

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse
Herausgeber: Schweizerischer Forstverein
Band: 131 (1980)
Heft: 10

Artikel: Der Orthophotoplan als neues technisches Hilfsmittel im Forstwesen
Autor: Rüschi, W.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-766567>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 08.02.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Der Orthophotoplan als neues technisches Hilfsmittel im Forstwesen

Von *W. Rüsch*

(Aus dem Institut für Wald- und Holzforschung der ETH Zürich,
Fachbereich Forsteinrichtung)

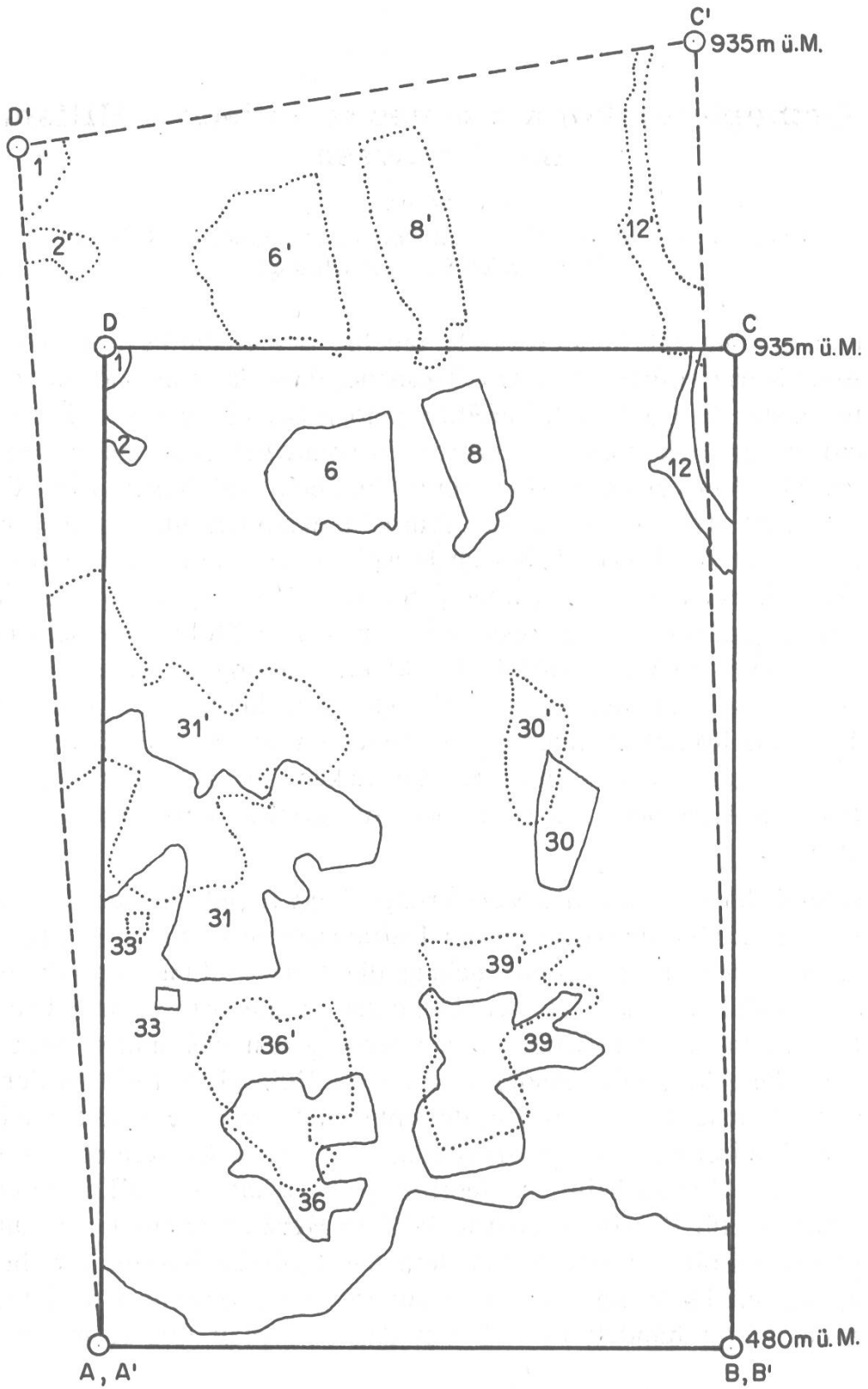
Oxf.: 587

Schon um die Jahrhundertwende tauchte der Gedanke auf, die Photographie als Karte zu benützen. Die Tatsache, dass das Luftbild das Gelände in Zentralprojektion abbildet, bereitete jedoch Schwierigkeiten. Flugaufnahmen sind in der Regel verzerrt und weisen somit keinen einheitlichen Massstab auf. Die Verzerrungen sind unterschiedlich und haben zwei Gründe. Einerseits lässt sich die Achse der Aufnahmekammer nicht genau vertikal halten. Dies hat zur Folge, dass zum Beispiel eine quadratische Struktur am Boden als allgemeines Viereck abgebildet wird. Zum anderen weist das Gelände im allgemeinen mehr oder weniger grosse Höhenunterschiede auf. Dadurch ergeben sich im Luftbild Punktverschiebungen, welche in radialer Richtung zum sogenannten Bildnadir¹ (oder von diesem weg) gerichtet sind (Abb. 1). Diese Radialverschiebungen, manchmal auch als Bildsturz bezeichnet, wachsen gegen den Rand und die Ecken des Bildformates, je nach Bildwinkel der Kammer, und verhindern die direkte Verwendung des Luftbildes als Karte.

Während der erstgenannte Verzerrungseffekt bereits in der Frühzeit der Bildmessung durch Umprojektion der Luftaufnahme in einem «Entzerrungsgerät» eliminiert werden konnte, gelang die Verwandlung zentralperspektivischer Abbildungen nicht ebenen Geländes in die orthogonale Projektion nach dem Verfahren der Differentialentzerrung erst viel später. Brauchbare Geräte für diese Methode existieren seit etwa 1955 (1, S. 180). In der Folge wurden zahlreiche Orthophotogeräte entwickelt, welche meist nach dem optisch-mechanischen Prinzip arbeiteten und zufriedenstellende Resultate erbrachten. Die Firma Wild in Heerbrugg (SG) hat zum XIII. Internationalen Kongress für Photogrammetrie 1976 in Helsinki erstmals ein Differentialumbildungsgerät vorgestellt, bei dem das optische System für die Bildübertragung mit Hilfe eines Prozessrechners digital gesteuert wird (2, S. 4). Bei diesem Gerät handelt es sich um den Avioplan OR 1, mit welchem

¹ Bildnadir: Durchstosspunkt der Lotrechten durch die Bildebene.

Abbildung 1. Schematische Verzerrungen von üblichen Luftbildern.
(Orthophoto: 6, 8; Luftbild: 6', 8')



zweifelloos eine neue Instrumentengeneration begründet worden ist. Im Vergleich zum rein mechanisch gesteuerten Prozess konnte eine erheblich verbesserte Orthophotoqualität erreicht werden. Der schon alte forstliche Gedanke, zur Verbesserung des Überblickes im Wald das Flugbild zu verwenden und diese Photographie zur Karte umzugestalten, lebte dadurch erneut auf und hat zur vorliegenden Studie geführt.

Die Studie konnte nur begonnen und durchgeführt werden, weil verschiedene Institutionen daran Interesse fanden und uns ihre grosszügige Unterstützung liehen. Grossen Dank haben wir dafür abzustatten der Firma Wild Heerbrugg AG, dem Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETHZ, dem Institut für Photogrammetrie der Technischen Universität Wien, der Eidg. Landestopographie in Wabern/Bern, der Schweizerischen Schule für Photogrammetrie-Operateure in St.Gallen und der Swissair Photo AG in Zürich. Folgende Personen dieser Institutionen möchten wir namentlich erwähnen: E. Smolle (Wild, Heerbrugg), Z. Parsic (Photogrammetrie ETHZ), Prof. Dr. K. Kraus und Prof. Dr. P. Waldhäusl (Photogrammetrie Wien), Ch. Eidenbenz (Landestopographie Bern), Dir. R. Scholl (SSPO, St.Gallen) sowie G. Huber (Swissair Photo + Vermessungen AG).

1. Aufgabenstellung und Skizzierung technischer Voraussetzungen

1.1 Zweck der Versuchsreihe

Mit Ausnahme eines Teiles des erwähnten Bildsturzes werden alle Nachteile des Luftbildes (Radialverschiebungen, uneinheitliche Abbildungsmassstäbe) je nach Qualität der Orthophotoherstellung mehr oder weniger vollständig ausgeschaltet. In der in Angriff genommenen Versuchsreihe ging es darum, die Nützlichkeit der neuartigen Orthophotographien für die Herstellung von forstlichen Bestandekarten zu überprüfen.

Zu diesem Zwecke mussten allerdings die Bedingungen bekannt sein, die eine Bestandekarte zu erfüllen hat. Diese Bedingungen sind begreiflicherweise vom speziellen Verwendungszweck abhängig. Schmid (3, S. 13) kommt daher zum Schluss, dass die Genauigkeit einer Bestandekarte umso grösser sein sollte, je vielfältiger, intensiver und länger die Bestandekarte benützt werden soll.

Neben diesen Aspekten soll eine Bestandekarte auch dem wirtschaftlichen Prinzip genügen: Sie soll mit den gegebenen, meist bescheidenen finanziellen Mitteln die materiellen Anforderungen möglichst gut erfüllen. Demzufolge lassen sich gesamthaft folgende allgemeine Anforderungen an eine Bestandekarte stellen:

- möglichst geringe Gesamtkosten
- hohe Lagerrichtigkeit

- hohe Qualität der Bestandesklassifikation
- einfache Vervielfältigungsmöglichkeiten
- kompatible Verwendungsmöglichkeiten
- Wiedergabe der Luftbildinformation.

Es wird hier abzuklären sein, in welchem Masse verschiedene Möglichkeiten der Orthophoto-Bestandeskartenherstellung in einer gesamthaften Nutzwertanalyse im Vergleich zu herkömmlichen Verfahren diese Anforderungen zu erfüllen vermögen (Kap. 5.1.6).

1.2 Spezielle Aspekte der Orthophototechnik

Jede Transformation photographischer Aufnahmen in eine andere Projektion erfordert grundsätzlich die Kenntnis der räumlichen Dimensionen des aufgenommenen Objektes. Dies gilt somit auch für die Differentialverzerrung von Luftbildern. Von den verschiedenen möglichen Methoden ist im Wild-Gerät Avioplan OR 1 das Prinzip der Differentialverzerrung 1. Ordnung mit Linienelementen verwirklicht, um die zentralperspektivischen Verzerrungen in Flugaufnahmen klaffenlos zu beseitigen. Dies geschieht durch streifenweise Zerlegung des Luftbildes in unendlich viele Linienelemente, welche nach gesetzmässiger Drehung und Massstabsänderung kontinuierlich wieder in Streifenprofilen konstanter Breite optisch auf eine rotierende Filmtrommel projiziert werden. Das maximale, auf der Trommel nützbare Filmformat beträgt $75 \text{ cm} \times 90 \text{ cm}$. Zur Luftbildverzerrung im OR 1 müssen demzufolge die gewünschte Grundvergrößerung und die Steuerdaten für die profilweise Belichtung bekannt bzw. gegeben sein. Ausserdem muss Klarheit über die gewünschte Ausführungsform des Orthophotos bestehen.

Bezüglich der Form von Orthophotos kann zwischen Schwarzweiss-, Infrarot- und Falschfarbenfilmen ausgewählt werden. Zudem steht es frei, sich für einen Negativ- oder Positivfilm zu entscheiden. Massgebend für diesen Entscheid sind hauptsächlich das zur Verfügung stehende Luftbildmaterial und Überlegungen der Vervielfältigung des Orthophotos (Kap. 5.1.5). Das Ausgangsmaterial bestand bei einem Versuch aus Schwarzweiss-Luftbild-Diapositiven, die in ein Orthophoto-Negativ überführt wurden. Der Avioplan OR 1 vermag also bei photographischem Positiv-Ausgangsmaterial stets ein Orthophoto-Negativ zu liefern und umgekehrt. Ausserdem kann gewählt werden, ob das Produkt (Orthophoto) geometrisch seitenrichtig oder seitenverkehrt sein soll.

Die Umbildung lässt sich mit einem Doppelzoomsystem, je nach den Dimensionen der Vorlage, theoretisch stufenlos im Bereich zwischen 0,27fach (= Verkleinerung) bis zu 15fach (= Vergrößerung) herstellen, wobei als sogenannte Grundvergrößerung ein Bereich von 0,66fach bis 6fach einstellbar ist. Die Möglichkeit, den theoretischen Gesamtbereich auszuschöpfen, hängt von den Geländebeziehungen ab, weil ja die Differentialverzerrung

der Linienelemente einen Teil des optisch möglichen Vergrößerungsbereiches beansprucht (4, S. 3ff.).

Beim Luftbildmaterial des heute üblichen Formates von $23\text{ cm} \times 23\text{ cm}$ liegt die Limitierung der Vergrößerung des Orthophotos für das Vollformat bei 3,25fach, bedingt durch das Filmtrommelformat.

In unserem Versuch musste eine fünffache Grundvergrößerung gewählt werden, da die Luftbilder einen ungefähren Masstab von $1 : 25\ 000$ aufwiesen und als Masstab der Bestandskarte $1 : 5000$ gewählt worden war. Grundsätzlich ist es mit dem Avioplan möglich, direkt den endgültig gewünschten Masstab des Orthophotos zu erhalten. Demzufolge können bei fünffacher Vergrößerung ab Luftbild $1 : 25\ 000$ in einem Arbeitsgang $15\text{ cm} \times 18\text{ cm}$ bzw. 85 % des Luftbildes oder 1700 ha umgebildet werden.

Die profilweise Projektion des Luftbildes durch den Avioplan OR 1 führt zum endgültigen Orthophoto und bildet das Kernstück der Luftbildentzerrung: Radialverschiebungen und uneinheitliche Abbildungsmasstäbe werden dadurch aufgehoben; das Luftbild wird orthogonal umgebildet bzw. entzerrt.

Die profilweise Projektion erfordert, wie erwähnt, die Kenntnis der räumlichen Dimensionen des aufgenommenen Objektes (= Gelände) in Form von Steuerdaten. Die räumlichen Geländedimensionen sind in der Regel nicht bekannt und müssen daher erst beschafft werden. Dies kann auf verschiedene Weise geschehen. Im allgemeinen benutzt man hierfür stereophotogrammetrische Auswertegeräte, um mit entsprechender Ausrüstung vom orientierten, zu entzerrenden Luftbild Bildkoordinatenprofile oder vom Modell des aufgenommenen Geländes räumliche Koordinaten zu erhalten. Es ist jedoch unter anderem auch möglich, von bestehenden Karten Höhenschichtlinien zu digitalisieren und auf Magnetband zu speichern. Die beiden letztgenannten Fälle führen auf ein digitales Geländemodell (DTM). Mittels eines Rechenprogrammes mit der Bezeichnung SORA-OP werden in einem (externen) Rechner die DTM-Raumkoordinaten unter Einbezug der Orientierungsparameter des Luftbildes zu Steuerdaten für den OR 1 verarbeitet und wieder auf Magnetband gespeichert. Dieses Band dient zur Dateneingabe in den OR 1-Prozessrechner, welcher die Funktionen der optischen und mechanischen Elemente steuert. So werden ein Dove-Prisma für die Drehung und der Differential- oder Terrain-Zoom für die Masstabsänderung des jeweils abzubildenden Aufnahmeausschnittes, ein Graukeil für die korrekte Belichtung sowie der Bildwagen und die Drehung und Verschiebung der Trommel funktionsgerecht betätigt. Die Belichtung auf die rotierende Filmtrommel erfolgt dabei durch eine Schlitzmaske mit einer Weite von 0,1 mm für Schwarzweiss- und von 0,3 mm für Farbfilme. Die Länge der Schlitzmaske kann je nach Genauigkeitsanforderung zwischen 3 mm und 16 mm, bezogen auf das Orthophoto, gewählt werden. Ausserdem ist die Umfangsgeschwindigkeit der Filmtrommel zwischen 10 mm/sec und 30 mm/sec einstellbar.

Durch die Speicherung des digitalen Höhenmodells kann zum Beispiel bei der allfälligen Nachführung einer Bestandskarte auf die erneute aufwendige Erfassung der profilweisen Raumkoordinaten verzichtet werden, da sich das Terrain in der Zwischenzeit ja kaum ändert. Somit ist die Nachführung einer Bestandskarte auf Seite der Orthophotoherstellung nur noch die Angelegenheit einer Neurechnung der Steuerdaten und der Neuprojektion des neuen Luftbildes. Dadurch lassen sich die Materialkosten (Kap. 4.6) um rund drei Viertel reduzieren.

Die Verarbeitungsgrenzen des Avioplan OR 1 können von der Geländeneigung abhängen. Im allgemeinen ist lediglich zu beachten, dass die extremsten Geländehöhendifferenzen innerhalb von etwa 20 % der Flughöhe bleiben und dass die Steilzone möglichst in der Mitte des Luftbildes liegt. Auch die Profilrichtung soll in günstiger Lage zur Steilzone sein. Sind diese Bedingungen erfüllt, bildet der Avioplan OR 1 auch sehr steile Gebiete noch ohne Verwischungen ab. (Verwischungen sind bei extrem schnellen Bewegungen des Terrainzooms möglich.) Im Versuchs-Testgebiet (Kap. 2) wurde eine 100 m hohe Felswand mit einer Neigung von rund 70° (= 275 %) noch brauchbar abgebildet (Abb. 2, Bestand 12). Die Lagegenauigkeit für das Testgebiet kam innerhalb $\pm 0,2$ bis $\pm 0,3$ mm im Orthophoto oder $\pm 1,0$ bis $\pm 1,5$ m im Gelände (5, S. 66f.) zu liegen.

1.3 Spezielle Aspekte der Stereo-Orthophototechnik

Für forstliche Interpretationen von Luftbildinhalten kann es von grossem Nutzen sein (Kap. 3.2.3), wenn das Orthophoto auch als Raumbild sichtbar gemacht werden kann. Mit etwas erhöhtem Rechenaufwand und unter Verwendung des digitalen Höhenmodells lassen sich mit dem Avioplan OR 1 auch sogenannte Stereopartner erzeugen. Dabei handelt es sich um Abbildungen mit einem anderen Projektionsgesetz. Es werden Horizontalparallaxen, welche ja erst das räumliche Sehen ermöglichen, künstlich eingeführt. Im Gegensatz zur Senkrechtpjektion des Orthophotos wird für den Stereopartner eine in Flugrichtung schräge Parallelprojektion des Geländes gewählt. Der Winkel dieser Schrägprojektion gegenüber der Senkrechten kann innerhalb gewisser Grenzen festgelegt werden. Er bestimmt den Plastizitätseindruck des Raumbildes. Wird der Quotient von Flugbasis zu Flughöhe, das sogenannte Basisverhältnis, als Tangens dieses Winkels verwendet, so erhält man den gleichen Raumeindruck und damit denselben Überhöhungseffekt wie bei der Betrachtung des Luftbildpaares, aus welchem das Orthophoto und der Stereopartner hervorgegangen sind. Für Weitwinkelaufnahmen mit 60 % Längsüberdeckung beträgt das Basisverhältnis 0,6; dies entspricht für den Stereopartner einem Schrägprojektionswinkel von etwa 31° .

Durch die erwähnte Schrägprojektion der Geländeoberfläche entsteht ein Negativ (oder Positiv), das wohl dem ursprünglichen Orthophoto sehr ähnlich erscheint, aber nicht mehr flächentreu ist. Der Stereopartner ist daher

nur zur Erzeugung des Raumbildes geeignet und kann für Flächenmessungen nicht verwendet werden. In Verbindung mit dem Orthophoto gestattet er jedoch, Geländehöhen zu messen.

2. Vergleich verschiedener Verfahren zur Herstellung von Bestandeskarten

Um die Vergleichbarkeit verschiedener Herstellungsverfahren von Bestandeskarten zu gewährleisten, musste ein Testgebiet gewählt werden. Entsprechend der Zielsetzung der Versuchsreihe (Kap. 1.1) sollte dieses Gebiet so beschaffen sein, dass es hinsichtlich Geländeneigung und Orographie in die Nähe der Verarbeitungsgrenzen des Avioplans OR 1 zu liegen kam. Andererseits erschien es zur Vereinfachung der Verifizierung zweckmässig, dass es gut erschlossen ist. Aus analogen Gründen mussten die benutzten Luftbilder neueren Datums sein. Die Wahl fiel auf das Gebiet der Balsthaler Klus im Kanton Solothurn. Aus dem, auf dem Orthophoto abgebildeten, rund 1700 ha umfassenden Waldgebiet, wurde ein Testgebiet von 66,62 ha ausgewählt. Es versprach mit seinen kritischen Neigungs- und Orographieverhältnissen (durchschnittliche Neigung 37 % mit steilen und hohen Felswänden) und mit seinen sehr verschiedenen Bestandes- und Mischungsverhältnissen eine aussagekräftige Prüfung zu begründen.

2.1 Möglichkeiten der Luftbildbenützung

Eine Bestandeskarte kann durch zwei verschiedene Arten der Bearbeitung des Luftbildmaterials erfolgen:

1. Einzelbildbearbeitung und
2. Bildpaarbearbeitung.

Der Unterschied dieser beiden Bearbeitungsarten liegt in der Tatsache, dass bei der Stereointerpretation aus zwei überlappenden Luftbildern ein dreidimensionales (räumliches) Bild entsteht, das im Gegensatz zum zweidimensionalen Bild (bei der Einzelbildbetrachtung) damit mehr Details des Luftbildes zum Vorschein bringen kann. Es galt also abzuklären, welche Auswirkungen diese beiden Bearbeitungsarten auf das Endprodukt in Form der Bestandeskarte haben werden.

Zu jeder Bearbeitungsart existiert eine Anzahl von Detailmethoden. Davon fanden diejenigen Methoden Eingang in die Versuchsreihe, die bereits in der Praxis verwendet werden oder von denen zumindest eine gute Erfüllung der an eine Bestandeskarte gestellten Bedingungen erwartet werden konnte. Dementsprechend kam nachstehendes Luftbildmaterial als Gliederung der Detailmethoden in Frage:

a) *Monointerpretation*

- aa - herkömmliches Luftbild im Massstab von rund 1 : 25 000
- ab - Vergrößerung des Luftbildes gemäss aa auf 1 : 5000
- ac - Orthophoto im Massstab von 1 : 5000

b) *Stereointerpretation*

- ba - zwei überlappende Luftbilder im Massstab von je rund 1 : 25 000
- bb - zwei Vergrößerungen der Luftbilder gemäss ba auf je rund 1 : 5000
- bc - zwei Orthophotos der Luftbilder gemäss ba im Massstab von je 1 : 5000
- bd - Orthophoto gemäss bc mit Stereopartner (Kap. 1.3) im Massstab 1 : 5000

2.2 *Darstellung des Bearbeitungsvorganges*

Um die ganze Versuchsreihe materiell und arbeitsökonomisch kennenzulernen und den Überblick zu gewährleisten, wurde ein ausgedehnter Vorversuch durchgeführt, der Aufschluss über die detaillierte Versuchsanlage zu geben hatte. Daraus hervorgehend kann ba (siehe oben) als üblichste Methode bezeichnet werden. Die entsprechende Umarbeitung der Luftbilder zur Bestandeskarte erfolgt anhand eines einheitlichen Arbeitsablaufes. Dieser Arbeitsablauf dient gleichzeitig als Vergleichsbasis für die anderen Bearbeitungsarten:

I Vorbereitung:

Einpassen der Luftbilder am Stereoskop und Anfertigen einer Transparentfolie.

II Interpretation:

durch flächenweise Ansprache und Abgrenzung von Unterschieden der Oberflächenstruktur; Festhalten auf Transparentfolie. Bestandesklassifikation durch Zuweisung der verschiedenen Oberflächenstrukturen anhand einer üblichen Bestandestypendefinition².

III Umbildung (ggf. Kartierung):

Herstellung der Lagerichtigkeit der Bestandestypengrenzen auf einem Übersichtsplan (in der Regel 1 : 5000).

- a) einfache Umbildung (für wenig geneigtes Gelände bis etwa 10 % geeignet; Kap. 5.2) mit folgenden Geräten üblich:
 - Luftbildumzeichner ZEISS (bis 1,2fache Vergrößerung; 6, Fig. 322.1)

² Es wurde die Klassifikation der Professur für Forsteinrichtung mit 6 Entwicklungsstufen und 4 Mischstufen verwendet (7, Kap. 115.3).

- Optiskop mit Kardantisch (in der Regel bis 5fache Vergrößerung)
- Radial Line Plotter HILGER and WATTS (bis 1,2fache Vergrößerung; 6, Fig. 323.1)

b) präzise Kartierung (für Neigungen ab etwa 10 % unerlässlich), zum Beispiel mit

- Stereokartiergeräten WILD A8, B8, B8S, AM (8, S. 56)
- integrierter Umbildung durch Orthoprojektoren (Kap. 1.2).

IV Verifikation:

Vorbereitung der Geländeverifikation (Arbeitskarten und -protokolle); Überprüfung der Bestandestypengrenzen und -klassifikation im Gelände; Festhalten von allfälligen Korrekturen.

V Nachinterpretation:

Wiederholung der Interpretation (II) unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Verifikation (IV); Festhalten der endgültigen Bestandestypengrenzen und -klassifikation und Erstellen der endgültigen Bestandeskarte.

VI Flächenbestimmung:

Erhebung der Bestandestypenflächen und Erstellen eines Flächenverzeichnisses.

Bei der Beschreibung der Detailversuche wird es somit darum gehen, den Arbeitsablauf der üblichsten Methode (I bis VI) mit denjenigen von andern Methoden zu vergleichen.

Es wird insbesondere interessant sein, sich ergebende Kürzungen oder notwendige Erweiterungen zu diskutieren. Der Vorversuch machte auch deutlich, dass es nicht darum gehen konnte, eine absolut richtige Bestandeskarte anstreben zu wollen, da bei der Interpretation wie bei der Verifikation verschiedenste Einflüsse zugegen sind (zum Beispiel verschiedene Interpreten, psychische und physische Verfassung derselben, Witterung, Vegetationsperiode).

3. Beschreibung und Zeitablauf der Detailversuche

3.1 Einzelbildbearbeitung

3.1.1 Übliches Luftbild (aa, Kap. 2.1)

Diese Möglichkeit wird bloss der Vollständigkeit halber erwähnt, da durch Betrachtung mit dem blossen Auge lediglich ein Überblick zu gewinnen ist:

- räumliche Verteilung des Waldes
- Erkennen und grobes Lokalisieren von markanten Entwicklungsphasen
- Einblick in markante Mischungsverhältnisse des Waldes.

Die monoskopische Interpretation (= Einzelbildinterpretation) des Einzelluftbildes kann demzufolge nur eine Übersichtsfunktion haben. Infolge der nur spärlich sichtbaren Details ist es nicht ratsam, diese direkt zu einer Bestandskarte im Massstab 1 : 5000 umarbeiten zu wollen.

3.1.2 Luftbild-Ausschnittvergrößerung (ab)

Diese Methode führt ebenfalls zu keiner eigentlichen Bestandskarte, sondern wird wie Methode aa lediglich der Vollständigkeit halber aufgeführt. Die dazu notwendigen Arbeiten ergaben dabei folgenden Aufwand:

<i>Tätigkeit</i>	<i>Zeitaufwand</i>	<i>Bemerkungen</i>
I Vorbereitung	10 Minuten	
II Interpretation	210 Minuten	
III Umbildung		} alle Geräte versagen, da das Gelände zu steil und zu kuptiert beziehungsweise nur ein Luftbild vorhanden ist
a) einfache Umbildung mit Luftbildumzeichner, Optiskop und Plotter		
b) präzise Kartierung mit Stereokartiergerät		} nicht möglich, da nur ein Luftbild vorhanden ist
IV Verifikation		} wurde nicht durchgeführt, da nur bei lagerichtiger Abbildung zweckmässig
V Nachinterpretation		
VI Flächenbestimmung		

3.1.3 Orthophoto (ac)

Die Verfolgung einer monoskopischen Interpretation eines Orthophotos im gewünschten, endgültigen Massstab (1 : 5000) führt infolge der präzisen Umbildung (Korrektur der Radialverschiebungen, Vereinheitlichung des lokalen Bildmassstabes) direkt zu einer Bestandskarte. Die dazu notwendigen Arbeiten lassen sich wie folgt zusammenstellen:

<i>Tätigkeit</i>	<i>Zeitaufwand</i>	<i>Bemerkungen</i>
I Vorbereitung	15 Minuten	
II Interpretation	155 Minuten	
III Umbildung (mit WILD Avioplan OR 1)		} entfällt, beziehungsweise wird direkt durchgeführt
IV Verifikation		
— Vorbereitung	90 Minuten	
— im Gelände	380 Minuten	
V Nachinterpretation	245 Minuten	
VI Flächenbestimmung	320 Minuten	
Total (66,625 ha)	1205 Minuten	
Total (100 ha)	1809 Minuten	

3.2 Bildpaarbearbeitung

Im Gegensatz zur Einzelbildbearbeitung (Kap. 3.1) besteht bei einer Interpretation von zwei überlappenden Luftbildern die Möglichkeit, damit ein Raumbild zu erhalten. Dieses räumliche Sehen erlaubt neben dem verbesserten Erkennen von Unterschieden in der Oberflächentextur von Waldgebieten zusätzlich auch einen Tiefeneinblick in die Bestände. Es darf also mit einer qualitativen Verbesserung der Interpretation und Bestandesklassifikation gerechnet werden. Diesbezügliche Fehleranalysen werden darüber vermehrten Aufschluss geben müssen (Kap. 5.1.1.2).

3.2.1 Übliches Luftbildpaar (ba)

3.2.1.1 Umbildung mit dem Radial Line Plotter

Die stereoskopische Interpretation eines solchen Luftbildpaares stellt die heute üblichste Methode dar. Der Arbeitsablauf bei einfacher Umbildung (Kap. 2.2) erforderte folgenden Zeitaufwand:

<i>Tätigkeit</i>	<i>Zeitaufwand</i>	<i>Bemerkungen</i>
I Vorbereitung	60 Minuten	
II Interpretation	300 Minuten	
III Umbildung		
— Plotter	200 Minuten	
— Optiskop	85 Minuten	fünffache Vergrößerung auf Übersichtsplan
IV Verifikation		
— Vorbereitung	120 Minuten	
— im Gelände	480 Minuten	
V Nachinterpretation	415 Minuten	
VI Flächenbestimmung	365 Minuten	
Total (66,625 ha)	2025 Minuten	
Total (100 ha)	3040 Minuten	

Die Übertragung der Bestandestypengrenzen mit dem Plotter ist (entsprechend der langen Verifikations- und Nachverifikationszeit) in diesem speziellen Fall mit Lagefehlern bis ± 50 m verbunden. Aus diesem Grunde wurde der gesamte Versuch mit einem präzisen Kartiergerät wiederholt. Solche Geräte werden auch in der Praxis bei grossen Genauigkeitsanforderungen angewendet (9, S. 22ff.).

3.2.1.2 Kartierung mittels Stereokartiergerät

<i>Tätigkeit</i>	<i>Zeitaufwand</i>	<i>Bemerkungen</i>
I Vorbereitung	60 Minuten	
II Interpretation	300 Minuten	
III Kartierung (mit WILD B8S)	170 Minuten	mit Hilfe von Zusatzgeräten direkt auf Übersichtsplan 1 : 5000 kartiert
IV Verifikation		
— Vorbereitung	120 Minuten	
— im Gelände	395 Minuten	
V Nachinterpretation	385 Minuten	
VI Flächenbestimmung	315 Minuten	
Total (66,625 ha)	1745 Minuten	
Total (100 ha)	2620 Minuten	

3.2.2 Luftbildpaar-Ausschnittvergrößerung (bb)

In Anlehnung an die monoskopische Methode der Luftbildpaar-Ausschnittvergrößerung (Kap. 3.1.2) soll abgeklärt werden, wieweit eine stereoskopische Betrachtung zur Verbesserung des Gesamtergebnisses führen kann. Der hierzu notwendige Arbeitsablauf hat folgendes Aussehen:

<i>Tätigkeit</i>	<i>Zeitaufwand</i>	<i>Bemerkungen</i>
I Vorbereitung	50 Minuten	
II Interpretation	170 Minuten	
III Umbildung (auf Übersichtsplan 1 : 5000)		
— Radial Line Plotter		kann infolge fehlerhafter Passpunkt- zuweisung nicht durchgeführt werden
— Luftbildumzeichner und Optiskop		Umbildung infolge Steil- und Kupiertheit des Geländes nicht möglich
— WILD B8S		Umbildung nicht möglich, da keine Luftbilder 1 : 25 000 vorliegen (Orientierung)
IV Verifikation		
V Nachinterpretation		wurde infolge der nicht umbildbaren Interpretation nicht durchgeführt
VI Flächenbestimmung		

In Übereinstimmung mit den Versuchen aa und ab (Kap. 3.1.1 und 3.1.2) führte auch diese Methode zu keinem Erfolg. Hauptsächlich verantwortlich

dafür sind die beträchtlichen Radialverschiebungen (Abbildung 1), die bei Ausschnittvergrößerungen von 1 : 5000 keine einfache oder präzise Umbildung zulassen.

3.2.3 Orthophotopaar 1 : 5000 (bc)

Zweck dieser Methode war das Bereitstellen eines Raumbildes von gänzlich lagegetreuen Orthophotos. Die Gesichtspunkte Lage-treue/Massstab-treue wurden dadurch mit dem Raumbild zusammen kombiniert, beziehungsweise beide Vorteile miteinander verbunden.

<i>Tätigkeit</i>	<i>Zeitaufwand</i>	<i>Bemerkungen</i>
I Vorbereitung	15 Minuten	
II Interpretation	210 Minuten	
III Umbildung (mit WILD Avioplan OR 1)	—	fällt infolge Orthophototechnik weg
IV Verifikation		
— Vorbereitung	60 Minuten	
— im Gelände	320 Minuten	
V Nachinterpretation	215 Minuten	
VI Flächenbestimmung	355 Minuten	
Total (66,625 ha)	1175 Minuten	
Total (100 ha)	1765 Minuten	

Das räumliche Sehen bleibt bei dieser Methode auf die Objekte über dem Gelände (Bauten, Vegetation) beschränkt, da die orthogonale Umbildung mit Bezug auf die Geländeoberfläche erfolgte und die Betrachtung der beiden Bilder keine (zum stereoskopischen Sehen notwendige) Horizontalparallaxe mehr aufweist (10, S. 25). Der Überhöhungseffekt wird zudem auf rund $\frac{1}{5}$ der Methode ba (Kap. 3.2.1) beschränkt. Diese beiden Nachteile können durch die erst seit kurzem ausgebaute Stereo-Orthophotographie (Kap. 1.3) gänzlich ausgeschaltet werden. Dabei wird zur üblichen Orthophoto ein Stereopartner (englisch: Stereomate) erstellt, der auf einer schrägen Parallelprojektion beruht. Damit wird im Raumbild zusätzlich die Orographie des Terrains sichtbar und gleichzeitig kann der Überhöhungseffekt auf den üblichen vorzüglichen Wert der Methode ba gebracht werden.

Eine generelle Gegenüberstellung des Zeitaufwandes der einzelnen Versuche erübrigt sich, da in einer Nutzwertanalyse (Kap. 5.1.6) auch die Materialkosten erfasst werden müssen. Hingegen werden die Zeitaufwände als Basis für die Ermittlung der Gesamtkosten benötigt.

3.2.4 Orthophoto mit Stereopartner 1 : 5000 (bd)

<i>Tätigkeit</i>	<i>Zeitaufwand</i>	<i>Bemerkungen</i>
I Vorbereitung	20 Minuten	
II Interpretation	170 Minuten	
III Umbildung	—	fällt infolge Orthophototechnik weg
IV Verifikation		
— Vorbereitung	75 Minuten	
— im Gelände	115 Minuten	
V Nachinterpretation	120 Minuten	
VI Flächenbestimmung	350 Minuten	
Total (66,625 ha)	850 Minuten	
Total (100 ha)	1275 Minuten	

4. Kosten der Detailversuche

Für den Praktiker ist insbesondere die Kenntnis der Gesamtkosten von erstrangiger Bedeutung. Weil bei den Versuchen überdies nicht die gleichen Materialkosten anfallen, wird die Kostenberechnung zugunsten der Übersichtlichkeit separat von Beschreibung und Zeitaufwand erstellt.

Für die Kostenberechnung kommen die neuesten SIA-Honoraransätze, Tarif B, gültig ab 1. Juli 1979, zur Anwendung. Diese Ansätze müssen entsprechend den Anforderungen der einzelnen Arbeitsschritte gemäss Personalkategorie differenziert werden. Zwischen Anforderungen und Personalkategorie wurde dementsprechend folgender Zusammenhang verwendet:

I Vorbereitung — Kategorie c (= erfahrener Forstingenieur)	Fr. 55.—/h
II Interpretation — Kategorie c	Fr. 55.—/h
III Kartierung	
a) einfache Geräte	} Kategorie c
b) Stereokartiergerät	
	Fr. 55.—/h
IV Verifikation	
a) Vorbereitung — Kategorie f (= Zeichner)	Fr. 35.—/h
b) im Gelände — Kategorie c	Fr. 55.—/h
V Nachinterpretation — Kategorie c	Fr. 55.—/h
VI Flächenbestimmung — Kategorie f	Fr. 35.—/h

Für die Gerätebenützung wurde ein Ansatz verwendet, in dem Anschaffungskosten und Amortisationsdauer berücksichtigt sind. Weiter werden zugunsten der Übersichtlichkeit nur noch diejenigen Versuche berücksichtigt,

die zu einer Bestandskarte führten; wobei diese mit 1 bis 5 nummeriert werden.

4.1 Gesamtkosten für Versuch 1; übliches Luftbildpaar 1 : 25 000 mit einfacher Umbildung

a) Material	
2 Luftbildpositive à Fr. 15.—/13.—	Fr. 28.—
2 Heliographien von Übersichtsplan 1 : 5000	6.—
Zeichnungsmaterial	5.—
Benützung Radial Line Plotter	10.—
Benützung Optiskop	10.—
Benützung Stereoskop	5.—
<hr/>	
Subtotal Material	Fr. 64.—
b) Arbeitsstunden (Kap. 3.2.1.1)	
Vorbereitung 60 Minuten	Fr. 55.—
Interpretation 300 Minuten	275.—
Umbildung mit Plotter und Optiskop 285 Minuten	262.—
Vorbereitung der Verifikation 120 Minuten	70.—
Verifikation 480 Minuten	440.—
Nachinterpretation 415 Minuten	381.—
Flächenbestimmung 365 Minuten	213.—
<hr/>	
Subtotal Arbeit	Fr. 1696.—
<hr/>	
Total (66,625 ha)	Fr. 1760.—
Total (100 ha)	Fr. 2642.—
<hr/>	

4.2 Gesamtkosten für Versuch 2; übliches Luftbildpaar 1 : 25 000 mit präziser Kartierung

a) Material	
2 Luftbilddiapositive à Fr. 40.—	80.—
2 Heliographien von Übersichtsplänen 1 : 5000	6.—
Benützung Stereokartiergerät B8S	68.—
Benützung Stereoskop ST4	5.—
Zeichnungsmaterial	5.—
<hr/>	
Subtotal Material	Fr. 164.—

b) Arbeitsstunden (Kap. 3.2.1.2)	
Vorbereitung 60 Minuten	Fr. 55.—
Interpretation 300 Minuten	275.—
Umbildung mit B8S 170 Minuten	156.—
Vorbereitung der Verifikation 120 Minuten	70.—
Verifikation 395 Minuten	363.—
Nachinterpretation 385 Minuten	353.—
Flächenbestimmung 315 Minuten	184.—
<hr/>	
Subtotal Arbeit	Fr. 1456.—
<hr/>	
Total (66,625 ha)	Fr. 1620.—
Total (100 ha)	Fr. 2432.—
<hr/>	

4.3 Gesamtkosten für Versuch 3; Orthophoto 1 : 5000

a) Material	
2 Luftbilddiapostive à Fr. 40.—	Fr. 80.—
1 Heliographie von Übersichtsplan 1 : 5000	3.—
1 Orthophotoplan 1 : 5000	500.— ³
Zeichnungsmaterial	5.—
<hr/>	
Subtotal Material	Fr. 588.—
<hr/>	

b) Arbeitsstunden (Kap. 3.1.3)	
Vorbereitung 15 Minuten	Fr. 14.—
Interpretation 155 Minuten	142.—
Vorbereitung der Verifikation 90 Minuten	53.—
Verifikation 380 Minuten	349.—
Nachinterpretation 245 Minuten	225.—
Flächenbestimmung 320 Minuten	187.—
<hr/>	
Subtotal Arbeit	Fr. 970.—
<hr/>	
Total (66,625 ha)	Fr. 1558.—
Total (100 ha)	Fr. 2338.—
<hr/>	

³ Es handelt sich dabei um einen Richtpreis, der für ein Luftbild-Einzelmodell (zwei Luftbilder) und ein Orthophoto-Schwarzweiss-Negativ mit einem Format von 75×90 cm gültig ist. Die Orthophotokosten bleiben demzufolge bei einem Massstab 1 : 5000 bis zu rund 1700 ha konstant, wobei die Preistendenz inskünftig eher sinkend ist.

4.4 Gesamtkosten für Versuch 4; Orthophotopaar 1 : 5000

a) Material	
2 Luftbilddiapositive à Fr. 40.—	Fr. 80.—
1 Heliographie von Übersichtsplan 1 : 5000	3.—
2 Orthophotopläne 1 : 5000	1000.—
Zeichnungsmaterial	5.—
Benützung Stereoskop	5.—
Subtotal Material	Fr. 1093.—
b) Arbeitsstunden (Kap. 3.2.3)	
Vorbereitung 15 Minuten	Fr. 14.—
Interpretation 210 Minuten	193.—
Vorbereitung der Verifikation 60 Minuten	35.—
Verifikation 320 Minuten	293.—
Nachinterpretation 215 Minuten	197.—
Flächenbestimmung 355 Minuten	207.—
Subtotal Arbeit	Fr. 939.—
Total (66,625 ha)	Fr. 2032.—
Total (100 ha)	Fr. 3050.—

4.5 Gesamtkosten für Versuch 5; Orthophoto 1 : 5000 mit Stereopartner

a) Material	
2 Luftbilddiapositive à Fr. 40.—	Fr. 80.—
1 Heliographie Übersichtsplan 1 : 5000	3.—
1 Orthophoto 1 : 5000	500.—
1 Stereopartner	250.— ⁴
Zeichnungsmaterial	5.—
Benützung Stereoskop	5.—
Subtotal Material	Fr. 843.—
b) Arbeitsstunden (Kap. 3.2.4)	
Vorbereitung 20 Minuten	Fr. 18.—
Interpretation 170 Minuten	156.—
Vorbereitung der Verifikation 75 Minuten	44.—
Verifikation 115 Minuten	105.—
Nachinterpretation 120 Minuten	110.—
Flächenbestimmung 350 Minuten	205.—
Subtotal Arbeit	Fr. 638.—
Total (66,625 ha)	Fr. 1481.—
Total (100 ha)	Fr. 2223.—

⁴ Es gelten grundsätzlich dieselben Bemerkungen wie zu Fussnote 3; infolge eines verminderten Rechenaufwandes betragen die Kosten für Stereopartner nur rund 50 % des ursprünglichen Orthophotos.

4.6 Vergleich der Gesamtkosten

In Tabelle 1 sind die Gesamtkosten der 5 Versuche ersichtlich. Ebenso können die verschiedenen Prozentanteile der Material- und Arbeitskosten entnommen werden.

Tabelle 1.

Versuch	1		2		3		4		5	
Kostenart	Fr.	%	Fr.	%	Fr.	%	Fr.	%	Fr.	%
Materialkosten	96.—	4	246.—	10	883.—	38	1641.—	54	1265.—	57
Arbeitskosten	2546.—	96	2186.—	90	1455.—	62	1409.—	46	958.—	43
Gesamtkosten	2642.—	100	2432.—	100	2338.—	100	3050.—	100	2223.—	100

Das Orthophoto mit Stereopartner weist die geringsten Gesamtkosten auf, während das übliche Luftbildpaar mit einfacher Umbildung die niedrigsten Materialkosten, allerdings aber auch die höchsten Arbeitskosten aufweist. Obwohl die Gesamtkosten für den Entscheid der insgesamt günstigsten Variante sehr wichtig sind, darf dieser Entscheid nicht allein auf ökonomischer Grundlage beruhen, sondern muss aus betrieblichen Gründen auch die Qualität berücksichtigen. Daher ist der materielle Gehalt der verschiedenen Bestandeskarten erst noch im Detail zu diskutieren.

5. Vergleich und Bewertung der Versuchsergebnisse

Massgebend für diese Bewertung ist der Grad der Erfüllung der an eine Bestandeskarte gestellten Anforderungen (Kap. 1). Die Bewertung hat zweckmässigerweise getrennt nach Forderungen allgemeiner Natur und nach solchen, die speziell für das Testgebiet zutreffend sind, zu erfolgen.

5.1 Diskussion der Ergebnisse für das Testgebiet

5.1.1 Interpretation

Ziel der Luftbildinterpretation ist es, die von den Bestandestypen gebildete Oberflächentextur nach bestimmten Einheiten zu differenzieren und unterschiedliche Einheiten abzugrenzen (6, S. 61). In einem weiteren Schritt werden derart abgegrenzte Einheiten entsprechend einer bestimmten Bestandestypendefinition (Kap. 2.2) zugewiesen (= Bestandesklassifikation). Weil die Oberflächentextur (abhängig von Massstab und Qualität des Bildes) die Realität nur begrenzt wiederzugeben vermag und eine Definition der Bestandestypen in der Regel nicht in Masseinheiten der Textur, sondern in Baumdimensionen erfolgt, ist die Bestandesklassifikation durch eine Veri-

fikation im Gelände zu überprüfen und nötigenfalls zu korrigieren. Aus wirtschaftlichen Gründen muss gefordert werden, dass die Interpretation einerseits einen möglichst geringen Aufwand erfordert, andererseits aber gleichzeitig eine grösstmögliche Qualität ergibt, das heisst dass die nachfolgenden Arbeitsschritte ihrerseits möglichst wirtschaftlich erfolgen können.

5.1.1.1 Interpretationsaufwand

Tabelle 2 zeigt einen Vergleich des Interpretationsaufwandes (pro 100 ha):

Tabelle 2.

1	2	3	4	5
Luftbildpaar (einf. Umbildung)	Luftbildpaar (präz. Kartierung)	Orthophoto 1 : 5000	Orthophotopaar 1 : 5000	Orthophoto mit Stereopartner
450 Minuten (7½ Stunden)	450 Minuten (7½ Stunden)	235 Minuten (~ 4 Stunden)	315 Minuten (5¼ Stunden)	255 Minuten (4¼ Stunden)

Es besteht ein signifikanter Unterschied bezüglich der Interpretationszeit von nicht entzerrten Luftbildern 1 : 25 000 und Orthophotomaterial 1 : 5000. Die Interpretationszeit ist für Orthophotogrundlagen um 30—48 % geringer als bei üblichen Luftbildern.

Dieser Zeitunterschied wird im wesentlichen durch die Entscheidungssicherheit des Interpreten hervorgerufen. Diese wird einerseits durch den grösseren Massstab positiv beeinflusst, weil dadurch vermehrte Details der Oberflächentextur sichtbar werden. Zum andern hilft der auch lokal einheitliche Bildmassstab von Orthophotos (Kap. 1.2), die Interpretationssicherheit zu vergrössern. Insbesondere entfällt dadurch die in nicht entzerrten Luftbildern von hügeligen oder von gebirgigen Gebieten notwendige fiktive Massstabanpassung bei der Bestandesklassifikation.

Die Unterschiede innerhalb des Orthophotomaterials selbst sind weit weniger signifikant und beruhen grösstenteils darauf, dass die Interpretation eines Raumbildes bei gleicher Aufgabenstellung psychologisch die Suche nach Details vermehrt anregt als eine monoskopische Betrachtung.

5.1.1.2 Interpretationsqualität

Grundsätzlich kann der Forderung nach einer hohen Vertrauenswürdigkeit der Bestandesklassifikation (Kap. 1) entweder durch eine qualitativ hochwertige Interpretation mit geringem Verifikations- und Nachinterpretationsaufwand oder durch eine weniger vertrauenswürdige Interpretation mit vergrössertem Mehraufwand an Verifikation und Nachinterpretation entsprochen werden. Wie aus der weiteren Folge des Berichtes hervorgeht,

ist es jedoch aus wirtschaftlichen Gründen ratsam, von Beginn an auf eine qualitativ hochwertige Interpretation zu achten.

Als Mass für die Interpretationsqualität kann die Fehleranalyse, hervorgehend aus einem Vergleich zwischen Verifikation und Nachinterpretation zu Rate gezogen werden (Tabelle 3):

Tabelle 3.

Interpretationsfehler	Bestandesklassifikation		
	Entwicklungsstufen	Mischstufen	Total
1 Luftbildpaar 1 : 25 000 (einfache Umbildung)	44 %	59 %	51 %
2 Luftbildpaar 1 : 25 000 (präzise Kartierung)	42 %	59 %	50 %
3 Orthophoto 1 : 5000	43 %	51 %	47 %
4 Orthophotopaar 1 : 5000	11 %	36 %	22 %
5 Orthophoto mit Stereopartner	3 %	6 %	5 %

Die Fehlerquoten liegen bei beiden Versuchen mit Luftbildpaaren etwas über entsprechenden Werten von anderen Interpreten (9, S. 32) und sind hauptsächlich durch die begrenzte Sichtbarkeit von Texturdetails infolge des kleinen Bildmassstabes erklärbar. Im speziellen Fall des Testgebietes Klus kommt die Wirkung der Verschiedenheit des lokalen Bildmassstabes hinzu (tiefer gelegene Bäume erscheinen kleiner als höher gelegene); dadurch wird die Vertrauenswürdigkeit der Interpretation erheblich beeinträchtigt.

In der gleichen Fehlergrössenordnung liegt die monoskopische Interpretation eines Einzelorthophotos. Dies mag zunächst erstaunen, da bei dieser Interpretation kein Raumbild erzeugt werden kann und somit nur ein sehr beschränkter Höhereindruck des Textureinheiten erhalten werden kann. Die Erfahrung zeigt aber, dass diese Nachteile durch den einheitlichen, lokalen Bildmassstab und den grösseren Massstab des Orthophotos ausgeglichen werden. Die Qualität einer monoskopischen Interpretation des Orthophotos ist demzufolge der Qualität von herkömmlichen Verfahren gleichzusetzen.

Eine erhebliche Verbesserung der Qualität ist eingetreten, nachdem die monoskopische Interpretation des Orthophotos zu einer stereoskopischen Interpretation erweitert wurde. Dazu bestehen folgende beiden Möglichkeiten:

- Orthophotopaar und
- Orthophoto mit Stereopartner.

Die Interpretationsqualität, die aufgrund des Orthophotopaars erhalten wurde, ist rund doppelt so gross wie bei den Versuchen 1 bis 3. Trotzdem ist zu betonen, dass der Überhöhungseffekt des Raumbildes infolge der fünffachen Vergrösserung gegenüber dem üblichen Luftbild auch rund fünfmal reduziert wurde. Als weiterer Nachteil ist zu erwähnen, dass nur Erhebungen über dem eigentlichen Terrain (Wald, Vegetation, Bauten) räumlich sichtbar werden (Kap. 3.2.3). Demzufolge erscheint jedes Terrain auch bei stereoskopischer Betrachtung als Ebene. Dadurch fehlt dem Interpreten bei der Bestandesklassifikation die Relation zwischen Bestandesentwicklung und lokaler oder regionaler Orographie, was seinerseits eine Einbusse an Interpretationssicherheit zur Folge hat.

Eine abermalige Verbesserung der Interpretationsqualität wurde bei einer stereoskopischen Betrachtung von Orthophoto mit Stereopartner festgestellt. Das Mass der Verbesserung beläuft sich gegenüber der Interpretation von üblichen Luftbildern und Orthophotos auf einen Faktor von rund 10; gegenüber der Interpretation eines Orthophotopaars immer noch auf rund 4. Der Grund für diese beträchtliche Verbesserung liegt in der höheren Intensität des Raumbildes; der Überhöhungseffekt ist in der gleichen Grössenordnung wie derjenige von üblichen Luftbildern 1 : 25 000, wobei auch das Terrain räumlich sichtbar wird.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass das Orthophoto mit Stereopartner weitaus die beste Interpretationsqualität ergibt. Ebenfalls eine noch gute Qualität wird durch Interpretation eines Orthophotopaars festgestellt, während die herkömmlichen Verfahren oder der einzelne Orthophotoplan als weniger genügend bezeichnet werden müssen (Fehlerquote der Bestandesklassifikation zwischen 40 und 50 %).

5.1.2 Verifikation

Es wurde bereits darauf hingewiesen, dass der Verifikationsaufwand in engem Zusammenhang mit der Interpretationsqualität steht. Dieser Zusammenhang soll durch nachfolgende Diskussion konkretisiert werden. Um vergleichbare Verifikationsaufwände zu erhalten, wurde für jeden Versuch genau derselbe Verifikationsweg im Gelände befolgt, wozu während des Vorversuchs eine Verifikationsroute festgelegt werden musste. Der Weg selbst wurde teils mittels PW und teils zu Fuss zurückgelegt. Die Verifikation erfolgte in einer Zweiergruppe, was es nötig machte, die Aufwände zu Vergleichszwecken jedoch auf Mannstunden umzurechnen. Dieser Umrechnung lag die Annahme zugrunde, dass ein einzelner Verifizierender doppelt soviel Zeit braucht wie eine Zweiergruppe. Erfahrene Autoren von Bestandeskarten weisen allerdings darauf hin, dass der Zeitbedarf aus psychologischen Gründen (Alleinsein, Unsicherheiten bei der Bestandesklassifikation) leicht das Doppelte übersteigen könne. Demzufolge handelt es sich bei untenstehenden Angaben um eher optimistische Werte. Tabelle 4 gibt Auskunft über die verschiedenen Verifikationszeiten (pro 100 ha).

Tabelle 4.

1	2	3	4	5
Luftbildpaar (einf. Umbildung)	Luftbildpaar (präz. Kartierung)	Orthophoto	Orthophotopaar	Orthophoto mit Stereopartner
720 Minuten (12 Stunden)	595 Minuten (~ 10 Stunden)	570 Minuten (9½ Stunden)	480 Minuten (8 Stunden)	180 Minuten (3 Stunden)

Versuch 1

Bei diesem Versuch wurde der grösste Verifikationsaufwand festgestellt. Der Grund muss in den teilweise beträchtlichen Lagedifferenzen der Bestandestypengrenzen gesucht werden. Die Umbildung mit den Geräten Radial Line Plotter und Optiskop erwies sich im Testgebiet Klus als ungeeignet und ergab im Terrain maximale Lagefehler bis zu ± 50 m. Zusätzlich mussten viele Interpretationsfehler (Kap. 5.1.1.2) behoben werden. Die Orientierung im Gelände war dementsprechend schwierig; insbesondere wurde durch die Lagefehler viel Zeit verloren, bis ein bestimmter Bestandestyp zuverlässig lokalisiert war.

Versuch 2

Im Vergleich zu Versuch 1 wurde ein leicht reduzierter Verifikationsaufwand (10 Stunden/100 ha) festgestellt. Lagefehler von Bestandegrenzen waren infolge der exakten Kartierung mit dem Stereokartiergerät B8S praktisch keine mehr festzustellen. Demgegenüber musste allerdings noch die gleiche Grössenordnung von Interpretationsfehlern wie im Versuch 1 behoben werden.

Versuch 3

Der Verifikationsaufwand liegt in der Grössenordnung von Versuch 2, obgleich eine geringe Reduktion von einer halben Stunde pro 100 ha festgestellt wurde. Die Lagerichtigkeit war jedoch dermassen zuverlässig, dass trotzdem alle Bestände auf Anhieb gefunden werden konnten. Gemäss Untersuchungen von Kraus (5, S. 67) liegt die Lagegenauigkeit bei unseren Versuchsbedingungen innerhalb $\pm 0,3$ mm auf dem Orthophoto 1 : 5000 oder innerhalb $\pm 1,5$ m im Gelände. Diese Genauigkeitsangaben sind auch für die Versuche 4 und 5 gültig.

Infolge einer guten Interpretationsqualität (Tab. 3) konnte der Verifikationsaufwand in Versuch 4 auf 8 Stunden pro 100 ha gesenkt werden. Eine abermalige Verbesserung um 5 Stunden brachte für das Orthophoto mit Stereopartner nur noch einen Aufwand von 3 Stunden pro 100 ha. Ein geringer Interpretationsfehler von 5 % und die Tatsache, dass keine Bestandegrenzen geändert werden mussten, begründen diesen Sachverhalt.

5.1.3 Nachinterpretation

Eine Nachinterpretation stellt denjenigen Arbeitsschritt dar, der logisch auf die Interpretation und Verifikation folgt. Er könnte lediglich dann wegfallen, wenn aus bestimmten Gründen auf eine Verifikation verzichtet werden sollte (Kap. 5.2). Die Nachinterpretation umfasst ihrerseits eine nochmalige Interpretation der durch die Verifikation korrigierten Bestandesgrenzen und -klassifikation sowie die endgültige Bereinigung der provisorischen zur endgültigen Bestandeskarte. Aus den verschiedenen Versuchen resultierten nachfolgende Aufwände (pro 100 ha).

Tabelle 5.

1	2	3	4	5
Luftbildpaar (einf. Umbildung)	Luftbildpaar (präz. Kartierung)	Orthophotoplan	Orthophotopaar	Orthophoto mit Stereopartner
625 Minuten (~ 10 ¹ / ₂ Stunden)	580 Minuten (~ 9 ² / ₃ Stunden)	360 Minuten (6 Stunden)	325 Minuten (~ 5 ¹ / ₂ Stunden)	180 Minuten (3 Stunden)

Wie bereits erwähnt, ist der Nachinterpretationsaufwand direkt von der Interpretationsqualität abhängig (Kap. 5.1.1.2). Demzufolge entspricht Tabelle 5 in mehr oder weniger linearem Sinne den Informationen aus Tabelle 3 und 4. Es gilt allerdings zu bedenken, dass das Ergebnis der Versuche 1 und 2 in der Regel eine kolorierte Karte ist, während aus den Versuchen 3 bis 5 ein Photoplan entsteht. Dazu muss lediglich das Orthophotonegativ entsprechend behandelt oder eine verzugsfreie Transparentfolie mit der Bestandesinformation erstellt werden. Obwohl alle Versuche mit einer einzigen Bestandeskarte abgeschlossen wurden, sind unter Berücksichtigung von praktischen Belangen in Kap. 5.1.6 auch Überlegungen hinsichtlich der Vervielfältigung gemacht worden.

5.1.4 Flächenbestimmung

Die Flächenbestimmung der Bestandestypen erfolgte mittels Punktraster, wobei der hierzu notwendige Aufwand direkt von der Anzahl Bestandestypen abhängig ist. Es ergaben sich in allen 5 Versuchen nur minimale Zeitdifferenzen. Der Aufwand betrug in der Regel 8³/₄ Stunden pro 100 ha; ebenfalls in dieser Zahl inbegriffen ist die Erstellung der jeweiligen Flächenverzeichnisse. Zur Überprüfung der Flächenverzeichnisse wurde aus der Summe der einzelnen Bestandesflächen und der gesicherten Fläche des gesamten Testgebietes ein Quotient bestimmt. Sofern dieser Quotient innerhalb einer Limite von ± 3 % bezüglich der Gesamtfläche lag, wurden damit sämtliche Bestandesflächen gewichtet. Wurde diese Limite überschritten, musste die Punktrastererhebung wiederholt werden.

5.1.5 Spezielle Aspekte von Bestandeskarten

Im Gegensatz zu einer Orthophotobestandeskarte abstrahiert die herkömmliche Bestandeskarte die Bestände auf einen Übersichtsplan und kann damit nicht den gesamten Informationsgehalt eines Luftbildes wiedergeben. Für den Forstmann ist es aber wesentlich, dass er seinen Standpunkt im Gelände exakt bestimmen und alle Details des Geländes sehen und interpretieren kann (1, S. 180). Eine Orthophotobestandeskarte entspricht dieser Forderung in besonderem Masse, indem sie nahezu vollkommen massstab- und flächengetreu Bewuchs, Bestockung, Baumarten, kleine Lichtungen, Schneisen und diverse Schäden zum Ausdruck bringt (Abbildung 2).

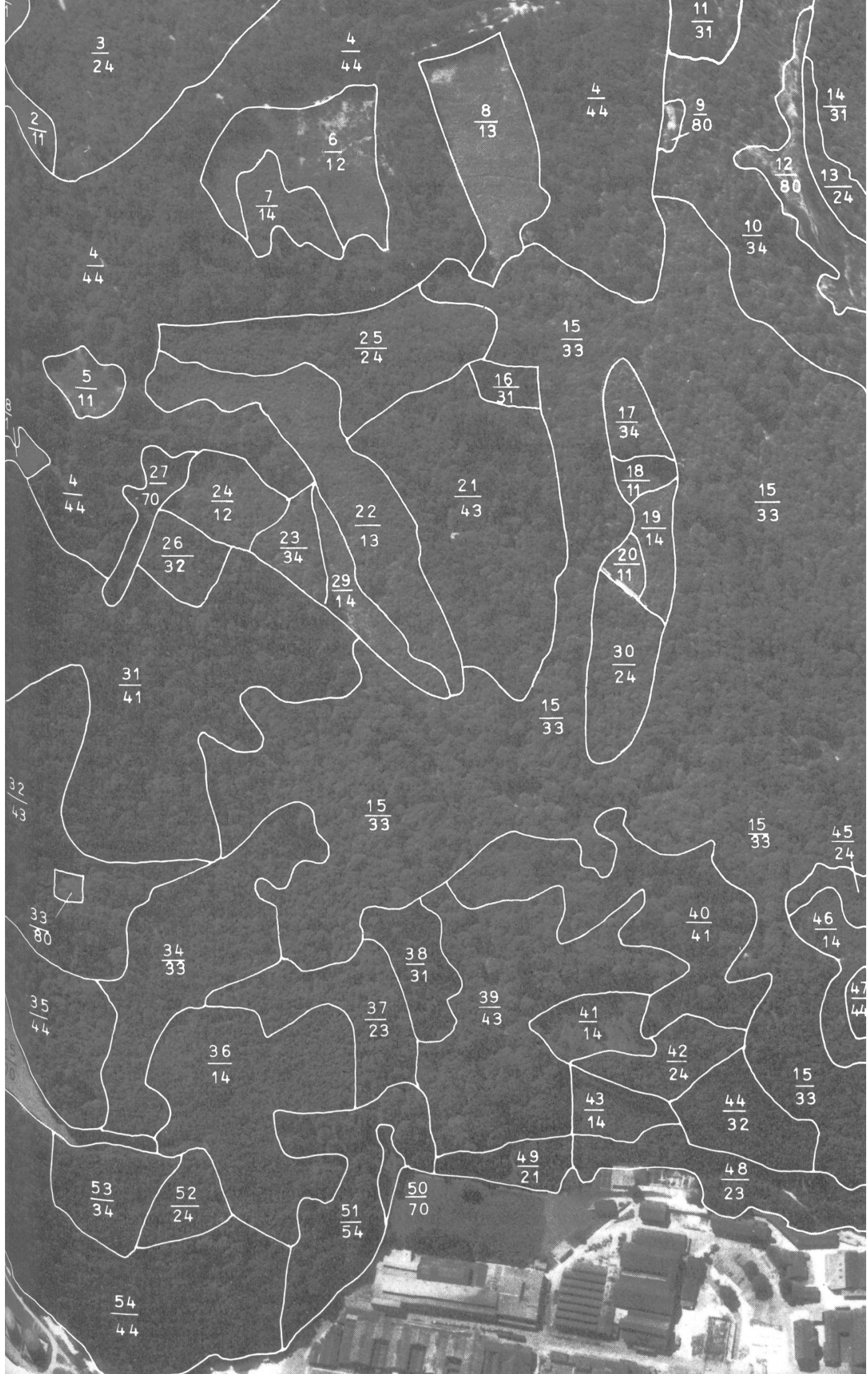
Eine photographische Vervielfältigung des Orthophotonegativs inklusive Transparentfolie mit den gewünschten Zusatzinformationen bietet wenig Probleme, da heutige Anlagen Negative bis 2×5 m bei einem m^2 -Preis von Fr. 40.— bis 45.— verarbeiten. Es wird dabei sogenanntes Dokumentenpapier verwendet, das wasserfest und weitgehend verzugsfrei ist und deshalb bei jeder Witterung benützt werden kann. Wie die Versuche ergeben haben, kann das Dokumentenpapier überdies ebenso viele Male gefaltet werden wie eine übliche Landeskarte, ohne dass Schäden sichtbar werden.

Der Vollständigkeit halber sei noch die heliographische Vervielfältigung erwähnt. Eine Heliographie weist allerdings eine bedeutend geringere Qualität und einen grösseren Verzug auf als eine photographische Vervielfältigung, kann aber trotzdem als Arbeitskarte zur Planung und Kontrolle dienen. Ein solches Vorgehen bedingt allerdings, dass aus dem Orthophotonegativ (das normalerweise vom OR 1 bereitgestellt wird; Kap. 1.2) ein Positivfilm erstellt wird; der m^2 -Preis hierzu liegt zwischen Fr. 85.— und 95.—. Diesen eher hohen Kosten steht dann allerdings ein äusserst geringer Preis für Heliographie gegenüber, welcher in der Regel Fr. 2.— bis 3.— pro m^2 beträgt.

Eine Orthophotobestandeskarte weist gegenüber einer herkömmlichen Bestandeskarte einige wesentliche Vorteile auf:

- hervorragende Flächen- und Massstabtreue
- Wiedergabe des gesamten Luftbildinformationsgehaltes
- einfachere und damit billigere Vervielfältigung (Kolorieren entfällt)
- kompatiblere Verwendungsmöglichkeiten für andere Kartierungen durch Benützung von Transparentfolien (zum Beispiel Abteilungs- und Eigentumsgrenzen, Strassen, Höhenkurven und Namenbezeichnung).

Abbildung 2. Ausschnitt aus einer Orthophotobestandeskarte 1 : 5000.
(Zum Beispiel 3: Laufnummer; 24: Code der Bestandesklassifikation)



5.1.6 Bewertung der Versuche

Nachdem die einzelnen Versuche materiell beschrieben wurden, sollen sie einander als Gesamtheit gegenübergestellt und bewertet werden. Zur Bewertung soll eine einfache und pragmatische Methode zum Einsatz kommen: das Punkte-Tabellenverfahren oder Scoring. Zu diesem Zwecke sind diejenigen Ziele zu formulieren, die von einer Bestandeskarte nicht unbedingt, sondern mehr oder weniger erfüllt werden sollen; es handelt sich um sogenannte Wunschziele (11, S. 854):

- Lagerichtigkeit (8)
- Wiedergabe der Luftbildinformation (1)
- Qualität der Bestandesklassifikation (8)
- Vervielfältigungsmöglichkeiten (6)
- kompatible Verwendungsmöglichkeiten (3)
- Gesamtkosten (10)

Anschliessend wurden die Zielgewichte (in Klammern) gutachtlich zugewiesen; diese bringen das Verhältnis der Wichtigkeit der verschiedenen Ziele zum Ausdruck. In einem weiteren Schritt wird die Zielerfüllung (W) jedes Versuches entsprechend der vorangegangenen Diskussion abgeschätzt und mit dem Zielgewicht multipliziert. Die Addition dieser Produkte (WG) weist schliesslich auf die gesamthaft zweckmässigste Variante hin (Tabelle 6).

Dementsprechend ist die Verwendung eines herkömmlichen Luftbildpaares mit einfacher Umbildung das am wenigsten zweckmässige Vorgehen zur Herstellung einer Bestandeskarte. Beinahe ebenbürtig sind sich die Verfahren: herkömmliches Luftbildpaar mit präziser Kartierung, Orthophoto und Orthophotopaar. Diese drei Varianten können als wesentlich zweckmässiger als das herkömmliche Luftbildpaar mit einfacher Umbildung bezeichnet werden. Die jedoch mit Abstand zweckmässigste Variante bildet das *Orthophoto mit Stereopartner*. Dies mag zunächst erstaunen, da die Materialkosten (Kap. 5.1.1) nicht unerheblich sind und ein Vielfaches derjenigen von herkömmlichen Luftbildern ausmachen. Die Bearbeitung des Orthophotos mit Stereopartner bringt es aber mit sich, dass die notwendigen Arbeitsschritte teilweise beträchtlich weniger aufwendig sind und zudem eine qualitativ hochwertige Interpretation zulassen. Daraus resultieren schliesslich die geringsten Gesamtkosten, so dass diese Variante bei der Nutzwertanalyse am besten abgeschnitten hat.

5.2 Allgemeine Folgerungen

Die eben dargestellten Schlüsse der Nutzwertanalyse sind nur für das Testgebiet der Balsthaler Klus gültig; sie müssten erst noch durch vermehrte Versuche mit gleichen oder ähnlichen Voraussetzungen erhärtet werden. Wenn trotzdem versucht wird, daraus einige allgemeine Schlüsse abzuleiten,

Tabelle 6.

Wunschziele	Gewicht	①		②		③		④		⑤				
		Zielerfüllung	W	WG	Zielerfüllung	W	WG	Zielerfüllung	W	WG	Zielerfüllung	W	WG	
Gesamtkosten	10	mittel	2	20	gut	3, 30	2	20	schlecht	1	10	sehr gut	4	40
Lagerichtigkeit	8	schlecht	1	8	sehr gut	4	4	32	sehr gut	4	32	sehr gut	4	32
Qualität der Bestandesklassifikation	8	mittel	2	16	mittel	2	2	16	mittel	2	16	gut	3	32
Vervielfältigungsmöglichkeiten	6	mittel	2	12	mittel	2	2	12	gut	3	18	gut	3	18
Kompatible Verwendungsmöglichkeiten	3	mittel	2	6	mittel	2	2	6	gut	3	9	sehr gut	4	12
Wiedergabe der Luftbildinformation	1	schlecht	1	1	schlecht	1	1	1	sehr gut	4	4	sehr gut	4	4
				63				99			97			138

so insbesondere deshalb, weil doch verschiedene eindeutige Tendenzen festgestellt worden sind.

Die Vorzüge einer Orthophotobestandeskarte kommen erst in hügeligem oder gebirgigem Terrain zum Tragen. Als Faustregel mag gelten, dass vereinfachte Verfahren der Bestandeskartenherstellung (zum Beispiel durch terrestrische Begehung oder einfache Umbildung) in flachem Gelände mit Neigungen unter 10—15 % durchaus berechtigt sind. Sie würden mit grosser Wahrscheinlichkeit in einer Nutzwertanalyse günstiger abschneiden als das Orthophoto mit Stereopartner. Für Geländeneigungen grösser als 10—15 % dürfte es aber in Zukunft zweckmässig sein, vermehrt mit Orthophotobestandeskarten zu arbeiten. Durch die vorliegenden Versuche konnte nachgewiesen werden, dass das recht teure Orthophotomaterial letztlich billiger zu stehen kommt als andere gebräuchliche Ausgangsmaterialien. Darüber hinaus kann die Genauigkeit (Lagerichtigkeit, Bestandesklassifikation) einer Orthophotobestandeskarte um einen Faktor 8 bis 10 grösser sein als bei einer herkömmlichen Bestandeskarte.

Die in Tabelle 3 aufgeführten Interpretationsfehler bringen bei einem Verzicht auf die terrestrische Verifikation und die Nachinterpretation direkt die Fehler der Bestandeskarte zum Ausdruck. Es ist daher vorstellbar, dass die geringe Fehlerquote von 5 % beim Orthophoto mit Stereopartner toleriert und damit auf eine Geländeverification verzichtet wird. Damit würde wohl die Bestandeskarte geringfügig verschlechtert, die Gesamtkosten jedoch nochmals um rund Fr. 400.— pro 100 ha reduziert. Durch ein Orthophoto mit Stereopartner besteht damit insbesondere für die Gebirgsforstwirtschaft oder extensiv bewirtschaftete Waldungen (12, S. 78) die Möglichkeit, Bestandeskarten genauer und billiger als bisher zu erstellen.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass durch die neueste Entwicklung der Orthophoto- und insbesondere der Stereo-Orthophototechnik mit dem WILD Avioplan OR 1 der Forstwirtschaft einige neue Möglichkeiten erschlossen werden. Davon wurde im vorliegenden Bericht nur der Aspekt der Bestandeskartenherstellung unter ganz bestimmten Voraussetzungen herausgegriffen. Es konnte allerdings gezeigt werden, dass bei einer Kostensenkung von ungefähr 35 % gleichzeitig eine rund zehnfache Verbesserung der Qualität gegenüber der üblichen Verwendung eines Luftbildpaares mit einfacher Umbildung erreicht werden konnte.

Résumé

L'orthophotographie au service de la foresterie

A la suite des premiers orthoprojecteurs opérationnels dès 1955, la société WILD mit en 1976 un instrument sur le marché qui exécute, à l'aide d'un

système digital, le redressement différentiel de photographies aériennes: l'*Avioplan OR 1*. L'orthophotographie est une prise de vue redressée dépourvue de la déformation perspective au niveau du sol (déplacement radial et variation de l'échelle de l'image), mais où les objets qui ne sont pas au niveau du sol conservent leur aspect couché (image inclinée). L'*Avioplan OR 1* permet de fabriquer directement et sans perte de qualité de l'image des agrandissements jusqu'au coefficient 12, seul le format de l'orthophotographie est limité aux dimensions de 75 × 90 cm. L'instrument peut redresser des plans ayant jusqu'à 80 ° d'inclinaison. Les erreurs de position sont en moyenne de $\pm 0,2$ mm sur l'orthophotographie ou de ± 1 m sur le terrain. Les derniers développements techniques permettent de fabriquer des «partenaires stéréoscopiques» avec lesquels des orthophotographies, rigoureusement à l'échelle sur toute leur surface, peuvent être considérées en image plastique de haute qualité.

Dans le défilé de Balsthal SO une série d'essais ont été effectués pour une surface forestière-test, où, en plus des méthodes conventionnelles d'établissement de la carte des peuplements, des orthophotographies furent également utilisées. La question était avant tout de savoir jusqu'à quel point les différentes méthodes satisfaisaient aux conditions posées à une carte des peuplements. Une analyse des frais mit clairement en évidence que le matériel orthophotographique coûtait un multiple du prix des photographies aériennes ordinaires. Mais le matériel photographique ne constitue, pour l'établissement des cartes des peuplements, que les documents de base d'un procédé de travail. Aussi, ce ne sont pas les frais de matériel mais, au contraire, les frais totaux qui sont déterminants. Cette analyse montra qu'avec les coûteuses orthophotographies certaines opérations du procédé de travail devenaient superflues ou du moins étaient fortement réduites. Pour une évaluation complète des différentes variantes, la qualité, la précision planimétrique, la reproduction et la valeur de l'information ont aussi dû être prises en considération, en plus des frais totaux, dans une analyse de rentabilité.

L'orthophotographie avec un «partenaire stéréoscopique» peut être qualifiée comme étant la variante la plus favorable. Comparée avec une interprétation et restitution effectuées à l'aide de prises de vues aériennes ordinaires, cette méthode permet une réduction des frais totaux de l'ordre de 30 %. De plus, la qualité de la photo-interprétation y était presque dix fois supérieure. Il faut cependant souligner que ces avantages de la carte orthophotographique des peuplements ne se manifestent qu'à partir de pentes du terrain supérieures à 10—15 %. Pour autant que d'autres essais confirment ces avantages de l'orthophotographie, la foresterie aurait à sa disposition de nouvelles possibilités, à meilleur marché de surcroît, telles qu'une qualité améliorée de la photo-interprétation, une parfaite précision planimétrique, une reproduction à bon compte, une utilisation multiple et une restitution totale de l'information contenue dans la prise de vue.

Traduction: *J.-P. Farron*

Literatur

- (1) *Waldhäusl P.*, Vom Luftbild zum Orthophoto, Allg. Forstzeitung Wien, 6/1976, S. 180 bis 181.
- (2) *Kraus K.*, Anwendungsmöglichkeiten eines digital gesteuerten Differentialumbildegerätes, Geowissenschaftliche Mitteilungen, Veröffentlichungen des Institutes für Photogrammetrie der Technischen Universität Wien, Heft 8/1976.
- (3) *Schmid-Haas P.*, Aufgabe und Anwendung der Bestandeskarte, Bericht EAFV 147/1976.
- (4) *Stewardson P. B.*, The WILD Avioplan OR 1 Orthophoto System, Presented Paper: Commission II, XIII International Congress for Photogrammetry, Helsinki 1976.
- (5) *Kraus K.*, Moderne Orthophototechnik, Vermessung, Photogrammetrie und Kulturtechnik 4/1979, S. 65—69.
- (6) *Kurt A. und Rhody B. et aliis*, Die Anwendung des Luftbildes im schweizerischen Forstwesen, Mitteilungen EAFV Bd. 38 / Heft 1/1962.
- (7) *Kurt A.*, Vorlesung in Forsteinrichtung I, Professur für Forsteinrichtung 1979.
- (8) *Kölbl O.*, Photogrammetrische Bestandeskartierung mit automatisierter Flächenberechnung und Kartenreinzeichnung, Bericht EAFV 147/1976.
- (9) *Frei Chr.*, Methode und Aufwand für eine Bestandeskartierung, Bericht EAFV 147/1976.
- (10) *Blachut Th. J.*, Mapping and Photointerpretation System Based on Stereo-Orthophotos, Mitteilungen aus dem Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETHZ 14/1971.
- (11) *Rüsch W.*, Weiterbildungstagung der Fachgruppe der Forstingenieure (FGF) des SIA zum Thema «Führung ohne Befehlsgewalt», Schweiz. Z. Forstwes., 10/1978, S. 852—860.
- (12) *Rüsch W.*, Darstellung und Lösungsansätze des Hiebsatzproblems unter spezieller Berücksichtigung des Femelschlagwaldes, Diss. ETHZ 6370/1979.