

Einführung in die Fernerkundung

Teil der Lehrveranstaltung 60-304, Waldinventur II

Educational Material

Author(s):

Oester, Bernhard

Publication date:

2003

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004621614>

Rights / license:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

Einführung in die Fernerkundung

Teil der Lehrveranstaltung 60-304, Waldinventur II

Dr. Oester Bernhard

Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf

Leiter des Forschungsbereiches Wald

SS 2003

Inhaltsverzeichnis

1. EINLEITUNG.....	3
1.1 Ziel.....	3
1.2 Was versteht man unter "Fernerkundung".....	3
1.3 Bedeutung der Fernerkundung.....	3
1.4 Verwendung von Luftbildern.....	3
2. PHYSIKALISCHE UND BIOLOGISCHE GRUNDLAGEN.....	4
2.1 Elektromagnetische Strahlung und Einfluss der Atmosphäre.....	4
2.2 Spektrales Reflexionsverhalten von Blättern und Bäumen.....	5
3. DAS LUFTBILD.....	7
3.1 Luftbildkammern und Objektive.....	7
3.2 Die in der Schweiz verwendeten Spezialflugzeuge für Bildmessflüge.....	8
3.3 Flugplanung.....	9
4. GEOMETRIE DES LUFTBILDES.....	11
4.1 Die Zentralprojektion.....	11
4.2 Bestimmung des Bildmassstabes.....	13
5. STEREOSKOPISCHE BETRACHTUNG VON LUFTAUFNAHMEN.....	14
5.1 Prinzip des stereoskopischen Sehens.....	14
5.2 Orientierung der Bilder unter dem Stereoskop.....	15
5.3 Stereoskopische Überhöhung.....	16
5.4 Stereoschwelle.....	16
5.5 Stereoskopische Interpretationsgeräte.....	16
6. BESTIMMEN VON BAUMHÖHEN.....	17
7. INTERPRETATION DER LUFTBILDER.....	18
7.1 Interpretationsschlüssel.....	18
7.2 Methodik und allgemeine Voraussetzungen.....	18
7.4 Bestimmen der Baumart.....	20
7.5 Entwicklungsstufe.....	22
7.6 Beurteilung des Kronenzustandes.....	23
8. VOM LUFTBILD ZUR THEMATISCHEN KARTE.....	26
8.1 Vorarbeiten.....	26
8.2 Luftbildinterpretation.....	27
8.3 Photogrammetrische Auswertung.....	28
8.4 Datenverarbeitung im GIS.....	29
8.5 Datenausgabe.....	30
8.6 Berichterstattung.....	30
9. LUFTBILDBESTELLUNG.....	31
9.1 Übersicht über vorhandene Luftbilder.....	31
9.2 Luftbilder zur Nachführung der Landeskarten.....	31
9.3 Bestellen von vorhandenen Luftbildern.....	32
9.4 Spezialbefliegungen.....	32
LEHRBÜCHER.....	34
LITERATUR.....	34

1. Einleitung

1.1 Ziel

Die Fernerkundung hat in den letzten Jahren gewaltige Fortschritte gemacht. Mit dem Bau von neuen Satelliten, hochauflösenden Sensoren und leistungsstarken Auswerteprogrammen kann nicht nur das Wettergeschehen laufend verfolgt, sondern beinahe beliebige Veränderungen auf der Erde erfasst werden. Trotz diesen faszinierenden neuen Möglichkeiten der modernen Fernerkundung spielen die klassischen Verfahren der Luftbildinterpretation in der Forstwirtschaft nach wie vor eine wichtige Rolle.

Ziel dieses Manuskriptes und der gleichnamigen Vorlesung ist es:

- den Einstieg in die Luftbildinterpretation zu erleichtern,
- die Möglichkeiten und Grenzen der Luftbild-Auswertung aufzuzeigen und
- die hierzu notwendigen Grundlagen zu vermitteln.

1.2 Was versteht man unter "Fernerkundung"

Unter Fernerkundung (télédétection, telerilevamento, remote sensing) versteht man Methoden der Aufnahme- und Auswertetechnik von Objekten aus der Entfernung, ohne mit dem Objekt in direkten Kontakt zu kommen.

Sie umfasst verschiedene Aufnahmeverfahren, die von Flugzeugen und Satelliten aus zur Erderkundung, zu thematischen Kartierungen und Bestandesaufnahmen der Erdoberfläche und der Atmosphäre eingesetzt werden.

1.3 Bedeutung der Fernerkundung

Fernerkundungsdaten (Luftbilder, Satellitenbilder, Scannerdaten) stellen eine wertvolle Informationsquelle dar. Sie erlauben es, zeitintensive Feldarbeiten auf ein Minimum zu beschränken. Verschiedenste Daten und Informationen, die sonst im Gelände erhoben werden müssten, können mittels Luftaufnahmen effizient gewonnen werden.

Mit Luftaufnahmen kann die Erdoberfläche dokumentarisch zu einem genau bestimmten Zeitpunkt erfasst werden. Luftbilder sind Umweltdokumente, die ein objektives Bild eines Gebietes mit allen vom Aufnahmestandort aus erkennbaren Einzelheiten zeigen. Je nach der gewählten Aufnahmehöhe können Bilder erstellt werden, die nur einen Ausschnitt eines Gebietes erfassen, dafür aber sehr viele Details zeigen (Einzelbäume, Äste) oder es können Übersichtsaufnahmen aus grosser Höhe aufgenommen werden, die ein grösseres Waldgebiet mit seiner Umgebung zeigen.

Periodische Wiederholungen von Aufnahmen ermöglichen Aussagen über Veränderungen in Raum und Zeit. Fernerkundungsaufnahmen stellen diesbezüglich ein wertvolles Hilfsmittel für die Umweltbeobachtung dar. In vielen Fällen sind Luftbilder die einzige Möglichkeit, für grössere Gebiete flächendeckende Erhebungen durchführen zu können.

In der Photogrammetrie, die mit Luftbildern die Landschaft vermisst, ist das Luftbild längst zu einem operationellen Arbeitsmittel (z.B. bei der Herstellung von Landeskarten, Übersichts- und Detailplänen) geworden.

1.4 Verwendung von Luftbildern

Luftbilder werden in der Waldwirtschaft, im Natur- und Landschaftsschutz und anderen verwandten Gebieten für vielfältige Zwecke eingesetzt, z.B.

- Erstellen von verschiedenen thematischen Karten der forstlichen Planung (Bestandeskarte, Mischungskarte, Massnahmenkarte, usw.)
- Erfassen von Waldschäden und Katastrophen (Sturm, Schneebruch, Überschwemmungen, Waldbrände, Naturkatastrophen, Käferbefall)
- Erfassen des Waldzustandes und von Waldveränderungen
- Erstellen von Grundlegekarten für technische Massnahmen (Lawinenverbauungen, Wildbachverbauungen, Sanierung von Rutschungen)
- Wald- und Standortsausscheidungen
- Kartierung von Hoch- und Flachmooren, bzw. Moorlandschaften
- Landesweite Erhebungen (Landesforstinventar, Arealstatistik)
- Raumplanerische Fragestellungen.

2. Physikalische und biologische Grundlagen

Um die Luftbilder richtig interpretieren zu können, sind fundierte Kenntnisse über das Medium "Luftbild" und die Einflussfaktoren bei der Aufnahme notwendig. Zu diesen gehören die spektralen Reflexionseigenschaften der aufgenommenen Objekte und die speziellen Eigenheiten des Aufnahmesystems (Kamera, Objektiv, Filter und Film), aber auch die elektromagnetischen Eigenschaften der Sonneneinstrahlung sowie der Einfluss der Atmosphäre.

2.1 Elektromagnetische Strahlung und Einfluss der Atmosphäre

Das elektromagnetische Spektrum der Sonne reicht von den Gammastrahlen über die Röntgenstrahlen, UV-Strahlen und den für unsere Augen sichtbaren Strahlen (Wellenlänge 0.4 - 0.7 μm), über die Infrarot-Strahlen bis hin zu den Mikro- und Radiowellen. Ein Teil dieser Strahlen wird durch die Atmosphäre absorbiert. Die Atmosphäre ist ein trübes Medium, dessen Trübungsgrad zeitlich und örtlich stark wechselt. Die Trübung wird einerseits durch die Luftmoleküle, andererseits durch die Aerosole hervorgerufen, worunter man die Gesamtheit aller übermolekularen Schwebeteilchen wie Rauch, Staub, Wassertröpfchen, Kristalle, Pollen, Lebewesen usw. versteht.

Für forstliche Zwecke, insbesondere für Waldzustandserhebungen anhand von Infrarot-Luftbildern sind der sichtbare Bereich und der unmittelbar angrenzende Bereich des nahen Infrarot von Bedeutung. In diesem Spektralbereich ist die Atmosphäre relativ stark durchlässig.

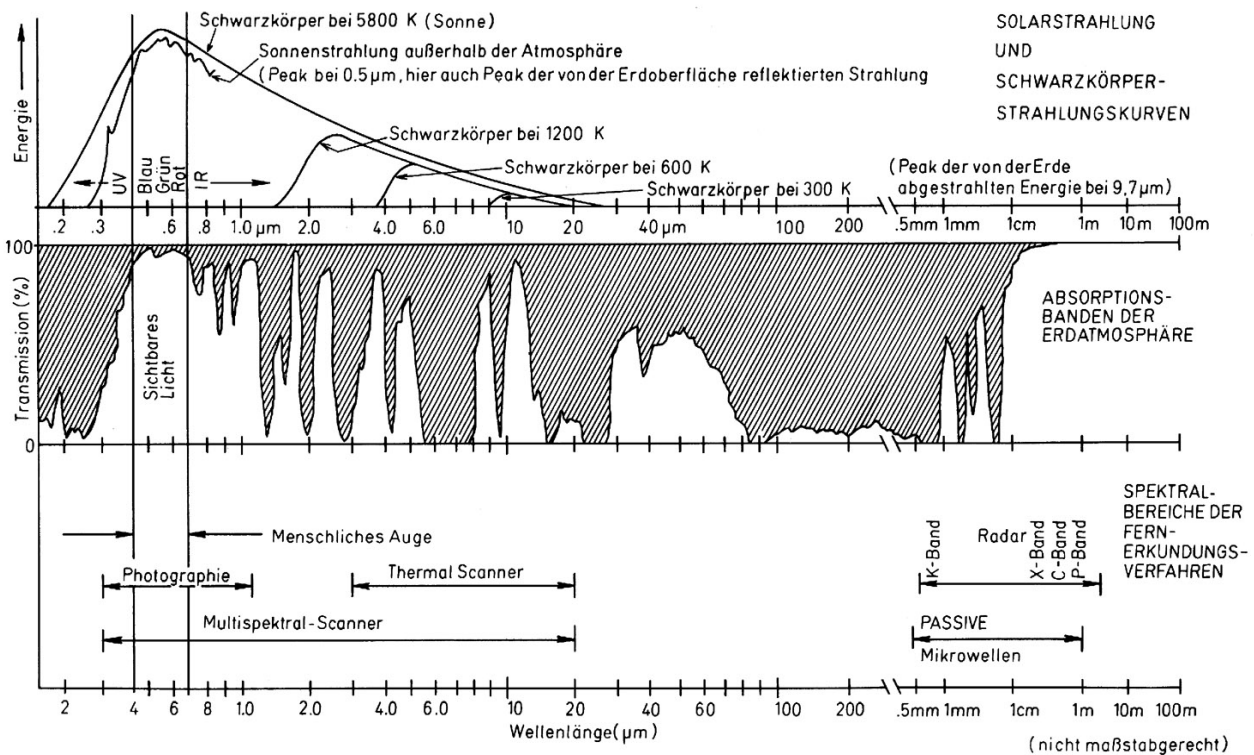


Abb. 2.1: Das elektromagnetische Energiespektrum, die Durchlässigkeit der Erdatmosphäre und die in der Fernerkundung genutzten Spektralbereiche (aus Kronberg, 1985; nach Sherz und Stevens, 1970).

2.2 Spektrales Reflexionsverhalten von Blättern und Bäumen

Die auf ein Objekt der Erdoberfläche einfallende Globalstrahlung (Sonnen- und Himmelsstrahlung) wird von diesem teilweise aufgenommen (absorbiert), z.T. zurückgestrahlt (reflektiert) und z.T. durchgelassen (transmittiert). Der jeweilige Anteil ist abhängig vom Objekt, dem Zustand seiner Oberfläche und der Wellenlänge. Für die Fernerkundung ist vor allem die Reflexion im sichtbaren und nahen Infrarot-Bereich von Interesse.

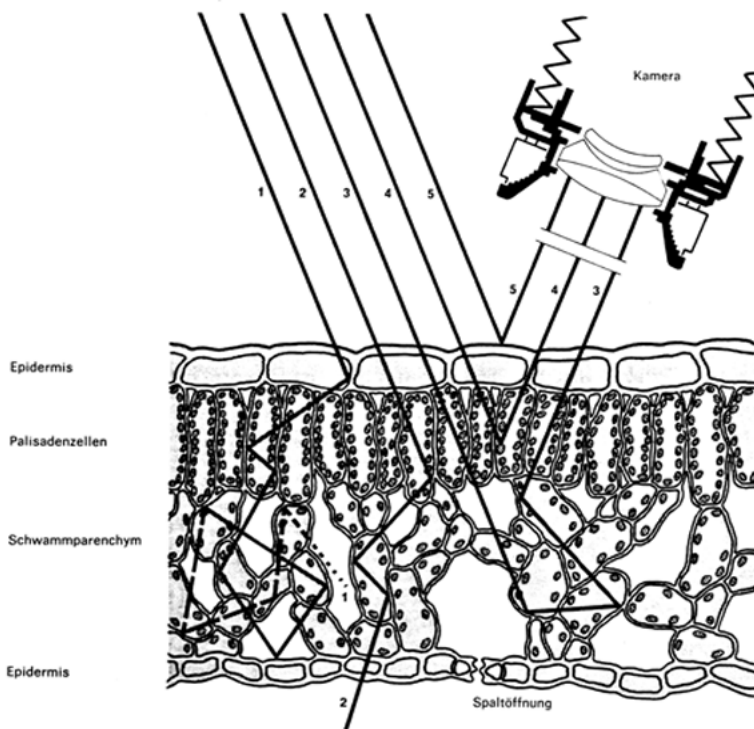


Abb. 2.2: Querschnitt eines Buchenblattes mit Strahlenverlauf (aus Drobil et al., 1978).

Ein Teil der auftreffenden Strahlung wird im Blattinneren absorbiert (1), ein Teil transmittiert (2), ein Teil entweder vom Schwammparenchym (3), von den Palisadenzellen (4) oder von der Epidermis reflektiert (5).

Das Reflexionsverhalten eines grünen Blattes wird durch verschiedene Einflussfaktoren bestimmt: im sichtbaren Bereich vor allem durch die Blattpigmente (Chlorophylle, Carotine, Xanthophylle), im nahen Infrarot von 0.8 bis 1.2 μm hauptsächlich durch die Blattstruktur und von 1.2 bis 2.6 μm durch den Wassergehalt. Da die verschiedenen Baumarten unterschiedlich aufgebaute Blattorgane haben, ist auch das Reflexionsverhalten baumartenspezifisch. Aber auch innerhalb einer Baumart gibt es Unterschiede z.B. zwischen Licht- und Schattenblättern, zwischen ein- und mehrjährigen Nadeln. Am markantesten ist der Unterschied zwischen Nadeln und Blättern.

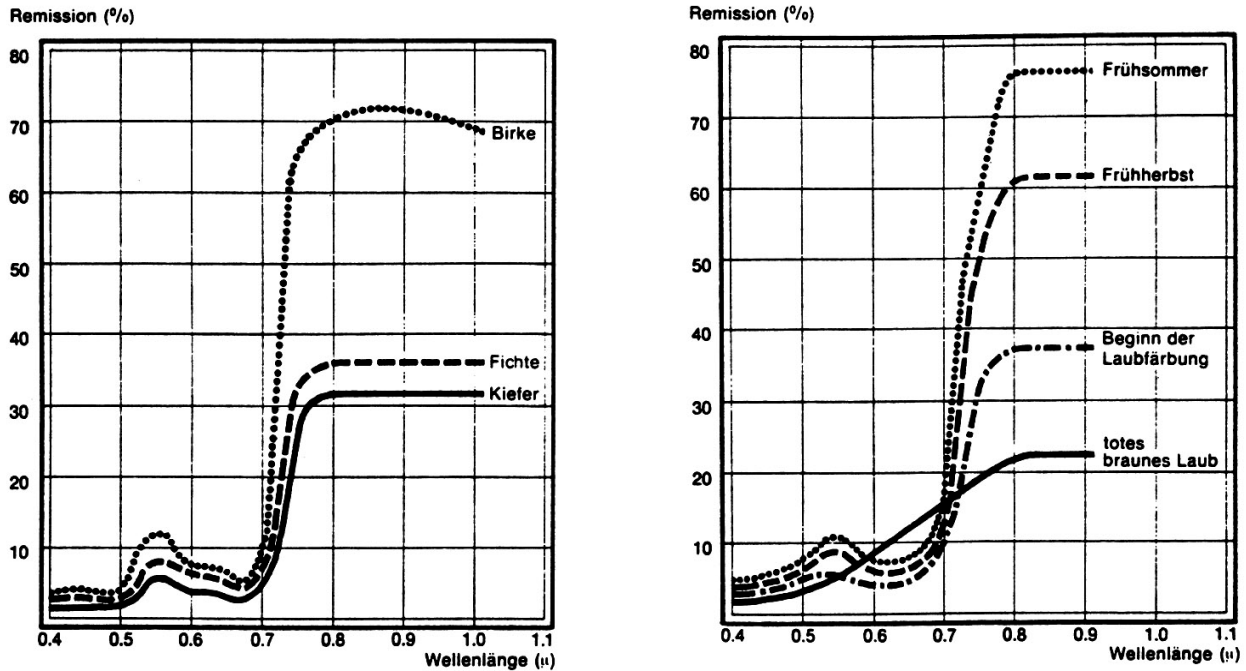


Abb. 2.3: Spektrale Reflexion von verschiedenen Baumarten bzw. deren Veränderung im Jahresablauf (aus Drobil et al., 1978, nach Backström und Welander).

Verändern sich im Verlaufe der Vegetationszeit die Blattpigmente (z.B. Herbstverfärbung), so ändert sich auch das spektrale Reflexionsverhalten und dementsprechend auch die Farbe des Blattes. Auch bei schädlichen Einwirkungen durch Insekten, Pilze, Stress, Trockenheit oder Immissionen können sich die Blattpigmente und die Zellstrukturen ändern, was ebenfalls zu Veränderungen in der spektralen Reflexion führt. Meistens verschiebt sich das Maxima vom Grün- in den Gelbbereich, die Rotstrahlung nimmt zu und die Infrarotstrahlung nimmt markant ab.

Das spektrale Reflexionsverhalten von Bäumen und Beständen wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst, nämlich:

- von den Reflexionseigenschaften der Blattorgane und Äste
- insbesondere von der Blattmasse und der Stellung der Blätter bzw. Nadeln
- vom phänologischen und physiologischen Zustand der Bäume
- von der Artenzusammensetzung und Mischform des Bestandes
- von der Bestandesdichte
- von der vertikalen Gliederung und Bestandesoberfläche und damit auch dem Verhältnis zwischen beleuchteten und beschatteten Pflanzenteilen
- und nicht zuletzt vom Einfallswinkel der Sonne, bzw. den spektralen Eigenschaften der Strahlung.

Der prozentuale Anteil der Reflexion ist bei einem einzelnen Blatt in der Regel grösser als bei einer Baumkrone (verschiedene Blattstellungen, Schattenpartien, Äste und Zweige). Die Reflexionskurven bleiben sich aber ähnlich.

Mit zunehmender Kronentransparenz sieht man tiefer ins Kroneninnere, der Anteil der beschatteten Teile nimmt zu, Äste werden sichtbar, der Baum ändert sein Aussehen. All dies wirkt sich auf das Reflexionsverhalten des Baumes aus, insbesondere im nahen Infrarot nimmt die Strahlung deutlich ab.

3. Das Luftbild

3.1 Luftbildkammern und Objektive

Speziell für die Bedürfnisse der Photogrammetrie und der Luftbildinterpretation sind sogenannte Reihemesskammern oder metrische Vermessungs-Luftbild-Kameras entwickelt worden. Verwendet werden schwarz-weiss, farbige oder infrarot Filme (Negativ oder Diapositivfilme) und zwar im Bildformat 23 x 23 cm. Die Kameras werden in speziell eingerichteten Flugzeugen eingebaut. Die Aufnahmen erfolgen durch eine Öffnung im Boden des Flugzeuges. Das Auslösen des Verschlusses kann so gesteuert werden, dass sich die Aufnahmen jeweils um einen bestimmten Betrag überdecken. Damit die Aufnahmen später stereoskopisch ausgewertet werden können, muss die Überdeckung mindestens 60 % betragen, für forstliche Zwecke ist eine Längsüberdeckung von 70 - 80 % optimal.

Bei jeder Aufnahme werden die sogenannten Rahmenmarken und verschiedene Instrumente bzw. Informationen am Rande des Luftbildes abgebildet. Eine Aufnahme von LH Systems Kamera RC 30 enthält folgende wichtige Informationen am Bildrand (vgl. Abb. 3.1):

- Aufnahmedatum und Uhrzeit (auf Sekunden genau), Aufnahmegebiet (z.B. Kanton), Koordinaten, Fluglinien-Nummer und durchschnittlicher Bildmassstab
- Bildzählwerk: Die Luftbilder werden fortlaufend nummeriert.
- Angaben über das Objektiv: Bezeichnung des Objektivs (z.B. Wild 30/4 NAT-S), Objektivnummer und Brennweite (in mm)
- 8 Rahmenmarken: Sie dienen zur Bestimmung der Bildmittelpunkte bzw. zur inneren Orientierung der Bilder.
- Namen der Flugfirma, ev. Signet (z.B. Swisstopo, L+T) und verwendetes Flugzeug
- Dosenlibelle: Sie zeigt die Abweichung der Kammerachse von der Senkrechten im Moment der Aufnahme.
- Diverse weitere Angaben zu Kameraeinstellung, Filmtyp, Filter
- Ev. barometrischer Höhenmesser: Er zeigt die Höhe in Metern über Meer. Im kleinen Fenster sind die Tausender, auf der grossen Skala die Hunderter und die Zehner angegeben. Anhand der Flughöhe und der Brennweite des Objektivs kann der Bildmassstab berechnet werden.

Die zwei wichtigsten Kamera-Hersteller sind LH Systems, Heerbrugg (CH) (www.lh-systems.com) und Zeiss D-Oberkochen (www.zeiss.de).

Bereits sind auch **digitale Luftbildkameras** im Einsatz. LH-Systems entwickelte den "Digitalen Luftbild-Sensor ADS40", mit dem digitale, multispektrale Bilder, zeitparallel in Farbe, schwarz-weiss und nahem Infrarot durch dieselbe Optik produziert werden können.

Die Firma Zeiss entwickelte zusammen mit Intergraph die sogenannte "Digitale Modulare Kamera DMC" (www.ziimaging.de/Products/AerialCameraSystems/DMC.htm) auf der Basis der CCD-Flächensensortechnologie.

Ganz neu kommen auch Laser-Scanner in Vermessungsflugzeugen zum Einsatz (z.B. ALS40 von LH-Systems), mit deren Hilfe Geländemodelle mit stark verbesserter Höhengenaugigkeit erzeugt werden können.

Aufnahmezeit Datum Fluglinie Nr. Kanton Koordinate Massstab

UTC 09:35:10 25.06.2001 FL 028019 AR APPENZELL A.RH. 756720 247500 1: 10000



Luftbild (verkleinert)



Rahmenmarke

Libelle



Objektiv-Nr.
Brennweite



Signet Flugfirma



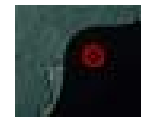
Flugzeugtyp



Bildnummer



Bundesamt für Landestopographie
Flugdienst / KSL



Bildecke mit Rahmenmarke



Rahmenmarke

FS160 1/ 650 f/4.0 FF1.0 EC+2/3 SP- v/h.02899 00% dt127.1 ds012 27.2V -66mb ER00 CAM15058

Film- und aufnahmetechnische Angaben

Abb. 3.1: Luftaufnahme einer RC-30-Kammer von LH Systems, Heerbrugg mit Flug- und bildtechnischen Angaben (Randstreifen)

3.2 Die in der Schweiz verwendeten Spezialflugzeuge für Bildmessflüge

In der Schweiz werden Luftbilder durch das Bundesamt für Landestopographie (www.swisstopo.ch) und durch die privaten Firmen Swissphoto AG (www.swissphoto.ch) und Grunder Ingenieure AG (www.grunder.ch) ausgeführt. Die technischen Daten sind in der Tabelle 3.1 zusammengefasst.

Tab. 3.1: Technische Daten der in der Schweiz verwendeten Spezialflugzeuge und Kameras für Bildmessflüge.

Flugdienst bzw. Firma	Flugzeug	max. Geschw. km/h	min. Geschw. km/h	Flugdauer h	max. Flughöhe m.ü.M	Anzahl und Typ der Kamera
Swisstopo*	Twin Otter Super King Air 350c	337 580	108	5:20 8	8150 10600	2 RC 30 2 RC 30
Swissphoto AG	Pilatus Porter PC-6	220	85	4	7600	RC 30
Grunder AG	Pilatus Porter PC-6	220	85	4	7600	RC 30 2 Zeiss UMK

* früher Bundesamt für Landestopographie L+T

3.3 Flugplanung

Falls keine geeigneten Luftbilder vorhanden sind, müssen Spezialbefliegungen in Auftrag gegeben werden. Eine der wichtigsten Schritte ist die Festlegung des Bildmassstabes. Dieser richtet sich nach der Zielsetzung bzw. den Genauigkeitsanforderungen. Aus dem Bildmassstab und dem Bildformat ergeben sich die Seitenlänge des erfassten Geländeausschnittes, sowie je nach gewünschter Längs- und Querüberdeckung auch die Abstände zwischen den einzelnen Aufnahmen resp. den einzelnen Fluglinien. Für eine flächendeckende Befliegung eines grösseren Gebietes lässt sich die notwendige Anzahl Luftbilder wie folgt berechnen (nach Albertz und Kreiling, 1989) (vgl. Übung 9).

Flugbasis b bei p % Längsüberdeckung: $b = d (1 - p / 100)$

Streifenabstand a bei q % Querüberdeckung: $a = d (1 - q / 100)$

Anzahl Bilder pro Streifen: $n_p = (l_p / b) + 1$ $l_p =$ Länge des Aufnahmegebietes

Anzahl Streifen: $n_q = \frac{l_q - d}{a} + 1$ $l_q =$ Breite des Aufnahmegebietes

Total Bilder: Summe aller Bilder aller Streifen

Für rechteckige Gebiete gilt: $n = n_p * n_q$

Luftbilder werden in der Regel stereoskopisch ausgewertet. Hierzu braucht es jeweils zwei Bilder, die eine Bildüberdeckung in Flugrichtung (Längsüberdeckung) von mindestens 60% aufweisen. Für forstliche Zwecke ist eine 70 bis 80 prozentige Längsüberdeckung optimal, insbesondere im Gebirge und bei grossen Bildmassstäben.

Normalerweise kann ein Aufnahmegebiet nicht in einem einzigen Flugstreifen erfasst werden. Es sind mehrere parallele Flugstreifen notwendig. Damit keine Lücken zwischen den einzelnen Streifen entstehen, müssen sich die Aufnahmen auch seitlich überlappen. Diese Querüberdeckung beträgt normalerweise 20-30 %.

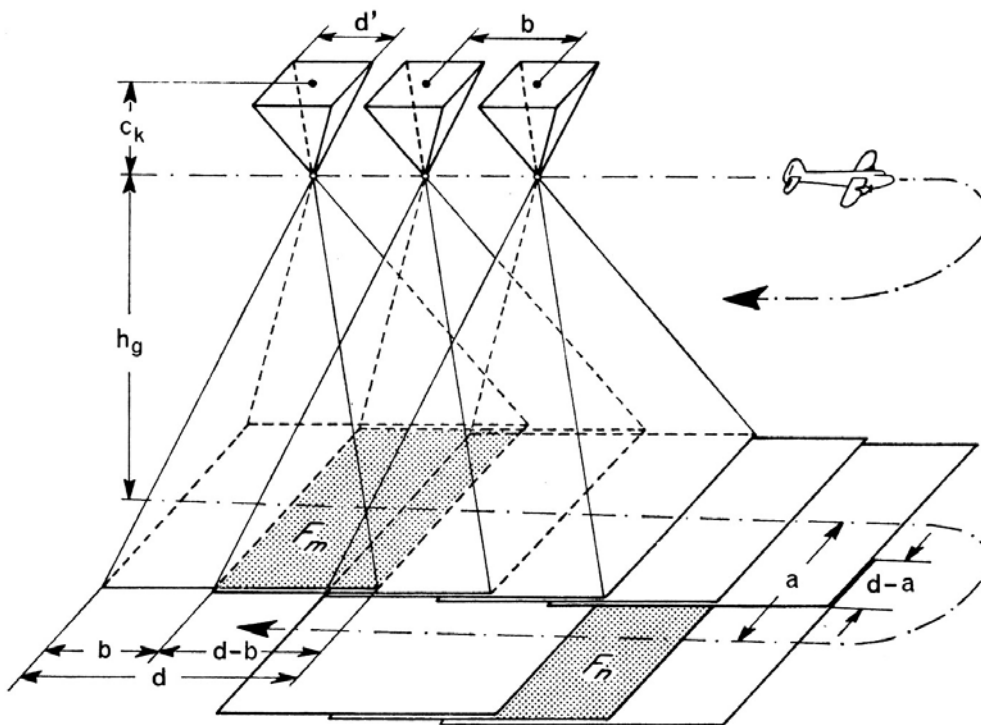


Abb. 3.2: Schema eines Bildfluges (nach Albertz und Kreiling, 1989).

Legende: h_g = Flughöhe über Grund
 d' = Bildformatseite (23 cm)
 b = Basislänge bei p % Längsüberdeckung p = Längsüberdeckung (in %)
 q = Querüberdeckung (in %)
 F_a = Fläche des Aufnahmegebietes
 c_k = Kammerkonstante (Brennweite des Objektivs)
 d = Geländelänge der Bildformatseite
 a = Streifenabstand bei q % Querüberdeckung

Je nach Aufgabenstellung ist der geeignete Film zu wählen. Man unterscheidet:
 1. Panchromatischer Film (schwarz-weiß)
 2. Infrarot-Schwarzweissfilm
 3. Farbfilm
 4. Infrarot-Farbfilm

Die spektrale Empfindlichkeit der verschiedenen Filmarten ist in der Abbildung 3.3 dargestellt. Die spektrale Empfindlichkeit einer photographischen Schicht gibt an, in welchem Masse sie für die Strahlung verschiedener Wellenlänge des Spektrums empfindlich ist.

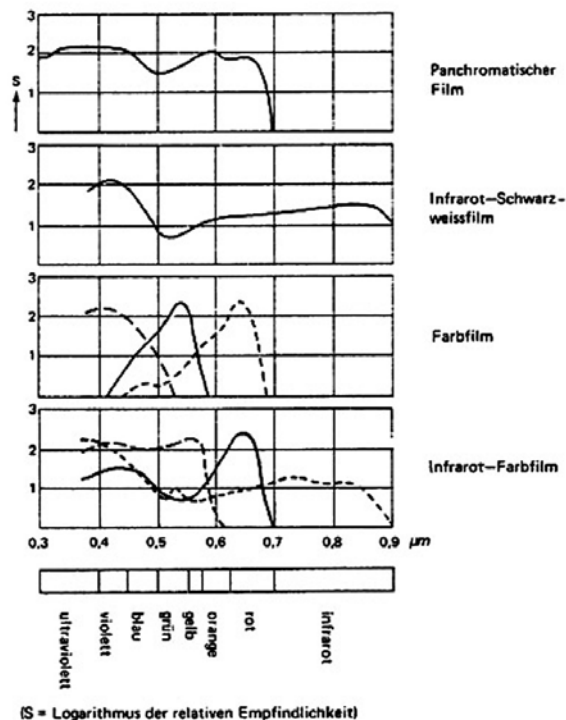


Abb. 3.3: Spektrale Empfindlichkeit verschiedener photographischer Schichten (aus Trachsler, 1989; abgeändert nach Albertz und Kreiling, 1975).

4. Geometrie des Luftbildes

4.1 Die Zentralprojektion

Das Luftbild ist wie jede Photographie eine *zentralperspektivische Abbildung*. Jedem Punkt im Gelände entspricht ein solcher auf der Photographie. Der Strahl, der die beiden verbindet, geht durch den Brennpunkt des Objektivs. Diese Abbildungsart unterscheidet sich wesentlich von derjenigen einer Karte. Auf dieser ist das Gelände *orthogonal* projiziert, d.h. dass die verbindenden Strahlen zwischen Gelände und Karte parallel und lotrecht verlaufen und das Produkt als Ganzes auf den Kartenmassstab gleichartig verkleinert ist (Kurth, 1962).

Wegen der grossen Aufnahmehöhe täuschen Luftbilder eine Orthogonalprojektion vor. Der Uneingeweihte ist versucht, die Luftbilder wie Karten zu verwenden. Dies ist nur bei absolut ebenem Gelände und bei genau senkrecht gerichteter Aufnahmeachse zulässig. In der Schweiz sind diese Voraussetzungen praktisch nie gegeben.

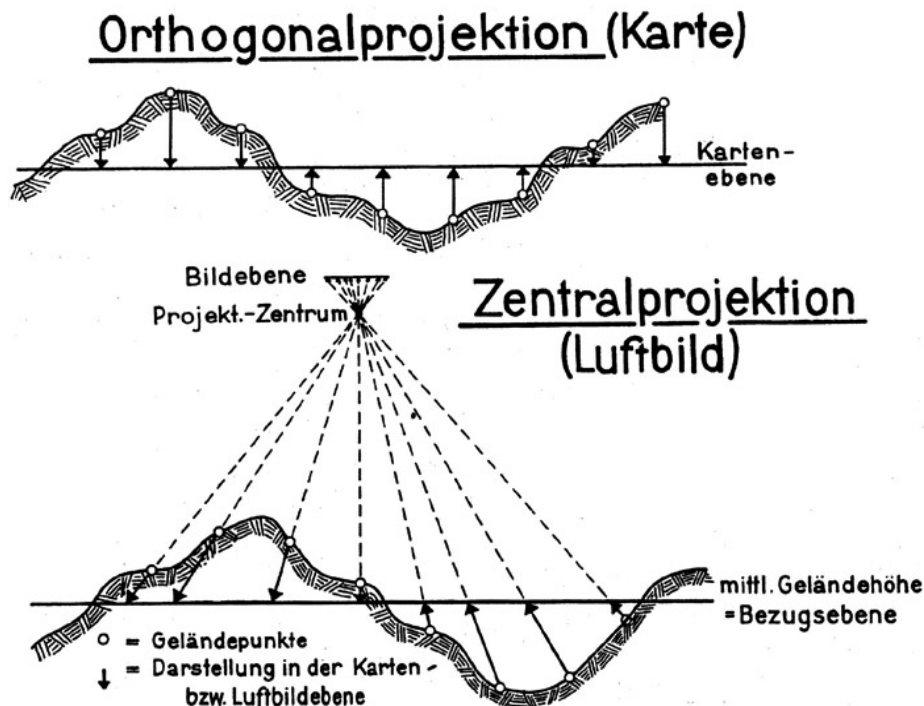


Abb. 4.1: Vergleich Orthogonalprojektion - Zentralprojektion (Baumann, 1958).

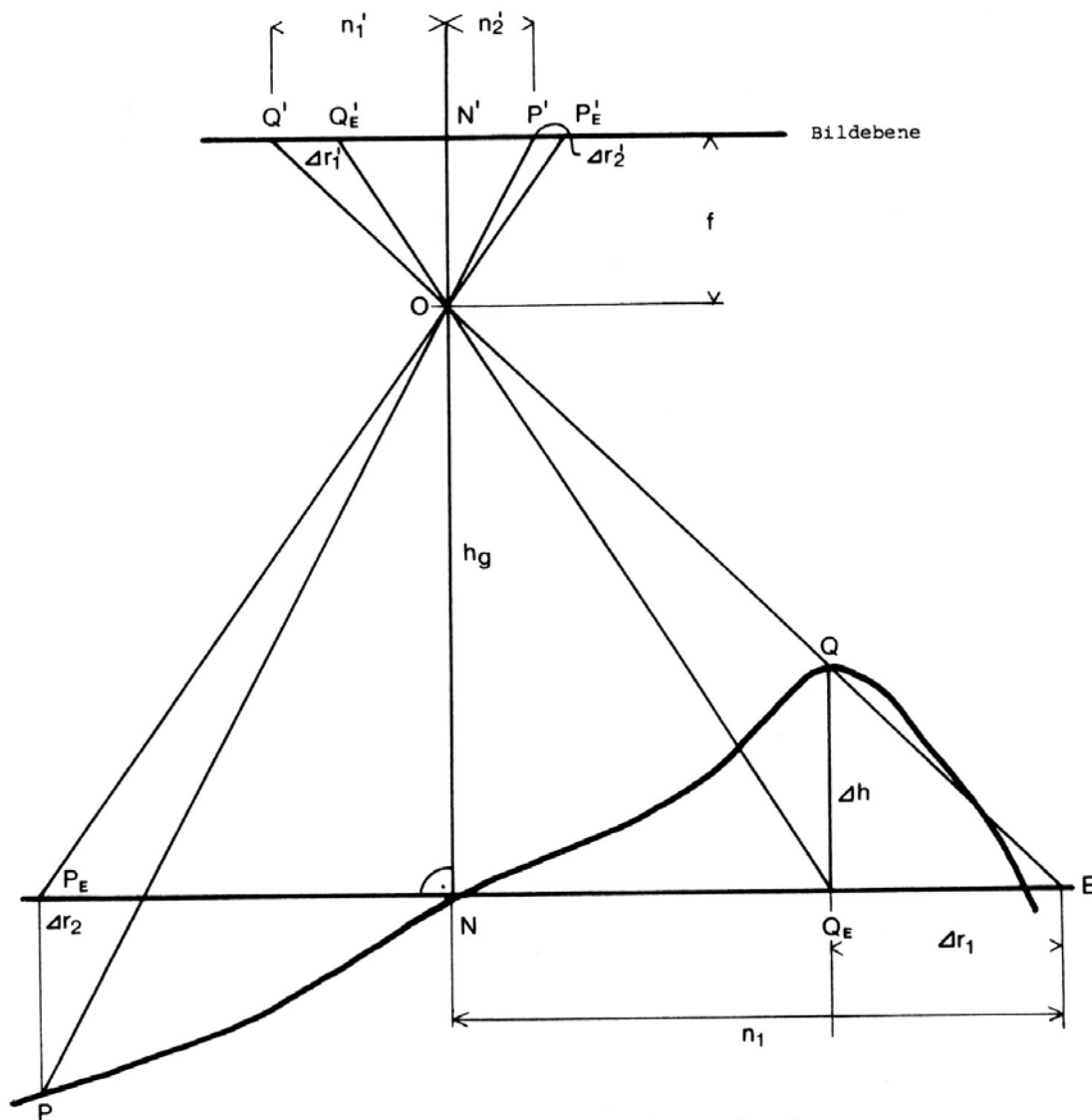
Mathematische Darstellung

Nach Trachsler (1989) lässt sich die radiale Verschiebung, die sich aus der Zentralprojektion ergeben wie folgt mathematisch darstellen (siehe Abb. 4.2): Die Punkte P und Q, die über, resp. unter der Bezugsebene E liegen, hätten bei einer Orthogonalprojektion auf diese Bezugsebene die Lage P_E und Q_E (vgl. Abb. 4.2). P' und Q' sind die zentralperspektivischen Abbildungen der sichtbaren Geländepunkte P und Q in der Bildebene des Luftbildes. P'_E und Q'_E wären die zentralperspektivischen Abbildungen der Grundrisspunkte P_E und Q_E . P' und Q' sind demnach um die Beträge r_1' und r_2' gegenüber ihrer wahren Lage verschoben. Sämtliche Punkte, die unter- oder oberhalb der Bezugsebene E liegen, erfahren gegenüber der Abbildung in der Karte eine radiale Verschiebung. Das Ausmass dieser Verschiebung kann folgendermassen bestimmt werden:

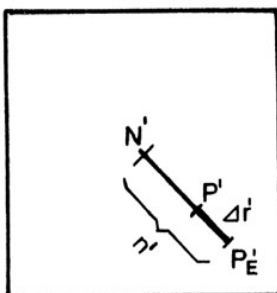
$$\Delta r / n = \Delta h / h_g = \Delta r' / n'$$

Daraus folgt:

$$\Delta r' = \frac{\Delta h \cdot n'}{h_g}$$



Situation auf Photo



- E = Bezugsebene (Kartenebene)
- P, Q = Geländepunkte
- P_E, Q_E = Grundrisslage von P und Q (in Bezugsebene E)
- P', Q' = Abbildung von P und Q im Luftbild
- P'_E, Q'_E = Position der Grundrisspunkte P_E und Q_E im Luftbild
- $\Delta r'_1$ = $Q'Q'_E$ = radiale Verschiebung von Q im Luftbild
- $\Delta r'_2$ = $P'P'_E$ = radiale Verschiebung von P im Luftbild
- h_g = Flughöhe über Grund
- N = Bildnadir
- O = Objektiv (Projektionszentrum)
- n_1' = Abstand von Q' vom Nadir N (gemessen im Luftbild)
- n_2' = Abstand von P' vom Nadir N (gemessen im Luftbild)
- C_k = Brennweite des Objektivs

Abb. 4.2: Radiale Verschiebung im Luftbild (aus Trachsler, 1989, leicht verändert).

Aus dieser Formel folgt:

1. Mit zunehmendem Höhenunterschied des Geländes wachsen die radialen Verschiebungen.
2. Mit zunehmendem Abstand vom Bildnadir, d.h. gegen den Bildrand hin nehmen die radialen Verschiebungen zu.
3. Hingegen nehmen mit zunehmender Flughöhe die radialen Verschiebungen ab.

4.2 Bestimmung des Bildmassstabes

Auch beim Bestimmen des Bildmassstabes muss stets berücksichtigt werden, dass das Luftbild eine zentralperspektive Abbildung ist. Strahlen, die Geländepunkte A, B mit entsprechenden Bildpunkten A', B' verbinden, gehen durch das Projektionszentrum. Dieses entspricht der Mitte des Objektivs der Aufnahmekammer.

Bei einer Senkrechtaufnahme und ebenem Gelände lässt sich der Bildmassstab wie folgt bestimmen (Albertz und Kreiling, 1989; vgl. Abb. 3.2):

Bildmassstab:
$$M_b = d' / d = c_k / h_g = 1 / m_b$$

Bildmassstabszahl:
$$m_b = d / d' = h_g / c_k$$

Die Höhe über Grund h_g und die Kammerkonstante (Brennweite des Objektivs) c_k sind normalerweise bei einer Aufnahme mit einer Reihemesskammer bekannt (siehe Abb. 3.1). Dabei ist vor allem zu beachten, dass das Höhenmessgerät die Flughöhe über Meer angibt, für die Berechnung des Bildmassstabes aber die Höhe über Grund benötigt wird.

Bestimmung des Bildmassstabes bei unebenem Gelände

Bei unebenem Gelände ist zu berücksichtigen, dass sich die Flughöhe über Grund und damit auch der Bildmassstab ständig ändert. Der Massstab kann in diesem Fall jeweils für ein bestimmtes Höhengniveau angegeben werden. In der Regel wird ein Durchschnittswert berechnet.

Bestimmung des Bildmassstabes durch Streckenvergleich

Falls weder die Flughöhe noch die Brennweite des Objektivs bekannt ist, kann der Massstab durch Vergleichen entsprechender Strecken auf einer topographischen Karte und auf der Luftaufnahme bestimmt werden. Dabei ist darauf zu achten, dass Anfangs- und Endpunkte dieser Strecken die gleiche Höhenlage haben, andernfalls resultiert ein Massstab für die mittlere Höhe zwischen den beiden Punkten.

Es gilt folgende Beziehung:
$$s_k \cdot m_k = s_b \cdot m_b$$

und somit:

$$m_b = s_k \cdot m_k / s_b$$

s_k = Strecke, gemessen auf der Karte (z.B. A)

m_k = Massstabszahl Karte

s_b = entsprechende Strecke auf dem Luftbild (a)

m_b = Massstabszahl Luftbild

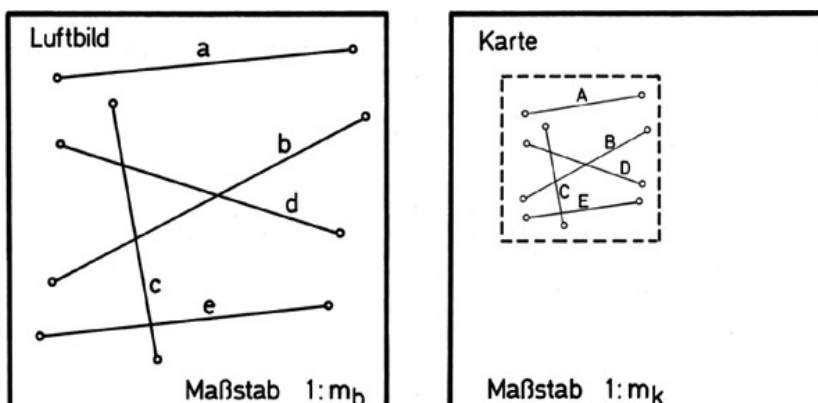


Abb. 4.3: Bestimmen des Bildmassstabes durch Streckenvergleiche im Luftbild und Karte (nach Gierloff-Emden und Schröder-Lanz, 1970; aus K.R. Dietz, 1981)

5. Stereoskopische Betrachtung von Luftaufnahmen

5.1 Prinzip des stereoskopischen Sehens

Wir sind es gewohnt, unsere Umgebung räumlich wahrzunehmen. Dieses natürliche stereoskopische Sehvermögen beruht einerseits auf unseren Erfahrungen, andererseits auf der Tatsache, dass ein zu betrachtender Gegenstand von unseren Augen unter zwei verschiedenen Winkeln wahrgenommen wird. Auf den beiden Netzhäuten entstehen dadurch zwei (leicht) verschiedene Bilder, die vom Gehirn zu einem dreidimensionalen Raumbild verarbeitet werden (Trachsler, 1989).

Basierend auf diesen Fähigkeiten kann auch künstlich ein stereoskopisches Bild erzeugt werden. Hierzu müssen drei Bedingungen erfüllt sein:

1. das Vorhandensein eines Stereobildpaares, d.h. von zwei Bildern eines Gegenstandes, die von verschiedenen Standorten aus aufgenommen wurden und deshalb Horizontalparallaxen aufweisen. Dies ist sowohl mit einer normalen Kamera vom Boden aus möglich, als auch mit einer Reihemesskamera vom Flugzeug aus.
2. Die beiden Bilder müssen so orientiert werden, dass eine störungsfreie Betrachtung möglich ist (richtiger Abstand, keine Kantung).
3. Jedes Auge darf nur eines dieser Teilbilder erblicken.

Um die beiden Bilder rasch und bequem stereoskopisch zu sehen, wurden sogenannte Linsenstereoskope entwickelt (Abb. 5.1). Beim Linsenstereoskop erfolgt die Betrachtung der Bilder durch zwei Sammellinsen. Dadurch werden die Sehstrahlen parallel gerichtet. Das linke Auge sieht das linke Bild, das rechte Auge das rechte Bild. Der Abstand ist so gewählt, dass die beiden Bilder scharf erscheinen.

Bei der Herstellung von Luftaufnahmen werden jeweils entlang einer Fluglinie mehrere Aufnahmen hergestellt, die sich gegenseitig überdecken. Die Aufnahmeachsen dieser Bilder sind parallel und die Aufnahmen verfügen über den gleichen Massstab. Dadurch sind die Voraussetzungen geschaffen, dass der Überdeckungsbereich von zwei aufeinanderfolgenden Aufnahmen stereoskopisch wahrgenommen werden kann. Die Schwierigkeit besteht nun darin, dass diese Bilder nur schwer von blossem Auge räumlich betrachtet werden können. Damit nun auch Bilder von grösserem Format (23 x 23 cm) räumlich betrachtet werden können, sind Spiegelstereoskope entwickelt worden. Mit Hilfe von Spiegeln und Prismen wird der Strahlengang seitlich nach aussen verlegt. Eine Vergrößerungsoptik, die über die normale Betrachtungslinse geschwenkt werden kann, erlaubt es, die Bilder je nach Gerät, mit 2-bis 8-facher Vergrößerung zu betrachten.

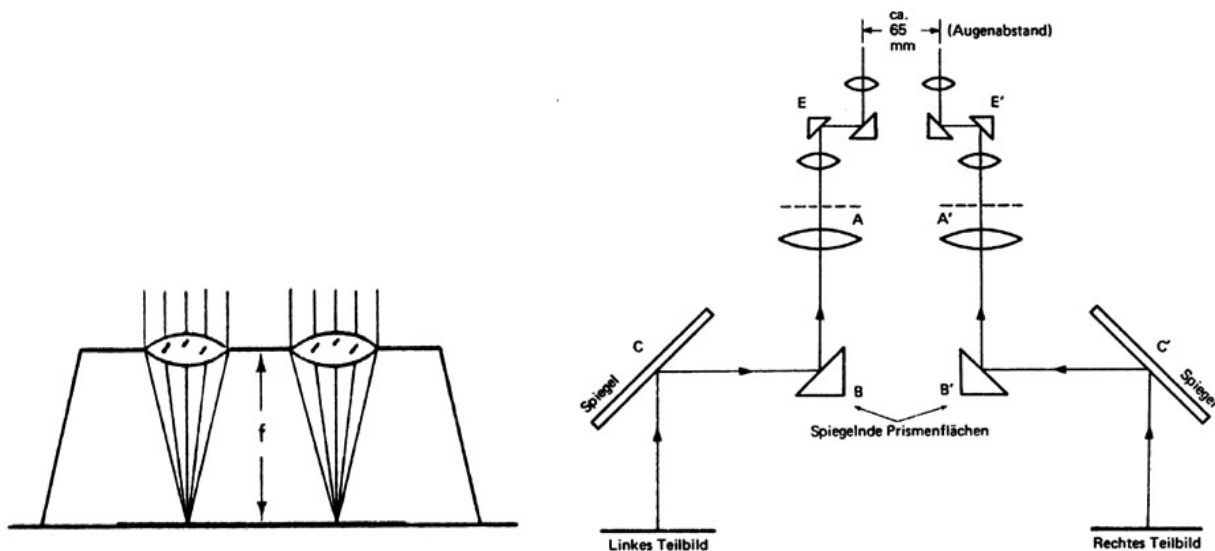
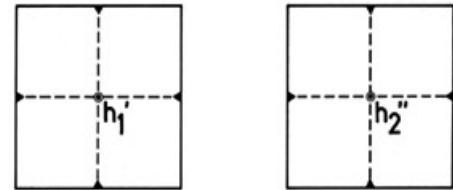


Abb. 5.1: Strahlengang im Linsenstereoskop (nach Finsterwalder und Hofmann, 1986) und im Spiegelstereoskop (nach Schneider, 1974) (aus Trachsler, 1989).

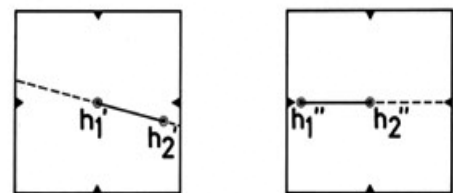
5.2 Orientierung der Bilder unter dem Stereoskop

Bevor die Luftbilder räumlich betrachtet werden können, müssen sie richtig orientiert werden. Die oben genannten Grundsätze sind strikte einzuhalten, d.h. sie müssen entsprechend der vom Flugzeug eingehaltenen Richtung, der Aufnahme­folge der Bilder und der Basis des Betrachtungsgerätes fixiert werden. Es hat sich folgendes Vorgehen bewährt:

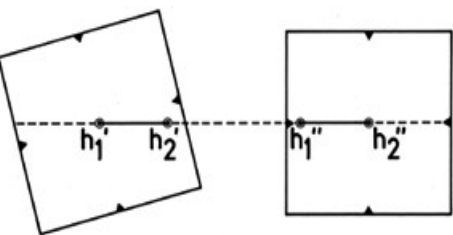
1. Durch Verbinden der vier Rahmenmarken werden die Bildmittelpunkte der beiden Luftbilder bestimmt und mit einem feinen Filzstift oder Fettstift als möglichst kleiner Punkt exakt markiert (h_1' , h_2'').



2. Der Bildmittelpunkt des linken Luftbildes h_1' wird möglichst genau auf das rechte Luftbild (h_1'') übertragen. Der rechte Bildmittelpunkt h_2'' aufs linke Bild (h_2').



3. Die Verbindungslinien der Bildmittelpunkte h_1' und h_2' bzw. h_1'' und h_2'' werden an den Bildrändern markiert.



4. Auf einer genügend grossen Papierunterlage wird eine Linie gezogen. Sie stellt die Fluglinie dar. Bei Verwendung eines APT 2 ist diese Linie auf dem Leuchttisch bereits eingraviert.

5. Das Stereoskop wird parallel über der eingezeichneten Linie aufgestellt und solange gedreht, bis die eingezeichnete Linie bei binokularer Betrachtung als eine einzige durchgehende Linie erscheint.

Beim APT 2 sind in analoger Weise die beiden Betrachtungsarme (mit den Umlenkprismen) zu verschieben.

Abb. 5.2: Orientierung der Luftbilder (aus Dietz, 1981).

6. Die beiden Stereobilder werden so angeordnet,

- dass der gemeinsame Überdeckungsbereich innen liegt
- die Schatten (der Objekte) gegen den Beobachter gerichtet sind
- die Markierungen der Verbindungslinien der Bildmittelpunkte auf der Gerade der Papierunterlage liegen
- die Distanz zwischen h_1' und h_1'' 25 cm beträgt (ev. Kontrolle mit durchsichtigem Massstab) und
- das Bild bei binokularer Betrachtung räumlich erscheint.

7. Die beiden Bilder werden mit Klebeband fixiert.

Um einen optimalen stereoskopischen Eindruck beim APT 2 zu erhalten, ist:

1. der Abstand der Okulare an den individuellen Augenabstand anzupassen
2. bei kleinster Vergrößerung (3-fach) sind die Okulare zu justieren bis das Bild scharf eingestellt ist
3. bei grösster Vergrößerung (15-fach) sind die Stellhebel auf der Oberseite der Betrachtungsarme so einzustellen, dass die grösstmögliche Bildschärfe entsteht.
4. anschliessend ist Punkt 2 zu wiederholen.

5.3 Stereoskopische Überhöhung

Betrachtet man Luftaufnahmen unter dem Stereoskop, erscheinen die Höhenunterschiede relativ stark übertrieben. Das Ausmass der Überhöhung wird in erster Linie bestimmt durch das Verhältnis: Aufnahmebasis (Distanz von einer Aufnahme zur anderen) zu Flughöhe. Mit zunehmender Aufnahmebasis nimmt die Überhöhung zu, bzw. mit zunehmender Flughöhe nimmt sie ab. Infolge dieser Überhöhungen ist es schwierig, Neigungswinkel unter dem Stereoskop zu schätzen. Sie werden besser mit Hilfe von Stereokartiergeräten bestimmt. Damit können präzise Lage- und Höhenmessungen durchgeführt bzw. die Neigungen bestimmt werden.

5.4 Stereoschwelle

Ein Objekt kann im Luftbild erst ab einer bestimmten Höhe räumlich wahrgenommen werden. Diese wird als "Stereoschwelle" bezeichnet und kann wie folgt definiert werden: "Minimale Objekthöhe, die bei gegebenem Massstab mit einer Wahrscheinlichkeit von 50% erkannt werden kann". Nach Steiner (1960) lässt sich die Stereoschwelle in Abhängigkeit vom Massstab wie folgt ermitteln:

$$\text{Stereoschwelle } h_{\min} : \quad h_{\min} = 5.82 \cdot 10^{-3} \cdot m_b \quad (\text{in cm}) \quad (m_b = \text{Bildmassstabszahl})$$

Beispiel: bei einem Bildmassstab von 1:10'000 ist die Stereoschwelle bei rund 60 cm.

5.5 Stereoskopische Interpretationsgeräte

Für die stereoskopische Interpretation von Luftbildern existieren verschiedene Stereoskope und Interpretationsgeräte z.B.

- Taschenstereoskope (Leica (früher Wild), Zeiss)
- Spiegelstereoskope (Leica ST 3 und 4)
- Zoomstereoskope (Leica: Aviopret APT 1 und 2, Zeiss: Visopret)



Abb. 5.3: Spiegelstereoskop ST4 von Leica



Abb. 5.4: Aviopret APT1 von Leica

6. Bestimmen von Baumhöhen

Die Messung der Baumhöhe kann wichtige Informationen liefern für Wald-Stratifizierungen, Volumenschätzungen oder für Standortklassifizierungen. Je nach Genauigkeitsansprüchen muss die Baumhöhe photographisch bestimmt werden (genaueste Methode) oder kann mit einfachen Messungen ermittelt werden wie z.B.:

- die Bestimmung der Baumhöhe durch Parallaxenmessung
- die Ermittlung aus der Länge der Schatten und
- die Ermittlung aus den Radialabständen.

Mit einiger Übung kann die Baumhöhe auch geschätzt werden.

Bestimmen der Baumhöhe durch Parallaxenmessung

Die einfachste Methode der Höhenbestimmung ist die Messung der Parallaxendifferenzen auf den Bildpaaren. Hierzu ist ein Parallaxen-Messgerät (Stereomikrometer) notwendig, mit dem die Parallaxen für den Fuss- und Wipfelpunkt eines Baumes gemessen werden. Aus diesen beiden Werten wird die Parallaxendifferenz berechnet und anschliessend die Baumhöhe umgerechnet.

Die Parallaxenmessung erfordert ein hohes Mass an Übung, sowie optimal und korrekt orientierte Luftbilder. Die Messungen sollten mehrfach wiederholt und aus den Einzelmessungen ein Mittelwert berechnet werden. Im allgemeinen muss bei einem Bildmassstab von 1:10'000 bis 1:20'000 mit einem Standardfehler der Höhenmessung von ca. ± 1 bis 3 m gerechnet werden. Dazu kommen meistens noch systematische Unterschätzungen bei Nadelbäumen von ca. 1 m, da die Spitze des Baumes nicht erkannt wird. Der Fehler kann noch verstärkt werden, falls Unterwuchs (Brombeeren usw.) die Sicht auf den Boden verwehrt.

(Ausführliche Darstellung: Zöhrer, 1980)

Ermittlung der Baumhöhe aus der Länge von Schatten

Im Verlaufe eines Tages verläuft die Sonne einen spezifischen Weg am Himmel. Die Sonnenhöhe ist abhängig von der geographischen Breite des Betrachters, der Jahreszeit und der Ortszeit im Zeitpunkt der Beobachtung. Kennt man Ort, Datum und Uhrzeit einer Aufnahme, so kann man, falls das Gelände horizontal ist aus der Schattenlänge von Bäumen, Bauwerken usw. ihre Höhe berechnen.

(Ausführliche Darstellung: Pfeiffer und Weimann, 1991; Albertz und Kreiling 1989; S.165ff)

Ermittlung der Baumhöhe aus den Radialabständen

Diese Methode ist geeignet bei Luftbildern, die mit einem Objektiv kurzer Brennweite (15 cm) aufgenommen wurden und für Objekte, die möglichst am Bildrande liegen. Voraussetzung ist, dass Stammfuss und Spitze deutlich erkennbar sind.

(Ausführliche Darstellung: Albertz und Kreiling 1989; S.165ff)

7. Interpretation der Luftbilder

7.1 Interpretationsschlüssel

Der Interpretationsschlüssel ist das Bindeglied zwischen den Erscheinungen in der Natur und ihrer Abbildung im Luftbild. Interpretationsschlüssel sind für den Luftbildinterpreten wichtige Hilfsmittel zur Deutung des Bildinhaltes. Sie enthalten Identifikationsmerkmale, um Objekte zu erkennen und verschiedene Ausprägungen (Klassen, Zustände) zu unterscheiden. Der Bezug zwischen dem natürlichen Aussehen eines Objektes im Gelände und seiner Abbildung auf dem Luftbild wird durch intensiven Vergleich von Luftbild und Gelände erarbeitet und in einem Interpretationsschlüssel festgehalten. Das Erstellen eines guten Interpretationsschlüssels ist aufwendig und für einen Aussenstehenden schwierig zu verstehen, da optische Eindrücke kombiniert mit Fachwissen in einfache Worte gefasst werden müssen. Erst bei dreidimensionaler Betrachtung der Luftbilder bzw. entsprechender Beispiele wird die Bedeutung der Ausdrücke klar. Dabei trägt der Erfahrungsschatz des Luftbildinterpreten und dessen Fachwissen wesentlich zum Verständnis bei.

Im folgenden ist ein Interpretationsschlüssel zur Baumartenbestimmung, einer zur Beurteilung der Entwicklungsstufe und ein dritter zur Kronenansprache aufgezählt. Alle drei Schlüssel enthalten allgemein gültige Erkennungsmerkmale und typische Charakteristika. Diese Schlüssel dürfen aber nicht unbesehen übernommen werden, denn das Bildmaterial kann sehr unterschiedlich sein bedingt durch unterschiedlichen Bildmassstab, Film, Wetter- und Lichtverhältnisse, ev. Filter sowie Qualität, aber auch durch das unterschiedliche Aussehen eines Objektes z.B. je nach Gegend, Höhenlage, Rasse. *Dementsprechend muss für jede Interpretation ein spezifischer Schlüssel erstellt, bzw. ein bestehender bewährter Schlüssel entsprechend den speziellen Verhältnissen und der gegebenen Aufgabenstellung angepasst werden.*

7.2 Methodik und allgemeine Voraussetzungen

Der erfolgreiche Luftbildinterpret plant den Ablauf in enger Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber bzw. dem zukünftigen Nutzer der Daten und Pläne und bespricht mit ihnen die zu erhebenden Merkmale (inkl. deren Genauigkeit). Die Ziele der Erhebung werden möglichst präzise definiert, insbesondere sind die gewünschten Merkmale, ihre Einteilung in Klassen sowie die thematischen und metrischen Genauigkeitsanforderungen festzulegen. Diese Informationen sind erforderlich für die Bestimmung der notwendigen Bildeigenschaften (Bildmassstab, Filmmaterial, usw.) und für die Auswahl der Bearbeitungsverfahren (insbesondere falls photogrammetrischer Geräte verwendet werden müssen).

Bei der Planung des Luftbildeinsatzes ist zudem zu berücksichtigen, dass die Luftbildinterpretation nur ein Teil eines umfassenden Informationssystems darstellt. Die gewünschte Art der Datenverarbeitung stellt Anforderungen, die bereits bei der Planung der Erhebung zu berücksichtigen sind. Daher soll die Vorbereitung einer Luftbilderhebung niemals isoliert von der übergeordneten Planung erfolgen.

Methodik der Luftbildinterpretation

In der Regel werden auf dem Luftbild zuerst Testgebiete ausgewählt, in denen möglichst alle zu erhebenden Objekte z.B. Baumarten, Entwicklungsstufen, Nutzungsarten usw. vorkommen. In diesen Gebieten werden die Objekte im Gelände bestimmt. Dabei vergleicht der Interpret die Erscheinungsform der verschiedenen Objekte im Gelände mit ihrer Abbildung auf dem Luftbild und sucht nach charakteristischen Merkmalen für das Erkennen der verschiedenen Objekte. Diese beschreibt er im sogenannten Interpretationsschlüssel. Dabei sind folgenden Faktoren zu berücksichtigen (nach Steiner, 1962, S. 115f. und Albertz, 1975, S. 47f.):

- **Helligkeit einer Fläche**

Die Helligkeit hängt, neben der photographischen Verarbeitung und der verwendeten Film/Filter-Kombination, vor allem von den Reflexionseigenschaften der Objektoberflächen ab. Wichtig für die Interpretation sind vor allem die Grautonunterschiede. Da verschiedene Objekte in gleichen Grautönen abgebildet werden z.B. Fichten- und Tannenbestand, frisch geschnittene Wiese und abgeerntetes Getreidefeld sind weitere Merkmale hinzu zu ziehen.

- **Farbe**

Obwohl Farbbilder teurer sind und bei Präzisionsmessungen schlechter abschneiden als Schwarz-weiss-Bilder, weisen Farbbilder für die Interpretation wesentliche Vorteile auf. Die Farbe ist oft ein charakteristisches Merkmal der zu beurteilenden Objekte und erleichtert deshalb die Interpretation bzw. erhöht die Ansprache Genauigkeit.

- **Form und Grösse von Objekten**

Neben der Helligkeit, bzw. der Farbe ist die Grundrissform von Bedeutung. Grösse und Form z.B. von Bäumen geben einen Hinweis auf die Entwicklungsstufe, aber auch auf die Baumart.

- **Struktur und Textur eines Objektes**

Die Struktur eines Objektes ist geprägt durch markante, charakteristische Eigenschaften, so z.B. ist die Struktur eines Baumes geprägt durch den Stamm und die artspezifische Verzweigungsformen, die den verschiedenen Baumarten ihr typisches Aussehen verleihen. Bei gross- und mittelmassstäbigen Luftbildern sind die Äste erkennbar und bilden die Struktur des Baumes.

Mit zunehmendem Bildmassstab sind die Äste nicht mehr erkennbar, sondern vermischen sich mit dem Farb- oder Grauton der Benadelung und ergeben die sogenannte Textur. Texturen ergeben sich aus Variationen des Grautones. Im allgemeinen können dabei einzelne Texturkomponenten (Linien, Streifen, Punkte, Flecken etc.) von einem mehr oder weniger gleichmässig getönten Untergrund unterschieden werden. Die Texturen gehen auf verschiedene Ursachen zurück, vor allem auf kleinräumige Dichteunterschiede der Belaubung, auf den Aufbau der Krone oder des Bestandes, auf Samenbehang, ev. Mistel-, Insekten- oder Pilzbefall. Die Textur ist sehr stark vom jeweiligen Bildmassstab abhängig.

- **Schlagschatten**

Je nach Sonnenstand können Schlagschatten entstehen, die eine Seitenansicht z.B. eines Baumes wiedergeben und so die Interpretation erleichtern.

- **Typische Muster**

Beispiele für charakteristische Musterungen sind:

- Aufforstung, Kultur (regelmässige Anordnung von Punkten)
- Netz von Entwässerungsgräben.

- **Stereoskopischer Effekt**

Erst die Betrachtung unter dem Stereoskop ermöglicht die Wahrnehmung von Höhenunterschieden. Dieses Kriterium ist wichtig zur Beurteilung von Höhenunterschieden z.B. von Beständen und Bäumen, Topographie und Geländereief. Nur anhand des stereoskopischen Eindruckes kann z.B. ein abgestorbene Kronenpartie von einem dünnen Asthaufen am Boden unterschieden werden.

Allgemein gilt, dass eine Interpretation im Stereomodell leichter durchgeführt werden kann und eine bessere Beurteilung des Bildinhaltes erlaubt als das Arbeiten mit Einzelbildern.

- **Bildmassstab**

Der Massstab der Luftaufnahmen spielt in zweifacher Hinsicht eine wichtige Rolle:

- Der Informations- und Detailreichtum der Luftbilder hängt direkt vom Bildmassstab ab, dieser sollte deshalb möglichst gross sein.

- Die Kosten für die Befliegung sind ebenfalls vom Bildmassstab abhängig. Mit grösser werdendem Bildmassstab sinkt die von einem Bild erfasste Gelände fläche im Quadrat, damit erhöhen sich die Flugkosten.

Der Bildmassstab wird aus wirtschaftlichen Gründen so klein gewählt, dass die für die Durchführung einer bestimmten Aufgabe benötigte Detailerkennbarkeit nicht beeinträchtigt wird.

Oftmals wird zudem nicht eine spezielle Befliegung stattfinden können, sondern es müssen bereits bestehende Aufnahmen verwendet werden. Für die ganze Schweiz sind heute beim Bundesamt für Landestopographie Aufnahmen im Massstab 1:25'000 bis 1:33'000 vorhanden.

- **Jahreszeit**

Da sich das Erscheinungsbild des Waldes im Laufe eines Jahres verändert, spielt der Zeitpunkt der Befliegung eine wichtige Rolle für die Interpretation:

- Zur Beurteilung des Kronenzustandes sind Infrarot-Luftbilder Ende Juli bis Ende August aufzunehmen. Das Wachstum der Belaubung muss abgeschlossen sein bzw. die natürliche Herbstverfärbung darf noch nicht eingesetzt haben.
- Für die Unterscheidung zwischen Laub- und Nadelwald anhand von Schwarz-weiss-Aufnahmen sind Frühlingbilder (nach Einsetzen der Belaubung) viel kontrastreicher als Herbstbilder.

7.4 Bestimmen der Baumart

Zum Bestimmen der Baumart stehen verschiedene typische Merkmale zur Verfügung, z. B. Kronenform und Aufriss, Kronenrand, Kronenstruktur sowie das Zusammenwirken von Kronenabbildung und Schatten. In der folgenden Tabelle sind die wichtigsten Luftbild-Merkmale der häufigsten Baumarten zusammengestellt. Sie haben Gültigkeit für grossmassstäbliche Infrarot-Luftbilder und für Baumhölzer mit gesundem Aussehen.

Tab. 7.1: Interpretationsschlüssel zum Erkennen einiger Baumarten anhand von grossmassstäblichen Infrarot-Luftbildern.

Baumart	Kronenform	Struktur	Farbe
<u>Fichte</u> <i>Picea abies</i> <i>Karst.</i>	kegelförmig, spitz; z.T. im Gebirge säulenförmig. Kronenspitze kann bei älteren Kammfichten abgerundet sein	sternförmige Aststrukturen, schmale Äste (i.a. linienförmig, nicht plattig)	dunkelrot
<u>Tanne</u> <i>Abies alba Mill.</i>	zylindrisch bis kegelförmig, je nach Alter ist die Kronenspitze spitz bis abgeflacht <u>junge Tannen:</u> Krone pyramidenförmig, spitz <u>ältere Tannen:</u> Krone abgeflacht, meistens Storchennestbildung	dachziegelartige, plattige, etagenförmige Kronenstruktur	purpurrot (intensiv, meist leuchtend rot)
<u>Waldföhre</u> <i>Pinus silvestris</i> <i>L.</i>	rundlich wie ein Laubbaum, bei älteren Föhren ist die Spitze oft abgeflacht	wattebuschartig, oft sind einzelne Astpartien deutlich unterscheidbar (unregelmässig kompakte Krone)	blass-violett, zum Teil rötlich-braun
<u>Lärche</u> <i>Larix decidua</i> <i>Mill.</i>	stumpf bis kegelförmig	filigranartige, sternförmige Anordnung der Äste, Primäräste systematisch angeordnet, meist gebogen, Astenden spitz auslaufend, undeutliche Kronenkonturen; geschädigte Lärche: wie eine gerupfte Feder	hell-violett bis hellrosa, oft feine weissliche Astpartien
<u>Strobe</u> <i>Pinus strobus L.</i>	kegelförmig, spitz, ähnlich wie Fichte, aber die Äste sind grösser und breiter	die Äste erscheinen wie Flammen, die Astenden sind nach oben gebogen	lila, heller als Fichte, ähnlich wie Föhre
<u>Buche</u> <i>Fagus sylvatica L.</i>	ellipsenförmig, abgeflacht, am Kronenrand wie ausgefranst (viele kleine Zweige -> unscharfer Kronenrand)	Schwamm- oder Endivien-ähnlicher Habitus	sattes Rosa (magentarot)
<u>Eiche</u> <i>Quercus robur</i> <i>L. und petraea</i> <i>Liebl.</i>	unregelmässige, blumenkohlartige Form	Kronenrand grob strukturiert, scharf abgegrenzt, rauhe Kronenoberfläche	dunkelrot, tiefrot

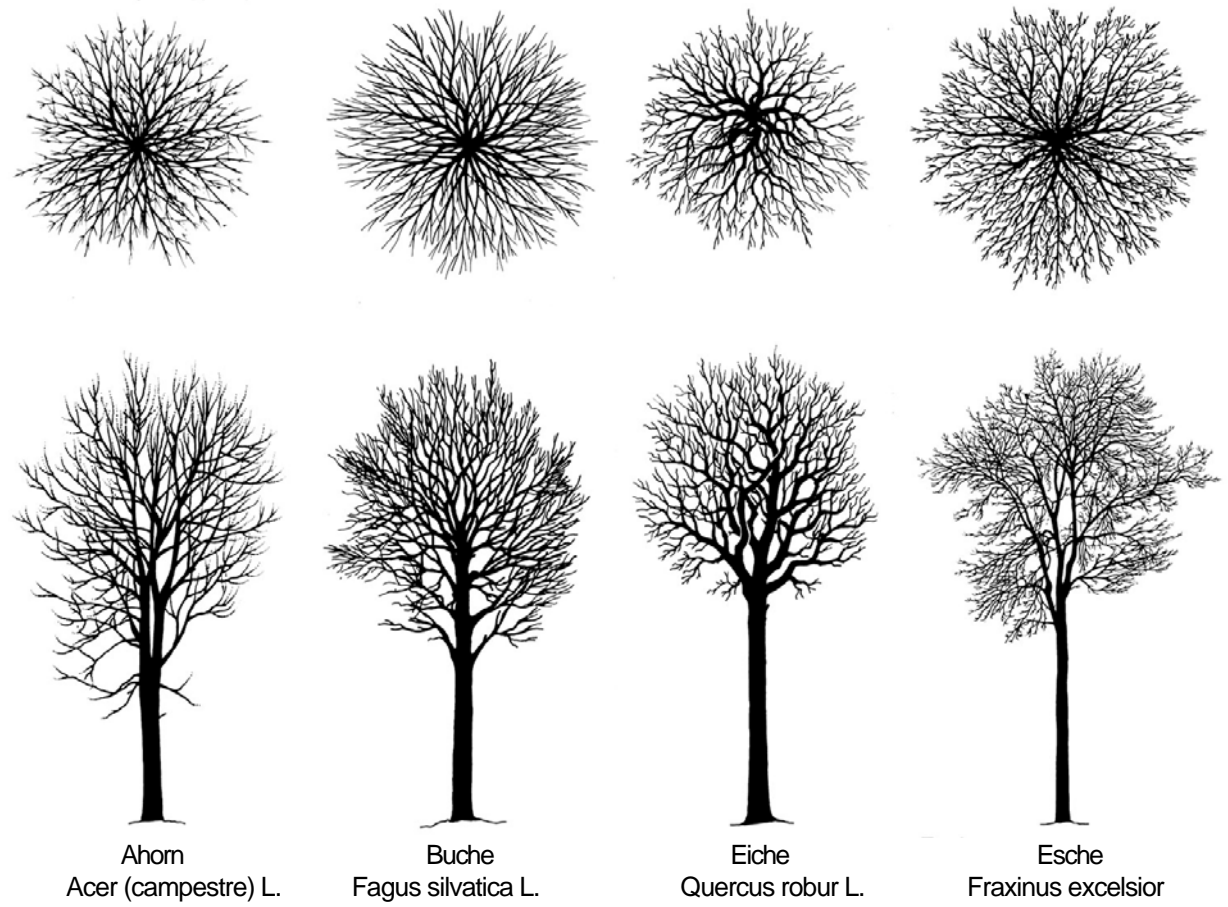
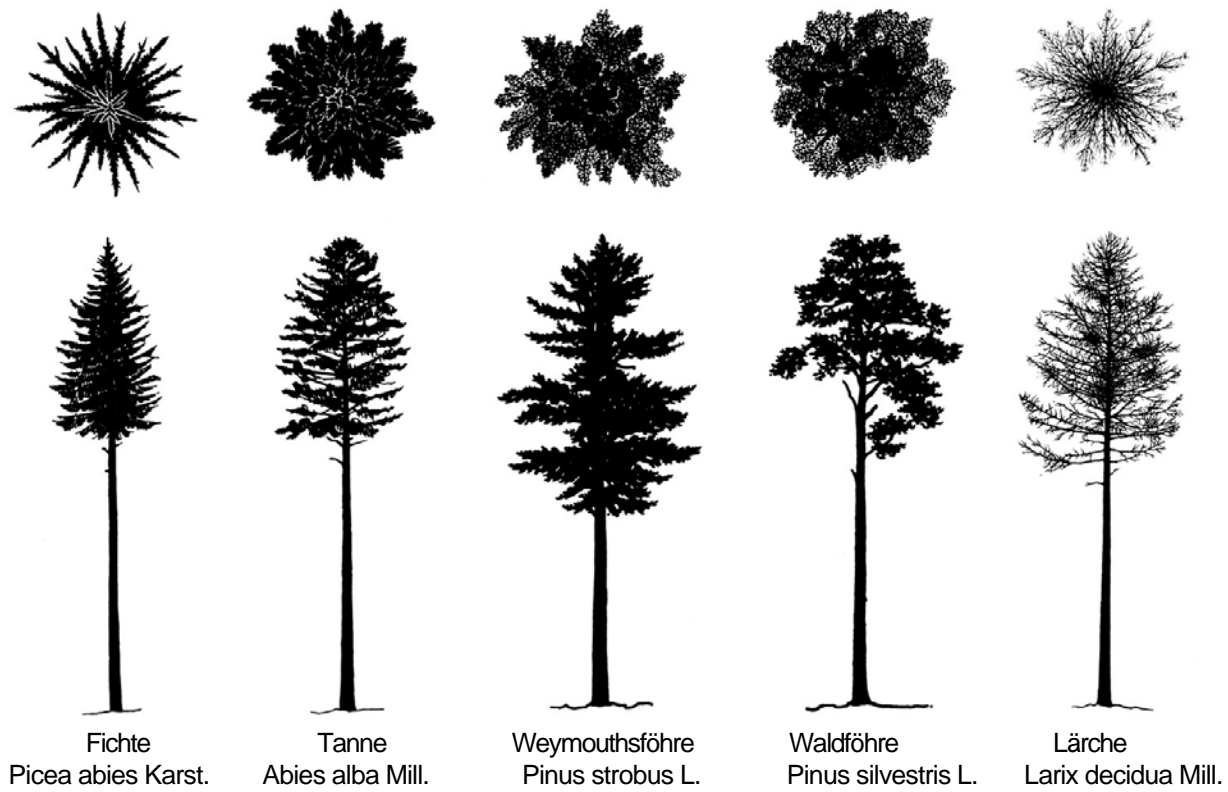


Abb. 7.1: Schematische Darstellung der Kronenformen einheimischer Baumarten senkrecht von oben und im Aufriss (Zeichendienst der WSL, M. Sebek, aus Oester, 1991).

7.5 Entwicklungsstufe

Zur Beurteilung der Entwicklungsstufe achte man beim Jungwuchs/Dickung- und Stangenhölzern vor allem auf die Bestandeshöhe, bei den Baumhölzern vor allem auf die Bestandesstruktur und die Ausbildung der Kronen. Die in der Tabelle 7.2 aufgeführten terrestrischen Angaben sind Hilfsgrössen. Sie dienen zur Eichung des Schlüssels und als Grössenordnung für die Interpretation. Beachte, dass die Definitionen der Entwicklungsstufe je nach Kanton unterschiedlich definiert ist und dementsprechend angepasst werden muss.

Tab. 7.2: Interpretationsschlüssel "Entwicklungsstufen" für gross- und mittelmassstäbige Infrarot-Luftbilder (Oester, 1991).

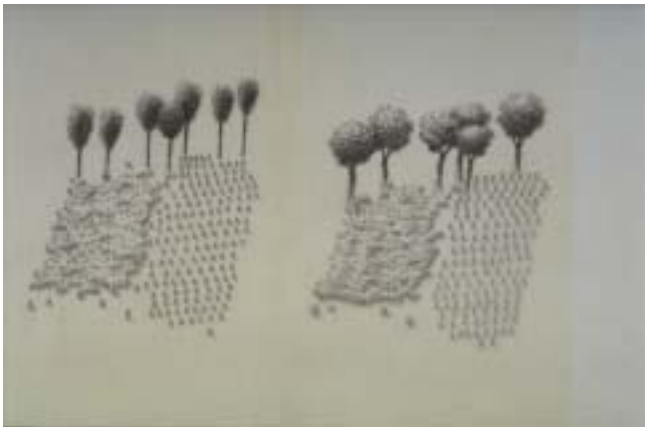
Entwicklungsstufe	terr. Angaben	Aussehen auf dem Luftbild
1 Jungwuchs / Dickung	D_{dom} : < 12 cm H_{Best} : < 10 m N: 5000	In der Jungwuchsphase ist der Boden und das Kleinrelief vielfach sichtbar. In der Dickungsphase hingegen ist das Kronendach bereits geschlossen. Die Kronen sind vielfach dermassen dicht ineinander verschlungen, so dass die einzelnen Kronen kaum voneinander trennbar sind. Unterscheidbar sind Nadel- von Laubbäumen, hingegen ist die Baumart meist nicht erkennbar.
2 Stangenhholz	D_{dom} : 12-30cm H_{Best} : ≈10-20 m N: 2500	Die Kronen sind meistens sehr schmal, zeigen aber bereits ansatzweise die charakteristische Kronenform. Der Bestand weist noch wenig Schattenwurf auf, hingegen ist die Schichtung bereits erkennbar.
3 schwaches Baumholz	D_{dom} : 30-40cm H_{Best} : ≈20-26 m N: 1000	Die schwachen Baumholzbestände zeigen bereits vereinzelt kleine Lücken. Verursacht durch einzelne vorherrschende Bäume tritt markanter Schattenwurf auf. Die Kronenstrukturen sind bereits ausgebildet, weisen aber noch einen relativ geringen Kronendurchmesser auf. Die Baumart ist meistens problemlos bestimmbar.
4 mittleres Baumholz	D_{dom} : 40-50cm H_{Best} : ≈26-30 m N: 700	Die Kronen erscheinen relativ mächtig. Die Feinstruktur ist gut erkennbar. Die Bestände sind oft lückig und mehrschichtig und weisen markante Schattenwürfe auf.
5 starkes Baumholz	D_{dom} : > 50cm H_{Best} : > 30 m N: 250-500	Es sind meist lückige Bestände mit mächtigen ausladenden Kronen und markantem Schattenwurf. Die Kronen weisen die typische Altersstruktur auf z.T. sind bereits Zerfallserscheinungen sichtbar.
6 stufige Bestände		Als stufig werden Bestände bezeichnet, bei denen mindestens drei Entwicklungsstufen vorkommen, mit jeweils einem Mindestanteil von 20 %. Zudem muss mindestens eine Jungwuchs-, Dickungs- oder Stangenhholzstufe vorhanden sein.

D_{dom} : Brusthöhendurchmesser der 100 stärksten Bäume pro Hektare

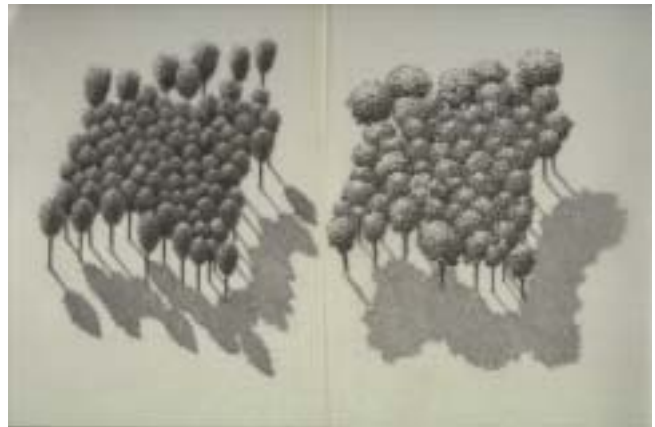
Verwendete Definition: nach Landesforstinventar

H_{Best} : Bestandeshöhe; Definition nach Mayer, 1977

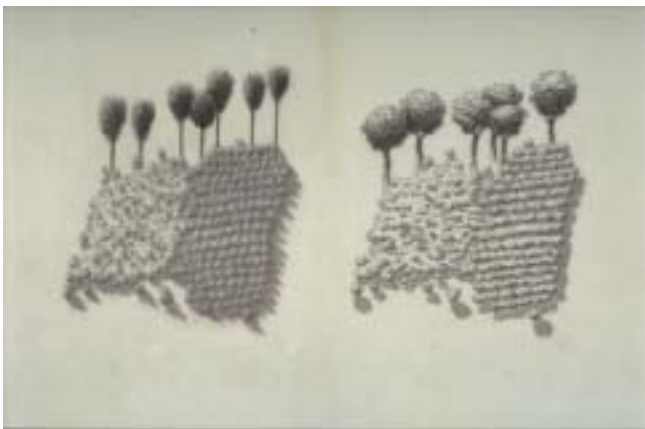
N: Zahl der Bäume pro Hektare; nach Mayer, 1977



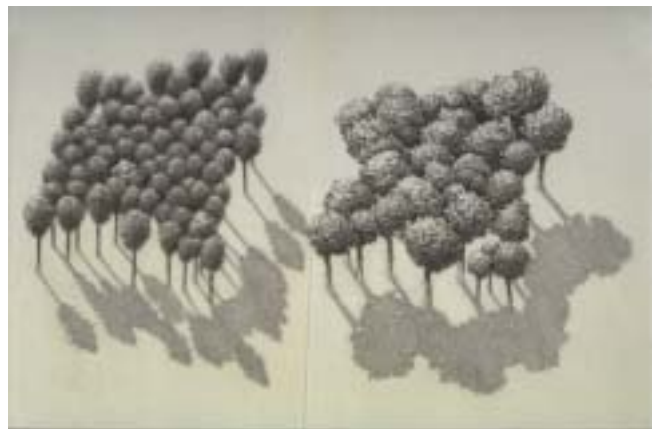
Jungwuchs



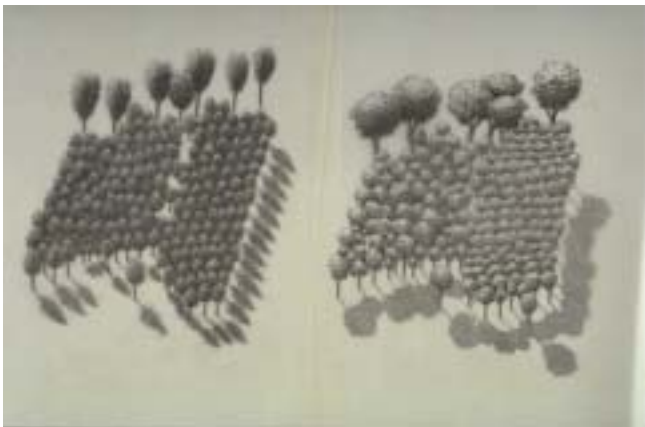
schwaches Baumholz



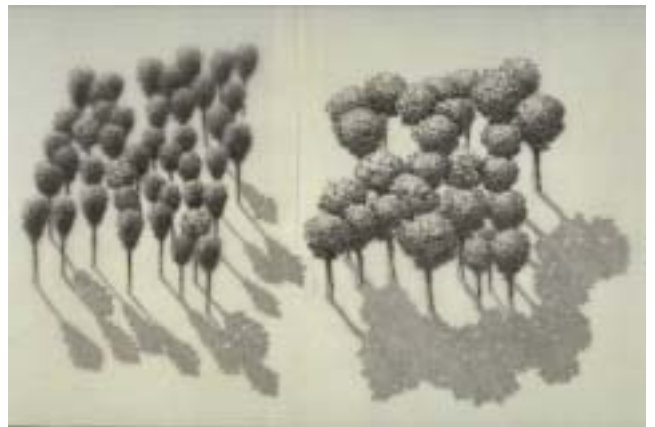
Dickung



mittleres Baumholz



Stangenholz



Altholz

Abb. 7.2: Schematische Darstellung der Bestandesentwicklung vom Jungwuchs bis zum Altholz: links Nadelwald; rechts Laubwald, jeweils mit Naturverjüngung (links) und Pflanzung (rechts). (Zeichnungen: Selina Flachsman; aus Oester und Flachsman, 1997)

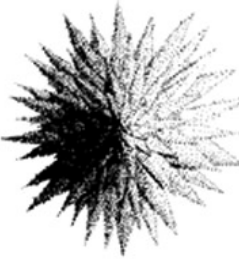
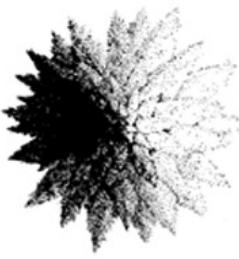
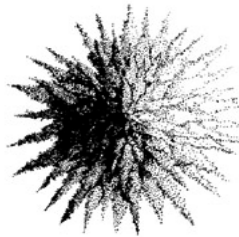
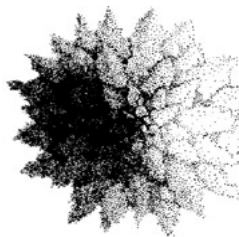
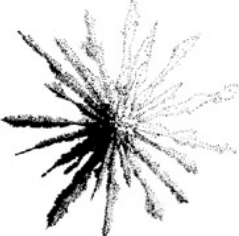
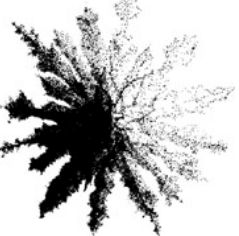
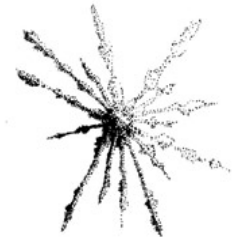

7.6 Beurteilung des Kronenzustandes

Für die Erhebung des Kronenzustandes aus Luftbildern werden heute zumeist Verfahren verwendet, die auf der Beurteilung von Einzelbäumen basieren. Dabei lassen sich temporäre Erhebungen von permanenten unterscheiden. Bei letzteren wird die genaue Lage der beurteilten Probestämme im Landeskoordinatensystem mit Hilfe von photogrammetrischen Auswertegeräten bestimmt (permanente Luftbildstichprobe).

Diese Bäume können daher bei Wiederholungsinventuren automatisch im neuen Bildmaterial aufgefunden werden. Die mehrmalige Beurteilung identischer Bäume in unterschiedlich alten Luftbildern erlaubt die Beobachtung von Veränderungen des Kronenzustandes mit einer höheren Genauigkeit, als dies bei temporären Stichprobenverfahren mit immer wechselnden Baumkollektiven möglich ist.

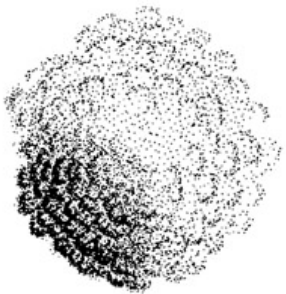
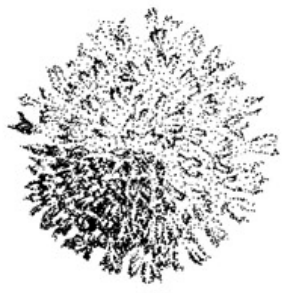
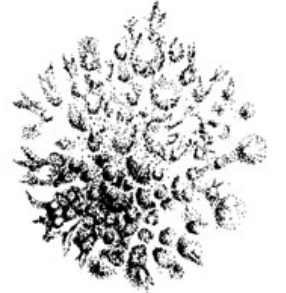
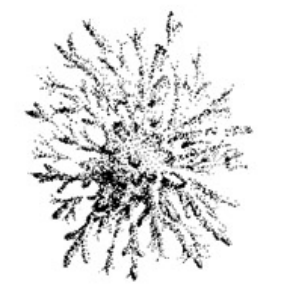
Zur Beurteilung des Kronenzustandes werden die Bäume analog der terrestrischen Waldschadeninventur in fünf Stufen eingeteilt. Zu diesem Zweck wurden für die wichtigsten Baumarten Interpretationsschlüssel

Tab. 7.3: Allgemeiner Fichtenschlüssel für Infrarot-Luftbilder 1:5'000 bis 1:9'000 zur Beurteilung des Kronenzustandes (nach VDI-Richtlinien 1993, vereinfacht).

Stufe	Gestaltungsmerkmale	Farbmerkmale	Kammfichte	Bürstenfichte
1 gesund	Form: Kammfichte (K'Fi): spitzkegelförmig; Umriss sternförmig gezackt Bürstenfichte (B'Fi): spitz- bis stumpfkegel- förmig, Umriss gewellt bis glatt Grobstruktur: Primäräste sternartig; feinstrahlig; B'Fi: keilartig bis wulstig Feinstruktur: Primäräste lückenlos, gleichmässig; glatt	Farbverteilung: gleichmässig Farbsättigung: in- tensiv Farbhelligkeit: dun- kel Farbton: rot		
2	Form und Grobstruktur: wie oben Feinstruktur: fast lückenlos; ± glatt	Farbverteilung: weniger gleich- mässig wie 0 Farbhelligk.: leicht aufgehellt Farbton: hellrot		
3	Form: wie oben Grobstruktur: Primäräste sternartig und deutlich feinstrahlig Feinstruktur: Primäräste rauh; klumpig mit z.T. zahlreichen kleinen Lük- ken	Farbvert.: ungleich- mässig gefleckt Farbsätt.: gering; zunehmender Grauanteil Farbhell.: deutlich aufgehellt (fahl) Farbton: hellrot bis graurot, z.T. hellgrau		
4	Umriss: speichenradförmig Grobstruktur B'Fi: Primäräste wirr angeordnet; ev. Ein- zelne Totäste Feinstruktur: Primäräste diffus; kleinballig mit zahl- reichen grossen und klei- nen Lücken	Farbvert.: ungleich- mässig grobge- fleckt Farbsätt.: sehr ge- ring (starker Grauanteil) in kl. Ballen dunkler Farbhell.: hell (in kl. Ballen dunkler) Farbton: grau-grün mit hellroten Fleckung		
5 toter Baum	nur Baumskelett sichtbar	Farbvert.: gleichmässig Farbsätt.: intensiv Farbhell.: sehr gering, sehr hell Farbton: hellgrün, blaugrün oder weisslich		
<p><u>Allgemeine Hinweise:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Fichte wird oft zu schlecht bewertet - Ansammlung frischer <u>Zapfen</u>: -> helle Kronenspitze - <u>Flechten</u>: -> Rotschimmel kann bei extremer Besonnung verblassen -> Gefahr der zu schlechten Bewertung! - <u>Gipfeldürre</u>: -> Gipfel ist deutlich weiss gefärbt und skelettartig - <u>Wipfelbruch</u>: -> hell (bis weisse) Sternstruktur um Stammachse 				

erstellt. Beim Erstellen der Schlüssel und vor allem beim routinemässigen Interpretieren fiel auf, dass jede Baumart mehrere bis viele "Gesichter" haben kann und sich diese im Laufe des Baumlebens verändern. Das Aussehen eines Baumes ist geprägt durch den morphologischen Aufbau, die Standortfaktoren, die Klimaeinflüsse (Wind, Schnee), die soziale Stellung usw. Die aufgezählten Merkmale charakterisieren deshalb in unterschiedlichem Masse eine bestimmte Schadstufe. Es ist auch möglich, dass ein bestimmtes Merkmal bei einem Baum nicht vorkommt. Im Zweifelsfall ist entscheidend, welche Schadenmerkmale am besten das Aussehen eines Baumes charakterisieren.

Tab. 7.4: Allgemeiner Buchenschlüssel für Infrarot-Luftbilder 1:5'000 bis 1:9'000 zur Beurteilung des Kronenzustandes (nach VDI-Richtlinien 1993, vereinfacht).

Stufe	Gestaltungsmerkmal	Farbmerkmal	Kronenaufsicht der Buche
1	Form: Krone kuppelartig gewölbt; Umriss rundlich geschlossen, stumpf gezähnt bis kleingewellt Grobstruktur: Krone dicht; periphere Astsysteme fächer- bis zungenartig aufragend, dadurch Kronenoberfläche deutlich strukturiert; Elemente \pm rosettenartig angeordnet Feinstruktur: Strukturelemente scharfrandig gelappt, in sich lückenlos	Farbvert.: gleichmässig Farbsätt.: intensiv Farbhell.: mittel bis hell Farbton: rot, sattes rosa	
2	Form: wie 1 jedoch Umriss \pm gefranst Grobstruktur: Kroneninneres noch dicht; Kronenperipherie aufgelockert; periphere Astsysteme meist spiessartig aufragend Feinstruktur: Spiesse \pm scharf konturiert; wulstig, in sich lückenlos	Farbvert.: wie 1; z.T. weniger gleichmässig Farbsätt./ Farbhell.: wie 1; z.T. weniger intensiv Farbton: wie 1	
3	Form: wie 1 jedoch Umriss ausgefranst Grobstruktur: ganze Krone deutlich aufgelockert; Kroneninneres stellenweise einsehbar (Dunkelstellen) periphere Astsysteme spiess- bis pinselartig aufragend; oft mit scheinbar losgelösten peripheren Blattbüscheln Feinstruktur: Spiesse und Pinsel \pm scharf konturiert; Spiesse zunehmend lückig, daher teilweise zu Pinseln (Büscheln) zerfallen	Farbvert.: kleinflächig wechselnd mit geringen Unterschieden in Farbton und Helligkeit oder ungleichmässig fleckig Farbsätt./ Farbhell.: wie 1; z.T. auch heller Farbton: rote Farbe überwiegt z.T. hellrosa mit weisslich-grauen Flecken	
4	Form: Kuppelform in bruchstückhaft Einzelteile zerfallen bis aufgelöst; Umriss zerklüftet Grobstruktur: Krone aufgelöst mit zahlreichen grossen unregelmässigen Lücken; Krone tief einsehbar bis durchsichtig; dadurch Ast- und Zweiggerüst zunehmend sichtbar; pinsel- bis peitschenartige Astsysteme vorherrschend Feinstruktur: Pinsel und Peitschen zunehmend unscharf konturiert; Strukturelemente überwiegend zu kleinballigen Resten (Büschel) und stellenweise skelettierten Ästen aufgelöst	Farbvert.: ganze Krone ungleichmässig fleckig Farbsätt.: abnehmend (mit zunehmendem Grauanteil) Farbhell.: wie Stufe 1-3 Farbton: kann variieren von rosa bis pastellrosa, z.T. mit gräulichen Flecken, graurötlich	
5	nur Baumskelett sichtbar	Farbton: weiss / gräulich-weiss; keine Rotanteile	

8. Vom Luftbild zur thematischen Karte

Die meisten Arbeiten der forstlichen Luftbildinterpretation haben die Erstellung thematischer Karten zum Ziel. Diese dienen dem Auftraggeber diverse Massnahmen zu planen. Die Erstellung einer Plangrundlage geschieht in der Regel in sechs Arbeitsschritten. Dabei sind verschiedene Akteure und Spezialisten involviert. Dabei hat sich folgendes Vorgehen bewährt (siehe Tab. 8.1).

Tab. 8.1: Arbeitsablauf: Vom Luftbild zur thematischen Karte.

Arbeitsschritt	Akteur(e)
1. Vorarbeiten - Projektsperimeter bestimmen - Merkmale und Genauigkeitsanforderungen festlegen - Übersichtspläne und Luftbilder beschaffen - Interpretationsschlüssel erstellen	- Auftraggeber - Arbeitnehmer, Interpret
2. Luftbildinterpretation - Modellausscheidung - Bestandesausscheidung - Bestandesbeschreibung - Verifikation und Nachbearbeitung - Dateneingabe	- Interpret
3. Photogrammetrische Auswertung - Orientierung der Luftbilder - Erfassen der Bestandesgrenzen - Auswertung der Interpretationsergebnisse	- Photogrammeter
4. Datenverarbeitung im GIS - Datenübernahme und Kontrolle - Flächenberechnung, Analyse und Statistik - Datenaufbereitung für die Kartenerstellung	- GIS-Spezialist
5. Datenausgabe - Tabellen, Graphiken - thematische Karten - digitale Datensätze	- Arbeitnehmer, Interpret (in enger Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber)
6. Abfassen des Berichtes	- Arbeitnehmer

8.1 Vorarbeiten

In der Regel gibt der Auftraggeber den Projektperimeter, sowie gewünschte Produkte (thematische Karten, digitale Daten, Berichte), die erforderlichen Klassen, die Genauigkeit und ev. weitere zu erfassende Einheiten vor. An vielen Orten sind sogenannte Kartierschlüssel vorhanden, mit den ortsüblichen Definitionen, Signaturen und zu verwendenden Farben. Ohne zwingende Gründe sollten diese nicht geändert werden. Teilweise stellt der Auftraggeber auch die Plangrundlagen (Übersichtspläne 1:5'000, 1:10'000) ev. sogar die Luftbilder zur Verfügung.

Aus Kostengründen werden nach Möglichkeit vorhandene Luftbilder verwendet. Diese sind auf ihre Eignung für die gegebene Aufgabenstellung (gewünschte Merkmale und Genauigkeitsanforderungen) zu prüfen. Falls keine geeigneten Luftbilder vorhanden sind, sind Spezialbefliegungen in Auftrag zu geben (siehe Kap. 9).

Wichtig ist zusammen mit dem Auftraggeber festzulegen, ab welcher Mindestgrösse Bestände auszuscheiden sind. Dabei sind die finanziellen Rahmenbedingungen und die Intensität der späteren Massnahmenplanung zu berücksichtigen. Kleinflächige Ausscheidungen erlauben eine genauere Erfassung der Vielfalt in der Natur, sind aber mit höheren Kosten verbunden. Sie sind nur dann sinnvoll, wenn die Massnahmenpla-

nung und -durchführung kleinflächige Unterschiede berücksichtigen oder die Beobachtung kleinflächiger Veränderungen ermöglicht werden soll.

Bei grösseren Projekten ist es vorteilhaft, die Lage der Bildmittelpunkte auf einer Karte 1:25'000 oder 1:50'000 festzuhalten und darauf die Fluglinien besonders zu bezeichnen. Zu jedem Mittelpunkt wird die Bildnummer und zur Linie die Flugliniennummer geschrieben. In besonderen Fällen empfiehlt es sich, das von den Bildern überdeckte Areal auf der Karte zu bezeichnen.

Ein sehr wichtiger Schritt ist das Erstellen oder Adaptieren eines geeigneten Interpretationsschlüssels. Je besser der Schlüssel ist, desto weniger Unsicherheiten und Fehlinterpretationen, bzw. Verifikationen im Felde und Korrekturen sind notwendig.

8.2 Luftbildinterpretation

Bevor mit der eigentlichen Bestandesausscheidung begonnen werden kann, sind die Stereomodelle auszuwählen (Modellausscheidung). Das Ziel der Modellausscheidung besteht darin,

1. möglichst wenige Modelle zu verwenden, (Kostenreduktion bei der photogrammetrischen Auswertung) und
2. jeden ausgeschiedenen Bestand unter dem günstigsten Betrachtungswinkel zu interpretieren.

Die Interpretation erfolgt immer mit Hilfe eines Stereoskopes und dem erarbeiteten Interpretationsschlüssel. Für die Bestandesausscheidung werden in der Regel folgende Abgrenzungskriterien verwendet:

- Entwicklungsstufe
- Mischungsgrad, -art, -form
- Deckungsgrad
- Topographie (Exposition, Relief)

Die hierarchische Ordnung dieser Kriterien ist im Hinblick auf das Erhebungsziel und die lokalen Besonderheiten festzulegen. Dabei können auch unterschiedliche Mindestflächengrößen für einzelne Merkmale verwendet werden. Aus der Sicht der Kartographie sollten die Bestände gewisse Minimalgrößen nicht unterschreiten. Die Mindestgrößen sind für einen abzugrenzenden Bestand aus praktischen Gründen so zu wählen, dass die Beschriftung der Bestände problemlos möglich ist: die Fläche soll 80 mm^2 , die Breite 2,5 mm nicht unterschreiten.

Aus den Anforderungen der Luftbildinterpretation ergibt sich für die Bestandesausscheidung auch eine maximale Grösse. Bei einer fünffachen Vergrößerung am Stereoskop sollte der ganze Bestand innerhalb des Blickfeldes liegen. Bei Luftbildern mit einem Bildmassstab von 1:9'000 ergibt sich eine maximale Länge von 350 Meter bzw. eine maximale Fläche von 10 Hektaren. Zudem sollte sich ein Bestand nicht über eine Höhendifferenz von mehr als 200 bis 300 m erstrecken.

Die Bestandesgrenzen werden entweder auf einer Transparentfolie mit Tusche, wasserfesten Filzstiften o.ä. bezeichnet. Dabei ist zu achten, dass die Striche möglichst fein sind, denn breite Striche haben den Nachteil, dass in der näheren Umgebung der Linie der Stereo-Eindruck erheblich gestört wird.

Für die Bestandesbeschreibung werden die Bestände fortlaufend nummeriert. Dies kann direkt auf den Transparentfolien oder auf einer vergrösserten Kopie davon erfolgen. Bei der Beschreibung können zusätzliche Merkmale bearbeitet werden, die aber nicht zu neuen Abgrenzungen führen. Von jedem Merkmal wird die Ausprägung und der Flächenanteil in den vorgesehenen Klassen erhoben. Die Feinheit der Klasseneinteilung ist im Hinblick auf das Erhebungsziel festzulegen. Die Interpretationsergebnisse werden zusammen mit den Bestandesnummern entweder direkt in einen PC eingegeben oder auf einem Formular festgehalten und später digital erfasst.

Die Vielfalt der Erscheinungsformen führt immer wieder dazu, dass einzelne Bestände nicht eindeutig beurteilt werden können. In diesen Fällen ist eine Überprüfung bzw. Ergänzung im Gelände notwendig. Nach der Geländebegehung ist eine Nachinterpretation durchzuführen und sind die Fehler zu korrigieren.

8.3 Photogrammetrische Auswertung

Aufgabe der photogrammetrischen Auswertung ist die Erfassung der Lage der Bestandesgrenzen im Landeskoordinatensystem. Mit Hilfe von analytischen Stereoauswertegeräten werden die auf dem Luftbild zentralperspektivisch abgebildeten Elemente in eine orthogonale Projektion (Plan) überführt. Diese Transformation von Bild- in Geländekoordinaten beruht auf einer geometrisch strengen Lösung, die höchste Genauigkeitsanforderungen erfüllt. Voraussetzung dabei ist die absolute Orientierung der Stereomodelle, d.h. ihre Einbindung in das Landeskoordinatensystem. Diese erfolgt mit Hilfe von Passpunkten, das sind luftbildsichtbare Punkte, deren Landeskoordinaten bekannt sind.

Im Zuge der Auswertung werden die Bestandesgrenzen und andere Merkmale, z.B. Strassen, mit der Messmarke abgefahren und dabei automatisch räumlich digital erfasst, d.h. die Landeskoordinaten von Punkten auf diesen Linien werden laufend registriert. Diese Daten können später mehrfach verwendet werden:

- für eine Übernahme und Weiterverarbeitung in einem GIS
- für eine Wiedergabe in jedem beliebigen Massstab
- zur zentralperspektivischen Wiedergabe der erfassten Elemente auf Luftbilder unterschiedlichen Aufnahmejahrgangs, aber auch x-beliebiger Luftbildvergrößerungen.

Die photogrammetrische Auswertung erfordert fundiertes Fachwissen, das notwendige Instrumentarium und viel Erfahrung. Deshalb sollte dieser Schritt durch ein qualifiziertes Photogrammetriebüro ausgeführt werden.



Abb. 8.1 analytisches Auswertegerät BC 2S von Leica digitale Photogrammetriestation DPW 770 von Helawa

Alternativen bei geringen Genauigkeitsanforderungen

• Visuelle Übertragung auf eine Karte

Bestandesgrenzen können auch visuell, ohne technische Hilfsmittel auf eine bereits bestehende Karte oder einen Plan übertragen werden. Voraussetzung hierfür ist, dass die Kartengrundlage über genügend, d.h. möglichst viele Detailinformationen verfügt, die Anhaltspunkte für eine derartige Übertragung liefern (Parzellengrenzen, Gewässernetz, Waldgrenzen, Strassen- und Wegnetz etc.). Bezüglich der Genauigkeit sind diesem Verfahren Grenzen gesetzt. Insbesondere bei Kartierungen im Gebirge ist dieses Verfahren nicht zu empfehlen.

• Verwendung eines Luftbildumzeichners

Statt der visuellen Übertragung kann ein Umzeichnungsgerät eingesetzt werden, z.B. das Zoom Transfer Scope (Bausch und Lomb). Das Gerät ermöglicht es, die auf dem Tisch liegende Karte und das auf einer Bildbühne liegende Luftbild gleichzeitig zu betrachten. Mittels einer Zoom Optik kann der Massstab zwischen Luftbild und Karte angeglichen werden. Im weiteren kann das Luftbild gegenüber der Karte in einer beliebig wählbaren Richtung affin gestreckt werden. Auf diese Weise ist es möglich, jeweils einen Ausschnitt der Karte und einen Ausschnitt des Luftbildes zur Deckung zu bringen. In flachen Gebieten muss das Gelände facettenartig in kleine Teilflächen unterteilt werden.

Während mit dem Zoom-Transfer-Scope mit Einzelluftbildern gearbeitet wird, ermöglicht das Stereo-Zoom-Transfer-Scope, ein Stereomodell gleichzeitig mit einem entsprechenden Kartenausschnitt zu betrachten und auf diese Weise eine Umzeichnung durchzuführen. Dieses Verfahren ist geeignet für kleinere Ergänzungen, falls gutes Kartenmaterial mit einer Vielzahl von Anhaltspunkten zur Verfügung stehen.

Für das Herstellen einer genauen Bestandeskarte empfehle ich die photogrammetrische Auswertung.

8.4 Datenverarbeitung im GIS

Nach der Übernahme der Ergebnisse der Interpretation und der Auswertung erfolgt eine Kontrolle der Datenkonsistenz. Jeder Bestandesfläche aus der Auswertung muss ein Sachdatensatz mit derselben Nummer entsprechen. Die Grenzlinien müssen koordinativ geschlossen und frei von nicht eingebundenen Linienstücken sein. Je nach verwendetem System erfolgt die Flächenberechnung automatisch bei der Bildung der Topologie oder in einem eigenen Arbeitsschritt. Die heute verfügbaren Systeme bieten eine grosse Vielfalt an Möglichkeiten für die Datenanalyse und Datenverknüpfung. Wichtig ist die Auswahl jener Berechnungsverfahren, die sinnvolle Aussagen im Hinblick auf das Erhebungsziel liefern und dabei keine Scheingenauigkeiten vortäuschen. Für viele forstliche Planungsaufgaben interessieren beispielsweise die Flächenanteile der Entwicklungsstufen und das Ausmass von Schäden, unterteilt nach den verschiedenen Schadenkategorien. Oft sind die einzelnen Baumarten unterschiedlich stark geschädigt und dementsprechend ist eine getrennte Analyse sinnvoll.

Für die Kartenerstellung werden in der Regel ausgewählte Merkmale aufbereitet. Oberstes Gebot dabei muss die Lesbarkeit der Karte sein. Daher ist im GIS oft eine Zusammenfassung von Merkmalen für die Kartendarstellung notwendig.



Abb. 8.2: GIS-Arbeitsstation von Zeiss

8.5 Datenausgabe

Die Ergebnisse der statistischen Bearbeitung werden in Tabellenform oder in Graphiken dargestellt. Dafür stehen eine grosse Anzahl von PC-Programmen zur Verfügung. Kartographische Darstellungen zeigen die räumliche Verteilung der Merkmale. Sie geben dem Forstpraktiker eine Grundlage für die gezielte Planung weiterer Erhebungen, deren Art und Umfang er genau festlegen kann sowie für die Massnahmenplanung. Damit kann er seine beschränkten Mittel effizienter einsetzen. Je nach Aufgabenstellung können anhand von Luftbildern verschiedene Kartentypen erstellt werden, z.B.:

- Bestandeskarte (vgl. Abb. 8.3)
- Mischungsgradkarte
- Deckungsgradkarte
- Schadenkarten (vgl. Abb. 8.4) Schadenintensitätskarte, Starkschadenkarte, relative Schadenindexkarte, Dür Holzarte)

Entsprechende Beispiele finden sie in Scherrer et al. (1990), Oester et al. (1990), Schwarzenbach et al. (1986), Hägeli et al. (1987).

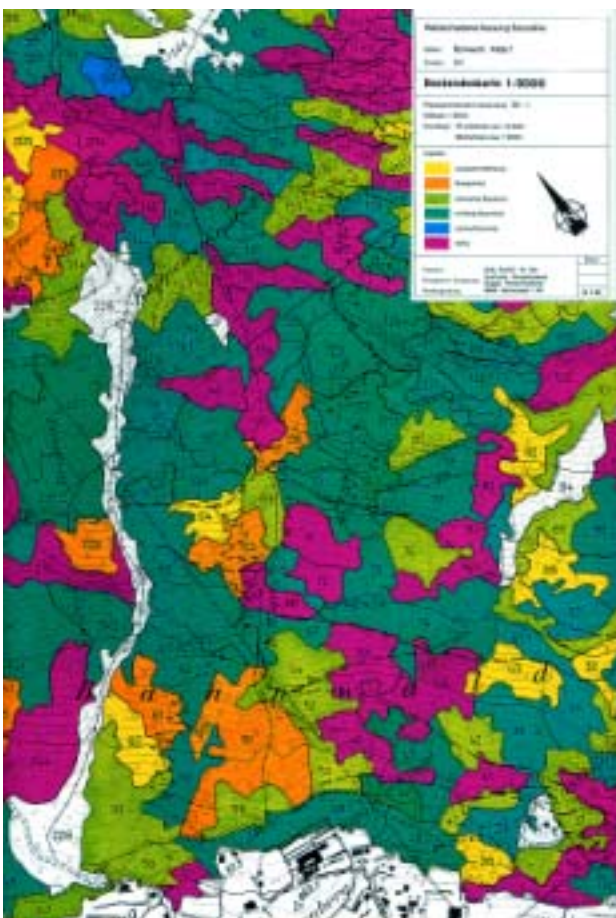


Abb. 8.3: Ausschnitt aus der Bestandeskarte Bannwald von Altdorf 1984; Massstab 1:5'000 (aus Schwarzenbach et al. 1986)

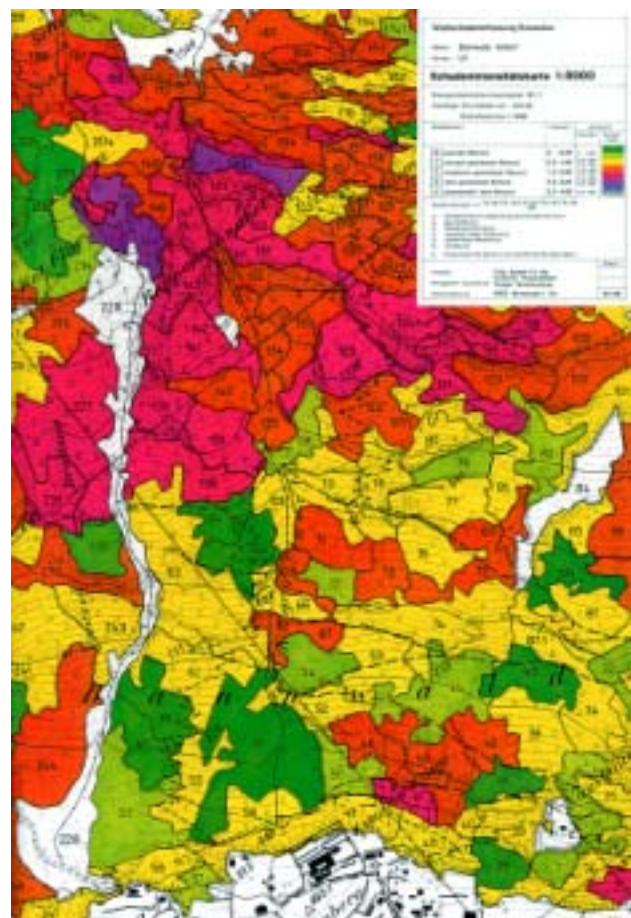


Abb. 8.4: Ausschnitt aus der Schadenintensitätskarte Bannwald von Altdorf 1984; Massstab 1:5'000

8.6 Berichterstattung

Die verwendeten Methoden sowie die wichtigsten Ergebnisse sind in einem Bericht darzustellen. Um die Nachvollziehbarkeit der Erhebung und die Interpretation der Ergebnisse auch zu einem späteren Zeitpunkt zu erleichtern, ist eine möglichst präzise Darstellung der tatsächlichen Vorgangsweise, insbesondere auch bei unklaren Fällen notwendig. Ebenso sind Hinweise zur erreichten Genauigkeit bei der Bearbeitung hilfreich. Dafür sind geeignete Kontrollverfahren in den Arbeitsablauf einzubauen.

9. Luftbildbestellung

9.1 Übersicht über vorhandene Luftbilder

Jedes Jahr gibt Swisstopo (Bundesamt für Landestopographie) einen Luftbild- und Satellitenbild-Katalog heraus. Dieser Katalog enthält alle stereoskopisch ausmessbaren Senkrechtaufnahmen der Vermessungsflugdienste der Schweiz, sowie alle Satellitenbilder, welche vom betreffenden Jahr verfügbar sind. Zum Katalog gehört eine Übersichtskarte 1:300'000, in welcher alle Bildflüge des betreffenden Jahres eingetragen sind. Es sind entweder die erfassten Gebietsperimeter angegeben oder bei Bildmassstäben kleiner 1:20'000 die entsprechende Fluglinien. Die Satellitenaufnahmen sind nur mit ihren Bildmittelpunkten eingezeichnet.

9.2 Luftbilder zur Nachführung der Landeskarten

Swisstopo erstellt gebietsweise in einem Zyklus von 6 Jahren Luftaufnahmen der ganzen Schweiz im Bildmassstab von ca. 1:33'000, früher 1:25'000. Die Gebietseinteilung ist in der abgebildeten Übersicht eingezeichnet. Die Aufnahmen dienen in erster Linie der Nachführung unserer Landeskarten. Sie sind allen Interessenten zugänglich.

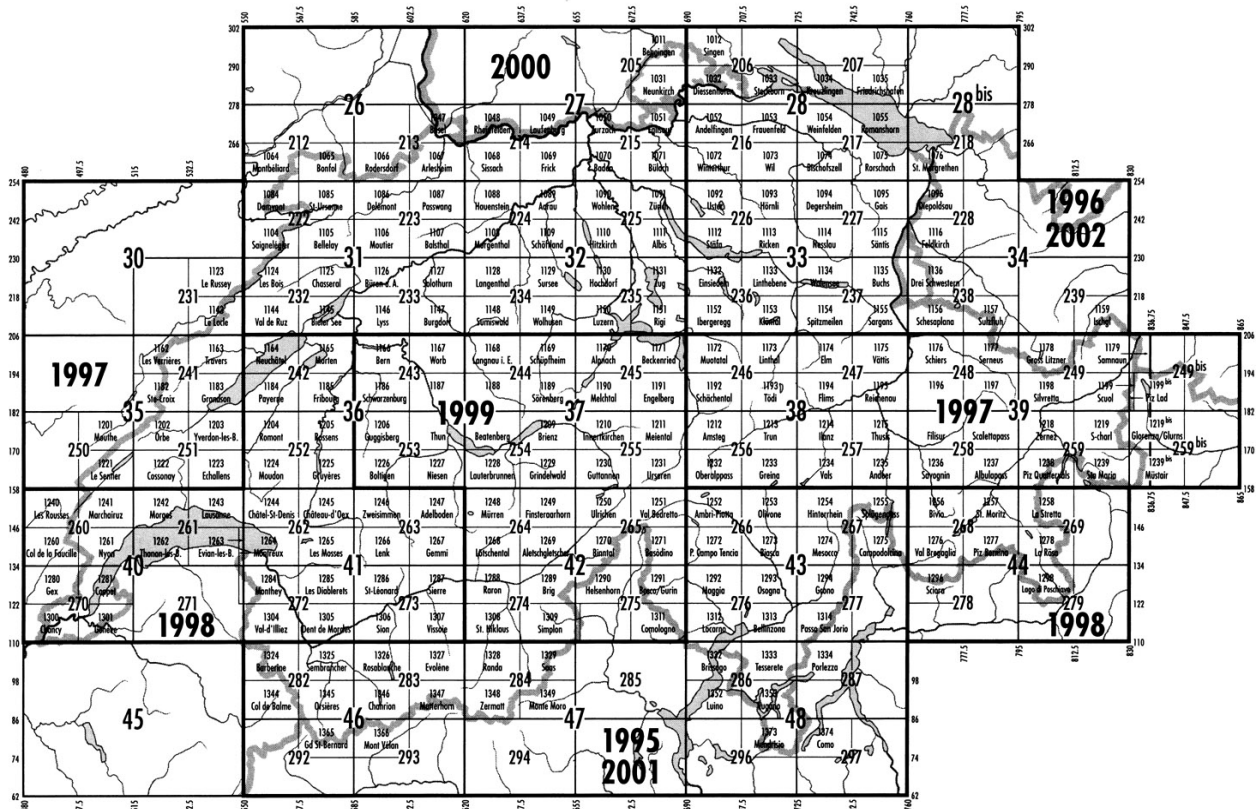


Abb. 9.1: Übersicht über das Flugprogramm von Swisstopo.

9.3 Bestellen von vorhandenen Luftbildern

Aufgrund des Luftbild-Kataloges können für ein bestimmtes Gebiet die optimalsten Bilder gesucht werden. Die Bilder sind in der Regel beim Hersteller oder Auftraggeber gegen Entgelt zu beziehen. Bestellungen erfolgen in der Regel schriftlich mit folgenden Angaben:

- Gebiet (eingezeichnet auf einer Kopie der Landeskarte 1:25'000 oder 1:50'000)
- Zeitpunkt der Aufnahme
- Schwarz/weiss oder farbig (Swisstopo ab 1998)
- Kontaktkopie oder Ausschnittsvergrößerung mit Endmassstab oder Enddimensionen
- Kopie auf Fotopapier, Laserkopie oder Diapositiv

Ausschnitt aus der Preisliste für analoge Luftbilder von Swisstopo (Stand Okt.02):

Produkt	Format	Preis s/w-Luftbild	Preis Farbluftbild
Kontaktkopie auf Fotopapier	23 x 23 cm	Fr. 28.-	Fr. 32.-
Vergrößerung auf Fotopapier	24 x 30 cm	Fr. 107.-	Fr. 94.-
	50 x 50 cm	Fr. 137.-	Fr. 140.-
	60 x 80 cm	Fr. 176.-	Fr. 216.-
Diaduplikate 1:1	23 x 23 cm	Fr. 70.-	Fr. 175.-
Fotokopie (Laser)	1:1 auf A4 oder A3	Fr. 10.-	Fr. 15.-

Zusätzlich: Grundtarif pro Auftrag: Fr. 50.-
Ev. Reproduktionsbewilligung: einmalig Fr. 130.- oder unbeschränkt Fr. 250.-

Ausführliche Informationen über Luft- und Satellitenbilder der Swisstopo, ihre Produkte und Preislisten finden sich unter www.swisstopo.ch/de/image/INDEX.htm.

9.4 Spezialbefliegungen

Sind die vorhandenen Luftbilder für den speziellen Zweck nicht geeignet, (zu kleiner Massstab, nicht optimale Jahreszeit oder Filmmaterial) müssen Spezialbefliegungen in Auftrag gegeben werden.

Schätzen der Kosten für Spezialbefliegungen

Die Kosten setzen sich zusammen aus Film- und Flugkosten. Die Flugkosten lassen sich aus der An- und Rückflugzeit von Zürich-Kloten/Dübendorf ins Aufnahmegebiet sowie der Zeit für die eigentliche Flugaufnahmen abschätzen. Die An- und Rückflugzeiten sind aus der Abbildung 9.2 herauszulesen. Die Zeit für die eigentliche Flugaufnahmen beträgt erfahrungsgemäss pro Flugstreifen durchschnittlich 10 Minuten. Der Preis pro Flugminute wird regelmässig berechnet. Er betrug im Jahre 2000 Fr. 105.-/Min.

Die Zahl der Bilder wird gemäss Kap. 3.3 berechnet. Die Kosten pro Schwarz/weiss-Luftbild betragen Fr. 28.-/Stück, für Farbbild-Diapositiv Fr. 38.-, für Infrarotbilder Originaldia Fr. 43.-.

Anhand dieser Angaben lassen sich die Kosten grob abschätzen. Für verbindliche Offerten wende man sich an die betreffenden Flugfirmen.

Adressen der Flugdienste/Fototheken:

Swisstopo
Flugdienst / KSL
Neugutstrasse 66
8600 Dübendorf
Tel: 01 / 822 12 60
FAX: 01 / 820 11 06
www.swisstopo.ch

Swisstopo
Fotothek
Seftigenstrasse 264
3084 Wabern
Tel: 031 / 963 22 60
FAX: 031 / 963 24 59
www.swisstopo.ch/de/image/INDEX.htm

Swissphoto AG
Dorfstrasse 53
Postfach
8105 Regensdorf-Watt
Tel: 01 / 871 22 22
FAX: 01 / 871 22 00
www.swissphoto.ch

Grunder Ingenieure AG
Lützelflühstrasse 35
3457 Hasel-Rüegsau
Tel: 034 / 460 10 10
FAX: 034 / 460 10 12
www.grunder.ch

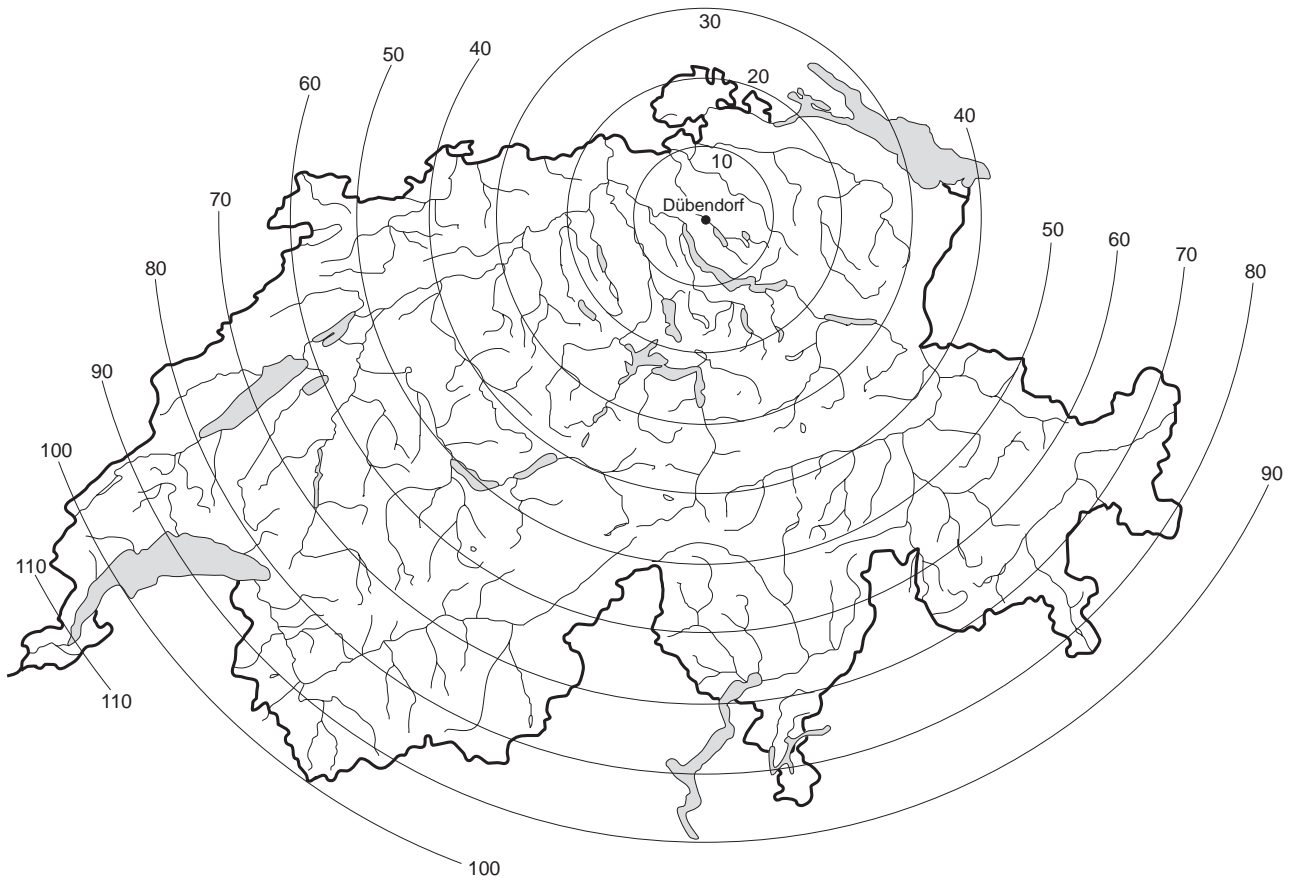


Abb. 9.2: Flugzeit: An- und Rückflug von Dübendorf (in Min.) bei einer durchschnittlichen Fluggeschwindigkeit von 250 km/h.

Lehrbücher

- BONN, F., 1997: Introduction à la télédétection en écologie et sciences de la terre. Université de Sherbrooke, Dép. de Géographie.
- HILDEBRANDT, G., 1996: Fernerkundung und Luftbildmessung. Herbert Wichmann Verlag: Karlsruhe, 676 S.
- HUSS, J. (Hrsg.), 1984: Luftbildmessung und Fernerkundung in der Forstwirtschaft. Herbert Wichmann Verlag: Karlsruhe, 406 S.
- LECHI, G.M., 1990: Dispense del corso di telerilevamento. Milano, edizioni CUSL.
- OESTEN; KUNTZ; GROSS (Hrsg.), 1991: Fernerkundung in der Forstwirtschaft - Stand und Entwicklungen. Wichmann Verlag: Karlsruhe, 277 S..
- TRACHSLER, H., 1989: Grundlagen und Beispiele für die Anwendung von Luftaufnahmen in der Raumplanung. Verlag der Fachvereine vdf: Zürich, (4.Aufl.) 65 S.
- SCANVIC, J.-Y., 1983: Utilisation de la télédétection dans les sciences de la terre. BRGM: Orleans, 158 S.
- SCHNEIDER, S., 1974: Luftbild und Luftbildinterpretation. Lehrbuch der Allgemeinen Geographie. Walter de Gruyter: New York und Berlin, 530 S.
- SELVINI, A., 1988: Principi di fotogrammetria. Milano, edizioni CLUP. 461 S.

Literatur

- ALBERTZ, J., 1975: Ueber die Methode der Luftbildinterpretation. Symposium Erderkundung, DFVLR. DGP, April 1975, Köln-Porz, S. 47f.
- ALBERTZ, J.; KREILING, W., 1989: Photogrammetrisches Taschenbuch. Herbert Wichmann Verlag: Karlsruhe, (4. Aufl.), 292 S.
- BAUMAN, H., 1957: Forstliche Luftbild-Interpretation. Schriftenreihe der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg, Band 2, Tübingen-Bebenhausen, 109 S.
- DIETZ, K. R., 1981: Grundlagen und Methoden geographischer Luftbildinterpretation für die Planung. Bay. Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, München, 109 S.
- DROBIL, M. (Hrsg.), 1978: Umweltbestandesaufnahme durch Fernerkundung und Bodenmessung - Unteres Inntal. Österreichisches Bundesinstitut für Gesundheitswesen, Wien, 103 S.
- HÄGELI, M.; CARTIER, F.; HAUENSTEIN, P.; JESCHKI, W.; LEUPPI, E.; SCHERRER, H.U.; SCHWARZENBACH, F.H.; STOLL, E., 1987: Waldschäden im unteren Aaretal. Eidg. Anst. forstl. Vers.wes., Ber. 296, 63 S.
- KRONBERG, P., 1985: Fernerkundung der Erde. Ferdinand Enke Verlag: Stuttgart, 394 S.
- KURTH, A., 1962: Die Anwendung des Luftbildes im schweizerischen Forstwesen. Schweiz. Anst. forstl. Vers.wes., Mitt. 38, 1: 224.
- MAYER, H., 1977: Waldbau. Gustav Fischer Verlag: Stuttgart, 483 S.

- OESTER, B.; RASCHLE, P.; GAUTSCHI, Hp.; SCHERRER, H.U.; SCHWARZENBACH, F. H., 1990: Das Sanasilva-Teilprogramm "Waldzustandserfassung mit Infrarot-Luftbildern". Eidg. Anst. forstl. Vers.wes., Ber. 317, 32 S.
- OESTER, B., 1991: Erfassen der Waldschaden-Entwicklung anhand von grossmassstäblichen Infrarot-Luftbildern. Department of Geography, remote Sensing Laboratories, University of Zürich-Irchel: Zürich, 162 S.
- OESTER, B.; FLACHSMANN, S., 1997: Interpretationsschlüssel zur Erfassung der Entwicklungsstufen anhand von Luftbildern. Schweiz. Z. Forstwes., 148, 12: 923-938.
- PFEIFFER, B.; WEIMANN, G., 1991: Geometrische Grundlagen der Luftbildinterpretation - Einfachverfahren der Luftbildauswertung. Herbert Wichmann Verlag: Karlsruhe, (2. Aufl.), 132 S.
- SCHERRER, H.U.; GAUTSCHI, Hp.; HAUENSTEIN, P., 1990: Flächendeckende Waldzustandserfassung mit Infrarot-Luftbildern. Eidg. Anst. forstl. Vers.wes., Ber. 318, 102 S.
- SCHERRER, H. U.; TRACHSLER, H.; GRESCH, P., 1980: Vorschläge zur Kartierung und raumplanerischen Behandlung von Brachflächen. Eidg. Anst. forstl. Vers.wes., Ber. 207, 33 S.
- SCHNEIDER, S., 1974: Luftbild und Luftbildinterpretation - Lehrbuch der Allgemeinen Geographie. Walter de Gruyter: New York und Berlin, 530 S.
- SCHWARZENBACH, F.H.; OESTER, B.; SCHERRER, H.U.; GAUTSCHI, Hp.; EICHRODT, R.; HÜBSCHER, R.; HÄGELI, M., 1986: Flächenhafte Waldschadenerfassung mit Infrarot-Luftbildern 1:9000 . Eidg. Anst. forstl. Vers.wes., Ber. 285, 76 S.
- STEINER, D., 1960: Die Jahreszeit als Faktor bei der Landnutzungsinterpretation auf panchromatischen Luftbildern. Dissertation Geographisches Institut Universität Zürich. In: Landeskundliche Luftbildauswertung im mitteleuropäischen Raum, H. 5.
- STEINER, D., 1962: Zur Technik und Methodik der Landnutzungsinterpretation. Berichte zur deutschen Landeskunde, H. 1.
- TRACHSLER, H., 1989: Grundlagen und Beispiele für die Anwendung von Luftaufnahmen in der Raumplanung. Verlag der Fachvereine vdf: Zürich, (4.Aufl.), 65 S.
- ZÖHRER, F., 1980: Forstinventur, Ein Leitfaden für Studium und Praxis. Verlag Paul Parey: Hamburg, 207 S.