Zeitschrift: Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural

Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)

Band: 76 (1978)

Heft: 10: 50 Jahre Schweizerische Gesellschaft für Photogrammetrie (SGP) = 50e anniversaire de la Société suisse de photogrammétrie (SSP)

Artikel: Anwendung des Luftbildes in der Schweizer Forstpraxis

Autor: Kölbl, O.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-229238

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.07.2025

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

Anwendung des Luftbildes in der Schweizer Forstpraxis

O. Kölbl

Übersicht

Luftbilder stellen für die Forstwirtschaft, wie für viele andere Bereiche der Erdwissenschaften, ein wertvolles Hilfsmittel dar. Diese Bilder werden im Forstwesen routinemässig für die Vorbereitung spezieller Waldkarten beziehungsweise von Bestandeskarten verwendet, ferner für die Erfassung von Waldschäden sowie für spezielle grossräumige Inventuren. Besonderer Vorteil der Luftbilder ist der grossräumige Überblick, wie er am Boden nie zu erreichen ist. Daneben stellen Luftbilder wertvolle Dokumente dar, welche das aktuelle Erscheinungsbild der Erdoberfläche zum Zeitpunkt der Aufnahme festhalten. Die Information, die ein Luftbild enthält, ist allerdings nicht codiert, und er bedarf im allgemeinen eines erfahrenen Interpreten, welcher die Beziehung zwischen dem Erscheinungsbild im Luftbild und der effektiv benötigten Information herstellt.

Wichtigstes Bildmaterial für forstliche Luftbildauswertungen sind die Schwarzweiss-Luftbilder im Massstab 1:25 000, welche von der Eidg. Landestopographie im Turnus von sechs Jahren für die Kartennachführung erstellt werden. Vereinzelt werden von den kantonalen Forstämtern auch Befliegungen in grösseren Massstäben für die Waldkartierung in Auftrag gegeben. Daneben wird speziell für die Erfassung und Kartierung von Waldschäden in zunehmendem Masse mit Falschfarbenbildern gearbeitet. Elektronische Aufnahmeverfahren, wie Multispektralaufnahmen mit elektronischen Scannern oder Thermalaufnahmen, werden dagegen nur experimentell verwendet.

Im folgenden wird zunächst auf die Praxis bei der Herstellung von Bestandeskarten und die Möglichkeiten zur Automatisierung eingegangen. Im zweiten Teil wird die eigentliche Schätzung des Waldvorrats für die Belange der Betriebsinventur sowie für grossräumige Inventuraufgaben behandelt. Im letzten Teil wird auf verschiedene Möglichkeiten zur Erfassung von Waldschäden eingegangen.

Forstliche Bestandeskartierung

Die forstlichen Bestandeskarten stellen für die Waldbewirtschaftung ein sehr wichtiges Planungsinstrument dar. Diese Bestandeskarten werden anlässlich der Wirtschaftsplanrevision in intensiv genutzten Wirtschaftswäldern alle zehn Jahre erstellt oder nachgeführt, für die Regionen des Hochgebirges in der Regel alle zwanzig Jahre [1]. In diesen Bestandeskarten gelangen die einzelnen Bestandestypen nach Alter (Jungwuchs, Stangenholz, schwaches und mittleres Baumholz sowie Altholz) und Mischungsgrad zwischen Laub- und Nadelholz sowie die Eigentumsgrenzen und das Wegnetz zur Darstellung. Die Information über das Wegnetz, über die Eigentumsgrenzen als auch über das Gelände wird im allgemeinen dem Übersichtsplan oder einer Vergrösserung der Landeskarte entnommen; die Luftbilder werden für die Erfassung und Kartierung der Bestandesgrenzen und zum Teil auch zur Ansprache der Bestandestypen verwendet.

Neben diesen kartenmässigen Darstellungen in Massstäben zwischen 1:5000 und 1:10 000 werden noch Angaben über den Holzvorrat, den Zuwachs und verschiedene andere Bestandesmerkmale benötigt, um schliesslich die waldbaulichen Massnahmen planen zu können. Die Schätzung des Holzvorrats erfolgt über Messungen der Stammdurchmesser und der Baumhöhe, wobei vielfach Stichprobenverfahren zur Anwendung gelangen.

Für die stichprobenweise Vorratserhebung liefern die Bestandeskarten den flächenhaften Bezug. Darüber hinaus stellen die Bestandeskarten die Grundlage für die verschiedenen waldbaulichen Planungsaufgaben dar. Im Forstwesen wird dabei zwischen einer langfristigen, einer mittelfristigen und einer kurzfristigen Planung unterschieden. Im Rahmen der langfristigen Planung werden die waldbaulichen Zielvorstellungen über mehrere Planungsperioden hinweg festgelegt, wie die langfristige Nutzung, Verjüngungen und Pflegemassnahmen sowie eventuelle Verbesserungen der Holzbringung. Die mittelfristige Planung umfasst im wesentlichen die Geltungsdauer des Wirtschaftsplans und die kurzfristige Planung schliesslich die jährliche Arbeitsplanung. Dazu dient die Bestandeskarte als Unterlage zur Festlegung der verschiedenen Massnahmen wie auch für die Kontrolle und Übersicht über die laufenden Arbeiten.

Die Verwendung des Luftbildes für die Bestandeskartierung drängt sich auf, da die Waldbestände wegen des weitgehend geübten Fehmelschlags stark gegliedert sind und mit terrestrischen Kartiermethoden nur schwer eine ausreichende Übersicht zu erzielen ist. Die Luftbildauswertung wird vielfach in den kantonalen Forstämtern mit relativ einfachen Hilfsmitteln ausgeführt. Dazu werden zunächst auf Papierkopien oder Vergrösserungen der Luftbilder die einzelnen Bestände abgegrenzt; anschliessend wird das Lineament mittels einfacher optischer Umzeichengeräte wie Optiskop oder Lisegang in die Karte übertragen. Bei diesen Umzeichengeräten handelt es sich um optische Projektionsgeräte für Einzelbildauswertung, die bis zu fünffache Vergrösserungen vom Luftbild in die Karte erlauben. Das Kartenmanuskript wird vor der Reinzeichnung im Gelände verifiziert, dabei können auch noch die einzelnen Bestandestypen angesprochen werden. Dieser Feldvergleich wird in der Regel kombiniert mit anderen Erhebungen. Schliesslich wird die Bestandeskarte reingezeichnet und die Fläche mit dem Rollplanimeter bestimmt [2].

Diese einfachen Kartierverfahren haben sich sehr bewährt solange sie in den Forstämtern in eigener Regie ausgeführt werden können. Für umfangreichere Projekte, bei denen die Personalkosten stärker ins Gewicht fallen, empfiehlt es sich, mit photogrammetrischen Stereokartiergeräten zu arbeiten. Die Verwendung solcher Geräte drängt sich auch im stark kupierten Ge-

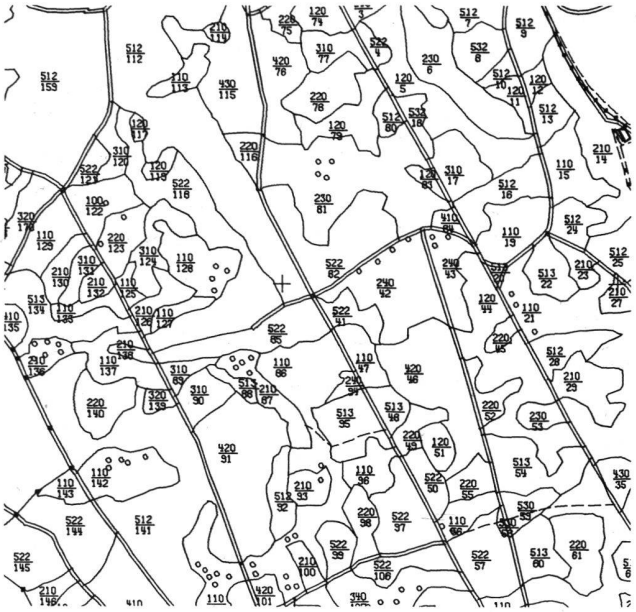


Abb. 1 Ausschnitt aus einer digital erstellten Bestandeskarte im Massstab 1:5000. Ausgewiesen werden die Waldbestände nach Alter, Mischung und Dichte sowie die Besitzgrenzen mit den Marksteinen und die Erschliessungswege. Die Waldbestände werden durchlaufend numeriert, der Bestandestyp wird durch eine dreistellige Codeziffer gekennzeichnet, welche das Alter, den Mischungsgrad zwischen Laub- und Nadelholz und die Bestandesdichte kennzeichnen. Die Karte wurde auf einem Trommelplotter gezeichnet.

Abb. 2 Überlagerung eines Luftbildes (Aufnahmemassstab 1:25 000) neueren Datums mit einer fünf Jahre früher erstellten Bestandeskarte. Deutlich lassen sich die inzwischen vorgenommenen Verjüngungen erkennen und auch nachtragen. Für die Bildüberlagerung wurde das Lineament der digitalen Bestandeskarte projektiv verzerrt und der Geometrie des Luftbildes angepasst (Aufnahmen Eidg. Landestopographie Bern, reproduziert mit Bewilligung vom 23. 8. 1978).

lände der Hochgebirgsregion auf, da mit den Näherungsverfahren keine genügende Genauigkeit mehr zu erzielen ist [3].

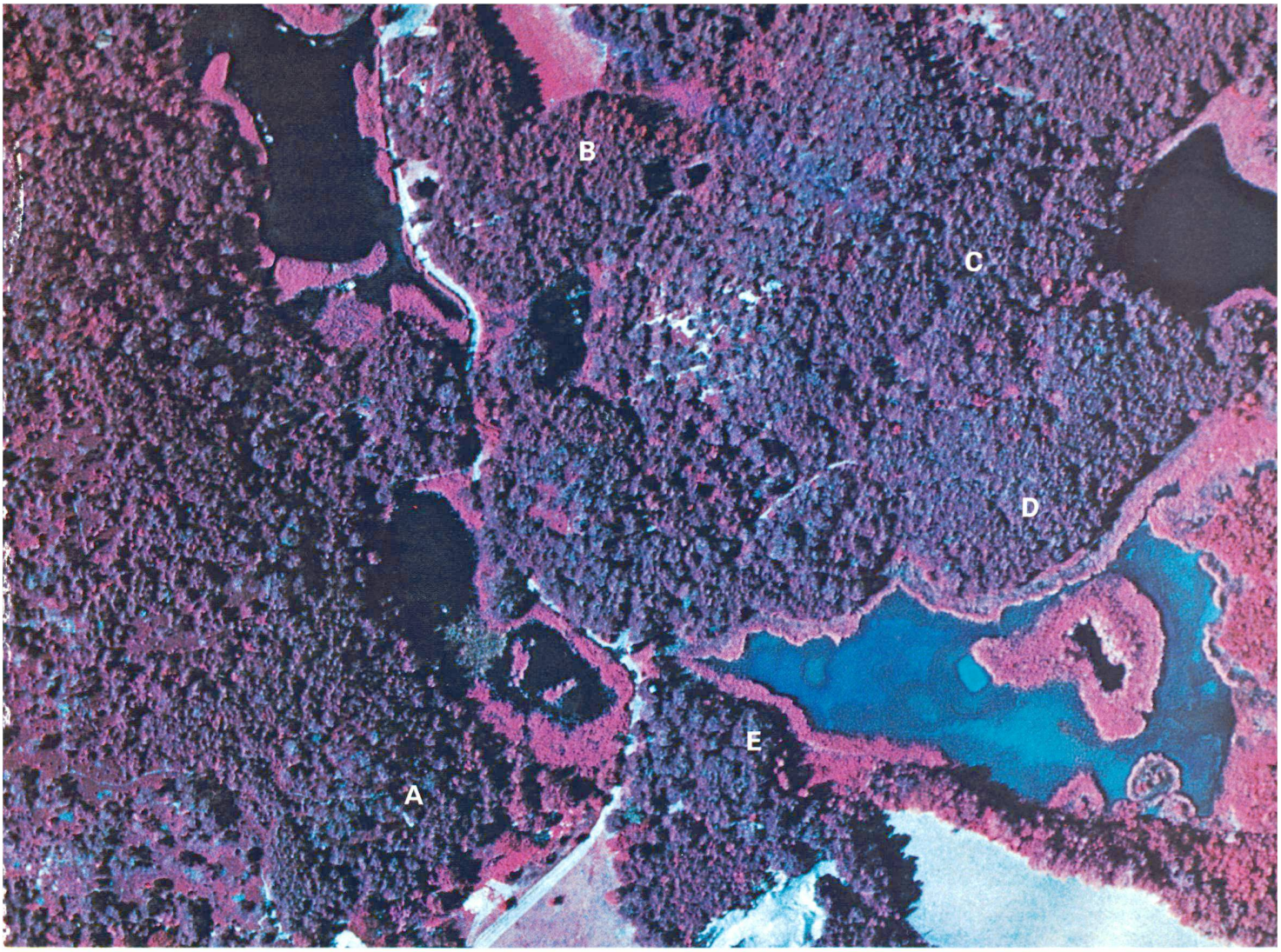
Bei der Verwendung von Stereokartiergeräten ergibt sich die Möglichkeit, über ein angeschlossenes automatisches Registriergerät und die Hilfsmittel der elektronischen Datenverarbeitung die Bestandeskartierung zu automatisieren. Ein entsprechendes Verfahren wurde in den letzten Jahren an der Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen entwickelt [4, 5]. Dazu werden zunächst die Bestandesgrenzen und die Beschriftung der Karte nach den vorinterpretierten Luftbildern bei der Kartierung am Stereokartiergerät digitalisiert, anschliessend wird die Bestandeskarte an einem automatischen Kartiertisch reingezeichnet (Abb. 1), und es werden die Flächen berechnet. Das Rechenprogramm erlaubt einen relativ grossen Bedienungskomfort und ermöglicht zum Teil eine automatische Fehlerkorrektur sowie eine selbständige kartographische Überarbeitung des Lineaments. Der Digitalisierungsmodus unterscheidet sich in keiner Weise von der üblichen Kartierweise, da es sich erübrigt, geschlossene Flächenstücke in einem Zuge zu digitalisieren oder die Linienelemente eines Flächenstücks besonders zu kennzeichnen. Vielmehr sucht das Rechenprogramm für die Flächenermittlung selbständig die Linienelemente zusammen, welche das Umfahrungspolygon eines Flächenstücks bilden.

Die Verwendung digitaler Kartierverfahren für die Bestandeskartierung erlaubt eine grosse Flexibilität; so kann der Karteninhalt sehr leicht in einen anderen Massstab oder auch in andere Projektionssysteme übergeführt werden. Die Bestandeskarte kann daher auch projektiv verzerrt und mit einem Luftbild überlagert werden. Ein derartiges Vorgehen ist vor allem für die Kartennachführung von Vorteil, da die alte Bestandeskarte und das beispielsweise zehn Jahre später aufgenommene Luftbild direkt vergleichbar sind (Abb. 2). Entsprechende Luftbildvergrösserungen können auch mit Vorteil für Aussenaufnahmen und den Feldvergleich verwendet werden.

Nach der bisherigen Erfahrung mit der digitalen Bestandeskartierung lassen sich damit ca. 30 % an Kosten gegenüber den konventionellen Verfahren bei der Erstkartierung einsparen. Eine noch erheblich günstigere Kostenrelation würde sich bei der Kartennachführung ergeben, allerdings liegen darüber noch keine zuverläs-

---

Abb. 5 und 6 (Farbbeilage) Gegenüberstellung eines Infrarot-Falschfarbenbildes mit einem gewöhnlichen Farbbild von zum Teil stark geschädigten Föhrenbeständen des unteren Pfynwalds (Wallis). Das Falschfarbenbild (Aufnahmemassstab 1:18 000, ca. siebenfach vergrössert) lässt auch in kleineren Bildmassstäben noch eine deutliche Differenzierung der Baumarten und des Schädigungsgrads zu, weniger das Farbbild (Aufnahmemassstab des Vergleichsbildes 1:2000, ca. vierfach vergrössert). Die einkopierten Buchstaben im Falschfarbenbild bedeuten: A extrem aufgelockerter Föhrenaltbestand, B junger Laubholzbestand (Aspen), C normal entwickelter Föhrenbestand (Stangenholz), D stark geschädigter Föhrenbestand mit zahlreichen Dürrständern, Alter wie bei C, E Baumholz (Föhren) normal entwickelt. (Das Falschfarbenbild wurde freundlicherweise vom Militärflugdienst Dübendorf zur Verfügung gestellt, Druck der Farbbeilage Eidg. Landestopographie, Bern.)


B
C
D
E
A

sigen Kostenabschätzungen vor. Von Nachteil ist allerdings, dass dieses Verfahren ein hohes technisches Können voraussetzt und von einem Forstbetrieb kaum in eigener Regie ausgeführt werden kann. Für die weitere praktische Anwendung der digitalen Bestandeskartierung wäre daher eine engere Zusammenarbeit mit der photogrammetrischen Praxis anzustreben.

Waldinventur

Neben der Information über die flächenhafte Verteilung der Waldbestände werden für die Planung zuverlässige Daten über den Holzvorrat, die Zusammensetzung der Bestände und deren Zustand benötigt. Genauigkeit und Detailliertheit hängen entscheidend davon ab, auf welcher Ebene die Information benötigt wird. Sind für eine Betriebsinventur noch sehr kleinflächige Erhebungen erforderlich, so genügt für eine gesamtschweizerische Übersicht ein relativ weitmaschiger Erhebungsraster. Für die Feststellung des Holzvorrats kann im allgemeinen nicht auf terrestrische Erhebungen verzichtet werden. Ähnlich wie bei der Betriebsinventur kann aber das Luftbild auch bei grossräumigen Inventuren zur Informationsverdichtung beitragen.

Für die terrestrische Vorratsschätzung wird zum Teil mit Stichprobenerhebungen gearbeitet; speziell für die Betriebsinventur werden aber zu einem beträchtlichen Teil auch Vollerhebungen (Vollkluppierungen) verwendet. Bei den Stichprobenerhebungen werden auf einer vorgegebenen Probefläche (in der Schweiz vielfach eine Kreisfläche von 400 m²) der Stammdurchmesser sämtlicher Bäume in Brusthöhe gemessen. Gleichzeitig werden die Stämme polar in bezug auf das Stichprobenzentrum eingemessen, um ein späteres Wiederaufsuchen zu ermöglichen. Zusätzlich werden noch die Höhen einiger Bäume sowie der Durchmesser in 7 m Höhe bestimmt. Mit diesen drei Parametern kann das Volumen des Schafts nach empirischen Formeln recht zuverlässig bestimmt werden. In der Folge wird für diese Bäume eine Regressionsfunktion (Tariffunktion) berechnet, in der das Schaftvolumen als Funktion des Brusthöhendurchmessers ausgedrückt wird (Abb. 3). Damit kann auch das Volumen derjenigen Bäume geschätzt werden, von denen nur dieser eine Durchmesser gemessen wurde. Diese Messweise gestattet bei relativ geringem Messaufwand eine optimale Vorratsschätzung. Besonders hervorzuheben ist, dass die Messungen jederzeit reproduzierbar sind und bei Wiederholungsaufnahmen auf der Stichprobe der Zuwachs sowie Nutzung und Einwüchse zuverlässig bestimmt werden können [6, 7].

Bei der Betriebsinventur kann dann über die Bestandesflächen, entsprechend der Bestandeskarte, der Vorrat der einzelnen Bestände sowie des gesamten Betriebs ermittelt werden. Nach dem Stichprobenverfahren wurden in der Forstpraxis entsprechend einer Umfrage von 1974 [1] ca. 1/4 der öffentlichen Wälder eingerichtet; für ca. 2/3 wird nach wie vor die Vollkluppierung verwendet, und von ca. 10 % der öffentlichen Wälder liegt keine Forsteinrichtung vor. Von den privaten Waldungen, die nahezu 30 % der Waldfläche der Schweiz ausmachen, verfügt nur ein kleiner Prozentsatz über eine Forsteinrichtung.

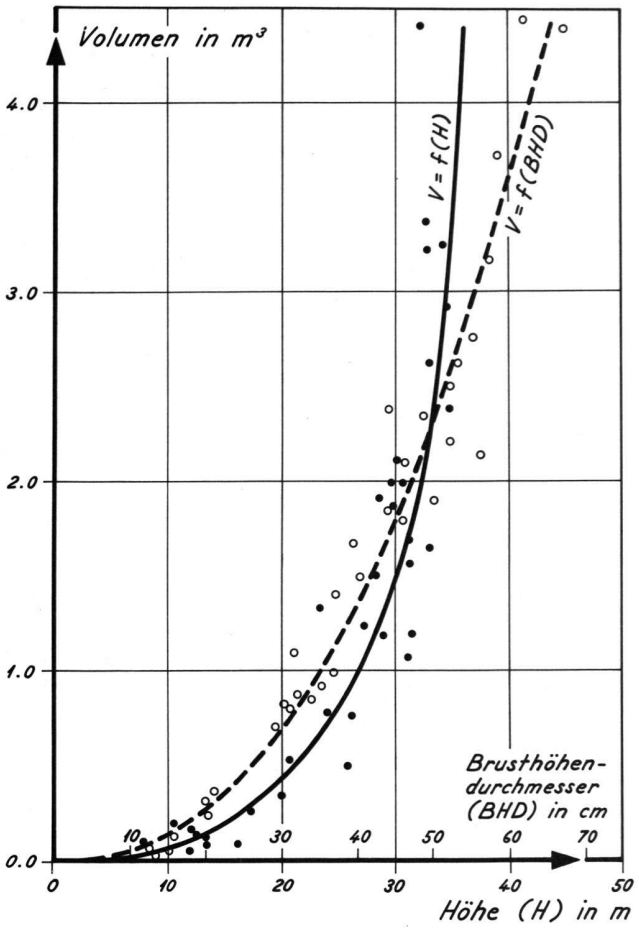


Abb. 3 Gegenüberstellung von Tariffunktionen zur Ermittlung des Volumens von Bäumen, welche über die Baumhöhe (durchgezogen) und über den Brusthöhendurchmesser (gestrichelt) berechnet wurden. Bemerkenswert ist die beträchtlich grössere Streuung der Einzelwerte um die Regressionsfunktion im oberen Kurvenbereich, wenn die Baumhöhe (Vollkreise) als Eingangsgrösse dient, als wenn ein Stammdurchmesser (Ringe) vorliegt.

Um bei dieser Vielfalt von Erhebungsmethoden einen gesamtschweizerischen Überblick zu erhalten über den Zustand des Waldes, den effektiven Vorrat, die Erschliessungsverhältnisse und über verschiedene andere Parameter, wird gegenwärtig an der Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen ein Landesforstinventar vorbereitet. Die Erhebungen dazu werden im wesentlichen auf ein weitmaschiges Stichprobennetz abgestellt, mit ergänzenden Erhebungen aus dem verfügbaren Karten- und Luftbildmaterial. Für die Planung und Einmessung dieses terrestrischen Stichprobennetzes sollen weitgehend Luftbilder verwendet werden. Dazu ist zunächst abzuklären, welche Flächen als bestockt im Rahmen der Walddefinition zu gelten haben [8]. Für die Belange des Landesforstinventars wurde dazu festgelegt, dass die bestockte Fläche eine Überschirmung von mindestens 20 % aufweisen muss sowie eine gewisse Mindestbreite nicht unterschreiten darf (25 m bei geschlossenem Wald), zudem sind noch Baumart und Oberhöhe zu berücksichtigen. Diese Kriterien werden anhand von Luftbildern geprüft, in welche die koordinatenmässig vorgegebenen Stichprobenpunkte samt einem 25-Punkt-Raster einkopiert wurden (Abb. 4). Die Lokalisierung

Abb. 4 Vergrösserung eines Luftbildes mit einkopiertem Stichprobenraster, wie es für die Belange des Landesforstinventars verwendet werden soll. Das Mittenkreuz kennzeichnet die genaue Lage des Stichprobenzentrums für die terrestrischen Erhebungen; mit dem 25-Punkt-Raster wird die Überschirmung bei aufgelösten Beständen bestimmt und dient zum Entscheid, ob die Stichprobe effektiv auf Waldgebiet entfällt. Die Ziffern geben die Koordinatenwerte (100 m) und die Höhe der Probe an, und die Striche dienen für die terrestrische Einmessung. Die isolierten Kreuze kennzeichnen zwei der Passpunkte, nach denen die Orientierungselemente des Luftbildes gerechnet wurden, die Punktlokalisierung erfolgte rechnerisch. Die Signaturenfolie wurde auf einem automatischen Präzisionskartiertisch erstellt (Aufnahme Eidg. Landestopographie, Originalmassstab 1:25 000, dreifach vergrössert; reproduziert mit Bewilligung der Eidg. Landestopographie vom 23. 8. 1978).

der Stichprobenpunkte im Luftbild erfolgte analytisch, wobei die Orientierungselemente der Luftbilder sowie die Lage- und Höhenkoordinaten der Stichprobenpunkte wie auch Neigung und Exposition berücksichtigt wurden. Die Kartierungsarbeit erfolgte an der automatischen Zeichenanlage des kartographischen Instituts der ETH Zürich. Vergrösserungen dieser Luftbilder mit dem einkopierten Punktraster dienen gleichzeitig auch als Einmesshilfe der Stichproben im Gelände.

Neben diesen präparativen Aufgaben könnten die Luftbilder auch für die Erhebung von bestandeskundlichen Merkmalen einschliesslich der Vorratsschätzung herangezogen werden. Von Nachteil ist hierbei allerdings, dass eigentliche Messungen von Bestandesmerkmalen in mittelmassstäbigen Luftbildern, wie die Baumhöhe, der Kronendurchmesser oder auch die Stammzahl im normal geschlossenen Wirtschaftswald mit einer ganz beträchtlichen Unsicherheit behaftet sind. In diesen Beständen ist der Boden nur sehr begrenzt einzusehen, ferner sind in gemischten Beständen die einzelnen Kronen vielfach nicht auszumachen. Schliesslich ist zu berücksichtigen, dass sich bei der Berechnung von Tariffunktionen zur Volumenschätzung eine wesentlich stärkere Streuung ergibt, wenn die Baumhöhe als Eingangsgrösse verwendet wird, als wenn ein Stammdurchmesser als Funktionsparameter dient (Abb. 3). Dies ist besonders deutlich beim Baumholz bei einem Volumen von mehr als einem Kubikmeter; wesentlich günstigere Verhältnisse ergeben sich dagegen beim Jungwuchs und beim Stangenholz.

Demgegenüber erscheint die Verdichtung des terrestrischen Stichprobennetzes mittels rein qualitativer Ansprachen im Luftbild, ähnlich wie bei der Bestandeskartierung, wesentlich erfolgversprechender. Derartige qualitative Ansprachen sind allerdings nur sehr begrenzt zu objektivieren. Im Zuge der Vorbereitungsarbeiten für das Landesforstinventar wird gegenwärtig im Kanton Nidwalden ein Grossversuch ausgeführt, in den auch die Verfahren der Luftbildauswertung integriert wurden.

Erfassung von Waldschäden

Neben der regulären Nutzung und Pflege des Waldes in einem Forstbetrieb kommt der Erfassung und Überwachung von Waldschäden grosse Bedeutung zu. Sei es, dass es sich hierbei um die Erhebung und Abschätzung nach Elementarereignissen wie Lawinenniedergängen oder Windwurf handelt, um biotische Schäden wie Insektenbefall oder aber um Immissionsschäden in der

Nähe von Industrieanlagen. Bei Waldzerstörungen nach Elementarereignissen sind Luftbilder von grossem Wert, da der Umfang der Schäden und die Menge des anfallenden Holzes damit sehr rasch abgeschätzt werden können. So wurden nach den Lawinenniedergängen im Winter 1975 die betroffenen Regionen systematisch beflogen und die Luftbilder ausgewertet. Neben den waldbaulichen Aspekten ermöglichen diese Luftbilder auch eine Erfassung und Dokumentation der Lawinenzüge. Technische Probleme ergeben sich bei dieser Art der Luftbildauswertung kaum. Wesentlich komplexer ist dagegen die Erfassung und Abschätzung von Waldschäden im Immissionsbereich von Industrieanlagen [9].

Die forstliche Versuchsanstalt verfolgt gegenwärtig ein Forschungsprojekt im Wallis, das sich mit der ganz spezifischen Waldgefährdung dieser Region auseinandersetzt. Der Bestand des Waldes erscheint in verschiedenen Bereichen des Tales extrem gefährdet; andererseits kann nur ein gesunder Waldbestand seinen Schutzfunktionen gerecht werden, die ihm in dieser Region zukommen. Die Waldgefährdung ist u. a. besonders deutlich im Raum Saxon-Riddes und Visp-Eyholz, wo ganze Föhrenbestände abgestorben sind. Weniger deutlich ist die Gefährdung in anderen Gebieten, wo sich die Schäden erst über längere Zeit hinweg auswirken.

Zudem reagieren Nadelbäume vielfach empfindlicher auf Immissionseinwirkungen als Laubbäume. Die in den Assimilationsorganen gespeicherten Schadstoffe werden mit dem Abwerfen der Blätter bei den Laubbäumen weitgehend eliminiert, dagegen akkumulieren sich diese Schadstoffe bei den Nadelbäumen über eine viel längere Zeit und beeinträchtigen dementsprechend stärker die Entwicklung. Schädigungen an Nadelbäumen machen sich zunächst durch schüttere Benadelung und das Fehlen älterer Nadeljahrgänge bemerkbar. Vielfach weisen die Nadeln auch Verfärbungen auf; über längere Zeiträume hinweg wird das allgemeine Wachstum beeinträchtigt, einzelne Äste werden dürr, bis schliesslich der ganze Baum abstirbt (Abb. 6). Durch die verminderte Vitalität bei Stresssituationen wird ein Baum auch anfälliger gegen Folgekrankheiten wie Pilzbefall, Insektenfrass oder überhandnehmenden Mistelbefall.

Ähnlich wie vom Boden aus können die sichtbaren Schädigungen der Bäume auch im Luftbild angesprochen werden. Dabei ist es von Vorteil, dass im Luftbild der eigentliche Lichtteil der Krone eingesehen wird und nicht wie vom Boden aus der untere Kronenbereich. Prinzipiell stellt sich bei der Schadenskartierung eine ähnliche Aufgabe wie bei der Bestandeskartierung, allerdings kommen zur Ansprache von Entwicklungs- und Mischungsstufen noch die Erfassung der Bestandesdichte und der Schädigungs- oder Dürregrad der Bäume. Besonders geeignet für die Ansprache von Waldschäden und Vegetationsschäden ganz allgemein sind Infrarot-Falschfarbenbilder (Abb. 5). Auf diesen Bildern heben sich dürre Kronen und Äste, aber auch geschädigte Kronen viel deutlicher von der unbeeinträchtigten Vegetation ab als auf Schwarzweissbildern oder auf Farbaufnahmen.

Diese Eigenheit des Falschfarbenfilms ergibt sich durch Besonderheiten der Infrarotreflexion von Nadeln und Blättern. Strahlen diese Objekte im sichtbaren Bereich des Lichtes maximal nur bis zu 15 % der einfallenden Strahlung zurück, so kann die Infrarotreflexion bis zu 80 % bei Laub und bis zu 50 % bei Nadeln ausmachen. Dieser Effekt ergibt sich, da das Licht im Infrarotbereich vom Blattgewebe kaum absorbiert wird, sondern im Zellinneren eine mehrfache Totalreflexion erfolgt, bis es wieder an die Umgebung abgestrahlt wird. Diese Reflexionseigenschaft ändert sich allerdings sehr rasch, wenn Blatt oder Nadeln irgendwelchen Stressfaktoren ausgesetzt werden. Durch diese Eigenheit wird das Erkennen von Vegetationsschäden im Infrarotbild sehr erleichtert, und es können noch relativ kleine Bildmassstäbe für derartige Aufgaben verwendet werden.

Im Rahmen des bereits erwähnten Forschungsprojekts ist vorgesehen, eine Übersichtskartierung der Hauptschadensgebiete des ganzen Walliser Tals zu machen, wobei Falschfarbenluftbilder im Massstab zwischen 1:20 000 und 1:40 000 verwendet werden sollen. Zur Erarbeitung eines Interpretationsschlüssels und zur Detailkartierung einzelner Regionen sind noch grössere Bildmassstäbe erforderlich; für die Vorversuche wurden Helikopteraufnahmen bis hin zum Massstab 1:2000 verwendet.

Neben dem aktuellen Zustand eines Waldes kommt auch der Erfassung zeitlicher Veränderungen, welche durch äussere Einflüsse verursacht werden, grosse Bedeutung zu. Werden etwa in einem Schadensgebiet tote und absterbende Bäume systematisch herausgeräumt, so mag der Bestand einen durchaus normalen Eindruck vermitteln. Die systematische Bestandesauflockerung wird erst deutlich, wenn die Bestandesdichte im Vergleich zu älteren Luftbildaufnahmen analysiert wird. Abb. 7 zeigt eine solche Auflockerungskarte, wie sie für den unteren Pfynwald ausgearbeitet wurde. Für diese Kartierung wurden Luftbilder aus dem Jahre 1959 und 1974 verwendet; es handelt sich dabei um Aufnahmen der Eidg. Landestopographie in den Massstäben 1:18 000 und 1:24 000. Bei der Luftbildauswertung wurde die Bestandesdichte unabhängig angesprochen, wobei sechs Stufen (gedrängt, normal geschlossen, lokker – Kronen berühren sich nicht – lückig, aufgelöst, wenig bestockt) unterschieden wurden. Erst nach den abgeschlossenen Kartierarbeiten wurden die Flächen mit aufgelockerter Beschirmung ermittelt; in der Karte werden nur Flächen ausgewiesen, auf denen die Bestandesdichte um mindestens eine Stufe abnahm. Auffallend bei dieser «Auflockerungskarte» ist, dass der Grossteil der ausgewiesenen Flächen auf Hängen mit Westexposition liegt. Diese Hänge sind viel stärker Immissionen ausgesetzt als Osthänge; die gleiche Tendenz lässt sich auch aus Messungen des Fluorgehalts der Nadeln erkennen.

Bei all diesen Arbeiten mit Luftbildern zur Schadensinterpretation muss man sich allerdings bewusst sein, dass im Luftbild niemals aus dem photographischen Erscheinungsbild unmittelbar auf die Schädigung der Pflanzen geschlossen werden kann. Zur Stützung und Verifizierung der Luftbildinterpretation sind ergänzende Schadenserhebungen im Gelände unbedingt erforderlich. Zu berücksichtigen ist auch, dass die Schadenserfassung nicht als Selbstzweck betrachtet werden darf; vielmehr haben solche Arbeiten nur einen Sinn, wenn schliesslich auch die entsprechenden Massnahmen eingeleitet werden, um die Schäden zu beheben.

Ausblick

Mit diesen Ausführungen sollte eine Übersicht über die vielfältige Verwendung des Luftbildes im Forstwesen vermittelt werden. Dabei zeigte sich, dass die rein qualitative Bestandesansprache nach wie vor einen wesentlichen Teil der forstlichen Luftbildauswertung darstellt. Zweifellos wäre es wünschbar, diese zum Teil recht subjektiven Ansprachen durch Messvorgänge zu ersetzen. Verschiedene diesbezügliche Ansätze lieferten u. a. auch die Versuche zur automatischen Mustererkennung oder die Analyse der spektralen Objektreflexion des Lichtes in den verschiedenen Wellenlängen [10, 11]. Allerdings erlauben derartige Verfahren bei der gegenwärtigen Technologie eine nur sehr rudimentäre Differenzierung von Waldbeständen. Lassen sich bei homogenen Reinbeständen noch ganz interessante Ergebnisse erzielen, so wird in den Mischbeständen des Alpenvorlands und der Alpen bei den ständig wechselnden Beleuchtungsverhältnissen eine automatische Bestandeserfassung nahezu verunmöglicht [12].

Wesentlich erfolgreicher lassen sich die modernen Rechenhilfsmittel für die digitale Luftbildkartierung und die Zuordnung von Luftbild und Karte einsetzen. Dabei gelingt es, das bisherige Nebeneinander von projektiv verzerrtem Luftbild und der Signaturenkarte zu umgehen und die Zusammenhänge fliessend zu gestalten. Prinzipiell ergeben sich bei der projektiven Verzerrung eines Kartenbildes die gleichen Möglichkeiten wie bei der Umbildung des Luftbildes in ein Orthophoto. Allerdings sind die Aufwendungen für die Umbildung einer digital abgespeicherten Signaturenkarte wie einer Bestandeskarte oder einem Stichprobenraster wesentlich geringer als die Aufwendungen für die Herstellung eines Orthophotos. Diese Tendenz zur Verwendung digitaler Verfahren für die Waldkartierung entspricht auch der Entwicklung in der Grundbuchvermessung und wird letztlich zum Aufbau von Datenbanken ähnlich wie den Grundstückdatenbanken führen.

Eine konsequente Weiterverfolgung der digitalen Kartiermethoden und der rechnerischen Punktübertragung würde die metrische Luftbildauswertung ganz wesentlich vereinfachen, dies bei einer weitgehenden Umgehung der zum Teil recht aufwendigen Arbeiten am Stereokartiergerät. Ein solches Verfahren wird gegenwärtig für die Luftbildauswertung im Rahmen des Landesforstinventars erprobt; analoge Untersuchungen werden auch für Landnutzungserhebungen zur Erneuerung der Arealstatistik angestellt [13].

Wichtigster Sensor für die Bildaufnahme dürfte für das Forstwesen auch in nächster Zukunft die photogrammetrische Messkammer bleiben. Neben den Schwarzweissluftbildern wird aber den Falschfarbenbildern vermehrte Bedeutung zukommen. Dies nicht nur zur Ansprache von Vegetationsschäden, auch für die Erfassung von Aufbau und Zusammensetzung der Bestände bieten diese Aufnahmen beträchtliche Vorteile.

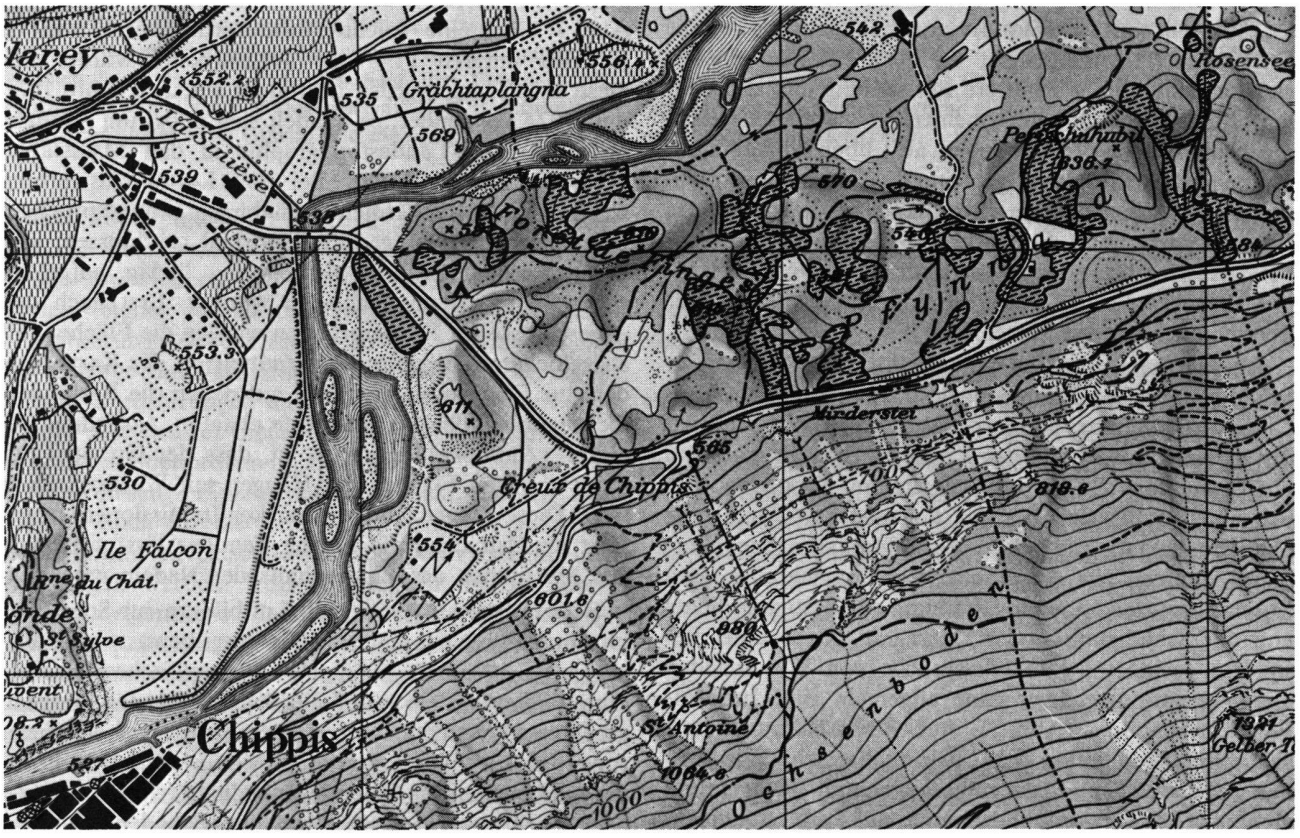


Abb. 7 Waldauflockerungskarte des unteren Pfynwalds. Über einen Vergleich der Bestandesdichte von Luftbildern aus 1959 und 1974 wurden die Waldbestände mit deutlich abnehmender Überschirmung ausgewiesen (gerissen schraffierte Flächen). Der Zusammendruck mit der Landeskarte 1:25 000 lässt die Beziehung zwischen der Exposition der Flächen und dem Schädigungsgrad erkennen (Kartenausschnitt reproduziert mit Bewilligung der Eidg. Landestopographie vom 23. 8. 1978).

Die Kosten für Bildflüge mit Falschfarbenfilmen sind kaum höher als für Schwarzweissaufnahmen, dagegen sind die Reproduktionskosten für Farbmaterial gegenwärtig noch sehr hoch.

Interessant ist, dass sich in der Schweizer Forstpraxis die Verwendung der Schwarzweissluftbilder im Massstab von ca. 1:25 000 für die Bestandeskartierung weitgehend durchsetzte. In den Nachbarländern (Deutschland, Frankreich) werden erheblich grössere Bildmassstäbe für die entsprechenden Aufgaben verwendet, obgleich die Wälder dort in der Regel einen viel einfacheren Aufbau aufweisen. Dazu ist zu bemerken, dass die üblichen Hilfsmittel der Luftbildinterpretation (Spiegelstereoskop mit dreifacher Vergrösserung) die optische Bildgüte der Luftbilder in keiner Weise ausschöpfen. Luftbilddiapositive können sinnvollerweise bis zu 15fach vergrössert werden; bedauerlicherweise stehen in der Praxis aber keine entsprechenden Interpretationsgeräte zur Verfügung.

Zweifellos eignen sich für verschiedene Übersichtskartierungen auch noch kleinere Bildmassstäbe als 1:25 000; es ist aber gegenwärtig nicht recht abzusehen, welche Rolle Satellitenbildern für die Belange der Forstpraxis zukommen könnte. Das Auflösungsvermögen der verfügbaren Landsat-Satellitenaufnahmen beträgt ca. 200 m, wobei ein einzelnes Bildelement eine Auflösung von ca. 80 m liefert. In Zukunft werden vielleicht Bilder mit einer Bodenauflösung von 50 m vorliegen. Vergleichsweise liefert ein Luftbild im Massstab 1:25 000 eine Bodenauflösung von 0.5 bis 0.8 m. Dabei ist zu berücksichtigen, dass im Forstwesen nur selten auf die besonders rasche Erfassung von Phänomenen allzu grosser Wert zu legen ist; viel wichtiger ist eine gewisse Zuverlässigkeit und Vollständigkeit der Information, dies in Übereinstimmung mit den vergleichenden terrestrischen Erhebungen.

Der vorliegende Bericht spiegelt auch einen Teil der Entwicklungsarbeit wider, der in den letzten Jahren auf dem Gebiet der Luftbildauswertung an der Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen geleistet wurde. Die Arbeiten erfolgten im Rahmen der Abteilung Inventar und Ertrag, die von Herrn PD Dr. P. Schmid-Haas geleitet wird. Dabei konnte eine fruchtbare Zusammenarbeit mit der Forstpraxis sowie mit den anderen Versuchsgruppen im Hause erzielt werden. Der Autor ist zu besonderem Dank Herrn E. Wullschleger, Leiter der Abteilung Landesforstinventar, und Herrn F. Mahrer verpflichtet. Die Arbeiten zur Erfassung von Waldschäden erfolgten in enger Zusammenarbeit mit Herrn Dr. H. Flühler, Leiter der Versuchsgruppe Biophysik.

Literatur

[1] Wullschleger E., Bernadzki E., Mahrer F.: Planungsmethoden im Schweizer Wald, Ergebnisse einer Umfrage 1974. Berichte Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen (EAFV), Nr. 143, 1975, S. 52.

[2] Die Bestandeskartierung im Rahmen der Waldwirtschaftsplanrevision und ihre Nachführung. Amtsinterne Publikation des Finanzdepartements Aargau, Abteilung Forstwirtschaft, Sektion Technischer Dienst, 1975, S. 21.

[3] Frei Ch.: Methoden und Aufwand für eine Bestandeskartierung. Berichte EAFV, Nr. 147, 1976, S. 19–48.

[4] Kölbl O.: Photogrammetrische Bestandeskartierung mit automatisierter Flächenberechnung und Kartenreinzeichnung. Berichte EAFV, Nr. 147, 1976, S. 49–81.

[5] Kölbl O.: Waldkartierungen in der Schweiz. Geowissenschaftliche Mitteilungen der Studienrichtung Vermessungswesen der TU Wien, Heft 13, 1978, S. 151–168.

[6] Schmid P., Werner J.: Kontroll-Stichproben: Aufnahmeinstruktion. Berichte EAFV, Nr. 27, 1969, S. 22.

[7] Schmid P.: Vergleich von Vollkluppierungen und Stichprobenaufnahme. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, Jg. 114, Nr. 7, 1963, S. 412–425.

[8] Wullschleger E., Bernadzki E., Mahrer F.: Beiträge zur Bestimmung des Begriffs «Wald». Berichte EAFV, Nr. 167, 1976, S. 53.

[9] Wullschleger E.: Die Abschätzung von Rauchschäden im Wald. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, Jg. 129, Nr. 5, 1978, S. 402–413.

[10] Akça A.: Eine Untersuchung zur Unterscheidung und Identifizierung einiger Objekte auf Schwarzweiss-Luftbildern durch quantitative Beschreibung der Textur. Dissertation, Naturwissenschaftlich-mathematische Fakultät der Universität Freiburg 1970.

[11] Tschupke W.: Untersuchungen zur automatischen Identifizierung forstlich bedeutsamer Bildgestalten durch digitale Auswertung von an Infrarot-Farbbildern gemessenen Farb- und Texturparametern. Dissertation, Naturwissenschaftlich-mathematische Fakultät der Universität Freiburg 1974.

[12] Kölbl O.: Realistische Landnutzungserhebungen. Bildmessung und Luftbildwesen, Jg. 46, Nr. 1, 1978, S. 4–11.

[13] Kölbl O., Trachsler H.: Grossräumige Landnutzungserhebungen mittels stichprobenweisen Auswertungen von Luftbildern. Dokumentationen und Informationen zur Schweizerischen Orts-, Regional- und Landesplanung DISP Nr. 51, 1978 (im Druck).

Adresse des Verfassers:
Prof. Dr. O. Kölbl, Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf
Ab 1. September 1978:
Institut de Photogrammétrie EPFL,
33, avenue de Cour, 1007 Lausanne