe von 24 bit digitalisiert. Dabei entsteht eine Datenmenge von etwa 800 MB pro Bild. Für diesen Vorgang werden pro Luftbild ungefähr 15 Minuten benötigt. Anschliessend an die Digitalisierung werden die Scans einer Kontrolle unterzogen und in einem zentralen Datenspeicher archiviert.
- **Aerotriangulation.** Zur Herstellung des Orthophotos müssen die Parameter der inneren und äusseren Orientierung bekannt sein. Die Parameter der inneren Orientierung (Kammerkonstante, Lage des Bildhauptpunktes, radiale Verzeichnung des Objektivs) sind kameraabhängig und wurden im Rahmen einer Kalibrierung für die jeweils zum Einsatz kommende Kamera bestimmt. Die Parameter der äusseren Orientierung (räumliche Koordinaten der Projektionszentren, drei Drehwinkel) müssen für jedes aufgenommene Bild neu bestimmt werden. Da es sich um einen Luftbildverband handelt, geschieht dies mit Hilfe der digitalen Aerotriangulation (Blöcke zu 200 bis 400 Bilder).
- **Orthophotoberechnung.** Die Berechnung der digitalen Orthophotos erfolgt mit der Software SocetSet von LH Systems. Dazu sind die eingescannten Farbluftbilder, die Orientierungsparameter aus der Aerotriangulation sowie ein flächendeckendes digitales Geländemodell notwendig. Als Geländemodelle stehen grundsätzlich zwei Modelle zur Verfügung: das DHM25Level2 und das DTM-AV. Beim DHM25Level2 handelt es sich um ein neues Geländemodell, das durch Neuinterpolation aus dem bekannten DHM25 der L+T mit zusätzlichen photogrammetrischen, alpinen Haupt-Bruchkanten gewonnen wurde. Die Genauigkeit des DHM25Level2 beträgt im Mittelland rund 1,5 m und in den Alpen rund 5 bis 8 m. Das neu erstellte DTM-AV wird aus Laserscanning-Beobachtungen gewonnen und weist eine homogene Genauigkeit von 0,5 m auf. Während das DHM25 bereits flächendeckend vorliegt, wird das DTM-AV erst im Laufe der kommenden Jahre schrittweise für die ganze Schweiz bis zu einer Höhe von 2000 m. ü. M. verfügbar sein.
- **Orthophotomosaikierung.** Durch Mosaiking werden anschliessend an die Orthophoto-Generierung mehrere digitale Orthophotos zu einem homogenen Orthophotomosaik zusammengesetzt. Dieses muss verschiedenste Qualitätskriterien erfüllen: Es soll lückenlos sein, darf keine sichtbaren Nahtstellen und auch keine Doppelabbildungen, aus unterschiedlichen, sich überlappenden Bildern, aufweisen. Ebenso sind Diskrepanzen und radiometrische Sprünge zu vermeiden. Die eigentliche Mosaikierung erfolgt mit der Software OrthoVista von StellaCore. Danach wird noch eine manuelle Bildbearbeitung mit dem Programm Photoshop von Adobe durchgeführt.
- **Qualitätskontrolle.** Das erzeugte Orthophotomosaik – wie auch die Zwischenprodukte – werden einer intensiven geometrischen Qualitätskontrolle unterzogen. Die Genauigkeit des Orthophotomosaiks hängt im wesentlichen von der geometrischen Qualität der digitalisierten Luftbilder, der Genauigkeit der Orientierungsparameter und des Geländemodells ab. Alle diese Aspekte werden bei der Qualitätsprüfung miteinbezogen. Abschliessend wird die geometrische Zuverlässigkeit der Orthophotos durch eine Überlagerung mit der Pixelkarte 1:25 000 PK25 flächendeckend kontrolliert. Betrachtet man die Abweichungen zwischen PK25 und «SWISS-

IMAGE»-Orthophoto, so beträgt die Lagegenauigkeit (mittlerer Fehler), je nach zugrundeliegendem Geländemodell, mit dem DTM-AV 1,0 m und mit dem DHM25Level2 1,5 m (Mittelland) bis 10 m (Gebirge). Diese Werte gelten für ungeneralisierte PK25-Elemente.

Die radiometrische Qualität des Orthophotomosaiks hängt im wesentlichen von der radiometrischen Qualität der gescannten Luftbilder und der Qualität der Mosaikierung ab. Beide Schritte werden unabhängig voneinander geprüft. Die radiometrische Qualität des Endprodukts wird visuell mit einer Farbreferenz verglichen, wobei dieser Kontrollschritt jeweils eine Person durchführt, die nicht an der Produktion des entsprechenden Bereichs beteiligt war.

- **Archivierung/Datenausgabe.** Die Abgabe der digitalen Orthophotos erfolgt in verschiedenen Liefereinheiten und auf verschiedenen Datenträgern (siehe Kapitel 10.1.2). Die Verwendung der Daten ist vertraglich geregelt. Das Nutzungsrecht ist nicht exklusiv und nicht übertragbar. Die Daten werden grundsätzlich für eine Nutzungsdauer von fünf Jahren abgegeben und gehen nicht in das Eigentum des Benutzers über.

Die Produktion des Orthophotomosaiks wird von der L+T sehr stark vorangetrieben. Zur Zeit steht ein grosser Teil des Mittellandes und Juras mit Luftaufnahmen von 1998 zur Verfügung (siehe Abb. 13). Der aktuellste Stand ist abrufbar über www.swisstopo.ch. Die Flächendeckung mit Luftaufnahmen von 1998 bis 2002 war ursprünglich für Ende 2002 vorgesehen, dieser Termin konnte jedoch nicht eingehalten werden. Im Rahmen der Gesamtnachführung der Landeskarten ist auch die Erneuerung der Orthophotos im Zyklus von sechs Jahren vorgesehen.

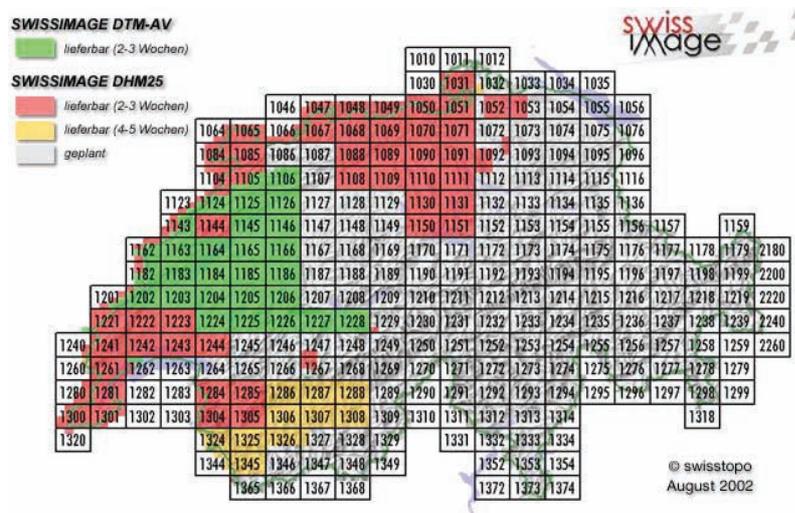


Abb. 13 Übersicht über die bereits lieferbaren und geplanten «SWISSIMAGE»-Kacheln (Stand August 2002) sowie über die für die Orthophotoberechnung verwendeten Geländemodelle (Bundesamt für Landestopographie, 2002).

1088-11	1088-12	1088-21	1088-22
1088-13	1088-14	1088-23	1088-24
1088-31	1088-32	1088-41	1088-42
1088-33	1088-34	1088-43	1088-44

Abb. 14 Orthophotokacheln und ihre Numerierung am Beispiel der Landeskarte 1:25 000 Blatt 1088 «Hauenstein» (Bundesamt für Landestopographie, 2001b:1).

Hauptbestandteil der Orthophotokarte

Orthophotokacheln zusammenmontieren, Südorientierung

10.1.2 Spezifikationen

Nachfolgend sollen die wichtigsten Angaben zu den digitalen Orthophotos «SWISSIMAGE» zusammengefasst sowie genauere Angaben zur Form der Datenabgabe gemacht werden (Bundesamt für Landestopographie, 2001b:1; Käser et al., 2001:535):

- *Flugperiode:* 1998–2001
- *Bezugssystem:* Schweizerisches Landeskoordinatensystem
- *Geländemodell:* DTM-AV oder DHM25Level2
- *Genauigkeit:* 1 m (DTM-AV), 1–10 m (DHM25Level2)
- *Liefereinheiten:* Geliefert werden Kacheln, welche der Fläche eines Sechzehntels einer Landeskarte 1:25 000 entsprechen (siehe Abb. 14). Eine Kachel deckt somit einer Fläche von 13,125 km² ab (E–W: 4,375 km; N–S: 3,0 km). Weiter können auch Ausschnitte mit beliebigen Perimetern bezogen werden.
- *Auflösung:* Die digitalen Orthophotos werden mit einer Bodenauflösung von 0,5 m geliefert. Entsprechend der Kachelgrösse ergibt dies eine Bildmatrix von 8750 × 6000 Bildpunkten.
- *Farbtiefe:* 24 Bit (16,7 Mio. Farben) = 3 Farbkanäle (RGB)
- *Datenformat:* Die digitalen Orthophotos werden im Rasterformat TIFF geliefert.
- *Datenmenge:* 160 MB pro Kachel, ca. 12 MB pro km²
- *Datenträger:* CD-ROM; DAT/DDS3, DLT (Windows NT); DAT/DDS2, EXABYTE, DLT (Unix)

10.1.3 Verwendung der Daten

Wie in Kapitel 9.4 «Testgebiet» ausgeführt, wird ein Ausschnitt aus den «SWISSIMAGE»-Kacheln 1088-42 und 1088-44 für die Erstellung der Orthophoto-Musterkarte benötigt (siehe Tafel 5). Die «SWISSIMAGE»-Daten stellen den Hauptbestandteil der Orthophotokarte dar. Einerseits werden sie dazu verwendet, bestimmte Kartenelemente direkt darzustellen (z. B. Wälder). Andererseits werden Objekte, welche auf dem Orthophoto teilweise ungenügend sichtbar sind (z. B. Strassen), durch konventionelle Kartenelemente überlagert (siehe Kapitel 9.7). Die Orthophotokacheln dienen daher als Vorlage, an welche diese (Vektor-)elemente, welche beispielsweise aus dem VECTOR25-Datensatz stammen, angepasst werden müssen. Weiter dienen die Orthophotokacheln dazu, mittels Extraktion durch Bildverarbeitung opake oder transparente Farbdecker – beispielsweise für Flüsse – erstellen zu können (siehe Kapitel 11.5 auf Seite 84).

10.1.4 Bearbeitung der Daten

Für sämtliche nachfolgend beschriebenen Arbeitsschritte kommt das Bildbearbeitungsprogramm Adobe Photoshop 7 zum Einsatz. Zu Beginn werden die beiden für die Orthophoto-Musterkarte benötigten «SWISSIMAGE»-Kacheln 1088-42 und 1088-44 zusammenmontiert, damit eine einzige Datei vorliegt, welche das gesamte Testgebiet abdeckt. Anschliessend wird das Bild um 180° gedreht, da Tests gezeigt haben, dass die Orthophotomusterkarte optimalerweise südorientiert dargestellt wird (siehe Kapitel 12.1 auf Seite 95).

Weiter ist zu klären, ob radiometrische Korrekturen bzw. Bildverbesserungen durchgeführt werden müssen. Eine erste visuelle Prüfung des Orthophotomosaiks ergibt, dass dieses natürlich erscheinende Farben aufweist und relativ kontrastreich ist (siehe Tafel 1). Kontrastreich bedeutet, dass das Bild sowohl in den hellen Bereichen, den Lichtern, als auch in den dunklen Regionen, den Schatten, Details zeigt. Die Histogramme bestätigen diesen ersten visuellen Eindruck. Die Helligkeitswerte, welche auf dem Histogramm abgelesen werden können, erstrecken sich in einem kontrastreichen Bild vom Schwarz bis zum Weiss (Hässler, 2002:51). Wie Abb. 15 zeigt, dehnt sich der Tonwertumfang der zusammenmontierten «SWISSIMAGE»-Kacheln über einen relativ grossen Bereich des Histogramms aus. Einzig bei den Kanälen Grün und Blau sind teilweise nur sehr wenige Pixel an den Enden vorhanden. Diese insgesamt sehr hohe Bildqualität ist darauf zurückzuführen, dass bereits beim Hersteller radiometrische Korrekturen bzw. Bildverbesserungen sowie eine radiometrische Qualitätsprüfung ausgeführt werden.

*Radiometrische Korrekturen,
Bildverbesserungen*

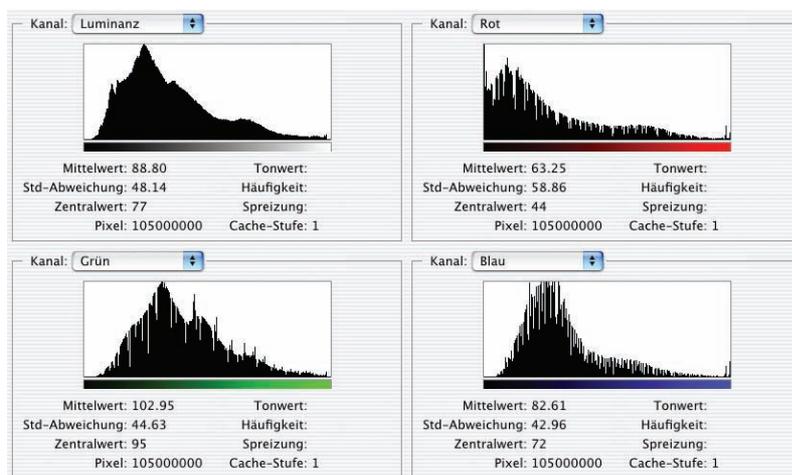


Abb. 15 Histogramme des Orthophotomosaiks bestehend aus den «SWISSIMAGE»-Kacheln 1088-42 und 1088-44 vor der Durchführung von Bildverbesserungsoperationen (Originalzustand).

Dennoch kann mit einigen Eingriffen die Bildqualität noch weiter verbessert werden (siehe Tafel 2). Als erstes wird in den Kanälen Grün und Blau eine Tonwertspreizung durchgeführt, um ein leicht kontrastreicheres Bild zu erhalten (*Bild > Einstellungen > Tonwertkorrektur*). Beim Kanal Grün wird der schwarze Gammaregler auf einen Wert von 12, der weisse auf einen solchen von 252 verschoben. Beim Kanal Blau erfolgt lediglich eine Verschiebung des schwarzen Gammareglers auf einen Wert von 12. Diese Korrekturen bewirken neben einer Erhöhung des Kontrastes etwas kräftigere Farben, besonders bei der Farbe Grün, welche dadurch auch weniger bläulich wirkt. Als nächstes folgt eine Gammakorrektur in den Kanälen RGB (Gesamthelligkeitskanal), Rot und Grün. Diese bewirkt eine Aufhellung bzw. Abdunklung der Mitteltöne, wobei jedoch das Schwarz und Weiss im Bild erhalten und benachbarte Tonwerte proportional zu ihrer Nähe zum mittleren Ton aufgehellt oder abgedunkelt werden. Die neuen Gammawerte betragen beim Gesamthelligkeitskanal 1,10 (aufhellen), beim Kanal Rot ebenfalls 1,10 und beim Kanal Grün 0,90 (abdunkeln). Diese Korrekturen führen zu einem insgesamt etwas helleren Bild mit wärmeren Farben. Die roten Dächer der Häuser kommen besser zur Geltung, und durch die Eliminierung eines minimalen Grünstichs hebt sich die Flussfarbe etwas besser von derjenigen der Wiesen ab. Abb. 16 zeigt die Histogramme des Orthophotomosaiks nach Durchführung der Tonwertkorrekturen.

Tonwertspreizung, Gammakorrektur

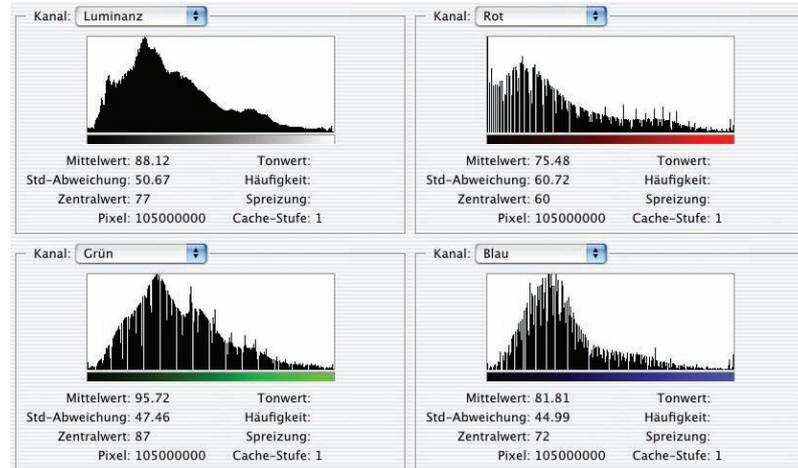


Abb. 16 Histogramme des Orthophotomosaiks bestehend aus den «SWISSIMAGE»-Kacheln 1088-42 und 1088-44 nach der Durchführung von Bildverbesserungsoperationen.

Resampling

Die «SWISSIMAGE»-Orthophotos weisen mit 0,5 m eine relativ hohe Auflösung auf, und benötigen dementsprechend viel Speicherplatz und Rechenzeit beim Bearbeiten. Für das Digitalisieren von Vektorelementen wie beispielsweise Strassen auf Basis des Orthophotos und die Ausgabe der Musterkarte im vorgesehenen Massstab 1:16000 ist eine solche hohe Auflösung jedoch nicht nötig. Um die Rechenprozesse beschleunigen zu können, wird in einem nächsten Schritt die Bodenauflösung von 0,5 m auf 1 m reduziert. Die Bildauflösung von 72 Pixel/Inch wird zu diesem Zweck auf den neuen Wert 36 Pixel/Inch eingestellt und ein Resampling mit bikubischer Interpolation durchgeführt. Die Dateigrösse der beiden Orthophotokacheln verringert sich durch diesen Vorgang markant von 300,4 MB auf 75,1 MB. Die Bildhöhe wird dem Massstab der Orthophotokarte angepasst, indem diese von 423,33 cm auf 37,5 cm reduziert wird. Die Breite (27,34 cm) und die Auflösung (406,4 Pixel/Inch) ergeben sich dementsprechend, die Pixelanzahl bleibt unverändert.

Unschärf maskieren, Farbraumtransformation

Nach diesen Bearbeitungsschritten und der Extraktion des gewünschten Kartenausschnittes ist das Orthophoto für Bildschirmwendungen bereit. Für die Erstellung der Druckversion sind jedoch noch ein paar weitere Schritte nötig. Als erstes muss das Orthophoto geschärft werden. Gemäss Hässler (2002:88) geht das Scannen eines Bildes mit einem leichten Weichzeichnungseffekt einher. Dies ist damit zu erklären, dass beim Digitalisierungsprozess analoge kontinuierliche Tonwerte in ein diskretes digitales Raster umgewandelt werden. Wenn Details kleiner sind als das digitale Raster, werden ihre Farb- und Helligkeitswerte nur in einer Mittelwertbildung einbezogen. Einige Drucktechniken sorgen für einen weiteren Weichzeichnungseffekt. Da dies auf das Druckraster eines Farblasers – wie er für die Ausgabe der Orthophoto-Musterkarte vorgesehen ist – zutrifft, muss das Orthophoto etwas nachgeschärft werden. Dies bringt neben der Schärfe einen Gewinn an Kontrast. Das Bildbearbeitungsprogramm Photoshop bietet zu diesem Zweck verschiedene Scharfzeichnungsfilter an. Hässler (2002:88) zufolge liefert der Filter «Unschärf maskieren» die besten Ergebnisse (*Filter > Scharfzeichnungsfilter > Unschärf maskieren*). Der Filter arbeitet mit drei Schärfungsparametern: Stärke, Radius und Schwellenwert. Für sehr detaillierte Bilder, wie dies Orthophotos darstellen, empfiehlt Hässler (2002:89–90) die Stärke auf 100–200% einzustellen. Der standardmässig eingestellte Schwellenwert (0 Stufen) muss heraufgesetzt werden, sobald sich Korn oder Bildrauschen zeigen. Folgende Werte erweisen sich für die verwendete Kombination aus Drucker (siehe Kapitel 9.6 «Entwicklungsumgebung» auf Seite 60) und Papier (Neusiedler Color

Copy 100 g/m²) als optimal: Stärke 150%, Radius 2 Pixel, Schwellenwert 0 Stufen (siehe Tafel 4). Bevor auch bei der Druckversion der gewünschte Kartenausschnitt freigestellt wird, folgt noch eine Transformation vom RGB- in den CMYK-Farbraum (*Bild > Modus > CMYK-Farbe*).

10.2 Digitales Landschaftsmodell der Schweiz «VECTOR25»

10.2.1 Produktion/Spezifikationen

VECTOR25 ist das digitale Landschaftsmodell der Schweiz, welches inhaltlich und geometrisch auf der Landeskarte 1:25 000 basiert. VECTOR25 gibt die natürlichen und künstlichen Objekte der Landschaft im Vektorformat wieder und beschreibt rund 5 Millionen Objekte mit Lage, Form, Objektart, weiteren Sachattributen und ihren Nachbarschaftsbeziehungen (Topologie). Sein Perimeter umfasst die ganze Schweiz und das angrenzende Ausland gemäss LK25.

VECTOR25Level2 besteht aus den folgenden acht thematischen Ebenen, wobei eine Ebene jeweils sämtliche Kartenblätter beinhaltet (blattschnittfrei): Strassennetz, Eisenbahnnetz, übriger Verkehr (Fähren, Seilbahnen etc.), Gewässernetz, Primärflächen, Hecken und Bäume, Anlagen (künstliche Areale und Anlagen), Einzelobjekte. Jede thematische Ebene umfasst Topologietypen (Punkte, Knoten, Linien, Flächen). Pro Ebene und Topologietyp ist ein Attributsatz definiert, welcher mindestens aus den folgenden Standardattributen besteht: ObjectID (eindeutiger und zeitlich stabiler Identifikationsschlüssel), ObjectOrigin (Herkunft der Daten), ObjectVal (Objektart), YearOfChange (Nachführungsjahr des Objektes, z. B. Jahr des Bildfluges). VECTOR25Level2 umfasst insgesamt rund 140 unterschiedliche Objektarten (z. B. 2. Klass-Strasse, Bach). Die Klassierungsgrundsätze der Objektarten entsprechen denjenigen der LK25.

Die Genauigkeit von VECTOR25 wird durch die Genauigkeit der zugrundeliegenden LK25 bestimmt: Die Punkte und Linien von VECTOR25 liegen innerhalb eines Toleranzbandes von 3–8 m. Diese Genauigkeit ergibt sich aus der Zeichengenauigkeit der LK25, welche zwischen 0,1 und 0,3 mm liegt. Grössere Abweichungen ergeben sich nur an Stellen, wo aus kartographischen Gründen generalisiert wurde.

Die VECTOR25-Daten werden auf CD-ROM in den Formaten ARC/INFO-e00, ArcView-Shapefile, Autocad-DXF oder Microstation-DGN abgegeben. Die Nachführung von VECTOR25 erfolgt blattweise und im gleichen 6-Jahres-Zyklus wie bei der LK25 (Bundesamt für Landestopographie, o.J.-b:4–15).

10.2.2 Verwendung der Daten

Um das Orthophoto mit konventionellen Kartenelementen überlagern zu können, werden verschiedene lineare und flächenhafte Objekte in Vektorform benötigt. Diese könnte man anhand der PK25 manuell digitalisieren. Besonders für Objekte, welche in sehr viele Klassen unterteilt sind (z. B. Strassen), erweist es sich aber als effizienter, diese aus dem VECTOR25-Datensatz zu übernehmen. Dabei ist es von Vorteil, dass die VECTOR25-Daten bereits klassiert vorliegen und daher eine Klassenbildung anhand der PK25 bzw. LK25 nicht mehr notwendig ist. Es zeigte sich jedoch, dass VECTOR25-Elemente verschiedentlich falsch klassiert wurden und daher noch manuell in die richtige Klasse verschoben werden mussten. Von den acht thematischen Ebenen des VECTOR25-Datensatzes werden in der topographischen

Natürliche und künstliche Landschaftsobjekte im Vektorformat

Acht thematische Ebenen

Überlagerung mit konventionellen Kartenelementen

Orthophoto-Musterkarte «Olten» die Ebenen «Strassennetz» und «Eisenbahnnetz» eingesetzt. Insgesamt stellen die VECTOR25-Daten eine wichtige Grundlage für die kartographische Ergänzung des Orthophotos dar.

10.2.3 Bearbeitung der Daten

Gewünschter Kartenausschnitt extrahieren

Wie oben gesehen, befinden sich in einer thematischen VECTOR25-Ebene die Daten für die ganze Schweiz sowie für das angrenzende Ausland. Beim verwendeten Programm Illustrator handelt es sich nicht um ein GIS-, sondern um ein Vektorgraphikprogramm, das nicht für die Bearbeitung riesiger Datenmengen geeignet ist. Daher muss zuerst der gewünschte Kartenausschnitt aus den einzelnen VECTOR25-Ebenen herausgelöst werden. Dies erfolgte mit Hilfe des Programms ARC/INFO. Dabei wird die Testfläche noch um einen Puffer von 80 m (entspricht 5 mm im Massstab 1:16000) vergrössert, damit die Vektorobjekte nicht exakt am Kartenrand, sondern etwas weiter aussen – unter einer Maske – enden. Die thematischen Ebenen von VECTOR25 liegen im ARC/INFO-e00-Format vor, und werden nach der Ausschnittwahl auch wieder in diesem Format abgespeichert.

Import und Bearbeitung in Illustrator

Um die e00-Dateien in den Illustrator importieren zu können, wird das Programm MAPublisher benötigt. Dieses Programm war damals für Illustrator 10 noch nicht verfügbar, daher wurden die VECTOR25-Daten ins Programm Illustrator 9 importiert (*Filter > 1. MAPublisher > Import Map*). Nach dem Import befinden sich sämtliche Objekte einer thematischen Ebene auf einer Illustrator-Ebene. Bei Ebenen mit mehreren Objektarten (z. B. 1. Klasse Strasse, Quartierstrasse etc.) müssen diese nun einzeln extrahiert und auf separaten Ebenen abgelegt werden (*Filter > 5. MAP Attributes > Select by Attribute*). Anschliessend werden bei Objekten des Topologietyps «Linie» (z. B. Strassen) die einzelnen Linienelemente zu Linienzügen zusammengefasst (*Filter > 6. MAP Arcs > Join Arcs*). Um logisch zusammengefasste Einheiten (z. B. gerade Strassenzüge in Quartieren) zu erhalten, müssen einzelne Linienzüge danach noch manuell getrennt und neu verbunden werden (*Scissors Tool, Join*). Als letzter Vorbereitungsschritt folgt nun noch die Umwandlung der Linienzüge bzw. Flächen – diese bestehen aus einzelnen geraden Liniensegmenten – in Bézierkurven (*Object > Path > Simplify*). Diese Umwandlung hat zum Ziel, glatte Kurven zu erhalten, welche einfacher, als aus vielen kurzen Liniensegmenten zusammengesetzte Kurven, bearbeitet werden können. Nach der Bézierkurvenbildung ist die Vorbereitung der VECTOR25-Daten abgeschlossen. Auf die weitere Bearbeitung dieser Daten wird im Kapitel 11 «Situationsdarstellung» näher eingegangen.

10.3 Pixelkarte 1:25 000 «PK25»

10.3.1 Produktion/Spezifikationen

Eingescannte Farbdruckvorlagen der Landeskarte 1:25 000

Bei der Pixelkarte 1:25 000 «PK25», welche vom Bundesamt für Landestopographie herausgegeben wird, handelt es sich um die einzelnen eingescannten Farbdruckvorlagen der Landeskarte 1:25 000 (LK25). Die Informationen sind somit nur nach Farbe getrennt und nicht thematisch gegliedert abgespeichert. Auf der Farbebene «Situation» (Schwarzplatte) befinden sich beispielsweise die Gebäude, Strassen und Wege verschiedenster Klassen, die Felsschraffen, die Geröllsignatur, die Höhenkoten, die Orts- und Flurnamen etc. Mit Ausnahme des Reliefs sind sämtliche Farbebene einzeln (Binärbilder) oder in einer Standard-Kombination (farbig) erhältlich: Situa-

tion (schwarz), Waldkonturen (grün), Höhenkurven (braun), Gewässerlinien (blau), Waldton (hellgrün), Seeton (hellblau). Die PK25 wird gemäss der Blatteinteilung der LK25 erfasst, bearbeitet und abgegeben. Elemente, welche den Koordinatenbereich des Blattes überragen, sowie der Blattrahmen mit Schrift werden weggeschnitten. Für unterschiedliche Anwendungsbereiche stehen folgende drei Auflösungsstufen zur Verfügung:

- **254 dpi.** Diese Auflösung eignet sich für Bildschirmapplikationen. Die Farbebenen sind nur in kombinierter Form und geglättet (Antialiasing) erhältlich.
- **508 dpi.** Diese Auflösung ermöglicht es, die feinsten Linien von 0,05 mm abzubilden und gleichzeitig die Datenmenge noch relativ klein zu halten. Es ist daher die Standardauflösung für hohe Ansprüche im GIS-Bereich, für Vergrößerungen, Drucke etc. Die Farbebenen können einzeln oder als Kombination bezogen werden.
- **1270 dpi.** Diese höchste Auflösung wird nur für Nachdrucke von Karten in Lizenz abgegeben.

Nach dem Scannen der einzelnen Farbebenen werden diese auf die Sollmasse gebracht und exakt aufeinander eingepasst. Dies erlaubt eine einwandfreie Georeferenzierung und ein nahtloses Zusammenfügen der einzelnen Kartenblätter. Bei einer Auflösung von 508 dpi beträgt die Solldimension für ein Normkartenblatt (700 × 480 mm) 14 000 × 9 600 Bildpunkte. Die PK25 wird standardmässig im TIFF-Format auf CD-ROM abgegeben. Die PK25 wird nicht direkt nachgeführt. Der Nachführungsstand entspricht in der Regel demjenigen der gedruckten Kartenblätter (Bundesamt für Landestopographie, 2001a:2–4; Bundesamt für Landestopographie, o.J.-a).

10.3.2 Verwendung der Daten

Neben SWISSIMAGE- und VECTOR25-Daten wurden auch einige Farbebenen der PK25 für die Erstellung der topographischen Orthophoto-Musterkarte «Olten» verwendet. Die Farbebenen dienen einerseits als Grundlage für das Digitalisieren bestimmter, im VECTOR25-Datensatz nicht vorhandener Objekte (Höhenlinien, Grenzen). Auch ist es bei bestimmten Objekten einfacher, diese anhand der PK25 direkt zu digitalisieren, als sie aus dem entsprechenden VECTOR25-File zu extrahieren, in Bézierkurven umzuwandeln und zu bearbeiten (z. B. Bäche). Weiter wird die PK25 auch als Basis für das Setzen von lokalen Signaturen (z. B. Einzelobjekte, Höhenkoten) und der Beschriftung verwendet. Schliesslich werden die PK25-Farbebenen auch zu Kontrollzwecken benutzt, um den Verlauf oder die Klassenzuordnung beispielsweise von Strassen überprüfen zu können. Von den insgesamt sechs Farbebenen gelangen folgende drei zum Einsatz: Situation, Höhenkurven, Gewässerlinien.

Digitalisierungsgrundlage, Kontrolle

10.3.3 Bearbeitung der Daten

Wie oben gesehen, weisen die einzelnen PK25-Farbebenen den Umfang eines ganzen Kartenblattes auf. Die Orthophoto-Musterkarte «Olten» deckt jedoch nur einen relativ kleinen Teil des Blattes 1088 «Hauenstein» ab. Daher ist es sinnvoll, den benötigten Bereich aus den einzelnen Farbebenen herauszutrennen, um die Grösse der Dateien möglichst klein zu halten. Dies geschieht mit dem Bildbearbeitungsprogramm Photoshop 7. Damit der PK25-Ausschnitt nicht mehr im Massstab 1:25 000, sondern im Massstab der Musterkarte (1:16 000) vorliegt, wird die Bildbreite auf den gewünsch-

Gewünschter Kartenausschnitt heraustrennen, vergrössern und drehen

ten Wert von 18,75 cm vergrößert. Die Bildhöhe (18,75 cm) und Bildauflösung (325,12 Pixel/Inch) ergeben sich dementsprechend. Die Pixelmasse des Bildausschnittes verändern sich dabei nicht, da kein Resampling durchgeführt wird. Des weitern müssen die Farbebenen noch um 180° gedreht werden, da die Musterkarte nicht nord-, sondern südorientiert aufgebaut werden soll. Anschliessend werden die Ausschnitte aus den Farbebenen in die Illustrator-Datei importiert und auf separaten Unterebenen platziert. Weitere Bearbeitungsschritte sind bei diesen Basisdaten nicht notwendig.

10.4 Landeskarte 1:25 000 «LK25»

LK25 als Ergänzung zur PK25

Zu den Basisdaten gehört auch die (analoge) Landeskarte 1:25 000 «LK25», Blatt 1088 «Hauenstein». Diese dient als Ergänzung zur PK25, um den Überblick über das Testgebiet zu behalten – was am Monitor nicht immer einfach ist –, und um bestimmte Eigenschaften (z. B. die Klassenzugehörigkeit einer Strasse) verifizieren zu können.

11 Situationsdarstellung

11.1 Fragestellungen

In diesem und den folgenden vier Hauptkapiteln (Kapitel 12 bis Kapitel 15) sollen jeweils die folgenden beiden Punkte behandelt werden:

- **Erkennbarkeit.** In den gleichnamigen Unterkapiteln werden Aussagen über die Erkennbarkeit von topographischen Objekten in einem «SWISS-IMAGE»-Farborthophoto gemacht. Von Interesse sind diejenigen topographischen Objekte aus dem Zeichenschlüssel der Landeskarte der Schweiz 1:25000 «LK25», welche im Testgebiet vorkommen. Als Testgebiet dient der in Kapitel 9.4 beschriebene Geländeausschnitt im Massstab 1:16000. Folgende Fragestellungen stehen im Mittelpunkt:
 - Wie gut sind Objekte, die auf der LK25 eingezeichnet sind, auch auf dem Orthophoto erkennbar?
 - Gibt es Objekte, die auf der LK25 nicht eingezeichnet sind, auf dem Orthophoto aber erkennbar sind?
- **Graphische Ausgestaltung.** Anhand der oben gewonnenen Erkenntnisse lässt sich ableiten, um welche notwendigen bzw. wünschenswerten kartographischen Elemente das Orthophoto ergänzt werden muss, damit eine topographische Orthophotokarte mit gegenüber dem unbearbeiteten Orthophoto markant gesteigerter Lesbarkeit resultiert. Dies wird jeweils im Kapitel «Zu überlagernde Objekte» behandelt. Anschliessend beschäftigt sich das Kapitel «Gestaltungsvorgänge» damit, welchen Gestaltungsvorgängen der jeweilige Einsatz konventioneller kartographischer Elemente zugeordnet werden kann. Mit der graphischen Ausgestaltung bzw. kartographische Ausprägung der überlagerten konventionellen Kartenelemente befasst sich jeweils zum Schluss das Kapitel «Gestaltungsablauf». In genannten drei Kapiteln werden demnach folgende Fragen beantwortet:
 - Welche nicht oder nur schlecht erkennbaren Objekte sollen hinzugefügt werden?
 - Welche Gestaltungsvorgänge gelangen zum Einsatz?
 - Wie sieht der Gestaltungsablauf aus?
 - Welche der verschiedenen Gestaltungsvarianten überzeugt kartographisch am meisten?

11.2 Siedlungen

11.2.1 Erkennbarkeit

Gebäude werden auf der Landeskarte 1:25000 in Einzelhausdarstellung durch Wiedergabe ihres Grundrisses dargestellt. Auf dem Orthophoto dagegen variiert die Darstellung in Abhängigkeit von ihrer Position auf dem Bild. Mit zunehmender Entfernung der Bauwerke vom Bildnadir werden sie stärker «umgeklappt» und zeigen neben Dach- auch Teile ihrer senkrechten Wandpartien. Dieser Effekt kann aber nur bei sehr grossen Gebäuden, beispielsweise Lagertanks, beobachtet werden. Aus diesen Umklappungen kann auf die Gebäudehöhe geschlossen werden. Schlagschatten,

Gebäudedarstellung variiert in Abhängigkeit von Bildposition

Gebäude sind im allgemeinen gut erkennbar

welche ebenfalls gewisse Informationen über Gebäudehöhen vermitteln können, tragen zu einem räumlichen Eindruck bei der Betrachtung der Gebäude bei.

Gebäude sind auf dem Orthophoto im allgemeinen gut erkennbar. In dicht bebauten Gebieten ist ein genaues Auseinanderhalten der einzelnen Bauten schwierig, da die Abgrenzungen unscharf sind. Bei grösseren Gebäuden – beispielsweise Industriehallen – lassen sich anhand von Texturen Aussagen über die Dachgestaltung machen.

11.2.2 Zu überlagernde Objekte

Die Siedlungen benötigen keine Überlagerung mit konventionellen kartographischen Elementen. Die Gebäude sind – wie oben ausgeführt – genügend gut erkennbar.

11.3 Bahnen

11.3.1 Erkennbarkeit

Landeskarte 1:25 000 unterscheidet sieben Bahnlinien- und vier Bahnhofsklassen

In der Landeskarte 1:25 000 werden sieben Bahnlinienklassen (Normalspurbahn mehrspurig; Normalspurbahn einspurig; Schmalspurbahn mehrspurig; Schmalspur-, Zahnrad-, Standseilbahn einspurig; Güterbahn, Museumsbahn, Bahn ausser Betrieb; Überlandstrassenbahn; Industriegleis) und vier Bahnhofsklassen (Bahnhof mit oder ohne Halle/Perrondach; Haltepunkt mit Gleisanlage; Haltepunkt ohne Gleisanlage; Haltepunkt einer Überlandstrassenbahn) unterschieden (Bundesamt für Landestopographie, 2001c:2). Im Testgebiet «Olten» kommen die Bahnlinienklassen «Normalspurbahn mehrspurig», «Normalspurbahn einspurig» und «Industriegleis» sowie die Bahnhofsklassen «Bahnhof mit oder ohne Halle/Perrondach» und «Haltepunkt mit Gleisanlage» vor.

Industriegleise meist nicht sichtbar

Die ein- und mehrspurigen Normalspurbahnlinien sind durch ihren braunen Farbton und das durch die Fahrleitungsmasten gekennzeichnete – jedoch nicht immer sichtbare – Muster auf dem Orthophoto meist gut als solche erkennbar. Als besonders problematisch erweisen sich Industriegleise. Diese verfügen oftmals über kein eigenes Trasse und verlaufen auf oder dicht neben Strassen. Industriegleise sind daher auf dem Orthophoto meist nicht sichtbar. Eine Ausnahme kann beispielsweise beim Industriekomplex südwestlich des Bahnhofs Olten-Hammer beobachtet werden. Infolge der sehr hellen Umgebung sind die Industriegleise dort – jedoch auch nur zum Teil – sichtbar. Aussagen über die Unterscheidbarkeit der im Testgebiet vorkommenden ein- und mehrspurigen Normalspurbahnlinien können keine gemacht werden, da der kurze einspurige Streckenabschnitt neben Abstellgleisen verläuft, und somit nicht repräsentativ ist.

Eisenbahnbrücken, Eisenbahntunnel, Bahnhof, Haltepunkt

Diejenigen Eisenbahnbrücken, welche die Aare, das grösste Fließgewässer innerhalb des Testgebietes, überqueren, sind problemlos erkennbar. Hingegen ist bei derjenigen Eisenbahnlinie, welche über den kleineren Fluss – die Dünern – führt, eine Brücke nicht sichtbar. Eisenbahntunnels sind durch einen kurzen Abschnitt im Testgebiet vertreten. Diese gehören zu den aus der Luft nicht einsehbaren Objekten und erscheinen daher auf dem Orthophoto nicht. Der Bahnhof mit Halle/Perrondach und der Haltepunkt mit Gleisanlage können durch das Vorhandensein mehrerer Gleisstränge, von Perrondächern bzw. einer Bahnhofshalle erkannt werden. Der Haltepunkt mit Gleisanlage ist jedoch nicht eindeutig von dem im Testgebiet

ebenfalls vorhandenen Rangierbahnhof abgrenzbar. Eine Zuordnung des Haltepunktes zu einer bestimmten Bahnhofsklasse ist nicht möglich.

11.3.2 Zu überlagernde Objekte

11.3.2.1 Eisenbahnlinien, -brücken, -tunnel. Wie oben gesehen, sind die im Testgebiet vorkommenden ein- bzw. mehrspurigen Normalspurbahnlinien relativ gut erkennbar. Für eine Überlagerung mit konventionellen kartographischen Elementen sprechen jedoch folgende Gründe:

- Gewährleistung einer optimalen Lesbarkeit in allen Kartenbereichen und Vermeidung von Fehlinterpretationen (z. B. Eisenbahnlinie vs. Strasse).
- Möglichkeit der Klassenbildung, beispielsweise beim Vorhandensein von Normalspurbahnen und Schmalspurbahnen.
- Da Tunnels sowieso eingezeichnet werden müssen, würde ein Verzicht auf das Überlagern der oberirdisch verlaufenden Eisenbahnlinien zu einer inkonsequenten Darstellungsweise führen.

Es stellt sich nun die Frage, ob auch im Bahnhofsbereich sämtliche Gleisstränge eingezeichnet werden sollen, oder ob diese nur durch eine Hauptlinie repräsentiert werden sollen. Letztere Variante erscheint sinnvoller, da die Gleisfelddarstellung auf dem Orthophoto sehr anschaulich und gut lesbar ist, und derjenigen der LK25 in etwa entspricht. Auch sind der Bearbeitungsaufwand und die Beeinträchtigung des Orthophotos dadurch wesentlich geringer.

Die Industriegleise müssten vom Aspekt der Lesbarkeit her eigentlich eingezeichnet werden. Da aber die Gleise im Bereich von Personen- und Rangierbahnhöfen nicht eingezeichnet werden, macht es keinen Sinn, die weniger bedeutenden Industriegleise mit konventionellen kartographischen Elementen zu überlagern. Auch ergäben sich gestalterische Probleme, da solche Gleise oft eng zwischen einer Strassen und Industriegebäuden verlaufen, ein Generalisieren bzw. Verdrängen aber nicht möglich ist.

Die Verwendung einer speziellen Signatur für Eisenbahnbrücken ist nicht notwendig. Wie oben gesehen sind Eisenbahnbrücken über grössere Wasserläufe bereits ohne überlagerte Kartenobjekte gut als solche erkennbar. Durch eine Bahnliniensignatur wird die Erkennbarkeit noch zusätzlich verbessert. Auch sind die Brückenpfeiler, falls diese über die Brücke hinausragen, durch den starken Kontrast zur Farbe des Wassers gut sichtbar, wodurch sich das Einzeichnen einer Signatur erübrigt. Bei dem kleineren Flusslauf wird die Brückensituation durch den Kartenkontext – eine unterbrochene Bach- bzw. Flussnatur – deutlich (siehe Kapitel 11.5.4.2).

11.3.2.2 Bahnhof, Haltepunkt. Wie oben gesehen sind die im Testgebiet vorhandenen Bahnhöfe – genauer gesagt ein Bahnhof und ein Haltepunkt mit Gleisanlage – relativ gut als solche erkennbar. Der Einsatz konventioneller kartographischer Elemente ist dennoch sinnvoll und nötig. Ein Haltepunkt ohne Gleisanlage – wie er im Testgebiet nicht vorkommt – muss mit einer Signatur dargestellt werden, da dieser sicherlich nicht von der offenen Strecke unterschieden werden kann. Daher sollten konsequenterweise auch Bahnhöfe bzw. Haltepunkte mit Gleisanlage mit Hilfe einer Signatur verdeutlicht werden. Die Haltepunkte ohne Gleisanlage könnten ansonsten ein zu starkes Gewicht erlangen. Für eine Überlagerung spricht auch der Umstand, dass – wie oben gesehen – bei einem Gleisfeld nicht immer ganz klar ist, ob es sich um einen Rangierbahnhof oder um einen Haltepunkt mit Gleisanlage handelt. Ohne Überlagerung wäre es auch nicht möglich, Bahnhöfe und Haltepunkte mit Gleisanlage klar voneinander abzugrenzen.

Bei Gleisfeldern nur eine Hauptlinie einzeichnen

Keine Überlagerung der Industriegleise

Keine spezielle Signatur für Eisenbahnbrücken

11.3.3 Gestaltungsvorgänge

Ergänzen, Verdeutlichen, Klassifizieren

Der Einsatz konventioneller kartographischer Elemente bei der Objektgruppe «Bahnen» kann den Gestaltungsvorgänge «Ergänzen», «Verdeutlichen» und «Klassifizieren» zugeordnet werden. In den Bereich «Ergänzen» fällt das Einzeichnen des Tunnels. Das Überlagern der Eisenbahnlinien und des Bahnhofs bzw. des Haltepunktes mit Gleisanlage gehört zum Bereich «Verdeutlichen», und das Unterscheiden verschiedener Bahnhofsklassen zum Bereich «Klassifizieren».

11.3.4 Gestaltungsablauf

11.3.4.1 Eisenbahnlinien, -tunnel. Wie in Kapitel 10.2.3 ausgeführt, wurden die Eisenbahnlinien sowie sämtliche andere VECTOR25-Linienzüge bereits bei der Datenvorverarbeitung in Bézierkurven umgewandelt. Als erster Arbeitsschritt müssen nun auf der Ebene mit den mehrspurigen Normalspurbahnen die überflüssigen Elemente wie beispielsweise Abzweigungen zu Industrieleisen gelöscht werden. Anschliessend wird die Position der ein- bzw. mehrspurigen Eisenbahnlinien dem Orthophoto angepasst. Dabei ist zu beachten, dass die eingezeichneten Eisenbahnlinien, welche ja nur die Verbindungen zwischen den einzelnen Bahnhöfen visualisieren, einen sinnvollen Verlauf aufweisen. Ein Umweg über einen Rangierbahnhof ist beispielsweise zu vermeiden.

Lineare Signaturen für Normalspurbahnen ungeeignet

Die mehrspurigen Normalspurbahnen können entweder mittels linearer Signaturen oder einfacher Linien visualisiert werden. Erstere können beispielsweise in Form von sich folgenden kurzen weissen und schwarzen Strichen mit einer dünnen abschliessenden schwarzen Kontur ausgeprägt sein. Diese Darstellungsweise ist eher ungeeignet, da lineare Signaturen in der Schweiz meist mit Bergbahnen in Verbindung gebracht werden. Lineare Signaturen sollten daher besser für die Darstellung der Klasse «Schmalspurbahn» Anwendung finden. Linien entsprechen der von der LK25 gewohnten Art der Darstellung von Normalspurbahnen und sind daher besser geeignet. In der LK25 werden mehrspurige Normalspurbahnen durch zwei parallel verlaufende Linien dargestellt. Eine solche Darstellungsweise ist für eine Orthophotokarte ungeeignet, da sie relativ viel Platz beansprucht und bei einer digitalen Verarbeitung umständlich zu realisieren ist. Daher sollen mehrspurige Normalspurbahnen durch eine einfache Linie symbolisiert werden. Mit einer Strichstärke von 0,32 mm sind die Bahnlinien gut sichtbar und ragen nicht über das auf dem Orthophoto sichtbare Trasse hinaus.

Keine Unterscheidung zwischen ein- und mehrspurigen Normalspurbahnen

Es stellt sich nun die Frage, ob eine Unterscheidung zwischen ein- und mehrspurigen Normalspurbahnen vorgenommen werden soll. Eine solche Differenzierung würde grosse gestalterische Probleme mit sich bringen, da entweder die einspurigen Linien sehr fein, oder die mehrspurigen Linien sehr kräftig visualisiert werden müssten. Bei ersterer Variante erhielten die Nebenlinien eine ihrer Bedeutung nicht angemessene Darstellung. Bei der zweiten Variante würden die Hauptlinien innerhalb des Kartenbildes sehr dominant, und es ergäben sich Verdrängungsprobleme, beispielsweise gegenüber Strassen, welche neben Eisenbahnlinien verlaufen. Eine Aufteilung in ein- und mehrspurige Bahnlinien dürfte für eine Mehrheit der Kartenbenutzer von untergeordneter Bedeutung sein. Aus diesen Gründen wird auf eine Aufteilung der Normalspurbahnen in zwei Klassen verzichtet. Einspurige Normalspurbahnen werden analog zu den mehrspurigen mit einer Strichstärke von 0,32 mm gestaltet. In der Legende umfasst dementsprechend der Begriff «Normalspurbahn» sowohl die ein- als auch die mehrspurigen Normalspurbahnen.

Eisenbahnlinien werden rot eingefärbt

Als Farbe für die Eisenbahnlinien bietet sich schwarz oder rot an. Bei schwarzen Eisenbahnlinien besteht die Gefahr der Verwechslung mit den

ebenfalls schwarzen Höhenlinien (siehe Kapitel 12.4.1). Rot eignet sich daher als Farbe für die Eisenbahnlinien besser. Rote Eisenbahnlinien (C: 30%, M: 100%, Y: 90%, K: 0%) unterscheiden sich nicht nur von genannter Objektgruppe, sondern sind auf dem Orthophoto auch überall sehr gut lesbar (siehe Tafel 6).

Der im Testgebiet vorhandene Eisenbahntunnel eignet sich schlecht für allgemeingültige Aussagen zur graphischen Ausgestaltung einer entsprechenden Signatur. Es handelt sich bei diesem Tunnel eher um eine Unterführung, denn dieser verläuft nicht unter Wäldern, Wiesen etc., sondern unter einer Strasse bzw. einer Überdachung. Aufgrund seines Verlaufs können nur gerade zwei kurze Teilstücke einer Bahntunnelsignatur überhaupt eingezeichnet werden. Trotzdem sollen hier einige Gedanken zur Gestaltung einer solchen Signatur festgehalten werden. Eisenbahntunnels werden in Strichkarten üblicherweise mit einer im Vergleich zum oberirdisch verlaufenden Streckennetz etwas dünneren sowie unterbrochenen Linie dargestellt. Auch in einer Orthophotokarte macht eine solche Darstellungsweise Sinn, da sie das unsichtbare Vorhandensein eines solchen Objektes in der Landschaft zum Ausdruck bringt. Der Eisenbahntunnel wird daher in der Orthophotokarte mit einer Strichstärke von 0,16 mm ausgestaltet, was der halben bei den restlichen Streckenabschnitten verwendeten Strichstärke entspricht. Als ideales Mass für die unterbrochene Linie erweist sich eine Strichlänge von 0,75 mm und eine Lückengrösse von 0,5 mm. Mittels der gewählten Strichlänge bzw. Lückengrösse sollten auch kleinere Tunnels noch dargestellt werden können. In Strichkarten werden die Tunnelenden meist durch abschliessende Striche angedeutet. Auf eine solche Symbolisierung wird in der Orthophotokarte verzichtet. Einerseits ist ein Einzeichnen nicht zwingend, da diese Bereiche durch den Übergang von der Tunnel- zur Bahnliniensignatur bereits erkennbar sind. Andererseits wäre es inkonsequent, die Tunnelenden einzuzichnen, aber auf eine Visualisierung kleinerer Brücken, welche von einem Gewässer aus betrachtet einen Tunnel darstellen, zu verzichten. Auch müssten die Tunnelportale sehr markant gezeichnet werden, um überhaupt sichtbar zu sein, wodurch sie ein zu starkes Gewicht erhielten.

11.3.4.2 Bahnhof, Haltepunkt. Für die Ausgestaltung des Bahnhofs bzw. des Haltepunktes mit Gleisanlage bieten sich bildhafte lokale Signaturen an. Der Bahnhof bzw. der Haltepunkt kann entweder durch ein Symbol oder durch ein Grundrissbild dargestellt werden. Ein Symbol, beispielsweise eine Lokomotive, benötigt relativ viel Platz und verdeckt somit auch viel Bildinformation. Ein Grundrissbild hingegen beansprucht weniger Fläche und verdeutlicht die Zusammengehörigkeit von Bahnhof bzw. Haltepunkt und Eisenbahnlinie besser. Da sich ein Grundrissbild dort befindet, wo bereits die eingezeichnete Bahnlinie verläuft, wird praktisch keine zusätzliche Information verdeckt (siehe Tafel 7). Durch eine variable Länge des Grundrissbildes kann zudem der Grösse eines Bahnhofs oder Haltepunktes Rechnung getragen werden.

In der Orthophotokarte sollen die Bahnhöfe im Gegensatz zur LK25 nicht in drei, sondern nur in zwei Klassen eingeteilt werden. Anhand der Legende der LK25 lässt sich nicht genau klären, worin der Unterschied zwischen den beiden ersten Bahnhofsklassen («Bahnhof» und «Haltepunkt mit Gleisanlage») besteht. Die Aufteilung könnte beispielsweise aufgrund der Grösse eines Bahnhofes oder aufgrund der die Station bedienenden Züge (z. B. nur Regionalverkehr) vorgenommen worden sein. Auch ist es schwierig, in der LK25 diese beiden Bahnhofsklassen voneinander zu unterscheiden. Eine solche Differenzierung bringt der Kartenbenutzerin daher keinen Informationsgewinn. Für die Orthophoto-Musterkarte werden daher die beiden aussagekräftigeren Klassen «Bahnhof (Regionalverkehr und weitere

*Eisenbahntunnel im Testgebiet für
allgemeingültige Aussagen schlecht geeignet*

Bildung von zwei Bahnhofsklassen

Ausgestaltung der Signaturen für Bahnhof bzw. Haltepunkt

Verbindungen)» und «Haltepunkt (nur Regionalverkehr)» gebildet. Visualisiert werden die beiden Klassen durch ein unterschiedlich ausgestaltetes Grundrissbild. Das Vorhandensein oder Fehlen einer Gleisanlage soll nicht durch die Signatur ausgedrückt werden. Diese Information kann dem Orthophoto entnommen werden.

Der Bahnhof wird durch ein Rechteck, welches als Abschluss je einen Halbkreis aufweist, visualisiert. Dieses verfügt über eine weisse Füllung und wird von einer Kontur in der Farbe der Eisenbahnlinien eingefasst. Der Haltepunkt wird mittels eines identisch gestalteten Rechtecks, jedoch ohne abschliessende Halbkreise, dargestellt. Die beiden Signaturen können entweder gerade oder entsprechend der Streckenkrümmung ausgestaltet werden. Es zeigt sich, dass die zweite Variante überzeugender wirkt. Der Haltepunkt, welcher sich innerhalb einer Kurve befinden, kann optimal wiedergegeben werden. Eine gerade Signatur an einer solchen Stelle wirkt relativ statisch, schneidet die Kurve ab und kann daher der Situation nicht gerecht werden. Weiter stellt sich die Frage, ob die Signaturen eine vordefinierte oder eine variable Länge aufweisen sollen. Die zweite Variante wird gewählt, da mit dieser die auf dem Orthophoto sichtbaren unterschiedlichen Grössen von Bahnhof und Haltepunkt unterstützend visualisiert werden können. Die Länge der Signaturen soll sich an Perrondächern bzw. Bahnhofshallen orientieren oder, wo solche fehlen, am Aufnahmegebäude.

Erstellung und Anwendung der Stile «Bahnhof» und «Haltepunkt»

Um den Bahnhof und Haltepunkt einfach und effizient erstellen zu können, wird in Illustrator ein neuer Stil «Bahnhof» bzw. «Haltepunkt» angelegt. Die beiden Stile bestehen aus zwei übereinanderliegenden Konturen. Die untere Kontur stellt die Flächenfüllung der Signaturen dar. Sie ist als weisse, 0,64 mm breite Linie mit abgerundeten (Bahnhof) bzw. abgeflachten Linienenden (Haltepunkt) definiert. Die obere Kontur dient als Umrahmungslinie, welche die Signatur nach aussen abschliesst. Ihre Strichstärke beträgt 0,08 mm und sie erhält die Farbe der Eisenbahnlinien. Um den Umrahmungseffekt erzielen zu können, muss die Kontur nach aussen verschoben werden (*Effekt > Pfad > Pfad verschieben*). Dabei gelangen folgende Einstellungen zur Anwendung:

- *Verschiebung*: 0,36 mm
- *Linienenden*: Abgerundete Ecke (Bahnhof) bzw. Gehrung (Haltepunkt)
- *Gehrungsgrenze*: 4

Um den Bahnhof bzw. Haltepunkt in der Orthophotokarte erstellen zu können, wird das Bahnlinien-Vektorstück aus dem Bahnhofsbereich kopiert und auf die entsprechende Ebene verschoben. Anschliessend wird das gewünschte Teilstück herausgetrennt, die überflüssigen Vektoren gelöscht, und der Stil «Bahnhof» bzw. «Haltepunkt» angewendet.

11.4 Strassen und Wege

11.4.1 Erkennbarkeit

Landeskarte 1:25 000 unterscheidet neun Strassen- und Wegeklassen

In der Landeskarte 1:25 000 werden neun Strassen- und Wegeklassen unterschieden: Autobahn (richtungsgetrennt); Autostrasse (nicht richtungsgetrennt); 1. Klass-Strasse; 2. Klass-Strasse; Quartierstrasse; 3. Klass-Strasse; Fahrweg (4. Klass); Feld-, Wald-, Veloweg (5. Klass); Fussweg (6. Klass). Daneben werden noch Wegspuren, Parkwege, Panzerpisten sowie historische Strassen differenziert (Bundesamt für Landestopographie, 2001c:1). Diese Einteilung basiert in erster Linie auf der Strassenbreite sowie auf den für einen bestimmten Strassentyp vorgesehen Verkehrsmitteln (z. B. Autobahn,

Veloweg). Im Testgebiet «Olten» kommen die Strassenklassen 1 bis 6 sowie die Klasse «Parkweg» vor. Autobahnen und -strassen, Wegspuren, Panzerpisten und historische Strassen finden sich im Testgebiet nicht. Auch sind keine Niveauübergänge, Strassentunnels und Galerien vorhanden.

Strassen und Wege stellen einen problematischen Bereich im Orthophoto dar, da sie eine sehr wichtige Information darstellen, ihre Erkennbarkeit auf dem Orthophoto aber stark variiert. Sehr gut sichtbar sind Strassen und Wege im offenen Feld. Sogar Fusswege sind in solcher Umgebung noch deutlich zu erkennen. In Wäldern sind Strassen und Wege gut sichtbar, wenn sie im Bereich von Rodungen verlaufen. Ansonsten können sie bestenfalls noch durch ein schattiges «Tal» im Kronendach erahnt werden. Gleiches gilt für Strassen und Wege, welche sich neben bzw. zwischen Baumreihen befinden. Diese decken die Strassen und Wege entweder vollständig zu oder deuten sie ebenfalls durch ein «Tal» an. Im Siedlungsgebiet ist die Erkennbarkeit im allgemeinen recht gut. Einschränkend wirken hier Schlagschatten und Bäume. Im Orthophoto wird – bei guter Einsicht – die Strassenbreite massstäblich wiedergegeben. Eine Unterscheidung der einzelnen Strassen- und Wegeklassen ist aber auch unter besten Bedingungen nur beschränkt möglich. Beim Vorhandensein von Baumkronen und Schlagschatten wird eine Unterscheidung unmöglich. So ist es beispielsweise möglich, dass ein optimal einsehbarer Fahrweg und eine durch Baumkronen in ihrer Grösse verringerte 1. Klass-Strasse aufgrund ihrer auf dem Orthophoto sichtbaren Breite fälschlicherweise der gleichen Klasse zugeordnet werden.

Bei den Strassenbrücken verhält es sich analog zu den Eisenbahnbrücken. Strassenbrücken sind – bei der im Testgebiet gegebenen Flussbreite – durch den starken Kontrast zwischen Fluss- und Strassenbelagsfarbe sehr gut erkennbar. Die vorhandenen Brückenpfeiler ragen nicht über die Brücken hinaus und bleiben daher unsichtbar. Eine Unterscheidung zwischen den offenen und der gedeckten Brücke kann aufgrund der Objektfarbe und sichtbaren bzw. nicht sichtbaren Fahrzeugen vorgenommen werden. Brücken, welchen den kleineren Flusslauf oder einen Bach überqueren, sind schlecht bzw. nicht wahrnehmbar. Beim Aufeinandertreffen von Strassen kann keine Aussage darüber gemacht werden, ob es sich um eine Kreuzung, eine Unter- bzw. eine Überführung handelt. Treffen Strasse und mehrspurige Eisenbahnlinie aufeinander, so ist die Art der Kreuzung (Unter- bzw. Überführung) durch die unterschiedlichen Farbtöne von Bahnlinie und Strasse relativ gut feststellbar. Aussagen zu Kreuzungen von Strassen mit einspurigen Bahnlinien und zu Niveauübergängen können aufgrund ihres Fehlens im Testgebiet keine gemacht werden.

Erkennbarkeit von Strassen und Wegen variiert stark

Strassenbrücken, Kreuzungen, Unterführungen, Überführungen

11.4.2 Zu überlagernde Objekte

Wie oben beschrieben, sind Strassen und Wege unterschiedlich gut auf dem Orthophoto erkennbar. Damit diese überall gut lesbar sind, und eine Zuordnung zu einer bestimmten Klasse vorgenommen werden kann, ist eine Überlagerung mit konventionellen Kartenelementen unerlässlich. Da es sich bei Strassen und Wegen um eine Information handelt, welche für unterschiedlichste Kartenbenützer (z. B. Wanderer, Autofahrer) sehr wichtig ist, sollen nicht nur bestimmte (z. B. 1. bis 3. Klass-Strassen), sondern sämtliche Klassen mit Vektorelementen überlagert werden. Eine nur teilweise Überlagerung der Strassen und Wege, beispielsweise dort, wo diese gänzlich unsichtbar oder schlecht lesbar sind, ist nicht empfehlenswert. Dies würde zu einem sehr uneinheitlichen Strassen- und Wegenetz führen, und die For-

Überlagerung sämtlicher Strassen- und Wegeklassen mit Vektorelementen

Visualisierung von Unterführungen und Überführungen

derung, dass Gleiches gleich dargestellt werden soll, könnte nicht erfüllt werden. Auch wäre eine eindeutige Klassenzuordnung nur in den überlagerten Bereichen möglich.

Wie bei den Eisenbahnbrücken ist auch bei den Brücken des Strassen- und Wegenetzes das Einzeichnen einer speziellen Signatur nicht notwendig. Grössere Brücken sind deutlich sichtbar, kleinere werden durch den Kartenkontext erkennbar. Unter- bzw. Überführungen, bei welchen sich zwei Strassenzüge kreuzen, sollten durch den Einsatz konventioneller Kartenelemente sichtbar gemacht werden. Unter- bzw. Überführungen, welche eine Kreuzungssituation von Eisenbahn und Strasse darstellen, benötigen an und für sich keine spezielle Bearbeitung. Sie sind aber automatisch von der Überlagerung des Strassen- und Wegenetzes ebenfalls betroffen.

11.4.3 Gestaltungsvorgänge

Ergänzen, Verdeutlichen, Klassifizieren

Der Einsatz konventioneller kartographischer Elemente bei der Objektgruppe «Strassen und Wege» kann – analog zu den Bahnen – den Gestaltungsvorgängen «Ergänzen», «Verdeutlichen» und «Klassifizieren» zugeordnet werden. Zum Bereich «Ergänzen» gehört das Einzeichnen von gänzlich unsichtbaren Strassen und Wegen, beispielsweise in Waldgebieten, sowie das Sichtbarmachen von Unter- bzw. Überführungen. Das Hervorheben von Strassen und Wegen, welche aufgrund von Schlagschatten oder Baumkronen nicht optimal lesbar sind, kann dem Bereich «Verdeutlichen» zugeordnet werden. Schliesslich werden die verschiedenen Strassen- und Wegekassen durch den Gestaltungsvorgang «Klassifizieren» eindeutig voneinander unterscheidbar.

11.4.4 Gestaltungsablauf

Anpassung der Vektordaten

Die einzelnen Strassen- und Wegekassen aus dem VECTOR25-Datensatz wurden bereits im Zuge der Vorverarbeitung jeweils auf einer Illustrator-Ebene abgelegt und in Bézierkurven umgewandelt (siehe Kapitel 10.2.3). Beim Vergleich der PK25-Farbebene «Situation» und den VECTOR25-Daten zeigt es sich, dass einige Vektoren falsch klassiert wurden. Diese werden daher als erstes auf die richtige Ebene verschoben. Da der Verlauf der Strassen und Wege des VECTOR25-Datensatzes infolge der Generalisierung häufig von der auf dem Orthophoto abgebildeten realen Situation leicht abweicht, werden die Vektoren in einem nächsten Schritt auf das Orthophoto angepasst. Sind Strassen und Wege auf dem Orthophoto in bestimmten Bereichen nicht sichtbar (z. B. Waldgebiete), werden die Vektoren auf Übereinstimmung mit der PK25 überprüft und bei Bedarf überarbeitet. Anschliessend erfolgt die Ausgestaltung der Strassen und Wege sowie der Unter- bzw. Überführungen, worauf in den nächsten drei Kapiteln ausführlich eingegangen wird.

11.4.4.1 Strassen. 1. bis 3. Klass-Strassen sowie Quartierstrassen können in der topographischen Orthophoto-Musterkarte durch Einsatz der kartographischen Gestaltungsmittel «Linie» oder «Lineare Signatur» visualisiert werden. Bei Linien stehen die graphischen Variablen «Farbe» (Farbton) und «Grösse» (Strichstärke) zur Verfügung. Bei linearen Signaturen ist zudem die Variable «Füllung» vorhanden, welche bei Strassen in Form einer unterbrochenen Linie oder einer Linie mit Kontur ausgeprägt sein kann. Unterbrochene Linien sind jedoch nur zur Darstellung von Wegen denkbar. Die Beschaffenheit und Bedeutung von Strassen kann durch strichlierte Linien

nicht angemessen zum Ausdruck gebracht werden. Die Lesbarkeit und Differenzierung der einzelnen Strassenklassen ist abhängig von der Ausprägung der graphischen Variablen «Farbe», «Grösse» und «Füllung».

Linien passen durch das Fehlen einer harten Abgrenzung in Form einer Kontur sehr gut zum Charakter eines Orthophotos, da sich bei diesem die abgebildeten Objekte meist nicht sehr scharf voneinander abgrenzen. Auch sind sie – bei geeigneter Farbwahl – mehrheitlich gut sichtbar. Weiter benötigen sie durch das Fehlen einer Kontur wenig Platz. Für die Darstellung von Strassen weisen konturlose Linien jedoch folgende gewichtigen Nachteile gegenüber Linien mit Kontur auf:

- Starke Einschränkung bei der unterschiedlichen Ausgestaltung von Strassen und Wegen, da die Differenzierungsmöglichkeit «Kontur» entfällt.
- Bestimmte Farben wie beispielsweise weiss können nicht eingesetzt werden, da diese ohne Kontur in bestimmten Bildteilen ins Orthophoto «eintauchen» und somit unsichtbar werden.
- Durch das Fehlen einer Kontur ergeben sich Probleme bei der Visualisierung von Unter- bzw. Überführungen.
- Strassen werden üblicherweise mit einer Kontur dargestellt. Eine konturlose Darstellung bedeutet eine für die Kartenbenutzerin ungewohnte Darstellungsweise.

Aus diesen Gründen drängt sich eine Darstellung der Strassen mittels linearer Signaturen (Linie mit Kontur) auf. Aus Gründen der Lesbarkeit und aus herstellungstechnischen Überlegungen werden für die Kontur keine unterbrochenen, sondern nur durchgezogene Linien verwendet.

Als Füllungsfarbe für die Strassen bieten sich helle Farben an, da diese einen guten Kontrast zum meist dunklen Orthophoto bilden, den natürlichen Gegebenheiten und der gewohnten Visualisierung am ehesten entsprechen. Geeignete und gut lesbare Farben sind weiss, gelb, orange und hellrot. Andere Farbtöne kommen nicht in Frage, da diese für weitere Elemente reserviert sind (z. B. blau für Gewässer), sich zu wenig deutlich vom Untergrund abheben (grün) oder als unpassend für die Objektart erachtet werden (violett). Um die Strassenklassen problemlos identifizieren zu können, ist es sinnvoll, diese nicht nur mit unterschiedlichen Strichstärken, sondern auch mit unterschiedlichen Farbtönen auszugestalten. Die Bedeutung der einzelnen Strassen wird farblich ausgedrückt, indem eine Abstufung vom im Testgebiet nicht benötigten hellrot (Autobahn, Autostrasse) über orange (1. Klass-Strasse), gelb (2. Klass-Strasse) bis weiss (Quartierstrasse, 3. Klass-Strasse) erfolgt. Die entsprechenden CMYK-Prozentwerte können Tab. 2 entnommen werden. Als Konturfarbe kommt nur schwarz in Frage, da diese Farbe einen sehr guten Kontrast zu den verschiedenen Füllungsfarben bildet und der gewohnten Darstellungsweise entspricht. Der Einsatz von Transparenz ist bei einem linearen Element wie den Strassen nicht sinnvoll. Bei einer solchen Ausgestaltung würden die Strassen gerade in denjenigen Bereichen, in welchen sie auf dem Orthophoto schlecht oder nicht sichtbar sind, eine ungenügende Lesbarkeit aufweisen.

Lineare Signaturen (Linie mit Kontur) für Strassendarstellung am besten geeignet

Unterschiedliche Füllungsfarben für die einzelnen Strassenklassen

Strassenklasse	Farbton	Cyan	Magenta	Yellow	Black
Autobahn, Autostrasse	Hellrot	0%	85%	80%	0%
1. Klass-Strasse	Orange	0%	50%	100%	0%
2. Klass-Strasse	Gelb	0%	0%	100%	0%
Quartierstrasse, 3. Klass-Strasse	Weiss	0%	0%	0%	0%

Tab. 2 Füllungsfarben der einzelnen Strassenklassen mit ihren CMYK-Prozentwerten.

Strichstärken von Strassenkontur und -füllung

Damit die schwarzen Strassenkonturen genügend deutlich erkennbar sind, erfolgt deren Erstellung mit einer Strichstärke von 0,12 mm. Um die Konturen generieren zu können, werden die Linien mit der Farbe der entsprechenden Strassenklasse mit einer schwarzen Linie unterlegt. Damit eine Kontur mit obigem Wert resultiert, muss diese immer 0,24 mm breiter als die darüberliegende Linie sein. Die Erstellung von Konturen, welche jeweils auf der linken Seite eine von der rechten Seite abweichende Strichstärke aufweisen, ist nicht nötig und wäre nur mit grossem Aufwand realisierbar. Bei der Wahl der Strichstärke für die Strassenfüllung müssen einerseits die reale Strassenbreite, die Lesbarkeit der Strassensignatur in der Orthophotokarte sowie die Abstufung einer Strassensignatur gegenüber derjenigen einer anderen Strassenklasse berücksichtigt werden. Die Angaben zu den minimalen realen Strassenbreiten können der Zeichenerklärung zu den Landeskarten der Schweiz entnommen werden (Bundesamt für Landestopographie, 2001c:1). Tab. 3 zeigt, welche Werte die Strichstärken der Strassenfüllungen annehmen, wenn diese den massstäblich verkleinerten minimalen realen Strassenbreiten entsprechen. Wie Tafel 8 zeigt, sind diese Werte ungeeignet, da die Klassen 2 und 3 sowie die Quartierstrassen nicht genügend gut lesbar sind. Auch ist es unpassend, dass die vier Strassenklassen gegenüber den Wegen entweder eine geringere bzw. nur wenig erhöhte Strichstärke aufweisen (siehe Kapitel 11.4.4.2). Daher müssen höhere Strichstärkenwerte gewählt werden. Um in der Orthophotokarte ein gut sichtbares Strassennetz zu erhalten, sollte für die Strassenfüllungen eine minimale Strichstärke von 0,4 mm nicht unterschritten werden. Für eine deutliche Abstufung der Strassenklassen erweist sich ein Wert von 0,12 mm als geeignet. Damit die Breite der Strassensignaturen nicht zu stark von den Verhältnissen auf dem Orthophoto abweicht, werden nur zwei unterschiedliche Strichstärken eingesetzt. Die 1. bzw. 2. Klass-Strassen und die Quartierstrassen bzw. 3. Klass-Strassen erhalten jeweils eine identische Strichstärke. Eine solche Beschränkung auf zwei Strassenbreiten kann vorgenommen werden, da sich die Strassenklassen bereits durch die Farbgebung deutlich voneinander unterscheiden. Entsprechend obigen Werten kommt bei den 1. und 2. Klass-Strassen eine Strichstärke von 0,52 mm, bei den Quartierstrassen und 3. Klass-Strassen eine solche von 0,4 mm zum Einsatz. Letztere beiden Klassen sind somit sowohl bezüglich Strichstärke als auch bezüglich Farbe identisch. Eine Differenzierung dieser Strassenarten ist jedoch nicht zwingend erforderlich, da ihre Bedeutung vergleichbar ist. Sie werden deshalb in der Klasse «Quartierstrasse, 3. Klass-Strasse (mind. 2,8 m breit)» zusammengefasst. Tafel 9 zeigt die Strassendarstellung, welche mit den optimierten Strichstärkewerten für die Strassenfüllungen realisiert wurde.

Strassenklasse	Reale Strassenbreite	Massstäbliche Strichstärke	Optimierte Strichstärke
1. Klass-Strasse	mindestens 6 m	0,375 mm	0,52 mm
2. Klass-Strasse	mindestens 4 m	0,25 mm	0,52 mm
Quartierstrasse	mindestens 4 m	0,25 mm	0,4 mm
3. Klass-Strasse	mindestens 2,8 m	0,175 mm	0,4 mm

Tab. 3 Minimale reale Strassenbreiten (1. bis 3. Klass-Strassen und Quartierstrassen), den Strassenbreiten entsprechende Strichstärken im Massstab 1:16 000 sowie die auf Lesbarkeit optimierten Strichstärken. Die Strichstärkeangaben beziehen sich auf die Strassenfüllung.

11.4.4.2 Wege. Für die Visualisierung der Wege (Klassen 4 bis 6, Parkweg) bieten sich die gleichen kartographischen Gestaltungsmittel («Linie» und «Linienare Signatur») wie bei den Strassen an. Um eine unangemessen starke Be-

tonung der Wege zu vermeiden, sollten die linearen Signaturen jedoch nur in Form einer unterbrochenen Linie und nicht als Linie mit Kontur ausgestaltet werden. Die Beschaffenheit und Bedeutung von Wegen kann grundsätzlich mit einer Abstufung, welche mit einer durchgezogenen Linie beginnt und von unterbrochenen Linien mit immer kürzeren Liniensegmenten gefolgt wird, optimal dargestellt werden. Unterbrochene Linien stellen jedoch in der Computerkartographie ein grosses Problem dar. Die Lücken liegen häufig an ungünstigen Orten, beispielsweise dort, wo mehrere Linien aufeinandertreffen, oder gezackt verlaufende Linien ihre Richtung ändern. Eine interaktive Überarbeitung all dieser Problemstellen wäre nur mit einem unverhältnismässig grossen Aufwand möglich. Die meisten Liniensegmente könnten nicht mehr automatisch erstellt werden, sondern ein manuelles Einzeichnen wäre erforderlich. Beim Einsatz von strichlierten Linien in Orthophotokarten ergeben sich noch weitere Probleme. So werden bei gestrichelten Linien in hellen Farben die Lücken auf den ebenfalls hellen Wegen unsichtbar, wodurch der Eindruck einer durchgezogenen Linie entsteht. Im Siedlungsgebiet tauchen solche Linien ins Orthophoto ein, da sie dem durch die Häuser hervorgerufenen Bildmuster sehr ähnlich sind. In Waldgebieten sieht die Situation aufgrund des höheren Kontrastes zum Untergrund entsprechend besser aus. Unterbrochene Linien in dunklen Farben sind für helle Wege besser geeignet, erweisen sich aber in Waldgebieten und beschatteten Bereichen als problematisch. Die Lesbarkeit von unterbrochenen Linien kann durch Unterlegen einer schwarzen bzw. weissen durchgezogenen transparenten Linie, welche eine Erhöhung des Kontrastes zur Folge hat, etwas verbessert werden. Da aber unterbrochene Linien insgesamt keine befriedigende Lösung darstellen, sollen die Wege mittels durchgezogener Linien visualisiert werden.

Bei Linien kann eine Unterscheidung einzelner Wegeklassen über die Variable «Grösse» (Strichstärke) oder die Variable «Farbe» (Farbton) vorgenommen werden. Wird die Strichstärke variiert, ist zu beachten, dass auch die in der Abstufung am Schluss liegenden Fusswege (6. Klasse) und Parkwege gut lesbar sind. Sie sollten daher mit einer minimalen Strichstärke von 0,32 mm dargestellt werden. Um eine deutliche Abstufung zu erreichen, müssen die sich am Anfang der Abstufung befindlichen Fahrwege (4. Klasse) im Verhältnis zu den realen Gegebenheiten und den Strassensignaturen viel zu breit visualisiert werden. Aus diesem Grund ist es sinnvoller, eine Differenzierung der einzelnen Klassen über den Farbton vorzunehmen, und sämtliche Wege mit einer einheitlichen Strichstärke von 0,32 mm auszugestalten. Es eignen sich diejenigen Farbtöne, welche auch bei den Strassen als Füllungsfarbe eingesetzt werden. Wie im vorangehenden Kapitel ausgeführt, ist einzig der Farbton weiss ungeeignet, da eine Linie in dieser Farbe in bestimmten Bereichen zu stark ins Orthophoto eintaucht. Die Wege werden entsprechend ihrer Bedeutung hellrot (4. Klasse), orange (5. Klasse) und gelb (6. Klasse, Parkweg) eingefärbt (siehe Tafel 10). Die CMYK-Prozentwerte können Tab. 4 entnommen werden. Wie bei den Strassen ist auch bei den Wegen eine transparente Darstellung nicht sinnvoll.

Wegekassen werden über Farbton differenziert

Wegekategorie	Farbton	Cyan	Magenta	Yellow	Black
Fahrweg (4. Klasse)	Hellrot	0%	85%	80%	0%
Feld-, Wald-, Veloweg (5. Klasse)	Orange	0%	50%	100%	0%
Fussweg (6. Klasse), Parkweg	Gelb	0%	0%	100%	0%

Tab. 4 Linienfarben der einzelnen Wegekassen mit ihren CMYK-Prozentwerten.

Visualisierung der Kreuzungssituation von Strasse und Bahnlinie (unterschiedliches Niveau)

11.4.4.3 Kreuzungen, Unterführungen, Überführungen. Kreuzungen von Strassen mit anderen Strassen bzw. Wegen sowie Wegkreuzungen werden in der topographischen Orthophoto-Musterkarte in derselben Art wie in Strichkarten gestaltet. Die im Testgebiet vorkommenden Strassenunterführungen bzw. -überführungen können ebenfalls wie in Strichkarten gehandhabt werden. Führt eine Strasse unter bzw. über einer anderen Strasse hindurch, so kann dies in der Orthophotokarte durch Anordnung der einen Strassensignatur unter- bzw. oberhalb der anderen dargestellt werden.

Überquert eine Strasse auf höherem Niveau eine Bahnlinie, wird diese Situation – analog zu Strichkarten – durch Überlagerung der eingezeichneten bzw. auf dem Orthophoto abgebildeten Bahnlinie mit der Strassensignatur visualisiert. Führt eine Strasse unter einer Eisenbahnlinie hindurch, so wird die Strasse im Bereich der Kreuzung ausgespart. Die gewählte Eisenbahnliniensignatur beansprucht bei mehrspurigen Bahnlinien nicht den gesamten Platz, welcher von diesen im Orthophoto eingenommen wird. Indem die Strassensignatur nicht direkt an die Eisenbahnliniensignatur anschliesst, kann der auf dem Orthophoto abgebildeten realen Unterführungssituation optimal Rechnung getragen werden. Gerade beim Unterqueren von mehr als zwei Gleissträngen (z. B. im Bahnhofsbereich), welche in der Orthophotokarte nur durch ein Gleis symbolisiert werden, können Darstellungsprobleme vermieden werden. Ohne Aussparung des gesamten Gleisbereichs würde eine Strasse für die auf dem Orthophoto sichtbaren und nicht durch eine Bahnlinie in Vektorform überlagerten Gleise eine Überführung darstellen. Bei der Gestaltung der Unterführungen gilt es zu beachten, dass die beiden Enden der Strassensignatur (Beginn und Ende der Unterführung) nicht generell im rechten Winkel zur Strassenrichtung, sondern in etwa parallel zu den Bahngleisen verlaufen. Wird ein bei einer Unterführung nicht mehr benötigtes Strassenvektorstück nur abgetrennt und gelöscht, so erhält man – je nach Kreuzungswinkel zwischen Gleisen und Strasse – eine dieser Forderung noch nicht entsprechende Lösung. Daher sollte man die Vektoren von Strassenfüllung und -kontur in einiger Entfernung von Beginn und Ende der Unterführung auftrennen, und die erhaltenen Teilstücke in Flächen umwandeln. Diese werden anschließend im gewünschten Winkel durchgetrennt. Die nicht mehr benötigten Flächen im Bereich der Unterführung können nun gelöscht werden. Tafel 10 zeigt die derart gestalteten Unterführungen.

Nicht behandelte Kreuzungssituationen

Im Zusammenhang mit Kreuzungen, Unter- und Überführungen müsste auch noch die Visualisierung von Niveauübergängen und deren Abgrenzung von Unterführungen besprochen werden. Auch die Darstellung von Wegen, welche eine Strasse (z. B. Autobahn) unterqueren, wäre zu behandeln. Da solche Situationen im Testgebiet nicht vorkommen, wird hier auf diese Problematik nicht weiter eingegangen.

11.5 Gewässer

11.5.1 Erkennbarkeit

Gewässerobjekte des Testgebietes

In der Zeichenerklärung zur LK25 werden im Abschnitt «Gewässer» neben den eigentlichen Gewässerobjekten wie Flüssen und Seen auch solche Objekte aufgeführt, welche einen mehr oder weniger direkten Bezug zu diesen aufweisen. Dazu gehören beispielsweise Reservoirs, Elektrizitätswerke und Hochspannungsleitungen (Bundesamt für Landestopographie, 2001c:4). Von den möglichen Gewässerobjekten kommen im Testgebiet drei Bäche,

ein grosser und ein kleiner Fluss, zwei kleine Seen, ein öffentliches Schwimmbad, ein Reservoir, zwei Elektrizitätswerke mit Schaltstation und eine Hochspannungsleitung mit drei Masten vor.

Die Bäche sind sowohl im Wald, im offenen Feld als auch im Siedlungsgebiet nicht sichtbar. Sie können allenfalls indirekt, durch die ihrem Verlauf folgenden Hecken- bzw. Baumbestände, erahnt werden. Die Aare als grösstes Gewässer des Testgebietes ist sehr gut erkennbar. Durch die wenig strukturierte Fläche und den blaugrünen Farbton hebt sie sich gut von der eher unruhigen Umgebung ab. Im Gegensatz zur LK25 sind auf dem Orthophoto un tiefe Stellen innerhalb des Flusses und Sandbänke sichtbar. Die Dünnern, ein kleinerer Fluss, welcher in die Aare mündet, ist schlecht bzw. grösstenteils nicht als solcher erkennbar. Dieser Fluss wird entweder von Bäumen bzw. Schlagschatten verdeckt oder unterscheidet sich im Siedlungsgebiet nicht genügend gut von den Strassenzügen. Der grössere der beiden Seen, ein Baggersee in einem Industrieareal, ist als solcher wahrnehmbar. Der kleinere See weist sehr helle breite Randbereiche auf, und kann daher nicht von einer Sand- oder Kiesfläche unterschieden werden.

Das öffentliche Schwimmbad im Stadtzentrum tritt durch den blauen Farbton des Wassers und die umliegenden Liegewiesen relativ deutlich hervor. Das Reservoir ist infolge der geringen Grösse und des Fehlens besonderer Merkmale nicht erkennbar. Ähnliches gilt für die Elektrizitätswerke. Diese weisen zwar eine genügend grosse Ausdehnung auf, unterscheiden sich aber nicht speziell von anderen Bauwerken des Siedlungsgebietes. Ein kurzes Teilstück der Hochspannungsleitung ist im Bereich eines Waldes anhand einer Schneise und durch sehr feine Drähte wahrnehmbar, der restliche Verlauf kann nicht ausgemacht werden. Anhand von Schlagschatten könnte auf die Position der Leitungsmasten geschlossen werden. Die Schattenwürfe sind aber zu wenig deutlich und können beispielsweise nicht von Feldstrukturen unterschieden werden. Die Masten bleiben daher unsichtbar.

Bäche, Flüsse, Seen

*Öffentliches Schwimmbad, Reservoir,
Elektrizitätswerke, Hochspannungsleitung,
Leitungsmasten*

11.5.2 Zu überlagernde Objekte

11.5.2.1 Punktobjekte. Das im Testgebiet vorkommende Reservoir und die beiden Elektrizitätswerke mit Schaltstation gehören zu den punktförmigen Objekten. Da ein Erkennen bzw. genaues Identifizieren dieser Objekte nicht möglich ist, solche Bauten für eine Orientierung im Gelände aber nützlich sein können, sollte deren Visualisierung durch eine Überlagerung mit konventionellen kartographischen Elementen erfolgen. Beim öffentlichen Schwimmbad ist das Überlagern nicht zwingend erforderlich, könnte die Lesbarkeit jedoch weiter steigern.

11.5.2.2 Lineare Objekte. Zu den linearen Objekten zählen die Bäche, der kleinere Fluss sowie die Hochspannungsleitung. Bei den ersten beiden Objekten handelt es sich um wichtige Landschaftselemente, welche auf dem Orthophoto nicht sichtbar sind. Sie sollten daher mittels konventioneller kartographischer Elemente visualisiert werden. Für die meisten Kartenbenutzer dürften Hochspannungsleitungen von untergeordneter Bedeutung sein, sie können allenfalls die Orientierung im Gelände erleichtern. Diejenigen Nutzergruppen, für welche eine Hochspannungsleitung eine sehr wichtige Information darstellt (z. B. Fliegerei), verfügen über spezialisierte Kartenwerke. Eine Überlagerung ist daher nicht zwingend, jedoch wünschenswert. Erfolgt eine solche, ist es sicher sinnvoll, die Leitungsmasten ebenfalls zu visualisieren.

11.5.2.3 Flächige Objekte. Die flächigen Objekte umfassen die Seen und den grossen Flusslauf. Zumindest der ungenügend erkennbare See sollte durch Einsatz von konventionellen Kartenelementen visualisiert werden. Beim gut sichtbaren See ist dies grundsätzlich nicht nötig, ein Überlagern sollte aber konsequenterweise ebenfalls erfolgen. Ähnlich verhält es sich bei der Aare. Vom Standpunkt der Erkennbarkeit aus kann auf eine Überlagerung verzichtet werden. Um jedoch auch bei den Wasserflächen den Grundsatz, dass Gleiches gleich dargestellt werden soll, erfüllen zu können, sollte eine Überlagerung der Aare vorgenommen werden. Dadurch lassen sich auch die nach der Bearbeitung der Bäche bzw. des kleinen Flusses graphisch unbefriedigende Stellen im Übergangsbereich zur Aare etwas optimaler gestalten (siehe unten).

11.5.3 Gestaltungsvorgänge

Ergänzen, Erläutern, Verdeutlichen

Bei der Visualisierung der Gewässer gelangen die Gestaltungsvorgänge «Ergänzen», «Erläutern» und «Verdeutlichen» zur Anwendung. Ergänzt werden das Reservoir, die Bäche und die Hochspannungsleitung mit Masten. Das öffentliche Schwimmbad erfährt eine Erläuterung durch Hinzufügen eines Schriftzuges. Verdeutlicht werden die Elektrizitätswerke mit Schaltstation sowie die beiden Seen und Flüsse.

11.5.4 Gestaltungsablauf

11.5.4.1 Punktobjekte. Für die Gestaltung des Reservoirs und der Elektrizitätswerke mit Schaltstation bieten sich bildhafte oder geometrische lokale Signaturen an. Letztere eignen sich zur Darstellung des Reservoirs. Dieses wird durch ein in der Farbe der Bäche ausgefülltes und mit einer schwarzen Kontur versehenes Quadrat mit einer Seitenlänge von 1,5 mm visualisiert. Die Elektrizitätswerke können durch eine symbolhafte Signatur verdeutlicht werden. Das Zeichen für elektrische Spannung, ein nach unten gerichteter schwarzer Blitz, erweist sich dabei als geeignet. Die weitere Ausgestaltung dieser Signatur erfolgt gemäss den in Kapitel 11.7.4 aufgestellten Richtlinien. Das Zeichen für elektrische Spannung wird demzufolge mit einem gelben Kästchen hinterlegt (siehe Tafel 12). Die einzelnen Becken des öffentlichen Schwimmbades sind relativ gut sichtbar. Diese stellen gewissermassen eine lokale Signatur in Form eines Grundrissbildes dar, weshalb das Hinzufügen einer weiteren Signatur mittels konventioneller kartographischer Elemente nicht optimal ist. Besser ist der Einsatz eines Schriftzuges mit der Bezeichnung «Bad». Diese Lösung hat den Vorteil, dass auch die im Testgebiet nicht vorkommenden Abwasserreinigungsanlagen – diese bestehen ebenfalls aus Wasserbecken – keine spezielle Signatur benötigen, sondern mittels des Schriftzuges «ARA» näher bezeichnet werden können. Die Ausgestaltung der Beschriftung erfolgt analog zu derjenigen der Flüsse, und als Schriftgrösse werden 5.5 Punkt verwendet (siehe Kapitel 14 bzw. Tab. 5 sowie Tafel 22). Die Platzierung der Signaturen bzw. der Beschriftung wird anhand der PK25 bzw. des Orthophotos vorgenommen.

11.5.4.2 Lineare Objekte. Für die Darstellung der Bäche bzw. des schmalen Flusslaufs kommen nur blaue Linien in Frage. Eine lineare Signatur (Linie mit Kontur) wäre zu dominant und würde zu viel Platz beanspruchen. Aufgrund der guten Sichtbarkeit in allen Bildbereichen wird als Linienfarbe reines Cyan verwendet. Um die Bäche gut erkennen zu können, werden diese mit einer Strichstärke von 0,16 mm ausgestaltet. Für kleinere Flüsse können der Situation entsprechend stärkere Linien zum Einsatz gelangen. Die Lini-

enverbreiterung soll in Schritten von 0,16 mm erfolgen. Für die Darstellung der Dünnern eignet sich – aufgrund der auf dem Orthophoto wiedergegebenen Flussbreite – eine Strichstärke von 0,32 mm (siehe Tafel 12).

Die Hochspannungsleitung kann ebenfalls mittels einer Linie, oder als lineare Signatur in Form einer unterbrochenen Linie visualisiert werden. Wie Kapitel 11.4.4.2 gezeigt hat, sind unterbrochene Linien aus verschiedenen Gründen als Darstellungsmittel in Orthophotokarten ungeeignet. Daher erfolgt die Visualisierung der Hochspannungsleitung mittels einer durchgezogenen Linie. Als Farbe bietet sich violett (C: 60%, M: 100%, Y: 0%, K: 0%) an. Diese Farbe wird für keine anderen Elemente verwendet, hebt sich relativ gut vom Orthophoto ab und stellt durch ihren Blauanteil den Bezug zu den Gewässerobjekten her. Die Strichstärke soll so gewählt werden, dass einerseits ein problemloses Lesen möglich ist, das Orthophoto andererseits aber möglichst wenig belastet wird. Ein Wert von 0,16 mm erweist sich als günstig. Für die Darstellung der Leitungsmasten eignet sich ein mit der Farbe der Hochspannungsleitungen gefüllter Kreis mit Durchmesser 0,75 mm (siehe Tafel 12).

Das manuelle Digitalisieren der Bäche und der Dünnern erfolgt anhand der PK25. Anschliessend werden noch geringe Anpassungen ans Orthophoto vorgenommen. Die Bäche werden dort, wo sie über längere Strecken unterirdisch verlaufen, nicht eingezeichnet. Bei Brücken erfolgt keine Aussparung, da eine visuelle Auftrennung durch die Überlagerung der Signaturen für Strassen und Wege erfolgt. Bei der Dünnern werden im Bereich von Strassenbrücken ebenfalls keine Aussparungen vorgenommen. Einzig dort, wo eine Eisenbahnlinie über diesen Flusslauf führt, erfolgt ein Auftrennen und Löschen eines kurzen Flusstücks, damit das gesamte Trasse sichtbar bleibt. Um parallel zur Eisenbahnlinie verlaufende Flussenden zu erhalten, wird die gleiche Technik angewendet, welche auch bei Strassen im Bereich von Unterführungen zum Einsatz kam (siehe Kapitel 11.4.4.3).

Die Hochspannungsleitung ist auf dem Orthophoto in der Vergrößerung am Bildschirm über weite Strecken erkennbar. Es zeigt sich, dass sowohl der Verlauf der Hochspannungsleitung als auch die Mastenzahl und -position von der PK25 abweichen. Gewisse Teile des Verlaufs der Hochspannungsleitung – nach dem Eintritt ins Testgebiet und vor dem Verlassen desselben – sind aber auf dem Orthophoto auch in der Vergrößerung nicht sichtbar. Daher wird das Einzeichnen der Hochspannungsleitung und der Leitungsmasten anhand der PK25 vorgenommen.

11.5.4.3 Flächige Objekte. Für die Ausgestaltung der Seen und des grossen Flusslaufes bieten sich opake oder transparente blaue Farbdecker an. Ein opaker Farbdecker in der Farbe der Bäche und des kleinen Flusses hat den Vorteil, dass das Einmünden dieser Gewässer in den grossen Flusslauf optimal dargestellt werden kann. Es besteht kein farblicher Unterschied zwischen den Bächen bzw. der Dünnern und den Seen bzw. der Aare. Dies ist grundsätzlich sinnvoll, da alle diese Elemente der gleichen Objektgruppe angehören. Im Gegensatz zu den kleinen Seen wirkt sich bei grossen Gewässern wie der Aare der starke Kontrast zur Umgebung und das Überdecken von Strukturen innerhalb der Wasserfläche jedoch nachteilig aus. Die Aare wirkt bei dieser Darstellungsart unnatürlich und wird daher als Fremdkörper innerhalb des Orthophotos empfunden (siehe Tafel 11). Erfolgt eine Überlagerung mit einem transparenten Farbdecker, so weicht die Farbe der Wasserfläche zwar etwas von derjenigen der Bäche und der Dünnern ab. Insgesamt ist diese Lösung aber überzeugender, da sich die Aare durch den geringeren Objektkontrast harmonisch ins Gesamtbild einfügt, und das Erkennen von Strukturen innerhalb des Flusses möglich bleibt. Konsequenterweise werden daher auch die Seen in der gleichen Art dargestellt. Die Gestaltung des blauen Farbdeckers (C: 100%, M: 0%, Y: 0%, K: 0%) erfolgt schliesslich

Ausgestaltung der Hochspannungsleitung und der Leitungsmasten

Manuelles Digitalisieren der Bäche und des kleineren Flusslaufs

Einzeichnen der Hochspannungsleitung und der Leitungsmasten anhand der PK25

Erstellung der Farbdecker für Seen und Aare

mit der Transparenzart «Normal» und einer Deckkraft von 10% (siehe Tafel 12). Der Einsatz einer Kontur ist weder sinnvoll noch nötig, da dadurch die harmonische Einbettung des Farbdeckers ins Orthophoto wieder zerstört würde.

Besonders beim grösseren der beiden Seen zeigt sich, dass dessen Uferlinien auf der PK25 relativ stark von denjenigen auf dem Orthophoto abweichen. Daher werden die Seeflächen anhand des Orthophotos digitalisiert. Da die Wasserflächen klein sind, und eine scharfe Abgrenzung zur Umgebung aufweisen, ist der Einsatz von Vektoren für die Flächenbildung angemessen. Benutzt man für die Digitalisierung der Aare die Uferlinien der PK25, so werden Teile der Ufergehölze und der durch diese hervorgerufenen Schlagschatten überlagert. Eine natürlicher wirkende Darstellung ergibt sich, indem der Farbdecker nur diejenigen Bereiche des Flusses umfasst, welche auf dem Orthophoto als blaugrüne Wasserfläche erkennbar sind. Die Ufergehölze und Schlagschatten werden ausgespart. Auch aus diesem Grund ist das Einzeichnen einer Kontur nicht sinnvoll, da eine solche somit beispielsweise die Grenze zwischen Schlagschatten und Farbton des Wassers und nicht zwischen Wasser und Land bezeichnen würde. Da die Bäume und Schatten eine sehr feingliedrige Struktur bilden, gestaltet sich ein Erfassen der gewünschten Fläche mittels Vektoren relativ schwierig. Ein solcher Arbeitsschritt wird mit Vorteil im Bildbearbeitungsprogramm Photoshop durchgeführt. Als Ausgangsmaterial dient das noch nicht geschärfte Orthophoto. Aufgrund von untiefen Stellen variiert die Flussfarbe ziemlich stark und hebt sich nicht sehr deutlich von der Farbe der Ufergehölze ab. Eine automatische Extraktion ist daher schwierig zu realisieren, weshalb die Ausscheidung der Wasserflächen manuell mit den Werkzeugen «Lasso» und «Polygon-Lasso» durchgeführt wird. Die einzelnen Auswahlflächen – beispielsweise ein Abschnitt zwischen zwei Brücken – werden auf einer neuen Ebene schwarz eingefärbt. Sobald sämtliche Teilstücke auf dieser Ebene vorliegen, wird diejenige Ebene, welche das Orthophoto enthält, gelöscht. Damit die Wasserfläche im Programm Illustrator eingefärbt werden kann, erfolgt eine Konvertierung des Bildes vom RGB- über den Graustufen- in den Bitmap-Modus. Bevor der Import des Bildes ins Vektorgraphikprogramm stattfindet, werden noch einzelne Pixel ergänzt, welche innerhalb der Wasserfläche fehlen.

11.6 Bodenbedeckungen

11.6.1 Erkennbarkeit

Zwei Hauptkategorien der Bodenbedeckung

Die LK25 unterscheidet zwei Hauptkategorien der Bodenbedeckung: Waldgebiete und übrige Gebiete. Bei den Waldgebieten wird unterschieden, ob diese einen geschlossenen oder einen lockeren Rand aufweisen. Die Bodenbedeckung der übrigen Gebiete wird – mit Ausnahme der folgenden sieben, Bäume bzw. Sträucher beinhaltenden Kategorien – nicht weiter differenziert: Offener Wald, Einzelbaum bzw. Baumgruppe, Gebüsch, Hecke, Obstgarten, Baumschule und Reben (Bundesamt für Landestopographie, 2001c:3). Im Testgebiet kommen Wald mit geschlossenem Rand und ein sehr kurzes Teilstück mit lockerem Rand, und im Bereich der übrigen Gebiete Einzelbäume bzw. Baumgruppen, Gebüsch, Hecken, Obstgärten und Baumschulen vor.

Bäume wirken sehr anschaulich und plastisch

Im Orthophoto sind die beiden Hauptkategorien Wald und übrige Gebiete sehr gut voneinander unterscheidbar. Eine Aussage zur Differenzierung der Waldränder kann nicht gemacht werden, da das Teilstück mit lockerem Rand dafür zu wenig lang ist. In den übrigen Gebieten heben sich die

Bäume im allgemeinen gut von der Umgebung ab und wirken sehr anschaulich und plastisch. Eine Unterscheidung zwischen Baumgruppen, Gebüsch und Hecken kann nicht vorgenommen werden. Obstgärten lassen sich durch die freistehende, lockere Anordnung der Bäume auf Wiesland von letzteren drei Kategorien relativ gut unterscheiden, jedoch ist eine Abgrenzung zu den Einzelbäumen hin nicht möglich. Baumschulen können nicht als solche erkannt werden, da sie sich nicht von Wiesen unterscheiden.

Im Gegensatz zur LK25 können im Orthophoto die Waldflächen noch weiter unterteilt werden. Rodungsflächen mit ihren geringeren Baum- bzw. Strauchhöhen heben sich durch ihren Farbton und/oder ihre Textur deutlich von den restlichen Baumbeständen ab. Die Rodungsflächen werden oft auch noch durch Schlagschatten der umgebenden Bäume hervorgehoben. Als weiteren Unterschied zur Landeskarte ist bei den übrigen Gebieten die Flureinteilung zu nennen, welche im Orthophoto durch unterschiedliche Farbtöne und/oder Texturen erkennbar ist.

Rodungsflächen und Flureinteilung auf dem Orthophoto erkennbar

11.6.2 Zu überlagernde Objekte

Die Bodenbedeckungen stellen im Orthophoto einen in gestalterischer Hinsicht unproblematischen Bereich dar. Wälder und Felder werden sehr anschaulich und klar abgegrenzt dargestellt und bedürfen daher keiner Überlagerung. Der Einsatz von konventionellen kartographischen Elementen zur Unterscheidung von Baumgruppen, Gebüsch und Hecken ist nicht notwendig, da eine scharfe Abgrenzung dieser Begriffe sowieso schwierig ist. Obstgärten könnten durch Überlagerung mit einer lokalen Signatur von den Einzelbäumen differenzierbar gemacht werden. Dies würde aber zu einer Zerstörung der anschaulichen Darstellungsweise führen. Da Obstgärten im Landwirtschafts- und Siedlungsgebiet sehr häufig vorkommen, würde zudem das Orthophoto mit einem zusätzlichen kartographischen Element stark belastet werden. Die nicht von anderen landwirtschaftlichen Flächen unterscheidbaren und nur spärlich vorkommenden Baumschulen könnten mittels eines konventionellen kartographischen Elementes visualisiert werden. Da aber auf eine Symbolisierung der übrigen baumbestandenen Flächen (z. B. Obstgärten) verzichtet wird, sollen auch die Baumschulen keine Überlagerung erfahren.

Bodenbedeckungen stellen in gestalterischer Hinsicht unproblematischen Bereich dar

11.7 Einzelobjekte

11.7.1 Erkennbarkeit

Unter dem Sammelbegriff «Einzelobjekte» werden die restlichen lokalen, linienhaften und z. T. auch flächenhaften sowie meist kleinräumigen Objekte der Situationsdarstellung zusammengefasst. In der LK25 fallen so unterschiedliche Objekte wie Häuser, Friedhöfe, Rodelbahnen, Golfplätze und Mauern in diese Kategorie (Bundesamt für Landestopographie, 2001c:3). Im Testgebiet kommen folgende Einzelobjekte vor: Haus, Ruine, Lagertank, Schrebergarten, Kirche, Kapelle, Friedhof, Bildstock bzw. Wegkreuz, Hochkamin, Sportplatz, Stadion, Schiessstand, Arealabgrenzung, Mauer. Weiter kommen im Testgebiet noch die Einzelobjekte «Kloster» und «Spital» vor, beides Elemente, welche in der LK25 nur mittels Beschriftung gekennzeichnet werden.

Meist kleinräumige Objekte der Situationsdarstellung

Zur Erkennbarkeit und Überlagerung mit konventionellen Kartenelementen von Häusern und Lagertanks gibt Kapitel 11.2 Auskunft. Die im Testgebiet vorhandenen Ruinen sind auf dem Orthophoto nicht sichtbar.

Erkennbarkeit der Einzelobjekte sehr unterschiedlich

Schrebergärten können durch ihre spezielle Textur klar von anderen Flächen abgegrenzt werden. Kirchen und Kapellen sind als Gebäude wahrnehmbar. Eine Unterscheidung von den restlichen Gebäuden kann höchstens, beim Vorhandensein von Türmen, anhand der durch diese hervorgerufenen Schlagschatten erfolgen, ist aber sehr schwierig. Friedhöfe können – je nach Art der Anlage – nicht von bebauten Flächen, Wiesen oder Baumbeständen unterschieden werden. Das im Testgebiet vorkommende Wegkreuz ist auf dem Orthophoto nicht sichtbar. Gleiches gilt für Hochkamine, bei welchen höchstens Schlagschatten einen Hinweis auf deren Position geben können. Bei Sportplätzen ist die Sichtbarkeit bzw. Unterscheidbarkeit von anderen Flächen sehr unterschiedlich. Handelt es sich um solche mit rotem Belag, so heben sich diese – werden sie nicht beschattet – deutlich von anderen Flächen ab. Bei Rasenplätzen hingegen ist eine Unterscheidung von «gewöhnlichen» Wiesen nicht möglich. Das im Testgebiet vorhandene Stadion ist anhand der rechteckigen Rasenfläche, welche von einer ovalen roten Laufbahn eingerahmt wird, deutlich als solches erkennbar. Der Schiessstand ist als Gebäude wahrnehmbar, es ist jedoch nicht möglich, ihm eine spezielle Bedeutung zuzuweisen. Der Bereich mit den Zielscheiben ist nicht erkennbar. Arealabgrenzungen werden in der LK25 zur Darstellung von Parkplätzen, Schulhausplätzen, Arealen von öffentlichen Schwimmbädern etc. eingesetzt. Auf dem Orthophoto variiert die Wahrnehmbarkeit dieser Objekte je nach Kontext. So können beispielsweise die asphaltierten Schulhausplätze und Parkplätze mehrheitlich gut ausgemacht werden, hingegen ist es nicht möglich, das Schwimmbadareal mit Liegewiesen von einer angrenzenden Rasenfläche zu unterscheiden. Mauern sind auf dem Orthophoto nicht sichtbar. Kloster und Spital sind als Gebäude erkennbar, es kann ihnen aber – analog zu den Kirchen – keine spezielle Bedeutung zugeordnet werden.

11.7.2 Zu überlagernde Objekte

11.7.2.1 Punktobjekte. Folgende im Testgebiet vorkommende Einzelobjekte gehören zur Gruppe der Punktobjekte: Ruine, Kirche, Kapelle, Wegkreuz, Hochkamin, Kloster, Spital. Erstere drei sollen mittels konventioneller kartographischer Elemente überlagert werden. Sie stellen relativ wichtige Informationen dar, sind aber entweder nicht sichtbar oder nicht von ähnlichen Objekten unterscheidbar. Beim Wegkreuz ist ein Einzeichnen vom Informationsgehalt her nicht zwingend. Da sich solche Objekte häufig im offenen Feld befinden, werden durch eine Überlagerung jedoch keine wesentlichen Informationen verdeckt. Eine Überlagerung soll daher erfolgen. Bei den Hochkaminen stellt sich – wie schon bei den Hochspannungsleitungen – die Frage, ob diese Information für mehr als nur einen sehr kleinen Benutzerkreis (z. B. Fliegerei) wichtig ist. Hochkamine befinden sich meist innerhalb von sehr inhomogenen Flächen wie Industriearealen. Um die anschauliche Wirkung dieser Areale nicht zu zerstören, ist bei einer Überlagerung darauf zu achten, dass die ergänzten Kartenelemente möglichst unaufdringlich gestaltet werden. Kloster und Spital sollen analog zu Kirchen und Kapellen durch konventionelle Kartenelemente klar erkennbar gemacht werden.

11.7.2.2 Lineare Objekte. Von den möglichen linearen Objekten sind im Testgebiet ein Schiessstand, Arealabgrenzungen und Mauern zu finden. Bei dem als Schiessstand dienenden und auf dem Orthophoto sichtbaren Gebäude drängt sich – wie bei den oben behandelten Bauwerken – eine Überlagerung auf. Die oftmals sehr kleinräumigen Arealabgrenzungen sollen nicht überlagert werden, um Verwechslungen mit den zahlreichen anderen linearen Kartenelementen wie beispielsweise Wegen zu vermeiden. Hingegen ist

es sinnvoll, bestimmte Areale mittels konventioneller Kartenelemente klar zu bezeichnen. Im Testgebiet soll dies bei den grösseren Parkplätzen geschehen. Bei der Visualisierung von Mauern stellt sich das gleiche Problem hinsichtlich der Darstellung wie bei den Arealabgrenzungen. Da Mauern zudem ein Element von eher untergeordneter Bedeutung sind, kann auf ihre Visualisierung gut verzichtet werden.

11.7.2.3 Flächige Objekte. Flächige Objekte finden sich im Testgebiet in Form von Schrebergärten, Friedhöfen, Sportplätzen und einem Stadion. Wie oben gesehen können Schrebergärten anhand ihrer Textur gut von anderen Objekten unterschieden werden. Da sie in der Regel grössere Flächen einnehmen, sollten sie auch ohne zusätzliche Kartenelemente gut gelesen werden können. Friedhöfe können ein sehr unterschiedliches Aussehen annehmen. Eine Überlagerung ist unumgänglich, wenn diese klar erkennbar sein sollen. Sportplätze mit rotem Belag werden nicht mit zusätzlichen Kartenelementen versehen. Die anschaulich dargestellten und meist kleinflächigen Plätze wäre nach einer Überlagerung mehrheitlich nicht mehr einsehbar. Hingegen ist es sinnvoll, die Rasenplätze durch Einsatz konventioneller Kartenelemente von anderen Wiesen abgrenzbar zu machen. Solche Sportplätze sind flächenmässig meist grösser als Plätze mit rotem Belag und daher für eine Überlagerung besser geeignet. Das Stadion im Testgebiet ist sehr anschaulich dargestellt und benötigt keine Ergänzung durch konventionelle kartographische Elemente. In der Legende soll es mit der Bezeichnung «Stadion, Laufbahn» aufgeführt werden.

11.7.3 Gestaltungsvorgänge

Bei den Einzelobjekten gelangen die Gestaltungsvorgänge «Ergänzen» und «Verdeutlichen» zur Anwendung. Ergänzt werden die Objekte Ruine, Wegkreuz und Hochkamin. Eine Verdeutlichung erfahren die Objekte Kirche, Kapelle, Kloster, Spital, Schiessstand, Arealabgrenzung bzw. Areal, Friedhof und Sportplatz (Rasen).

Ergänzen, Verdeutlichen

11.7.4 Gestaltungsablauf

Für die Visualisierung von Einzelobjekten bieten sich in erster Linie bildhafte oder geometrische lokale Signaturen sowie solche in Form von Buchstaben an. Bei der Ausgestaltung dieser Signaturen stellt sich zuerst die Frage, ob diese mit einem hinterlegten Kästchen versehen werden sollen. Die Signaturen erhalten dadurch einen ruhigen Hintergrund und können somit auch feingliedrig gestaltet werden. Nachteilig wirkt sich der relativ grosse Platzbedarf eines Kästchens und die damit verbundene Verdeckung von Landschaftsobjekten aus. Für eine topographische Orthophotokarte bietet sich folgendes Vorgehen an: Bei bildhaften lokalen Signaturen, welche als Grundrissbilder gestaltet werden, sowie bei geometrischen Signaturen ist der Einsatz eines Kästchens nicht sinnvoll. Um trotzdem gut lesbar zu sein, sollen diese beiden Arten von Signaturen aus einfachen geometrischen Formen aufgebaut werden. Bei bildhaften Signaturen in Form von Aufrissbildern und Symbolen sowie bei Buchstaben ist die Verwendung eines Kästchens hingegen angezeigt, da mit dieser Massnahme die Lesbarkeit der Signaturen und der Gestaltungsspielraum stark erhöht werden können. Für die Signaturen sollen relativ einfache, aussagekräftige Formen gewählt werden. Die Bedeutung sämtlicher Signaturen muss grösstenteils intuitiv erkannt werden können, und das Kartenbild soll durch die Signaturen möglichst wenig zusätzliche Störung erfahren.

Gestaltung der Signaturen mit oder ohne hinterlegtem Kästchen

Gestaltungsrichtlinien

Als Füllung für Grundrissbilder bietet sich die neutrale Farbe weiss an. Diese hebt sich vom grösstenteils eher dunklen Orthophoto gut ab und entspricht häufig den realen Gegebenheiten (z. B. helle Farbe von Kirchtürmen). Um die Signaturen auch in hellen Bereichen des Orthophotos gut lesen zu können, werden diese mit einer schwarzen Kontur mit Strichstärke 0,08 mm versehen. Abweichungen von der weissen Füllfarbe sind zum Ausdrücken einer anderen Objektqualität möglich. Die geometrischen Signaturen erhalten eine eher helle und das jeweilige Objekt optimal zum Ausdruck bringende Farbe, und werden ebenfalls von einer schwarzen Kontur eingefasst. Als Füllfarbe für Aufrissbilder, Symbole und Buchstaben bieten sich die Farben schwarz oder weiss an, da bereits die Kästchen bunt gestaltet werden sollen. Bei weiss eingefärbten Signaturen, welche sich innerhalb von ebenfalls hellen Kästchen befinden, ist zudem der Einsatz einer schwarzen Kontur (0,08 mm) sinnvoll, um eine deutliche Trennung von Signatur und Hintergrund zu erreichen. Kästchen, welche den Hintergrund für technische Objekte bilden, werden gelb (C: 0%, M: 0%, Y: 100%, K: 0%), solche für «Kulturobjekte» (z. B. Ruinen) orange (C: 0%, M: 50%, Y: 100%, K: 0%) eingefärbt. Signaturen für die im Testgebiet nicht vorhandenen Objekte der Freizeit bzw. des Sports (z. B. Campingplätze) sollen einen hellgrünen Hintergrund (C: 45%, M: 0%, Y: 100%, K: 0%) erhalten. Um sich bestmöglich vom Orthophoto abzuheben, werden sämtliche Kästchen mit einer schwarzen Kontur (0,08 mm) versehen. Die Gestaltung der Kästchen erfolgt in quadratischer Form mit einer Seitenlänge von 3 mm. Diese Grösse stellt einen guten Kompromiss dar zwischen einer möglichst geringen Beeinträchtigung des Orthophotos und einer möglichst grossen Fläche zur Ausgestaltung der Signatur. Tafel 13 zeigt die definitiven Gestaltungsvarianten der in den folgenden drei Kapiteln erörterten Einzelobjektsignaturen.

11.7.4.1 Punktobjekte. Ruinen könnten durch Einzeichnen der Grundmauern visualisiert werden. Eine solche Lösung ist nicht optimal, da die Mauern meist geringe Ausdehnungen aufweisen und somit auf dem Orthophoto nicht genügend gut erkennbar sind. Besser eignet sich eine bildhafte lokale Signatur in Form eines Aufrissbildes. Dieses besteht aus einer quadratischen Fläche mit aufgesetzten Zinnen. Für die Darstellung von Kirchen oder Kapellen wird in topographischen Karten oft ein Reichsapfel (Kugel mit aufgesetztem Kreuz) verwendet, welcher den Kirchengrundriss symbolisch darstellen soll. Der Kreis in der unteren Hälfte einer solchen Signatur ist auf dem Orthophoto gut sichtbar. Das aufgesetzte und weniger dominante Kreuz ist hingegen auf dem Orthophoto schwieriger zu erkennen, wodurch die Signatur in ihrer Gesamtheit nicht gut erfasst werden kann. Eine derart gestaltete Signatur verdeckt auch grosse Teile der auf dem Orthophoto sichtbaren Kirchen bzw. Kapellen und macht keine Aussagen zur Zahl der Türme. Es ist daher sinnvoller, diese Objekte durch Einzeichnen von Turmsignaturen zu visualisieren. Diese werden als Grundrissbild mit einem inneren und äusseren Kreis konzipiert. Der Durchmesser des äusseren Kreises beträgt 1,5 mm, derjenige des inneren 0,5 mm. Der innere Kreis erhält bei der Signatur für Kirchen eine schwarze Füllung, bei derjenigen für Kapellen eine weisse. Der innere Kreis wird jeweils durch eine schwarze Kontur mit Strichstärke 0,08 mm abgeschlossen. Wegkreuze bzw. Bildstöcke können mittels eines weissen Kreuzes mit schwarzer Kontur dargestellt werden. Da es sich um ein Aufrissbild eines «Kulturobjekts» handelt, wird die Signatur gemäss obigen Richtlinien mit einem orangen Kästchen hinterlegt.

Visualisierung von Hochkaminen, Kloster und Spital

Bei Hochkaminen und Kirchtürmen handelt es sich um aufragende Gebäudeteile. Daher sollte die Hochkaminsignatur eine Ähnlichkeit zu derjenigen der Kirchtürme aufweisen, was durch einen Kreis mit identischem

Durchmesser (1,5 mm) erreicht wird. Dieser Kreis wird – wie für diese Objektart üblich – mit zwei sich kreuzenden Linien versehen. Die so erhaltene Signatur stellt Hochkamine platzsparend und gut sichtbar dar. Klosterkomplexe enthalten immer eine Kirche bzw. Kapelle. Die Visualisierung dieser beiden Objekte könnten mit den dafür vorhandenen Signaturen erfolgen. Damit jedoch das Kloster wahrgenommen werden kann, müsste dieses noch mit einer zusätzlichen Signatur oder mit einer Beschriftung versehen werden. Um die Überlagerung des Orthophotos mit konventionellen Kartenelementen möglichst gering zu halten, ist es sinnvoller, die Kirchen- bzw. Kapellensignatur so anzupassen, dass sie auch die Information «Kloster» beinhaltet. Dies geschieht, indem die weisse Füllung des äusseren bzw. inneren Kreises durch eine orange (C: 0%, M: 50%, Y: 100%, K: 0%) ersetzt wird. Für die Darstellung eines Spitals bietet sich das auch für Verkehrstafeln verwendete Zeichen an (weisses «H» auf blauem Grund). Das für diese Signatur benötigte Kästchen unterscheidet sich nur durch die blaue Farbe (C: 100%, M: 30%, Y: 0%, K: 0%) von den übrigen Kästchen. Die Positionierung sämtlicher Signaturen für Punktobjekte erfolgt anhand der PK25 bzw. des Orthophotos.

11.7.4.2 Lineare Objekte. Da der Schiessstand auf dem Orthophoto sichtbar ist, könnte die Visualisierung dieses Objektes durch Einzeichnen des Bereichs mit den Zielscheiben sowie der Schussbahn erfolgen. Um eine Abgrenzung von den zahlreichen anderen Informationen in linearer Form zu ermöglichen, ist es besser, für die Darstellung des Schiessstandes eine lokale Signatur zu verwenden. Als Symbol könnte eine Schiessscheibe bestehend aus konzentrischen Kreisen sowie eventuell einem Kreuz dienen. Ein solches Symbol muss gemäss obigen Richtlinien mit einem Kästchen versehen werden und benötigt dementsprechend relativ viel Platz. Auch stellt dieses Symbol gewisse unerwünschte Assoziationen mit anderen Signaturen (z. B. Kapelle, Hochkamin) her. Es wird daher das auf Schiessgefahr hinweisende Zeichen verwendet. Dieses besteht aus einem Rechteck, welches durch eine von oben links nach unten rechts verlaufende Linie aufgeteilt wird. Die linke Hälfte ist rot, die rechte weiss eingefärbt. Die diesem Zeichen entsprechende geometrische Signatur wird als Quadrat mit Seitenlänge 1,5 mm und folgendem Farbwert für den roten Bereich gestaltet: C: 0%, M: 100%, Y: 100%, K: 0%. Die so konzipierte Signatur ist platzsparend und kann nicht mit anderen Signaturen verwechselt werden. Wie oben erörtert, sollen die im Testgebiet vorhandenen grösseren Parkplatzareale visualisiert werden. Dafür bietet sich eine analog zur Spitalsignatur gestaltete lokale Signatur an, welche ein weisses «P» auf blauem Grund zeigt. Die Platzierung der Schiessstand- und Parkplatz-Signaturen erfolgt – wie bei den Punktobjekten – anhand der PK25 bzw. des Orthophotos.

11.7.4.3 Flächige Objekte. Friedhöfe werden in Strichkarten üblicherweise mittels einer flächenhaften Signatur bestehend aus Kreuzen dargestellt. Eine solche Signatur ermöglicht eine angemessene Wiedergabe der Ausdehnung städtischer Friedhöfe. Es stellt sich aber das Problem, dass bei sehr kleinen Friedhöfen nur ein oder zwei Kreuze der Signatur platziert werden können, und diese daher sehr markant gestaltet werden müssen, um nicht ins Orthophoto einzutauchen. Bei grösseren Friedhöfen mit entsprechend vielen Kreuzen führt eine derart ausgeprägte Signatur zu einer starken Beeinträchtigung des Orthophotos. Um dies zu vermeiden, ist es sinnvoller, mit einer bildhaften lokalen Signatur in Form eines Aufrissbildes zu arbeiten. Dafür bietet sich ein analog zur Signatur für Wegkreuze bzw. Bildstöcke gestaltetes – jedoch schwarz eingefärbtes – Kreuz an, welches als Hintergrund ein oranges Kästchen erhält.

*Visualisierung der Rasenplätze mittels Linien,
linearer Signaturen oder lokaler Signaturen*

Die Visualisierung der Sportplätze mit Rasen kann auf zwei Arten erfolgen. Zum einen können deren Abgrenzungen mittels Linien oder linearer Signaturen dargestellt werden, zum anderen können die Plätze eine Visualisierung durch lokale Signaturen erfahren. Die Abgrenzungen von Rasenplätzen fallen häufig mit Baum- bzw. Strauchreihen zusammen. Bei Verwendung von Linien bzw. linearen Signaturen sind diese Bereiche praktisch nicht mehr einsehbar. Es ist daher sinnvoller, die Sportplätze mittels lokaler Signaturen darzustellen, welche so gestaltet werden sollen, dass sie ausser Teilen des Rasens keine anderen Objekte überdecken. Da Rasenplätze in erster Linie für Fussballspiele genutzt werden, bietet sich ein entsprechender Ball als Symbol für die Signatur an. Eine solche symbolhafte Signatur wird gemäss oben aufgestellten Richtlinien mit einem Kästchen versehen. Eine derart gestaltete Signatur dehnt sich über eine relativ grosse Fläche aus und hat dementsprechend zum Teil Überdeckungen von Bereichen auch ausserhalb der Rasenplätze zur Folge. Als Alternative bietet sich ein hellgrünes Quadrat (C: 45 %, M: 0 %, Y: 100 %, K: 0 %) mit Seitenlänge 1,5 mm an. Das Quadrat soll die Rasenfläche symbolhaft darstellen. Eine so gestaltete geometrische Signatur benötigt wenig Platz, wirkt nicht aufdringlich und ist trotzdem gut lesbar. Die Rasenplätze werden in der Legende als «Sportplatz (Rasen)», die Plätze mit rotem Belag als «Sportplatz (Hartbelag, Sand)» aufgeführt. Die Positionierung der Friedhof- und Sportplatzsignaturen wird anhand der PK25 und des Orthophotos durchgeführt.

12 Geländedarstellung

12.1 Erkennbarkeit

Wie in Kapitel 9.1 erörtert, beinhaltet die Geländedarstellung in topographischen Karten die Elemente Höhenlinien und Höhenpunkte, Schummerung sowie Formzeichen und -zeichnungen. Letztere beinhalten in der LK25 Objekte wie Böschungen, Einschnitte, Dämme, Gruben, Steinbrüche, Fels etc. (Bundesamt für Landestopographie, 2001c:2). Die Elemente der Geländedarstellung vermitteln in ihrem Zusammenspiel eine klare Vorstellung von der Form und Beschaffenheit eines Geländes.

Im Orthophoto können durch das Fehlen von Höhenlinien und Höhenpunkten (Koten) praktisch keine Aussagen über die Form eines Geländes sowie die relativen und absoluten Höhenverhältnisse gemacht werden. Besonders Kleinformen wie etwa durch Bäche geformte Einschnitte können auf dem Orthophoto nicht wahrgenommen werden. Einzig Sonnen- und Schattenhänge sowie Objekte der Situationsdarstellung können indirekt auf die Form und relative Höhe eines Geländes hinweisen. So sind beispielsweise Täler meist waldfrei, Hügelzüge hingegen bewaldet. Der Verlauf der Gewässer markiert die jeweils tiefsten Stellen. Die gewundenen Linienführungen von Wegen und Wirtschaftsgrenzen (z. B. Feldränder) sind ein Indiz für steile Hänge oder Mulden, da sich solche Objekte der Geländeform anzupassen haben (Hake und Grünreich, 1994:380).

Eine so aussagekräftige Schummerung wie die LK25 enthält, kann ein Orthophoto nie aufweisen, da diese direkt durch die Sonneneinstrahlung (bei möglichst hohem Sonnenstand) und nicht durch einen bewusst gestaltenden Kartographen produziert wird. Im Testgebiet kann die natürliche Schummerung als nicht wahrnehmbar bezeichnet werden. Im Zusammenhang mit der Schummerung muss man sich auch mit dem Thema «Reliefumkehr» beschäftigen (siehe Kapitel 7.3.6 auf Seite 52). Durch die Nordorientierung eines auf der Nordhalbkugel aufgenommenen Orthophotos kann sich dieser Effekt einstellen. Wie erwähnt sind im gewählten Testgebiet Eigenschatten praktisch nicht existent, weshalb eine eigentliche Reliefumkehr nicht beobachtet werden kann. Durch eine Südorientierung des Orthophotos kann aber eine plastischere Wirkung – besonders beim Siedlungsgebiet mit seinen vielen Schlagschatten – erzielt werden. Aus diesem Grund wird bei der topographischen Orthophotokarte «Olten» die Kartenbenutzerin mit der etwas ungewohnten Südorientierung konfrontiert.

Erdböschungen, Einschnitte und Dämme sind auf dem Orthophoto nicht wahrnehmbar. Die im Testgebiet vorhandenen kleineren Steinbrüche sind in Form von Waldlichtungen sichtbar, ein Unterschied zu «gewöhnlichen» Lichtungen kann jedoch nicht festgestellt werden. Die Felspartien befinden sich in bewaldetem Gebiet und sind daher grösstenteils nicht erkennbar. An einer Stelle zeigen sich die Felsen in Form eines hellen Bereichs, welcher aber nicht von einer Kies- oder Sandfläche unterschieden werden kann.

Nur indirekte Hinweise auf Form und relative Höhe eines Geländes

Plastischere Wirkung durch Südorientierung

12.2 Zu überlagernde Objekte

Dichtes Höhenlinienbild kann Orthophoto graphisch stark belasten

12.2.1 Höhenlinien, Höhenkoten

Höhenlinien und Höhenkoten stellen das wichtigste kartographische Instrument dar, um in einer zweidimensionalen Karte das dreidimensionale Gelände erfassbar machen zu können. Werden nur die Höhenkoten eingetragen, so kann eine Störung des Orthophotos grösstenteils vermieden werden, jedoch sind Aussagemöglichkeiten über die Geländeform eher bescheiden. Bei einer Kombination aus Höhenlinien und Höhenkoten werden Geländeformen und Höhenverhältnisse klar erkennbar. Es besteht aber die Gefahr, dass das Orthophoto durch die Intergration eines dichten Höhenlinienbildes graphisch stark belastet wird. In einer topographischen Karte – auch wenn diese auf einem Orthophoto basiert – müssen präzise Höheninformationen gewonnen werden können. Deshalb ist das Einzeichnen sowohl der Höhenkoten als auch der Höhenlinien unumgänglich.

Keine Versuche zum Thema «Schummerung» durchgeführt

12.2.2 Schummerung

Eine Überlagerung des Orthophotos mit Sonnen- und Schattentönen kann eine unterstützende Wirkung zum Erkennen von Geländeformen haben. Es ist aber auch möglich, dass kein Effekt beobachtet werden kann, oder eine Beeinträchtigung des Bildes eintritt. Im Rahmen dieser Arbeit wurden keine derartigen Versuche durchgeführt. Dieser umfangreichen Thematik müssten sich weiterführende Untersuchungen annehmen.

Erdböschungen, Einschnitte, Dämme, Steinbrüche

12.2.3 Natürliche und künstliche Kleinformen

Aufgrund der Sichtbarkeit müssten folgende natürlichen und künstlichen Kleinformen des Testgebietes mittels konventioneller kartographischer Elemente dargestellt werden: Erdböschungen, Einschnitte, Dämme, Steinbrüche. Erstere drei sind immer deckungsgleich mit Elementen der Situationsdarstellung. Die Erkennbarkeit der Objekte der Situationsdarstellung wird bei einer Überlagerung erschwert bzw. verunmöglicht. In der Orthophotokarte «Olten» sind unter anderem weite Teile der Ufervegetation von Aare und Dünnern sowie andere baumbestandene Flächen betroffen. Auch kommen Erdböschungen, Einschnitte und Dämme im Testgebiet innerhalb kleiner Flächen teilweise in hoher Zahl vor. Dies führt bei einer Überlagerung zu einer starken Beeinträchtigung des Orthophotos. Aus diesen Gründen wird auf die Darstellung von Erdböschungen, Einschnitten und Dämmen mittels konventioneller kartographischer Elemente verzichtet. Etwas anders verhält es sich bei den Steinbrüchen. Diese stellen einerseits eine Kleinform des Reliefs dar, andererseits gehören sie auch zur Situationsdarstellung. Wie andere Objekte – beispielsweise Obstgärten – stellen auch sie eine durch menschliches Wirken hervorgerufene topographische Erscheinung dar. Bei einem Einsatz konventioneller Kartenelemente sind demzufolge andere Objekte der Situationsdarstellung nur in geringem Masse betroffen. Eine Überlagerung der Steinbrüche erscheint daher sinnvoll.

Felsen

Wie oben gesehen werden Felspartien auf dem Orthophoto praktisch ausnahmslos durch Bäume verdeckt. Ist eine Felspartie sichtbar, kann eine nähere Identifizierung nicht vorgenommen werden. Dies würde eigentlich für eine Überlagerung sprechen. Gegen das Einzeichnen von Felsen spricht einerseits die Überdeckung von Elementen der Situationsdarstellung und dadurch Beeinträchtigung der anschaulichen Darstellung. Andererseits gilt es zu beachten, dass Felsen in hochalpinen Regionen auch ohne Überlagerung sehr gut sichtbar sein dürften. Werden nun in der Orthophoto-

tokarte die schlecht oder nicht sichtbaren Felspartien mit konventionellen Kartenelementen ergänzt, so führt dies zu einer uneinheitlichen Darstellungsweise. Aus diesen Gründen wird auf das Einzeichnen von Felsen verzichtet.

12.3 Gestaltungsvorgänge

Bei der Geländedarstellung können die Gestaltungsvorgänge «Ergänzen» und «Verdeutlichen» unterschieden werden. Durch Einsatz konventioneller kartographischer Elemente werden die Höhenlinien und Höhenkoten ergänzt. Bei den Steinbrüchen dient die Überlagerung dazu, diese Objekte zu verdeutlichen.

Ergänzen, Verdeutlichen

12.4 Gestaltungsablauf

12.4.1 Höhenlinien, Höhenkoten

In der LK25 existieren drei Arten von Höhenlinien bzw. -kurven: Höhenkurven, Zählkurven und Zwischenkurven. Diese werden je nach Untergrund unterschiedlich eingefärbt, auf Erdboden braun, auf Geröll schwarz und auf Gletschern bzw. Seen blau (Bundesamt für Landestopographie, 2001c:2).

Höhenkurven, Zählkurven, Zwischenkurven

In der topographischen Orthophotokarte bieten sich für die Darstellung der Höhen- und Zählkurven Linien oder lineare Signaturen in Form von Linien mit Kontur an. In schwarzweissen Orthophotokarten werden teilweise schwarze bzw. weisse Höhenlinien verwendet, welche eine weisse bzw. schwarze Kontur aufweisen (Eilhardt und Geisler, 1982:143–146). Eine solche Darstellungsweise ist bei farbigen Orthophotokarten nicht nötig, da die Höhenlinien durch eine entsprechend gewählte Farbe auch ohne Kontur gut sichtbar sind. Weiter benötigten Höhenlinien mit Kontur viel Platz (Mindestabstand der Linien bzw. Gesamtbreite), sind ähnlich wie Strassen ausgestaltet, wodurch eine Verwechslung möglich ist, wirken sehr dominant und belasten dadurch das Kartenbild stark. Für die Visualisierung der Zwischenkurven bietet sich eine lineare Signatur in Form einer punktierten Linie an. Ein Punktabstand von 1 mm – gemessen von Mittelpunkt zu Mittelpunkt – erweist sich dabei als ideal.

Linien und lineare Signatur

Bei der Strichstärkenwahl für die Höhenlinien gilt es zwei Forderungen zu beachten. Einerseits soll das Orthophoto durch das Höhenlinienbild möglichst wenig gestört werden. Andererseits muss ein problemloses Lesen der Höhenlinien möglich sein. Für die «normalen» Höhenkurven erweist sich eine Strichstärke von 0,16 mm, für die Zählkurven eine solche von 0,32 mm als ideal. Bei den punktierten Zwischenkurven stellt eine Strichstärke von 0,32 mm einen guten Kompromiss dar zwischen einer genügend guten Lesbarkeit und einer zurückhaltenden Darstellungsweise.

Strichstärken

Vom Standpunkt der Lesbarkeit aus sind relativ viele Farbtöne für das Einfärben der Höhenlinien geeignet. Die Auswahl wird aber stark eingeschränkt, da sich die Höhenlinienfarbe klar von den Farben anderer linearer Elemente (Wege, Hochspannungsleitungen etc.) abheben soll. Farben wie gelb oder rot können daher nicht eingesetzt werden. Aufgrund dieser Einschränkung stehen schliesslich einzig die Farben weiss, hellgrün und schwarz zur Auswahl. Die weiss eingefärbten Höhenlinien sind mehrheitlich gut lesbar. Einzig in gewissen Teilen des Siedlungsgebietes, bei-

Schwarz eingefärbte Höhenlinien weisen beste Lesbarkeit auf

spielsweise im Bereich des hellen Industrieareals im Südwesten der Stadt Olten, ist die Lesbarkeit nicht optimal. Innerhalb von Waldgebieten ergibt sich ein sehr harter Kontrast, wodurch die Höhenlinien deutlich hervorstechen und das Bild dominieren (siehe Tafel 14). Die hellgrün eingefärbten Höhenlinien (C: 45 %, M: 0 %, Y: 100 %, K: 0 %) sind im Bereich von Wäldern und Feldern sehr gut und beim Industriekomplex gut sichtbar. Die «normalen» Höhenkurven (Strichstärke 0,16 mm) heben sich jedoch schlecht vom Siedlungsgebiet ab. Insgesamt integrieren sich die hellgrünen Höhenlinien optimal ins Orthophoto und wirken nicht als Fremdkörper (siehe Tafel 15). Die schwarz eingefärbten Höhenlinien weisen die beste Lesbarkeit in praktisch allen Bereichen des Testgebietes auf. Trotzdem tauchen sie – gerade innerhalb der dunkelgrünen Wälder – gut ins Orthophoto ein und stellen somit die optimalste Lösung dar (siehe Tafel 16).

Höhenkoten werden mit Füllung und Kontur gestaltet

In der LK25 sind zwei verschiedene Höhenkoten vorhanden, welche je nach Bodenbeschaffenheit eingesetzt werden (Bundesamt für Landestopographie, 2001c:3). Auf eine solche Unterscheidung soll in der Orthophotokarte verzichtet werden. Für die Darstellung der Höhenkoten bietet sich eine Kreisfläche an. Um sowohl in hellen als auch dunklen Bereichen des Orthophotos gut erkennbar zu sein, soll die Signatur nicht einfarbig, sondern mit Füllung und Kontur gestaltet werden. Die Farbwahl orientiert sich an der Höhenkotenbeschriftung (siehe Kapitel 14.4.3 auf Seite 107). Die Kontur wird dementsprechend schwarz, die Füllung weiss eingefärbt. Da Höhenkoten immer zusammen mit einer Beschriftung auftreten, kann ein kleinerer Kreisdurchmesser als beispielsweise bei den alleine vorkommenden Signaturen für Hochkamine gewählt werden. Eine gute Lesbarkeit und klare Abgrenzung von den kreisförmigen Einzelobjektsignaturen kann mit einem Durchmesser von 0,75 mm erreicht werden. Für die Kontur eignet sich eine Strichstärke von 0,08 mm (siehe Tafel 17).

Manuelles Digitalisieren der Höhenlinien

Höhenlinien kommen im VECTOR25-Datensatz nicht vor, weshalb diese anhand der PK25 manuell digitalisiert werden. Anschliessend werden sie, je nach Höhenkurventyp, auf drei unterschiedlichen Ebenen abgelegt. Das Setzen der Höhenkoten erfolgt auf Basis der PK25. Die Feinanpassung erfolgt mit Hilfe der Vektorelemente der Orthophotokarte (z. B. Strassenkreuzungen) sowie des Orthophotos.

12.4.2 Natürliche und künstliche Kleinformen

Visualisierung der Steinbrüche mittels lokaler Signatur

Wie oben gesehen, soll im Testgebiet nur gerade die künstliche Kleinform «Steinbruch» durch Einsatz konventioneller kartographischer Elemente verdeutlicht werden. In der LK25 werden Steinbrüche mittels einer Felszeichnung und einer Geröllsignatur visualisiert (Bundesamt für Landestopographie, 2001c:2). Eine solche Darstellungsweise ist für die topographische Orthophotokarte nicht geeignet, da Felsen nicht eingezeichnet werden sollen, und eine feine Gerölldarstellung auf einem unruhigen Untergrund schwierig realisierbar ist. Um möglichst wenig umliegende Objekte zu verdecken, soll die Visualisierung der Steinbrüche mittels einer platzsparenden lokalen Signatur erfolgen. Ein Grundrissbild ist ungeeignet, und ein Aufrissbild oder ein Symbol benötigt durch das zu hinterlegenden Kästchen relativ viel Platz. Daher kommt eine geometrische Signatur in Form eines gleichseitigen Dreiecks mit Seitenlänge 1,5 mm zum Einsatz. Als Flächenfarbe wird hellrot (C: 0 %, M: 85 %, Y: 80 %, K: 0 %) verwendet. Für die im Testgebiet nicht vorkommenden Kies- und Lehmgruben eignet sich die gleiche Signatur, jedoch mit unterschiedlich eingefärbten Flächen (z. B. orange und gelb). Analog zu den Einzelobjektsignaturen wird auch die

Steinbruchsignatur mit einer schwarzen Kontur mit Strichstärke 0,08 mm versehen (siehe Tafel 17). Die Platzierung der Signatur erfolgt anhand der PK25 und des Orthophotos.

13 Thematische Inhalte: Grenzen

13.1 Erkennbarkeit

Die Landeskarte der Schweiz 1:25000 enthält auch einige wenige thematische Inhalte. Dazu gehören die Landes-, Kantons-, Bezirks- und Gemeindegrenzen sowie die Nationalpark- bzw. Naturschutzparkgrenzen (Bundesamt für Landestopographie, 2001c:1). Im Testgebiet kommen nur Kantons-, Bezirks- und Gemeindegrenzen vor. Letztere weisen zudem im Bereich der Orthophoto-Musterkarte einige Grenzsteine auf. Bei thematischen Inhalten wie Grenzen handelt es sich um Elemente, welche in der Landschaft zwar vorhanden, jedoch nicht sichtbar sind. Sie können demzufolge auch auf dem Orthophoto nicht auffindig gemacht werden. Einzig Grenzsteine stellen ein topographisches Objekt dar und sind somit in der Landschaft sichtbar. Aufgrund ihrer geringen Abmessungen können sie jedoch auf dem Orthophoto nicht erkannt werden.

Grenzen in der Landschaft vorhanden, aber nicht sichtbar

13.2 Zu überlagernde Objekte

Wie oben beschrieben sind Grenzen – im Gegensatz beispielsweise zu Strassen – Objekte, welche auf dem Orthophoto nicht ersichtlich sind. Bei einer Überlagerung mittels konventioneller kartographischer Elemente findet daher immer eine Verdeckung anderer Objekte statt. Die Überdeckung von Landschaftsobjekten und eine zusätzliche Störung des Orthophotos soll möglichst gering gehalten werden. Daher wurde nur eine Visualisierung der wichtigsten Grenze, nämlich die zwischen den Kantonen Aargau und Solothurn, vorgenommen. Eine Darstellung der einzelnen Gemeindegrenzsteine macht nur bei gleichzeitiger Visualisierung der entsprechenden Grenze Sinn.

Nur Kantonsgrenze wird dargestellt

13.3 Gestaltungsvorgänge

Eine Kantonsgrenze stellt einen abstrakten Sachverhalt dar. Der Einsatz konventioneller kartographischer Elemente zur Darstellung eines solchen Objektes in der Orthophotokarte lässt sich dem Gestaltungsvorgang «Ergänzen» zuordnen.

Ergänzen

13.4 Gestaltungsablauf

Für die Visualisierung der Kantonsgrenze bieten sich Linien oder lineare Signaturen an. Letztere können in Form von unterbrochenen oder punktierten Linien sowie einer Mischung dieser beiden Darstellungsarten ausgestaltet werden. Wie bereits in Kapitel 11.4.4.2 «Wege» ausführlich erörtert, weisen computergestützt erstellte unterbrochene Linien grosse Mängel auf. Im Testgebiet wird nur eine Grenzsignatur – für die Kantonsgrenze – benötigt. Bei einer allfälligen Erweiterung der Karte können höchstens noch zwei weitere Signaturen, für die Landesgrenze sowie für Nationalpark- bzw. Naturschutzparkgrenzen, auftreten. Eine feine Abstufung mittels unterschied-

Kantonsgrenze kann mittels Linien oder linearer Signaturen visualisiert werden

Hellgrüner Farbton eignet sich für Darstellung der Kantonsgrenze

lich ausgeprägter linearer Signaturen ist daher nicht nötig. Die Differenzierung kann durch Linien, welche sich in Strichstärke und/oder Farbe unterscheiden, vorgenommen werden.

Wie das ebenfalls abstrakte Objekt «Höhenlinie» soll auch die Kantonsgrenze gut lesbar sein, dabei aber nicht zu stark aus dem Orthophoto hervorstechen, um der Unsichtbarkeit dieses Objektes in der Landschaft Rechnung zu tragen. Auch soll eine Verwechslung mit anderen linearen Objekten vermieden werden. Für die Höhenlinien wurden die Farben hellgrün und weiss in Betracht gezogen, aber schlussendlich nicht verwendet. Weiss ist für die Visualisierung der Kantonsgrenze ungeeignet, da diese Farbe im dunklen Waldgebiet einen zu starken Kontrast erzeugt, in hellen Bereichen jedoch unlesbar werden kann (siehe Tafel 18). Ein hellgrüner Farbton (C: 45%, M: 0%, Y: 100%, K: 0%) eignet sich hingegen gut für die Darstellung eines solchen Objektes. Eine derart eingefärbte Kantonsgrenze ist – eine genügend grosse Strichstärke vorausgesetzt – gut lesbar, passt sich durch einen im Vergleich zu einer weissen Linie meist geringeren Kontrast gut ins Orthophoto ein und kann nicht mit anderen linienhaften Objekten verwechselt werden (siehe Tafel 19).

Lesbarkeit erfordert markante Linie

Bei der Ausgestaltung der Höhenkurven hat sich gezeigt, dass feine hellgrüne Linien im Bereich des Siedlungsgebietes schlecht lesbar sind. Im Testgebiet verläuft die Kantonsgrenze mehrheitlich innerhalb einer bewaldeten Fläche. Um die Grenze aber auch bei einer Durchquerung des Siedlungsraumes problemlos lesen zu können, wird eine relativ markante Linie benötigt. Die damit verbundene stärkere Beeinträchtigung des Orthophotos und Überdeckung weiterer Landschaftsobjekte ist tolerierbar, da eine Kantonsgrenze wichtige Verwaltungseinheiten trennt, und im Vergleich zu anderen linearen Elementen nur in wenigen Gebieten überhaupt vorkommt. Es zeigt sich, dass eine Strichstärke von 0,64 mm für die hellgrüne Grenzsignatur geeignet ist.

Da der VECTOR25-Datensatz keinerlei Grenzen enthält, wird die Kantonsgrenze anhand der PK25 manuell digitalisiert. Eine Anpassung ans Orthophoto ist bei dieser Objektkategorie nicht erforderlich.

14 Schrift

14.1 Erkennbarkeit

Wie Höhenlinien und Grenzen ist auch die Kartenbeschriftung ein künstliches Element, welches in der Landschaft und somit auch auf dem kartographisch unbearbeiteten Orthophoto nicht auffindbar ist.

14.2 Zu überlagernde Objekte

Die Kartenbeschriftung ist ein erläuterndes Element, welches den Informationsgehalt der Karte markant steigert (Namen, Abkürzungen und Zahlenwerte, z. B. bei Höhenkoten). Daher darf eine Beschriftung auch in der topographischen Orthophotokarte nicht fehlen. Trotz Überlagerung bestimmter Bildteile, soll die umfangreiche Beschriftung der LK25 komplett übernommen werden. Ein Weglassen von Teilen der Beschriftung hätte einen zu grossen Informationsverlust zur Folge. Zudem kann bei entsprechender graphischer Ausgestaltung und Platzierung der Beschriftung die Beeinträchtigung des Orthophotos relativ gering gehalten werden.

Beschriftung der LK25 komplett übernehmen

14.3 Gestaltungsvorgänge

Die Ergänzung des Orthophotos mit dem Element «Schrift» kann in erster Linie dem Gestaltungsvorgang «Erläutern» zugeordnet werden. Weiter ist aber auch eine Zuordnung zum Gestaltungsvorgang «Klassifizieren» möglich, da beispielsweise die Siedlungsbeschriftung unter anderem auch Angaben zur Einwohnerzahl enthält.

Erläutern, Klassifizieren

14.4 Gestaltungsablauf

Die Wirkung einer Kartenbeschriftung ist neben einer geeigneten Schriftanordnung in erster Linie abhängig von der gewählten Schriftart, dem Schriftschnitt und dem Schriftgrad. Auf diese drei wichtigen Gestaltungsmöglichkeiten einer Schrift soll nun in den folgenden zwei Kapiteln näher eingegangen werden.

14.4.1 Schriftart, Schriftschnitt, Spationierung

Zu den für die Kartographie wichtigsten Schriftgruppen gehören die Antiqua- und Grotteskschriften (serifenlose Linear-Antiqua). Erstere sind mit, letzere ohne Serifen ausgeführt. Die einzelnen Schnitte einer Schriftart lassen sich nach Schriftstärke (z. B. mager, normal, fett), Schriftbreite (z. B. schmal, normal, breit) und Schriftlage (z. B. gerade, kursiv) unterscheiden. Da farbige Orthophotokarten einen noch relativ jungen Kartentyp darstellen, erscheint es sinnvoll, für ein solches Kartenprodukt eine zeitgemässe Grotteskschrift einzusetzen. Gemäss Arnold (2000:219) entspricht eine serifenlose Linear-Antiqua im Gegensatz zu einer Antiquaschrift auch eher

Antiqua- und Grotteskschriften für Kartographie am wichtigsten

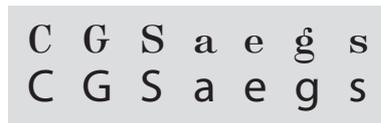


Abb. 17 Vergleich zweier Schriftarten, deren Buchstaben unterschiedlich grosse Strichstärkenvariabilität sowie Öffnungswinkel aufweisen (LK-Römisch Fett, Myriad Roman).



Abb. 18 Vergleich der geraden und kursiven Schnitte verschiedener Groteskschriften (Myriad Roman bzw. Italic, Stone Sans Medium bzw. Italic, Syntax Roman bzw. Italic).

Myriad Bold bzw. Bold Italic auch in kleinen Schriftgraden sehr gut lesbar

dem Wunsch nach Klarheit und Objektivität. Wichtiger als die modernere Ausstrahlung einer solchen Schrift ist jedoch der Umstand, dass Antiquaschriften sehr feingliedrig gestaltet sind. So sind beispielsweise bei einer klassizistischen Antiqua, wie sie etwa in der LK25 eingesetzt wird, nicht nur die Serifen problematisch, sondern auch die innerhalb eines Buchstabens auftretenden grossen Strichstärkenunterschiede (siehe Abb. 17). Solche feinen Formen drohen auf einem unruhigen Untergrund, welcher bei einer Orthophotokarte gegeben ist, mit dem Bild zu verschmelzen und somit unsichtbar zu werden, wodurch die Lesbarkeit erschwert wird.

Schriften, welche speziell für die Kartographie entworfen wurden, gibt es ungefähr ein halbes Dutzend (Arnold, 2000:218). Dabei handelt es sich in erster Linie um Antiquaschriften, als Beispiele könnten die Schweizer Landeskarten-Schriften, welche schon in der Dufour-Karte von 1846 verwendet wurden, und die Deutschen Landkartenschriften genannt werden. Eine Ausnahme bildet die «Cassini», eine erst kürzlich entworfene serifenlose Linear-Antiqua. Bei dieser Schrift ist der Entwurfsprozess jedoch noch nicht abgeschlossen, weshalb erst der Schnitt «Regular» komplett vorhanden ist (Arnold, 2000:222–223). Deshalb lässt sie sich noch nicht produktiv einsetzen. Daher muss bei den Mengensatzschriften eine geeignete Groteskschrift für die Orthophoto-Musterkarte gefunden werden. Dabei werden an die Schrift folgende Anforderungen gestellt:

1. Die Schrift soll auch in kleinen Schriftgrössen gut lesbar sein. Die Buchstabenformen müssen daher einfach gestaltet sein und über keine Details verfügen, die im kleinen Grad sowieso nicht sichtbar sind. Die Schrift soll offene Buchstabenformen aufweisen (siehe Abb. 17), da geschlossene Formen in kleinen Schriftgraden – besonders auf dunklem Untergrund – zum Zusammenlaufen neigen (Arnold, 2000:220; Bühlmann, 1971:5).
2. Die eingesetzten Schnitte (z. B. gerade und kursiv) sollen sich deutlich voneinander unterscheiden.
3. Die Schrift soll eher schmal laufen, um möglichst wenig Bildinformation zu verdecken.

Insbesondere die Forderung nach einer sich deutlich unterscheidenden Kursiven schränkt die Wahlmöglichkeiten stark ein. Von den untersuchten Schriften erfüllen am ehesten die «Myriad», die «Stone Sans» und die «Syntax» die aufgestellten Bedingungen (siehe Abb. 18). Um der dritten Forderung genügen zu können, wäre es naheliegend, einen schmallaufenden Schnitt dieser Schriften einzusetzen. Dies würde aber der ersten Forderung widersprechen, da eine im kleinen Grad besonders gut lesbare Schrift nie schmallaufend, sondern tendenziell eher breit gehalten ist (Arnold, 2000:221). Daher soll ein normallaufender Schnitt verwendet werden. Die Wahl fällt schliesslich auf die Myriad, da der normallaufende Schnitt dieser Schriftart weniger Platz als derjenige der Stone Sans und Syntax beansprucht, die Schriftbreite aber trotzdem noch eine gute Lesbarkeit ermöglicht. Weiter ist die Schriftstärke etwas kräftiger als diejenige der Syntax und die Buchstabenformen sind etwas einfacher gehalten. Gemäss Arnold (2000:220) handelt es sich bei der Myriad um eine grundsätzlich für die Kartographie geeignete Mengensatzschrift. Als Nachteil könnte aufgeführt werden, dass die Kursive der Myriad mit 10° nur relativ schwach geneigt ist (Arnold, 2000:220). Sie lässt sich aber trotzdem gut vom geradestehenden Schnitt unterscheiden, da die Buchstaben nicht nur schräggestellt, sondern z. T. recht abweichend ausgestaltet wurden (z. B. a und g, siehe Abb. 18).

In der LK25 wird für die Beschriftung der Siedlungen, Täler, Berge, Pässe und Gewässer eine fette Schrift verwendet. Die Gebiets-, Wälder- und Gletschernamen werden hingegen in magerer Schrift ausgeführt (Eidg.

Landestopographie, 1933:2–3; Bundesamt für Landestopographie, 2001c:5). In der Orthophotokarte könnte eine ähnliche Ausgestaltung erfolgen, indem für die erste Gruppe ein fetter und für die zweite Gruppe ein normaler Schriftschnitt eingesetzt wird. Es zeigt sich jedoch, dass ein normaler Schnitt in kleinen Schriftgraden auf dem Orthophoto sehr schlecht lesbar ist (siehe Tafel 20). Um auf die Verwendung grösserer Schriftgrade und damit verbundener Verdeckung weiterer Landschaftsobjekte verzichten zu können, soll die Schrift Myriad Roman bzw. Italic nicht eingesetzt werden. Die Schrift Myriad Bold bzw. Bold Italic ist hingegen auch in kleinen Schriftgraden sehr gut lesbar, weshalb diese für die gesamte Kartenbeschriftung verwendet wird (siehe Tafel 21).

Die Variable «Schriftlage» dient in der LK25 unter anderem dazu, bei den Siedlungsnamen artverschiedene Objektgruppen (politische Gemeinden vs. unselbständige Orte, Ortsteile, Quartiere etc.) zu differenzieren (Bundesamt für Landestopographie, 2001c:5). In der Orthophoto-Musterkarte soll dies analog geschehen, indem für erstere Gruppe die Schrift Myriad Bold, für zweitere Myriad Bold Italic eingesetzt wird (siehe Tab. 5). Weiter soll auch für die Beschriftung von Flüssen – wie bei solchen Objekten üblich – der kursive Schriftschnitt Verwendung finden. Da sich die beiden Objektgruppen «Gebiet, Wald» und «Tal, Berg» in der Orthophotokarte farblich und von den Schriftgraden her nicht unterscheiden (siehe unten), soll eine Differenzierung mittels der Variable «Schriftlage» erreicht werden. Letztere Gruppe steht eher in Beziehung zu Flüssen. Daher kommt bei dieser der kursive Schriftschnitt zur Anwendung, bei ersterer Gruppe der gerade Schnitt. Höhenkoten und Zählkurven stehen ihrerseits in enger Verbindung zu Tälern und Bergen, weshalb deren Beschriftung ebenfalls kursiv gesetzt wird.

Schriftlage

Bei der Schreibart lassen sich Minuskelschrift (Gross- und Kleinbuchstaben) und Versalschrift (nur Grossbuchstaben) unterscheiden. In der LK25 wird Versalschrift für Siedlungen mit mehr als 10000 Einwohnern sowie für wichtige Gewässer eingesetzt (Bundesamt für Landestopographie, 2001c:5). Versalschrift benötigt relativ viel Platz und verdeckt dadurch mehr Landschaftsobjekte als dies bei Minuskelschrift der Fall ist. Auch ist sie aufgrund des Fehlens von Ober- und Unterlängen schlechter lesbar. Daher wird in der Orthophotokarte auf den Einsatz von Versalschrift verzichtet. Bei ausschliesslicher Verwendung von Minuskelschrift kann die Bedeutung von Objekten durch den Schriftgrad zum Ausdruck gebracht werden.

Schreibart

Serifenlose Linear-Antiquaschriften sollten gemäss Bühlmann (1971:5) in Karten fast ausnahmslos zumindest leicht gesperrt werden. Dies gilt auch für die Beschriftung von Objekten wie beispielsweise Siedlungen, bei welchen Spationieren ansonsten eigentlich nicht erforderlich und üblich ist. Durch ein leichtes Sperrern der Buchstaben benötigen die einzelnen Teile der Beschriftung in der Breite etwas mehr Platz. In der Orthophotokarte ist bei einem Spationierungswert von 50 der zusätzliche Platzbedarf jedoch noch relativ gering, die Lesbarkeit hingegen bereits markant besser (siehe Tafel 22). Daher wird bei sämtlichen Teilen der Beschriftung eine solche minimale Spationierung durchgeführt.

Spationierung

14.4.2 Schriftgrad

Beim Festlegen eines minimalen Schriftgrades für die Orthophotokarte gilt der Grundsatz, dass dieser möglichst klein gewählt werden sollte, damit die Beschriftung wenig Bildinformation verdeckt, jedoch gross genug, um einer guten Lesbarkeit gerecht zu werden. Gemäss Bühlmann (1971:6) sollte die Versalhöhe normalbreiter Kartenschriften 1,3 mm (entspricht ungefähr 5.5 Pica-Points bzw. Punkt) nicht unterschreiten. Diese Aussage bezieht sich

Minimaler Schriftgrad

auf konventionelle Strichkarten, bei welchen meist helle und gleichmässig eingefärbte Flächen den Schriftuntergrund bilden. Das Orthophoto hingegen ist sehr unterschiedlich für die Platzierung von Schrift geeignet. So bilden beispielsweise Waldflächen einen homogenen Hintergrund, auf welchem eine (helle) Beschriftung gut lesbar ist. Siedlungsgebiete dagegen sind für die Überlagerung mit Schrift denkbar ungeeignet. Dies muss bei der Wahl eines minimalen Schriftgrades für die topographische Orthophotokarte berücksichtigt werden. Auch hat neben Schriftart und -schnitt die weitere graphische Ausgestaltung der Beschriftung einen entscheidenden Einfluss auf die Lesbarkeit und somit auf die Wahl der Minimalgrösse (siehe Kapitel 14.4.3). Es zeigt sich, dass bei der gewählten Schriftgestaltung in der topographischen Orthophotokarte die oben erwähnte minimale Versalhöhe von 1,3 mm (5.5 Punkt) Anwendung finden kann.

Abstufung der Schriftgrade

In topographischen Karten wird die Bedeutung der bezeichneten Objekte in erster Linie durch den Schriftgrad angegeben. Es muss daher eine sinnvolle Abstufung der Schriftgrade gefunden werden. Gemäss Bühlmann (1971:6) ist es naheliegend, dass die Versalhöhen der verwendeten Schriftgrade eine geometrische Folge $a, a \times q, a \times q^2, \dots, a \times q^n$ bilden (wobei a die kleinste Versalhöhe bzw. der kleinste Schriftgrad ist), sofern man annimmt, dass zur Unterscheidung zweier aufeinanderfolgender Schriftgrade das Verhältnis q der Versalhöhen bzw. Schriftgrade wesentlich ist. Gut gewählte Abstufungen sind speziell bei der Beschriftung der Siedlungen wichtig. Bühlmann (1971:7) gibt für solche Abstufungen den optimalen Faktor q im Bereich 1,2–1,3 an. In guten Abstufungen sollte der grösste verwendete Schriftgrad nicht mehr als doppelt so gross sein wie der kleinste (Bühlmann, 1971:7).

Für Siedlungsbearbeitung werden vier verschiedene Schriftgrade benötigt

Im Gegensatz zur LK25 sollen in der topographischen Orthophotokarte nicht 8 Siedlungsklassen, sondern nur 5 gebildet werden. Eine solche Unterteilung ist zwar etwas weniger detailliert als diejenige der Landeskarte, verhindert aber, dass relativ grosse und somit viel Fläche überdeckende Schriftgrade eingesetzt werden müssen. Bestimmte Siedlungsklassen unterscheiden sich nicht durch die Einwohnerzahl, sondern durch die politische Selbständigkeit bzw. Unselbständigkeit eines Ortes. Eine Differenzierung findet daher nicht über die Variable «Schriftgrad» sondern «Schriftlage» statt. Insgesamt werden für die Siedlungsbearbeitung vier verschiedene Schriftgrade benötigt (siehe Tab. 5). Bei einem minimalen Schriftgrad von $a = 5.5$ Punkt und $q = 1,3$ ergibt sich folgende Abstufung der Schriftgrade: 5.5 Punkt, 7.2 Punkt, 9.3 Punkt, 12.1 Punkt. Durch eine solche Abfolge ist eine gute Unterscheidbarkeit der Schriftgrade und somit der einzelnen Siedlungsklassen gewährleistet. Auch kann bei dieser Abstufung aufgrund des gewählten Faktors q und der Anzahl Klassen die Forderung nach dem Verhältnis zwischen kleinstem und grösstem Schriftgrad in etwa eingehalten werden.

Abstufung der übrigen Beschriftungsteile analog zur Siedlungsbearbeitung

Wie bei der Beschriftung von Siedlungen, wird auch bei der Beschriftung von Gebieten, Wäldern, Tälern, Bergen und Flüssen die Grösse bzw. Bedeutung dieser Objekte anhand des Schriftgrades zum Ausdruck gebracht. Eine Abstufung bestehend aus vier unterschiedlichen Schriftgraden wird für diesen Zweck als ausreichend erachtet. Es bieten sich daher die gleichen Schriftgrade an, welche auch bei der Siedlungsbearbeitung Anwendung finden. Die Zuordnung der Namen von Wäldern, Bergen etc. zu einer bestimmten Schriftgrössenklasse erfolgt in Anlehnung an die LK25 sowie aufgrund der unterschiedlichen Objektausdehnungen. Für die Beschriftung der Höhenkoten und Zählkurven eignet sich der kleinstmögliche Schriftgrad (5.5 Punkt).

14.4.3 Farbe, Kontur, Platzierung

Gemäss Bühlmann (1971:8) ist eine vorzügliche Kartenbeschriftung umso schwieriger zu erreichen, je grösser die Informationsdichte und je dunkler der Hintergrund ist, von dem sie sich noch abheben soll. Bei der topographischen Orthophotokarte ist sowohl die Informationsdichte hoch, als auch der Hintergrund grösstenteils relativ dunkel und zudem meist sehr inhomogen. Da es sich bei Buchstaben um feingliedrige Objekte handelt, ergeben sich bei der graphischen Ausgestaltung der Beschriftung ähnliche Problemstellungen wie bei derjenigen der lokalen Signaturen. Im Gegensatz zu diesen ist bei der Beschriftung der Einsatz eines Kästchens jedoch nicht sinnvoll. Durch ein solches würde die Beschriftung zwar in sämtlichen Bereichen der Orthophotokarte optimal lesbar, aber auch sehr dominant, und es würde zudem viel Bildinformation verdeckt. Auch wäre eine solche Lösung graphisch unbefriedigend sowie schwierig zu handhaben, beispielsweise bei gekrümmten Teilen der Beschriftung.

Neben den in den vorangehenden Kapiteln behandelten Variablen wie Schriftart oder Schriftschnitt, hat in erster Linie die Flächenfarbe der Schrift einen Einfluss auf die Lesbarkeit der Kartenbeschriftung. Da sich ein grosser Teil der Beschriftung der Orthophotokarte auf eher dunklen Bildpartien befindet (Wälder, Felder etc.), bieten sich als Flächenfarben die hellen Töne weiss und gelb (100%) an. Sowohl weiss als auch gelb eingefärbte Schrift ist in genannten Bildbereichen sehr gut lesbar. Um auch eine gute Lesbarkeit in den hellen Bildpartien zu ermöglichen, ist der Einsatz einer dunklen Kontur unumgänglich. Als Konturfarbe ist schwarz am besten geeignet. Um die Buchstabenflächen nicht zu verkleinern, was besonders in den kleinen Schriftgraden eine schlechtere Lesbarkeit zur Folge hat, wird die Kontur unter- statt oberhalb der Farbfläche angeordnet. Bei diesem Verfahren verschwindet die eine Hälfte der Kontur unter der Buchstabenfläche. Um eine Kontur mit Strichstärke 0,08 mm zu erhalten, muss dieser daher ein Wert von 0,16 mm zugewiesen werden. Damit sich die Siedlungsbeschriftung und die Beschriftung von Gebieten, Wäldern, Tälern und Bergen klar unterscheiden, werden die Buchstabenflächen der ersten Gruppe gelb, diejenigen der zweiten weiss eingefärbt. Für die Beschriftung der Siedlungen ist gelb besser geeignet als weiss, da innerhalb des Siedlungsgebietes eher weisse als gelbe Töne zu finden sind. Von diesen hebt sich eine gelbe Beschriftung besser ab. Die Buchstabenflächen der Flussbeschriftung erhalten die gleiche Farbe, welche auch für die Bäche und kleineren Flüsse verwendet wird (100% cyan). Die Einfärbung der Höhenkoten- und Zählkurvenbeschriftung erfolgt – analog zur Wahl der Schriftlage – in gleicher Weise wie diejenige der Täler- und Bergebeschriftung (weiss). Die Ausprägung der Variablen sämtlicher Beschriftungsteile ist in Tab. 5 zusammengefasst.

Die Platzierung der Beschriftung in der topographischen Orthophotokarte orientiert sich an der Schriftanordnung in der LK25. Es wird jedoch darauf geachtet, dass – wo dies möglich und sinnvoll ist – die Bezeichnungen auf dunklen, homogenen und eher informationsarmen Partien des Orthophotos abgesetzt werden (z. B. Waldgebiete). Kommt eine Bezeichnung zusammen mit einer lokalen Signatur vor, so werden diese beiden Elemente derart angeordnet, dass keine Überlagerung stattfindet. Weiter ist darauf zu achten, dass die Beschriftung möglichst wenig lineare Kartenobjekte (z. B. Wege) überlagert, um deren Lesbarkeit nicht zu beeinträchtigen. Eine solche Schriftplatzierung ist jedoch nur bedingt möglich. Es stellt sich daher die Frage, ob die Schrift in den Überlagerungsbereichen freigestellt werden soll, indem die verdeckten Teile der linearen Objekte aufgetrennt und entfernt werden. Grundsätzlich wirkt sich eine Freistellung positiv auf die Lesbarkeit einer Beschriftung aus. Die betroffenen linearen Objekte werden

Hohe Informationsdichte, dunkler und inhomogener Hintergrund

Flächenfarbe der Schrift beeinflusst Lesbarkeit der Kartenbeschriftung

Platzierung, Freistellung

hingegen in ihrer Lesbarkeit geringfügig beeinträchtigt. Üblicherweise erfolgt eine Freistellung der Beschriftung nur dort, wo diese gleichfarbige Objekte überdeckt. In der LK25 ist dies beispielsweise bei den Wegen der Fall, da diese wie die Beschriftung über eine schwarze Einfärbung verfügen. Die braunen Höhenlinien hingegen werden beim Queren von Schrift nicht unterbrochen. In der topographischen Orthophotokarte kann auf eine Schriftfreistellung verzichtet werden. Wie oben gesehen, bestehen sämtliche Beschriftungsteile aus einer hellen Flächenfarbe und werden von einer schwarzen Kontur eingefasst. Trifft nun beispielsweise ein gelber Fussweg auf einen ebenfalls gelben Siedlungsnamen, so wird eine Verschmelzung dieser beiden Objekte durch die Kontur verhindert. Der Siedlungsname bleibt daher auch ohne Freistellung gut lesbar. Beim Zusammentreffen einer schwarzen Linie (z. B. Kartengitter) mit einer schwarzen Schriftkontur, beispielsweise diejenige eines Gebietsnamens, wird die Lesbarkeit der Schrift ebenfalls nicht beeinträchtigt. Die helle Flächenfarbe der Schrift erzeugt einen starken Kontrast zur dunklen Farbe des Kartengitters und ermöglicht eine klare visuelle Abgrenzung der Beschriftung vom linearen Objekt.

Objekt	Schriftart, -schnitt	Schreibart	Schriftgrad	Flächenfarbe	Konturfarbe
Stadt (über 10000 Einwohner)	Myriad Bold	Minuskelschrift	12.1 pt	Gelb (100%)	Schwarz (100%)
Politische Gemeinde (bis 10000 Einwohner)	Myriad Bold	Minuskelschrift	9.3 pt	Gelb (100%)	Schwarz (100%)
Unselbständiger Ort, Ortsteil, Quartier (über 100 Einwohner)	Myriad Bold Italic	Minuskelschrift	9.3 pt	Gelb (100%)	Schwarz (100%)
Weiler, Häusergruppe (bis 100 Einwohner)	Myriad Bold Italic	Minuskelschrift	7.2 pt	Gelb (100%)	Schwarz (100%)
Einzelhaus, Hof, Hütte	Myriad Bold Italic	Minuskelschrift	5.5 pt	Gelb (100%)	Schwarz (100%)
Gebiet, Wald	Myriad Bold	Minuskelschrift	5.5, 7.2, 9.3, 12.1 pt	Weiss	Schwarz (100%)
Tal, Berg	Myriad Bold Italic	Minuskelschrift	5.5, 7.2, 9.3, 12.1 pt	Weiss	Schwarz (100%)
Fluss	Myriad Bold Italic	Minuskelschrift	5.5, 7.2, 9.3, 12.1 pt	Cyan (100%)	Schwarz (100%)
Öffentliches Schwimmbad	Myriad Bold Italic	Minuskelschrift	5.5 pt	Cyan (100%)	Schwarz (100%)
Höhenkote, Zählkurve	Myriad Bold Italic	Minuskelschrift	5.5 pt	Weiss	Schwarz (100%)

Tab. 5 Variablenausprägung (Schriftart, Schriftschnitt, Schreibart, Schriftgrad, Flächenfarbe, Konturfarbe) bei den einzelnen Teilen der Kartenbeschriftung.

15 Kartengitter

15.1 Erkennbarkeit

Wie bei den Höhenlinien und der Kantongrenze handelt es sich auch bei einem Kartengitter nicht um ein topographisches Objekt, sondern um einen abstrakten Sachverhalt. Ein solches Objekt ist daher in der Landschaft und folglich auch auf dem Orthophoto nicht sichtbar.

Abstrakter Sachverhalt

15.2 Zu überlagernde Objekte

Ein Kartengitter dient dem einfachen Auffinden geodätischer Koordinaten innerhalb der Kartenfläche. Weiter hilft es beim Abschätzen horizontaler und vertikaler Distanzen, da die Gitterlinien jeweils einen bestimmten Abstand aufweisen. Die offiziellen topographischen Karten der Schweiz, die Landeskarten, weisen in der Regel ein Kartengitter auf. Es stellt daher ein verbindendes Element dar, welches den Bezug einzelner Karten der Massstabsreihe untereinander herstellt. Um eine topographische Orthophotokarte ebenfalls in diese Systematik integrieren zu können, ist die Überlagerung eines Kartengitters sicherlich sinnvoll. Für eine Überlagerung spricht zudem, dass bei entsprechend gewählter Kachelgrösse und graphischer Ausgestaltung des Kartengitters diese zusätzliche Information ohne wesentliche Störung des Orthophotos und Überlagerung von Landschaftsobjekten dargestellt werden kann. Das hilfreiche Instrument «Kartengitter» soll daher auch in der topographischen Orthophotokarte den Benutzern zur Verfügung gestellt werden.

Überlagerung eines Kartengitters sinnvoll

15.3 Gestaltungsvorgänge

Wie oben erwähnt, stellt das Kartengitter einen abstrakten Sachverhalt dar. Daher gehört seine Visualisierung in der topographischen Orthophotokarte durch Überlagerung konventioneller kartographischer Elemente zum Gestaltungsvorgang «Ergänzen».

Ergänzen

15.4 Gestaltungsablauf

Ein Kartengitter lässt sich grundsätzlich auf zwei Arten darstellen. Einerseits sind Linien denkbar, welche ohne Unterbrechung von Kartenrand zu Kartenrand verlaufen. Andererseits kann das Kartengitter durch Schnitkreuze und kurze Striche am Rand der Karte angedeutet werden. Letztere Lösung eignet sich für eine Orthophotokarte nicht, da die Schnitkreuze und Striche sehr kräftig gezeichnet werden müssen, um überhaupt wahrnehmbar zu sein. Auch wäre für kartometrische Arbeiten eventuell eine nachträgliche Vervollständigung des Gitters erforderlich. Werden durchgezogene Linien verwendet, so können diese sehr fein ausgeführt werden, wodurch das Orthophoto nur marginal belastet wird. Weiter ist ein bestimmter x- bzw. y-Koordinatenwert nicht nur an einigen Punkten, sondern

Durchgezogene oder unterbrochene Gitterlinien

entlang einer ganzen Gitterlinie ablesbar. Kartometrische Arbeiten sind problemlos durchführbar. Als Nachteil dieser Lösung ist eine gewisse «Kachelung» des Bildes zu nennen.

Schwarze Gitterlinien mit Strichstärke 0,08 mm

Eine Darstellung der Linien des Kartengitters mit einem geringen Strichstärkewert von 0,08 mm ist möglich. Auch in Strichkarten wird für feinste Linien meist dieser Wert verwendet. Wegen möglicher Passerprobleme beim Vierfarbendruck ist bei den feinen Gitterlinien eine Mischung aus mehreren Farben nicht sinnvoll. Auch sollte eine Aufrasterung vermieden werden. Denkbar sind daher die 100%-Werte der Farben cyan, magenta, gelb oder schwarz. Schwarz ist am besten geeignet, einerseits aufgrund einer guten Lesbarkeit, andererseits, da auch die in Beziehung zum Kartengitter stehenden Elemente des Kartenrandes und -rahmens sinnvollerweise in dieser Farbe erstellt werden. Eine Verwechslungsgefahr mit den ebenfalls schwarzen Höhenlinien besteht nicht, da letztere etwas breiter sind und normalerweise nicht über längere Distanzen genau horizontal oder vertikal verlaufen.

*Reale Kachelgrösse analog zu den Landeskarten
1:25 000 und 1:50 000*

Beim Erstellen des Kartengitters stellt sich die Frage, welche Distanz zwischen den einzelnen Gitterlinien liegen soll. Die Landeskarten der Schweiz in den Massstäben 1:25 000 und 1:50 000 weisen eine reale Kachelgrösse von einem Kilometer in der Breite und einem Kilometer in der Höhe auf. Es ist naheliegend, diesen Wert auch in der etwas grossmassstäbigeren Orthophotokarte zu verwenden. Im Massstab 1:16 000 ergibt dies einen horizontalen und vertikalen Abstand der einzelnen Gitterlinien von 62,5 mm. Damit liegen diese genügend weit auseinander, um eine starke «Kachelung» und Störung des Orthophotos zu vermeiden (siehe Tafel 23). Die Platzierung der einzelnen Gitterlinien erfolgt numerisch durch Eingabe des entsprechenden Abstandes vom Kartenrand.

16 Schlussbetrachtungen

Abschliessend sollen nochmals die wichtigsten Resultate des projektspezifischen Teils dieser Arbeit zusammengefasst werden. Es wird aufgezeigt, was erreicht bzw. nicht erreicht werden konnte, und was man weiter untersuchen könnte. Zum Schluss folgt noch ein Ausblick auf künftig zu erwartende Entwicklungen sowie Aussagen zum persönlichen Nutzen dieser Arbeit.

16.1 Resultate

16.1.1 Teilbereiche der Orthophotokarte

16.1.1.1 Situationsdarstellung. Bei der Situationsdarstellung bereiten die Siedlungen und Bodenbedeckungen keinerlei gestalterische Probleme, da bei diesen Objektgruppen eine Überlagerung mit konventionellen kartographischen Elementen nicht nötig ist. Die Bahnen können gut visualisiert werden. Auf ein Einzeichnen der Industriegleise und sämtlicher Gleisstränge im Bahnhofsbereich sowie auf eine Unterscheidung zwischen ein- und mehrspurigen Normalspurbahnen wird verzichtet. Die Darstellung der zur Gruppe «Strassen und Wege» gehörenden Objekte kann ebenfalls so gelöst werden, dass eine gute Lesbarkeit vorhanden ist. Einzig für die Visualisierung der wenigen freistehenden Brücken, welche nicht mit einem Weg verbunden sind, konnte noch keine Lösung gefunden werden. Die Gewässerobjekte lassen sich durch Kombination von auf dem Orthophoto sichtbaren, transparent eingefärbten, mit nicht bzw. nicht deutlich sichtbaren und daher opak überlagerten Elementen optimal darstellen. Bei den Einzelobjekten ist eine Überlagerung entweder nicht nötig oder wird durch den Einsatz lokaler Signaturen vorgenommen. Einzig das auf dem Orthophoto nicht sichtbare Objekt «Mauer» erfährt keine Visualisierung mittels konventioneller Kartenelemente.

16.1.1.2 Geländedarstellung. Die Orthophotokarte wurde südorientiert konzipiert, da dadurch besonders das Siedlungsgebiet plastischer wirkt. Die Möglichkeiten und Probleme im Zusammenhang mit der Erstellung einer Schummerung wurden im Rahmen dieser Arbeit nicht untersucht. Die auf dem Orthophoto nicht wahrnehmbaren Erdböschungen, Einschnitte und Dämme sowie die grösstenteils durch Bäume verdeckten und daher unsichtbaren Felspartien sind für eine Visualisierung mittels konventioneller kartographischer Elemente ungeeignet. Es werden entweder zu viele Landschaftselemente überlagert oder es besteht die Gefahr einer inkonsequenten Darstellungsweise. Die punktförmigen Objekte der Geländedarstellung (Höhenkoten, Steinbrüche) lassen sich mit lokalen Signaturen problemlos visualisieren. Eine Überlagerung des Orthophotos mit einem Höhenlinienbild – beim Fehlen anderer Kartenobjekte – kann zufriedenstellend realisiert werden (siehe Tafel 16). Bei einer Kombination des Höhenlinienbildes mit den übrigen konventionellen kartographischen Elementen zeigt es sich jedoch, dass das Orthophoto stark beeinträchtigt und die Karte unübersichtlich wird (siehe Tafel 24). Durch ein Weglassen der Höhenlinien verliert die Orthophotokarte einen grossen Teil ihrer Information über Höhenverhältnisse und Geländeform. Die Variante der Orthophotokarte ohne Höhenlinienbild wirkt jedoch übersichtlicher und kann besser gelesen werden (siehe Tafel 25). Um den Informationsverlust infolge weggelassener Höhenlinien etwas kompensieren zu können, und eine genauere Vorstellung von

Höhenverhältnissen und Geländeform zu erhalten, müssten zumindest weitere Höhenkoten ins Kartenbild integriert werden. Eine detaillierte Darstellung des Geländes im Zusammenspiel mit anderen Kartenelementen stellt somit einen gestalterisch sehr problematischen Bereich dar, für welchen im Rahmen dieses Projektes noch keine befriedigende Lösung gefunden werden konnte.

16.1.1.3 Thematische Inhalte: Grenzen. Die Darstellung der Grenzen stellt – analog zur Geländedarstellung – bei der Erstellung der topographischen Orthophotokarte einen problematischen Bereich dar. Grenzen verlaufen immer dort, wo sich bereits topographische Objekte befinden. Um die Überlagerung von Landschaftsobjekten und Beeinträchtigung des Orthophotos möglichst gering zu halten, wird nur die wichtigste Grenze innerhalb des Testgebietes, die Kantonsgrenze, visualisiert. Diese Lösung stellt zwar einerseits – hinsichtlich der Grenzen – einen gewissen Informationsverlust dar. Andererseits kann aber auch ein Informationsgewinn realisiert werden, da weniger Objekte eine Überlagerung erfahren.

16.1.1.4 Schrift. Analog zu den Grenzen gilt auch bei der Beschriftung, dass durch diese immer Landschaftsobjekte verdeckt werden. Die graphische Ausgestaltung kann so gelöst werden, dass die Beschriftung relativ wenig Fläche beansprucht und trotzdem gut lesbar ist. Im Vergleich zum Informationsgewinn, welcher durch das Hinzufügen der Beschriftung eintritt, kann der überlagerungsbedingte Informationsverlust als marginal bezeichnet werden.

16.1.1.5 Kartengitter. Auch das Kartengitter gehört zu den nicht topographischen Objekten und hat somit eine Überdeckung von Landschaftselementen zur Folge. Die graphische Ausgestaltung und die Kachelgrösse des Kartengitters können jedoch so gewählt werden, dass nur eine minimale Objektüberlagerung und Beeinträchtigung des Orthophotos vorhanden sind.

16.1.2 Unproblematische vs. problematische Elemente

Topographische Objekte vs. abstrakte Sachverhalte

Die Visualisierung der topographischen Objekte – diese können auf dem Orthophoto sichtbar oder unsichtbar sein – lässt sich in der Orthophotokarte befriedigend lösen. Dabei spielt es keine Rolle, ob es sich um punktförmige, lineare oder flächenhafte Objekte handelt. Abstrakte Sachverhalte – etwa Höhenlinien oder Grenzen – lassen sich unterschiedlich gut darstellen. Solche Objekte überlagern immer topographische Objekte. Ob eine Integration dieser Elemente in die Karte vorgenommen werden kann oder nicht, ist in erster Linie von ihrer Informationsdichte abhängig. Objekte mit hoher Informationsdichte sind sehr problematisch, da sie zu einer starken Beeinträchtigung der Lesbarkeit sowohl des Orthophotos als auch der übrigen konventionellen Kartenelemente führen. Objekte mit geringerer Informationsdichte lassen sich hingegen problemlos in die Karte integrieren.

16.1.3 Lesbarkeit, Signaturengestaltung, Informationsreichtum

Eingeschränkte Ausgestaltungsmöglichkeiten

Diejenigen konventionellen Kartenelemente, welche schlussendlich dem Orthophoto überlagert werden, können graphisch so ausgestaltet werden, dass sie gut lesbar sind und problemlos voneinander unterschieden werden können. Hinsichtlich der Ausgestaltungsmöglichkeiten der einzelnen Signaturen ist man bei einer Orthophotokarte gegenüber einer Strichkarte stark eingeschränkt. So können beispielsweise keine unterbrochenen Linien verwendet werden, viele Signaturen benötigen zwingend eine Kontur und für

flächige Objekte ist eine opake Flächenfüllung ungeeignet. Punktförmige Signaturen müssen generell grösser, lineare meist breiter als in Strichkarten gezeichnet werden.

Vergleicht man die Informationen, welche in der topographischen Orthophotokarte «Olten» vorhanden sind mit denjenigen in der Landeskarte 1:25000, so kann als erstes festgehalten werden, dass diese nicht deckungsgleich sind. Welches Kartenprodukt aber schlussendlich den grösseren Informationsreichtum aufweist, ist schwierig festzulegen. So hat die Orthophotokarte beispielsweise klare Mängel im Bereich der Geländedarstellung. Hingegen weist sie eine im Vergleich zur Landeskarte in weiten Teilen detailliertere und anschaulichere Darstellung der Bodenbedeckungen auf. Schlussendlich entscheiden die Anforderungen eines Benutzers an eine topographische Karte, welches der genannten Produkte als informationsreicher angesehen werden kann.

Informationsreichtum

16.2 Weiterführung des Projektes

Eine Weiterführung dieses Projektes könnte sich zum einen den oben angesprochenen, nach wie vor bestehenden, Problembereichen widmen. Zum anderen wäre es interessant, den erstellten Signaturenkatalog auf ein grösseres bzw. anderes (alpiner Raum) Gebiet anzuwenden und dessen Eignung zu überprüfen. Dabei müsste – neben eventuell nötigen Signaturanpassungen – der Katalog auch noch durch weitere Signaturen ergänzt werden. Ebenfalls interessante Projektweiterführungen wären die Erstellung einer Orthophotokarte vom Testgebiet «Olten» in einem grösseren Massstab sowie einer multimedialen Anwendung, und ein Vergleich der vorliegenden Karte mit einem entsprechenden kommerziellen Produkt. Schliesslich wären noch Tests zur Praxistauglichkeit (z. B. Orientierung im Gelände) der topographischen Orthophotokarte aufschlussreich. Zu diesem Themenbereich können Wastl (1999:59–68) interessante Ansätze entnommen werden.

Anwendung des Signaturenkataloges auf ein grösseres bzw. anderes Gebiet

16.3 Ausblick

In Kürze sollten für die ganze Schweiz farbige Orthophotos des «SWISSIMAGE»-Datensatzes erhältlich sein. Daher steht der Erstellung eines flächendeckenden topographischen Orthophotokartenwerks grundsätzlich nichts mehr im Wege. Wie die Erzeugnisse aus dem Hause ENDOXON zeigen, ist eine solche Produktion auch bereits angelaufen. Ob die Herstellung von Karten auf Orthophotobasis in der kartographisch gut erschlossenen Schweiz eine Berechtigung hat, wird schlussendlich der Markt entscheiden. Auf jeden Fall ist es positiv, wenn die Kartenbenutzerin zwischen unterschiedlichen Darstellungsformen der Erdoberfläche auswählen kann.

Flächendeckendes topographisches Orthophotokartenwerk der Schweiz?

Für kartographisch schlecht erschlossene Erdteile kann eine topographische Orthophotokarte als ein ideales Produkt bezeichnet werden. Durch das Wegfallen der konventionellen Darstellung von Siedlungen und Bodenbedeckung ist eine relativ wirtschaftliche Kartenherstellung und -nachführung möglich. Eine topographische Orthophotokarte kann in solchen Gegenden daher einen optimalen Kompromiss zwischen einem unbearbeiteten und daher in vielen Bereichen ungenügenden Luftbild bzw. Orthophoto und einer in ihrer Herstellung sehr kosten- und zeitintensiven Strichkarte darstellen.

Für kartographisch schlecht erschlossene Gebiete interessant

16.4 Persönlicher Nutzen der Arbeit

Intensive Beschäftigung mit einem aktuellen Thema

Das Erstellen dieser Diplomarbeit bot mir zum einen die Gelegenheit, mich über einen längeren Zeitraum intensiv mit einem interessanten und aktuellen Thema auseinandersetzen und einen bescheidenen Beitrag dazu leisten zu können. Zum andern ermöglichte mir dieses Projekt, mit modernen Geodaten zu arbeiten, welche im Fall des Farborthophotomosaiks «SWISS-IMAGE» erst seit kurzer Zeit überhaupt erhältlich sind. Weiter konnte ich mich mit Software beschäftigen, welche ich bis anhin noch nicht eingesetzt hatte (z. B. FrameMaker, Inspiration), und welche sich als sehr geeignetes und nützliches Hilfsmittel für die Organisation und Aufbereitung der anfallenden Datenmenge erwies. Schliesslich gehört auch die Vertiefung meiner Kenntnisse von bestimmten Graphikprogrammen (z. B. Illustrator, Photoshop), welche ich für andere kartographische Arbeiten bereits eingesetzt hatte, zum persönlichen Nutzen aus diesem Projekt.

Literatur

- Albertz, J.* (1991): Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern. Eine Einführung in die Fernerkundung, Darmstadt.
- Albertz, J.* (2001): Einführung in die Fernerkundung. Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern, 2. Auflage, Darmstadt.
- Albertz, J., Lehmann, H. und Tauch, R.* (1992): Herstellung und Gestaltung hochauflösender Satelliten-Bildkarten. In: Kartographische Nachrichten, Nr. 6 (Dezember), 42. Jg., S. 205–213.
- Arnold, F.* (2000): Cassini – ein Schriftprogramm für die Kartographie. In: Kartographische Nachrichten, Nr. 5 (Oktober), 50. Jg., S. 218–224.
- Brunner, K.* (1980): Zur heutigen Bedeutung von Orthophotokarten. Unter Berücksichtigung von Orthophotokarten vergletschelter Gebiete, in: Bildmessung und Luftbildwesen, Nr. 4 (Juli), 48. Jg., S. 151–157.
- Bühlmann, M.* (1971): Grundlagen zur Kartenbeschriftung mit serifenloser Linear-Antiqua. Zürich.
- Bundesamt für Landestopographie* (2001a): Pixelkarten. PDF-Dokument, Zugriff am 8. Januar 2002, <ftp://ftp.swisstopo.ch/pub/data/pixelkarten/pkinfoDF.pdf>.
- Bundesamt für Landestopographie* (2001b): Produkteinformation Digitales Farborthophotomosaik. PDF-Dokument, Zugriff am 8. Januar 2002, <ftp://ftp.swisstopo.ch/pub/data/image/SWISSIMAGE.pdf>.
- Bundesamt für Landestopographie* (2001c): Zeichenerklärung und weitere Informationen zu den Landeskarten der Schweiz. PDF-Dokument, Zugriff am 8. Januar 2002, <ftp://ftp.swisstopo.ch/pub/data/maps/ZeichenD.pdf>.
- Bundesamt für Landestopographie* (2002): Produktionsstand. JPG-Dokument, Zugriff am 3. September 2002, <http://www.swisstopo.ch/images/image/SwissImagestandD.jpg>.
- Bundesamt für Landestopographie* (o.J.-a): Pixelkarte. HTML-Dokument, Zugriff am 11. Juli 2001, <http://www.swisstopo.ch/de/digital/pixel.htm>.
- Bundesamt für Landestopographie* (o.J.-b): VECTOR25. Das digitale Landschaftsmodell der Schweiz, PDF-Dokument, Zugriff am 8. Januar 2002, <ftp://ftp.swisstopo.ch/pub/data/vector/Vec25infoD.pdf>.
- Eidg. Landestopographie* (1933): Schriftnormalien. Bern.
- Eilhardt, P. und Geisler, P.* (1982): Über das Einfügen von Schrift und Höhenlinien in einfarbigen Luftbildkarten. In: Bildmessung und Luftbildwesen, Nr. 1 (Januar), 50. Jg., S. 143–146.
- Finsterwalder, R.* (1974): Bemerkungen zur Gestaltung von Luftbildkarten 1:25 000. In: Bildmessung und Luftbildwesen, Nr. 4 (Juli), 42. Jg., S. 129–130.
- Gierloff-Emden, H. G.* (1989): Fernerkundungskartographie mit Satellitenaufnahmen. Allgemeine Grundlagen und Anwendungen, Wien.
- Hake, G. und Grünreich, D.* (1994): Kartographie. De-Gruyter-Lehrbuch, 7. Auflage, Berlin/New York.
- Hake, G., Grünreich, D. und Meng, L.* (2002): Kartographie. Visualisierung raum-zeitlicher Informationen, 8. Auflage, Berlin/New York.
- Härry, H.* (1969): Signaturenkarte und Orthophotokarte. In: Sonderdruck aus: Nachrichten aus dem Karten- und Vermessungswesen. Sonderheft: Festschrift Gigas, S. 43–46.
- Hässler, U.* (2002): Photoshop 6. Innovatives Bildmanagement, X.media.press, 2. Auflage, Berlin/Heidelberg/New York.
- Hedgecoe, J.* (1987): Hedgecoes Fotohandbuch. Zürich.
- Hildebrandt, G.* (1996): Fernerkundung und Luftbildmessung für Forstwirtschaft, Vegetationskartierung und Landschaftsökologie. Heidelberg.
- Imhof, E.* (1962): Die Anordnung der Namen in der Karte. Internationales Jahrbuch für Kartographie, Zürich.
- Imhof, E.* (1965): Kartographische Geländedarstellung. Berlin.

- Internationale Kartographische Vereinigung* (1973): Mehrsprachiges Wörterbuch kartographischer Fachbegriffe. Wiesbaden.
- Käser, C., Streilein, A., Czáká, T. und Roggli, M. (2001): SWISSIMAGE – das flächendeckende, hochaufgelöste Farbornthophoto des Bundesamtes für Landestopographie. In: Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, Nr. 8 (August), 99. Jg., S. 532–536.
- Knöpfl, R. (o.J.): Orthophoto. O.O.
- Kraus, K. (1990): Auswertung photographischer und digitaler Bilder. Fernerkundung, Bd. 2, Bonn.
- Leser, H., Haas, H.-D., Mosimann, T. und Paesler, R. (1995): DIERCKE-Wörterbuch der Allgemeinen Geographie. Bd. 2: N–Z, 8. Auflage, München/Braunschweig.
- Löffler, E. (1994): Geographie und Fernerkundung. Eine Einführung in die geographische Interpretation von Luftbildern und modernen Fernerkundungsdaten, Teubner Studienbücher Geographie, 2. Auflage, Stuttgart.
- Mühler, R. (2000): Physikalische und technische Grundlagen der Fotografie. Vorlesungsskript, PDF-Dokument, Zugriff am 13. Januar 2003, <http://www.med.uni-magdeburg.de/fme/khno/audio/studium/photo/skript/skript.pdf>.
- Paine, D. P. (1981): Aerial photography and image interpretation for resource management. New York/Chichester/Brisbane/Toronto.
- Pape, H. (1971): Kleinmassstäbliche Luftbildkarten. Voraussetzungen und Möglichkeiten, in: Kartographische Nachrichten, Nr. 2 (April), 21. Jg., S. 43–50.
- Radlinski, W. A. (1968): Orthophoto Maps vs. Conventional Maps. In: The Canadian Surveyor, Nr. 1 (März), 22. Jg., S. 118–122.
- Robinson, A. H., Morrison, J. L., Muehrcke, P. C., Kimerling, A. J. und Guptill, S. C. (1995): Elements of cartography. 6. Auflage, New York/Chichester/Brisbane/Toronto/Singapore.
- Schmidt-Falkenberg, H. (1974): Topographische Karte 1:25 000 (Luftbildkarte). In: Bildmessung und Luftbildwesen, Nr. 1 (Januar), 42. Jg., S. 74–80.
- Schmidt-Falkenberg, H. (1984): Luftbildkartographie. Kartographie der Gegenwart in der Bundesrepublik Deutschland '84, Bd. 1 Textteil, Bielefeld.
- Schweissthal, R. (1967): Grundlagen, Bearbeitung und Herstellung grossmassstäbiger Luftbildkarten. Dissertation an der TH Hannover.
- Schweissthal, R. (1969): Diskussionsbeitrag zu: Deutsche Grundkarte 1:5000 oder Luftbildkarte 1:5000? In: Kartographische Nachrichten, Nr. 3 (Juni), 19. Jg., S. 107–109.
- Schweissthal, R. (1970): Topographische und thematische Luftbildkarten. Die «Luftbildwanderkarte» als Beispiel einer thematischen Luftbildkarte, Grundsatzfragen der Kartographie, Wien.
- Spiess, E. (1995): Kartographie Grundzüge. Vorlesungsskript, Zürich.
- Strathmann, F.-W. (1989): Fernerkundungskartographie als Arbeitsgrundlage für Stadt- und Regionalplanung. In: Kartographische Nachrichten, Nr. 6 (Dezember), 39. Jg., S. 201–208.
- Thrower, N. J. W. und Jensen, J. R. (1976): The Orthophoto and Orthophotomap: Characteristics, Development and Application. In: The American Cartographer, Nr. 1 (April), 3. Jg., S. 39–56.
- Tillmanns, U. (1991): Fotolexikon – 1367 Fachbegriffe. Schaffhausen.
- Wastl, R. (1999): Grossmassstäbige kartographische Darstellungen – empirische Untersuchungen zu ihrem Gebrauchswert. In: Kartographische Nachrichten, Nr. 2 (April), 49. Jg., S. 59–68.