

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse
Herausgeber: Schweizerischer Forstverein
Band: 103 (1952)
Heft: 11

Artikel: Die Luftphotographie in der Forstwirtschaft
Autor: Spurr, Stephen H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-765683>

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: 16.01.2026

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

Tabelle 6

Sorte	Mittl. Trockengewicht der Stecklinge g	Trockengewicht (Triebe u. Blätter) in % der Steck- lings-Trockengewichte	d
20/1	$2,46 \pm 0,163$	28,3	5,0 ^o
07/5	$7,30 \pm 0,655$	23,3	
10/1	$4,98 \pm 0,486$	9,7	13,6**
05/5	$4,35 \pm 0,477$	8,6	1,1 ^o

Besonders hervorgehoben sei hier noch die Tatsache, daß die durchschnittlich leichtesten (= dünnsten) Stecklinge der Sorte 20/1 die verhältnismäßig größte Trieb- und Blattmasse produziert haben.

Wie der vorliegende Vorversuch zeigt, ist es also mit relativ geringem Aufwand möglich, verschiedene Pappelsorten am Verhalten der Stecklinge in Wasserkultur kurzfristig zu unterscheiden. Diese Möglichkeit könnte somit, abgesehen vom rein ökologischen Interesse, ein einfaches, aber genaues Mittel darstellen, um die zur Verfügung stehenden Pappelsorten hinsichtlich eines oder mehrerer Merkmale in eine Art Rangordnung aufzunehmen. Eine derartige, für die Inventarisierung des vorhandenen Materials wertvolle Skala könnte laufend durch die neuen und noch wenig bekannten Sorten ergänzt werden, indem diese mit einem Testklon verglichen würden.

Die Luftphotographie in der Forstwirtschaft¹

Von Stephen H. Spurr²

(6)

Einleitung

Der Wert von Luftbildern für die Forstwirtschaft ist schon seit langem bekannt. In den auf den Ersten Weltkrieg folgenden Jahren wurden in zahlreichen Teilen der Erde forstliche Bestandeskarten auf

¹ Publiziert als Nr. 2882 der Scientific Journal Series der Landwirtschaftlichen Versuchsstation der Universität von Minnesota.

² Früher Dozent für Forstwirtschaft an der Universität von Minnesota, zurzeit Professor für Waldbau an der Universität von Michigan.

Abbildung 4

Überprüfung der Waldtypen im Gelände mit Hilfe des Taschenstereoskopes. Die Bäume sind 55jährige Föhren (Jack Pine, *Pinus banksiana*)

Abbildung 5

Herbstaufnahme auf panchromatischem Film aus dem nördlichen Minnesota. Maßstab 1 : 12 000. Brennweite 8¹/₄ Zoll. Die dunklen Töne sind Föhren (Jack Pine, *Pinus banksiana*), die hellen Töne Aspen (*Populus tremuloides*) und Papierbirken (*Betula papyrifera*). Beachte das charakteristische Bild der Rückwege auf den Kahlschlagflächen

Grund von Luftaufnahmen — sowohl durch bloßes Skizzieren vom Flugzeug aus als auch mit Hilfe der Photogrammetrie — hergestellt. Durch eingehende deutsche Untersuchungen, vor allem in den Jahren 1923 bis 1933 in Tharandt, ist die wissenschaftliche Grundlage für die Verwendung der Luftphotogrammetrie bei forstlichen Inventaraufnahmen geschaffen worden. In der gleichen Periode führten mehrere kanadische Unternehmen einfache und praktische Aufnahmemethoden ein.

Trotz dieser langen Entwicklungszeit war aber die Verwendung von Luftaufnahmen in der Forstwirtschaft am Ende des Zweiten Weltkrieges 1945 noch wenig verbreitet. Eine Handvoll Spezialisten befaßte sich vor allem in den USA und in Kanada in zunehmendem Maße mit Versuchen, aber die von ihnen entwickelten Methoden wurden von den Forstleuten und den Holzverarbeitenden Industrien im großen ganzen noch nicht übernommen.

Doch jetzt, sieben Jahre später, ist die Technik der Luftphotogrammetrie zu einem wesentlichen Bestandteil der Forstwissenschaft geworden. Mehrere hundert Forstleute ließen sich in den Jahren 1945 bis 1948 im Lehrwald von Harvard in kurzen Kursen in dieses neue Fachgebiet einführen. Heute verlangt oder erwartet so gut wie jede einzelne amerikanische Forsthochschule — im ganzen sind es mehr als dreißig — von den Studierenden der Forsteinrichtung eine Ausbildung in Luftphotogrammetrie (S p u r r , 1947). Ungefähr 200 Forstleute sind Mitglieder der amerikanischen Photogrammetrischen Gesellschaft und stellen damit nahezu einen Zehntel der gesamten Mitgliederzahl. Vor allem aber verwenden mehrere tausend berufstätige Forstfachleute Luftaufnahmen in ausgiebiger Weise bei ihren forstlichen Inventarisations- und Einrichtungsarbeiten.

Die Einführung der Luftphotogrammetrie bildet somit eine der wichtigsten Entwicklungen der modernen Forstwirtschaft. Um diese überraschend schnelle Anerkennung durch die forstliche Praxis verstehen zu können, muß man sich die Aufgaben und Probleme des Forstmannes vor Augen halten. Der berufstätige Förster ist im wesentlichen ein Betreuer von Land im Naturzustand. Er ist verantwortlich für Verwaltung, Pflege und Unterhalt von ausgedehnten Gebieten, deren Wert pro Flächeneinheit jedoch verhältnismäßig gering ist. Selbst in den intensiv bewirtschafteten Wäldungen von Westeuropa obliegt dem zuständigen Forstbeamten die gesamte Wirtschaftsführung auf Flächen von 1000 bis 2000 Hektaren (2500 bis 5000 Acres). Im westlichen und nördlichen Nordamerika hingegen unterstehen dem einzelnen Distriktförster nicht selten 100 000 bis 200 000 Hektaren (250 000 bis 500 000 Acres). In den unentwickelten Waldgebieten von Südamerika, Afrika und dem nördlichen Asien mögen die entsprechenden Flächen noch viel größer sein.

Die Verantwortung des Forstbeamten erstreckt sich in diesen weitläufigen Waldgebieten in der Regel auf Bau und Unterhalt eines zum mindesten behelfsmäßigen Straßennetzes, Waldbrandbekämpfung, Feststellung von Insekten- und Pilzepidemien, Verkauf des Holzes auf dem Stock, Herrichtung und Unterhalt von Waldteilen für Erholungs- und andere Wohlfahrtszwecke zugunsten der Bevölkerung, Verwaltung von Waldweideflächen sowie ganz allgemein auf die Aufrechterhaltung von Gesetz und Ordnung. Hierfür muß der Betreuer Lage, Größe und Zustand der wichtigsten Waldbestände kennen, und er hat sich auf dem laufenden zu halten über die Angelegenheiten der wildlebenden Tiere wie auch über die Probleme der Weidewirtschaft.

Bei der Durchführung all dieser täglichen Aufgaben erhält nun der Forstmann in der Luftphotogrammetrie in zunehmendem Maße ein wertvolles Hilfsmittel. Um einen Wald in Bewirtschaftung zu nehmen, ist als erster Schritt dessen stehender Holzvorrat, Zuwachs und Allgemeinzustand festzustellen. Für diese Phase, d. h. die Inventaraufnahme ausgedehnter Waldgebiete durch Spezialisten, wird die Luftphotogrammetrie heute schon sehr weitgehend herangezogen, worüber ausreichende Literatur zur Verfügung steht³. Nachdem dann aber das Anfangsinventar einmal erstellt ist, folgen als nächste Schritte die Bearbeitung eines Wirtschaftsplanes und die Bewirtschaftung der Waldungen durch den Forstmann im Gelände. Die eigentliche Wirtschaftsführung ist die wichtigste und auch schwierigste Aufgabe des berufstätigen Forstmannes. Gerade auf diesem Gebiet ist es nun der Luftphotogrammetrie vorbehalten, ihre größte Bedeutung im Rahmen der Forstwirtschaft zu erreichen (Stanley, 1950; Bercaw, 1952).

Das Ausmaß der Verwendung von Luftbildern für die Forsteinrichtung wird in erster Linie bestimmt durch das zur Verfügung stehende Photomaterial. Als nächstes müssen die wichtigsten, fundamentalen Einrichtungsdaten zusammengestellt werden. Daraus wird dann ein definitiver Wirtschaftsplan erstellt. Dieser endlich muß hierauf in die Praxis umgesetzt, befolgt und periodisch, je nach Notwendigkeit, revidiert werden.

In jeder dieser Phasen spielen die Luftphotographien eine wesentliche Rolle. Ihre Nützlichkeit sei dargestellt am Beispiel eines Objektes, das der Verfasser in neuester Zeit bearbeitet hat, nämlich der Erstellung eines Wirtschaftsplanes für den Itasca State Park, ein Waldgebiet von 13 000 Hektaren (= 50 Quadratmeilen) Ausdehnung im Nordwesten

³ Spurr, Stephen H., 1948. Aerial photographs in forestry. The Ronald Press Company, New York. 340 Seiten.

Spurr, Stephen H., 1952. Forest inventory. The Ronald Press Company, New York. 476 Seiten.

Moessner, Karl E., 1952. Photo interpretation in forest inventories. Seventh International Congress of Photogrammetry, Washington.

von Minnesota. Mit der Besprechung der Verwendung von Luftbildern in diesem speziellen Fall soll gleichzeitig versucht werden, verschiedene dabei erprobte Änderungen und Abweichungen von der bisher in den USA und in Kanada üblichen photogrammetrischen Technik bekannt zu machen.

Phototechnische Angaben

Wie ganz allgemein bei forstlichen Geräten, so sind auch bei der Luftphotogrammetrie die Wahl und Qualität des verwendeten Materials von ausschlaggebender Bedeutung. Luftbilder, die zur Herstellung topographischer Karten, für bautechnische oder für landwirtschaftliche Zwecke aufgenommen wurden, genügen in vielen Fällen nicht für die Aufgaben der Forsteinrichtung. Die Forstleute lernten bald, daß die Ausbeute an wertvollen Informationen aus den Luftaufnahmen sehr gesteigert werden kann durch sorgfältige, zweckmäßige Wahl des Maßstabes, Zeit und Datum der Aufnahmen, der Filmemulsion und des Kopiermaterials.

Die vertikale Einzelaufnahme im Bildformat von 9 Zoll (23 cm) Seitenlänge scheint sich in den USA und in Kanada am besten eingeführt zu haben. Durch Verwendung einer Dreifachkamera für Aufnahmen großen Maßstabes, wie sie in Kanada von R o b i n s o n (1948) und S e e l y (1948) empfohlen wird, lassen sich wohl die Aufnahmekosten im Gelände senken, doch werden dadurch die Ausgaben für die spätere Interpretierung der Kartenbilder unverhältnismäßig stärker erhöht. Aufnahmen in Form ununterbrochener Streifen großen Maßstabes wurden versuchsweise durchgeführt, doch ließ die Ausbeute im Verhältnis zu den hohen Kosten sehr zu wünschen übrig (M i g n e r y, 1951). Rechtwinklige Negativformate erwiesen sich als unbeliebt, weil dabei die Abstände zwischen den einzelnen Aufnahmestandorten kleiner sein müssen, wodurch die Überhöhung der dritten Dimension im stereoskopischen Photobild weniger hervortritt.

Bei Ende des Zweiten Weltkrieges galt der Maßstab 1 : 20 000, den das amerikanische Landwirtschaftsdepartement ausgiebig verwendete, praktisch als Standardmaß für forstliche Arbeiten. In neuerer Zeit allerdings werden größere Maßstäbe vorgezogen, wobei zurzeit 1 : 15 840 am weitesten verbreitet ist. Der Vorteil dieses Maßstabes besteht darin, daß er sich leicht in das englische Distanz- und Flächenmaßsystem einordnet (4 Zoll entsprechend 1 Meile, 1 Quadratzoll entsprechend 40 Acres) und genügend groß ist für die gewünschte Genauigkeit der Photointerpretierung, ohne andererseits unwirtschaftlich teuer zu sein. Für intensive Forstbetriebe sind jedoch noch größere Maßstäbe wünschenswert. So wurde bei den Aufnahmen in Itasca 1 : 12 000 gewählt. Dabei benötigte man für die ganze Waldfläche von 50 Quadratmeilen (130 km²) rund 100 Luftaufnahmen. Noch größere Maßstäbe würden

eine größere Zahl von Aufnahmen bedingt haben, was sowohl aus praktischen wie wirtschaftlichen Gründen nicht mehr gerechtfertigt war.

Bei allen Maßstäben besteht die Tendenz, die unter den gegebenen topographischen Verhältnissen und dem gewünschten Reduktionsmaß möglichst kurzen Brennweiten zu verwenden. Auf diese Weise wird maximale stereoskopische Wirkung der Luftbilder erreicht, was die Ansprache der Waldtypen und Bestandesgrößen erleichtert. Bei den Aufnahmen in Itasca wurde eine Optik mit $8\frac{1}{4}$ Zoll (21 cm) Brennweite verwendet, die heute allgemein in der Forstwirtschaft am meisten gebräuchlich ist.

Die heutige Waldphotogrammetrie arbeitet sowohl mit panchromatischem als auch mit infrarotempfindlichem Material. Seitdem der Verfasser im Jahre 1945 eine modifizierte Infrarotaufnahmetechnik für forstliche Zwecke entwickelte, wurde diese zum Standardverfahren für Sommeraufnahmen von gemischten Nadelholz-Laubholz-Gebieten. Laut persönlicher Mitteilung der Eastman Kodak Company vom 24. Juli 1952 wurden im Jahre 1951 mindestens 100 000 Quadratmeilen ($256\,000\text{ km}^2$) auf diese Weise photographiert, und zweifellos beträgt die gesamte Fläche, die seit 1946 bearbeitet wurde, ein Mehrfaches davon. Die meisten dieser forstlichen Aufnahmen wurden in der südlichen Föhrenregion, im Gebiet der großen Seen und im Nordosten des Landes vorgenommen. Sodann wurde mindestens ein großes Projekt unter Verwendung von Infrarotaufnahmen im pazifischen Nordwesten mit bestem Erfolg ausgeführt. Auch für die forstlichen Verhältnisse in Kanada bestätigte die Infrarotphotogrammetrie in neuester Zeit ihre Vorzüge (S c h u l t e , 1951).

Panchromatisches Material wird daneben nach wie vor ausgiebig verwendet. Es eignet sich vor allem für Aufnahmen großen Maßstabes in allen Verhältnissen, ferner für Aufnahmen im Frühjahr oder Herbst (d. h. wenn die Laubhölzer auffallend gefärbt sind) sowie für reine Nadelholz- oder reine Laubholzgebiete. Für gemischte Laub-Nadelholz-Bestände eignet sich die panchromatische Aufnahmetechnik weniger gut. Die Luftphotos in Itasca wurden auf panchromatischen Filmen im Herbst aufgenommen.

Über die Reflexionsfähigkeit verschiedener Laubarten unter kontrollierbaren Laboratoriumsbedingungen ist in mehreren neueren Publikationen berichtet worden (B a c k s t r o m und W e l a n d e r , 1948; G a t e s und T a n t r a p o r n , 1952, u. a.). Die Tonunterschiede der einzelnen Baumarten auf den Luftbildern hängen jedoch von einer ganzen Reihe von Faktoren ab, unter denen die Spektralreflexion nur einen einzigen darstellt (S p u r r , 1948; S c h u l t e , 1951; L o s e e , 1951). Im weiteren wird diese Tönung weitgehend bestimmt durch den Anteil der verschiedenen Wellenlängen im Sonnenlicht, das den Baum erreicht, durch den Einfallswinkel der Lichtstrahlen, durch den Re-

fraktionswinkel mit Bezug auf den Standort der Kamera, durch die Struktur und Anordnung des Laubwerkes der Bäume und die Art der Filmentwicklung. So nehmen beispielsweise die Tonunterschiede der verschiedenen Holzarten bei Infrarotaufnahmen vom Nordosten der Vereinigten Staaten nach dem Südosten ab, weil offenbar der größere Auftreffwinkel des Sonnenlichtes im Süden eine höhere Strahlungsintensität und damit auch stärkere Rückstrahlung nach dem Standort der Kamera bewirkt. Immerhin gibt auch im Süden die Infrarotphotographie immer noch bessere Kontraste zwischen den Baumarten als panchromatische Aufnahmen in vergleichbaren Verhältnissen.

Trotz der großen Bedeutung der photographischen Tönung bleibt als ausschlaggebendes Qualitätsmerkmal der Aufnahmen doch das Auflösungsvermögen in die Details. Hohe Bildqualität im Sinne scharfer Zeichnung der Einzelheiten ist die erste Bedingung, welche Photographien für die Interpretierung von Waldbildern zu erfüllen haben. Die Bestimmung der Baumarten und Bonitätsklassen und die Messung der Bestandesgrößen hängen letzten Endes alle davon ab, ob und wie diese Objekte auf der Aufnahme erkannt werden. Dieses Erkennungsvermögen wird seinerseits bestimmt durch die Schärfe der Bildzeichnung. Obwohl also die Tönung ein nicht zu unterschätzendes Qualitätsmerkmal darstellt, so liegt das wichtigste Kriterium guter photographischer Waldaufnahmen doch in der Qualität der Zeichnung (Jensen und Colwell, 1949; Spurr, 1949).

Die Forderung nach hoher Bildqualität führt zur Nachfrage nach besserem Film- und Kopiermaterial. Aluminiumfolien, transparente Positivfilme und andere Materialien werden zunehmend ausprobiert, und man darf auf diesem Gebiet noch fortgesetzte Untersuchungen erwarten. Das Problem besteht dabei nicht so sehr darin, neue Mittel zu finden, als vielmehr das Bekannte in wirtschaftlich und praktisch brauchbarer Form herzustellen.

Zusammenstellung der wichtigsten Einrichtungsdaten

Nachdem der Forstbeamte einmal im Besitz der Luftphotographien in der gewünschten Ausführung ist, muß er als nächstes die wichtigsten Daten für die Forsteinrichtung zusammenstellen. Diese umfassen: 1. Bestandeskarten, 2. Flächen der verschiedenen Bestandes- und Standortsklassen, 3. Volumenschätzungen, 4. Einschätzung der Nutzungsmöglichkeiten, 5. Zuwachsschätzungen und 6. Entwicklungsgeschichte der einzurichtenden Waldungen.

Die Zusammenstellung dieser Unterlagen wird durch wirtschaftliche Gesichtspunkte sehr hemmend beeinflußt. Es ist fraglich, ob amerikanische Waldbesitzer gewillt wären, mehr als 25 Cents pro Acre (zirka 2 Fr. 70 pro Hektare) für einen Wirtschaftsplan auszugeben,

wenn nicht die betreffenden Wälder von ganz außergewöhnlichem Wert sind. Wenn die Entschädigung eines Forstingenieurs 30 \$ pro Tag beträgt und weitere 10 \$ pro Tag benötigt werden für Organisation, Photographien und Ausrüstung, dann muß die Durchführung der Forsteinrichtung mit einem Tempo von einer viertel Quadratmeile (64 Hektaren) pro Tag erfolgen. Entsprechend dem Umfang und der Zweckbestimmung der verlangten Informationen über die Waldungen müssen daher die Luftphotogrammetrie wie auch andere Hilfsmittel auf jede nur mögliche Art und Weise eingesetzt werden.

Im Rahmen dieses Aufsatzes kann nicht auf die Einzelheiten der Inventarisierung von Wäldern mit Hilfe der Photogrammetrie eingegangen werden (siehe Fußnote 3; M o e s s n e r und J e n s e n , 1951; H a i d e r , 1952). Immerhin sei festgehalten, daß der Wirtschaftsplan Auskunft über Bestandesalter, waldbauliche Verhältnisse, Möglichkeiten der wirtschaftlichen Erschließung und andere Faktoren zu geben hat, die alle nicht im eigentlichen Inventar enthalten sind. So waren zum Beispiel bei der Bearbeitung des Projektes von Itasca Angaben über die Bestandesalter von großer Bedeutung, weil dort Bestände von Jack Pine (*Pinus banksiana*) und Espen (*Populus tremuloides*) große Flächen bestocken. Da diese Baumarten sehr kurzlebig sind, muß in jedem Hiebsplan genau auf die Bestandesalter Rücksicht genommen werden. In dem genannten Einrichtungsbeispiel erschien es daher, wie in vielen andern Fällen, zweckmäßiger, die Kartierung der Bestände auf Grund ihres Alters vorzunehmen und nicht nach Baumhöhe und Kronenschluß, wie es sonst bei luftphotogrammetrischen Aufnahmen üblich ist. Obwohl das Alter der Bäume nicht unmittelbar aus den Luftbildern hervorgeht, so kann es doch anhand der Kronendurchmesser und Baumhöhen (die sich aus den verwendeten panchromatischen Aufnahmen im Maßstab 1 : 12 000 mit guter Genauigkeit ermitteln lassen) geschätzt werden. Im weiteren wurde die Aufgabe vereinfacht durch den Umstand, daß diese Baumarten wie auch die ebenfalls bedeutenden Bestände von Red Pine (*Pinus resinosa*) zur Hauptsache auf ehemaligen Waldbrandflächen stocken, welche letztere sich auf Grund der Luftbilder leicht kartieren ließen. Waldbrände hinterlassen charakteristische, fächerförmige Schadenflächen. Im nördlichen Minnesota zeigt deren Spitze häufig nach Südwesten, so daß sich also der Fächer nach Nordosten öffnet, als eine Folge der vorherrschenden Windrichtung während der trockenen, heißen Sommermonate. Beim Projekt von Itasca war es daher nur nötig, an vereinzelten Stellen das Bestandesalter im Gelände selber festzustellen. Die räumliche Ausdehnung jeder Altersklasse ließ sich dann leicht aus den Luftaufnahmen auf Grund der Baumgrößen und der Umrisse der alten Brandflächen kartieren.

Die Erkennung der Baumarten ist für die Inventarisierungs- und Einrichtungsarbeiten von ausschlaggebender Bedeutung, so daß diesem

Problem auf der ganzen Welt viel Aufmerksamkeit geschenkt wird (Spurr, 1948; Chapman, 1947; Stoeckeler, 1949; Raup und Denny, 1950; Schulte, 1951; Komiteen für skoglig fotogrammetri, 1951, u. a. m.). In den subborealen Wäldern im Osten der USA und im südlichen Kanada lassen sich die meisten Baumarten bei Sommeraufnahmen auf infrarotempfindlichen bzw. Herbstaufnahmen auf panchromatischen Filmen leicht unterscheiden. Im Beispiel von Itasca wie auch anderswo bereitete es gar keine Schwierigkeiten, die reinen Bestände zu unterscheiden, während dagegen der prozentuale Anteil der verschiedenen Baumarten an gemischten Beständen aus Luftaufnahmen nicht genau ermittelt werden konnte. Besonders schwierig war die Unterscheidung in Mischbeständen von Föhre-Tanne, Fichte-Tanne und Birke-Espe. Durch sorgfältige Kontrolle und Überprüfung im Gelände war jedoch auch in solchen Fällen eine genügende Interpretierung der Luftphotos möglich.

Die für die Forsteinrichtung benötigten Zuwachsschätzungen stützen sich auf die Klassierung der Standortsgüten. In Gebieten, die, wie der Itasca State Park, während der Eiszeiten vergletschert waren, hängt die Bodengüte eng mit den Geländeformen zusammen. Mit einigen Kennt-

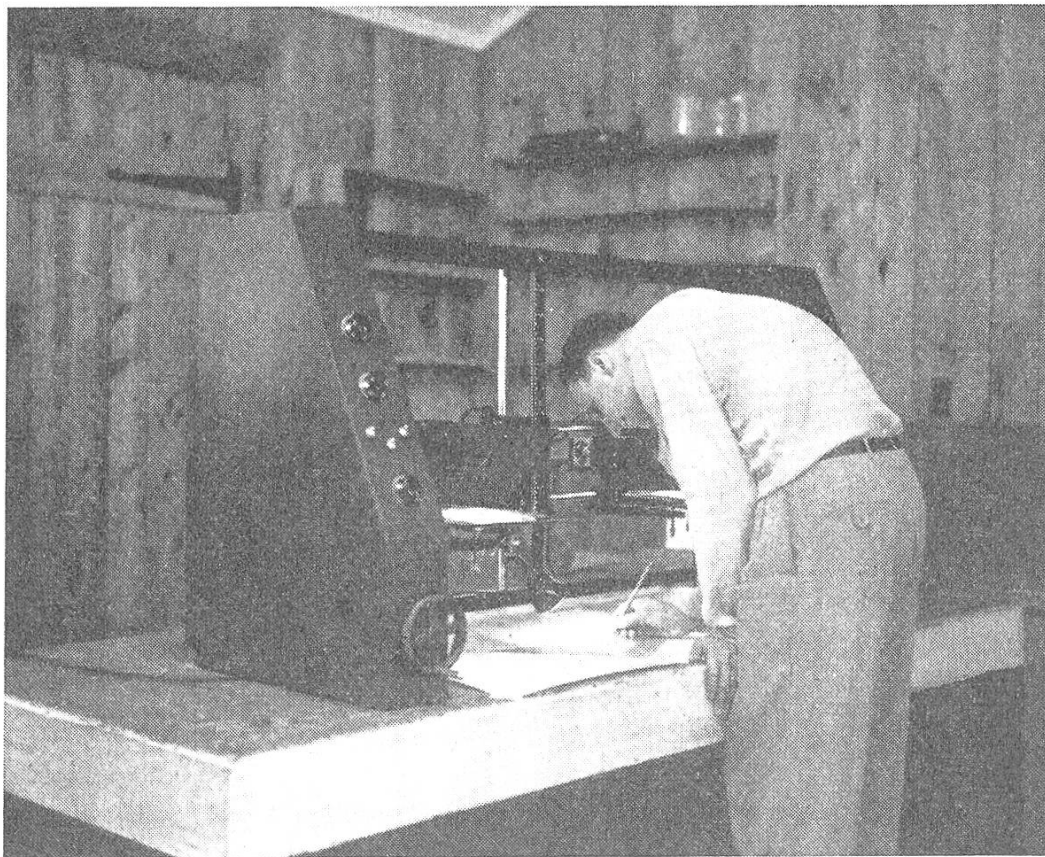


Abbildung 1

Übertragung von Bestandesgrenzen von Luftaufnahmen auf die Grundkarte mit Hilfe des Multiskopes, eines der verschiedenen für diesen Zweck geeigneten Instrumente

nissen über die Geologie des Pleistozäns wird der mit der Auswertung der Luftaufnahmen betraute Forstingenieur bald imstande sein, ausgewaschene Ebenen, Grundmoränen, wall- oder hügelförmige Sand- und Kiesrückstände fluvioglazialer Entstehung und andere Geländeformationen, die das forstliche Wachstum weitgehend bestimmen, zu erkennen und auseinanderzuhalten. Forschungen an den Universitäten von Cornell und Purdue haben viel dazu beigetragen, unsere Kenntnisse über die Bestimmung von Bodentypen auf Grund von Luftbildern zu vertiefen.

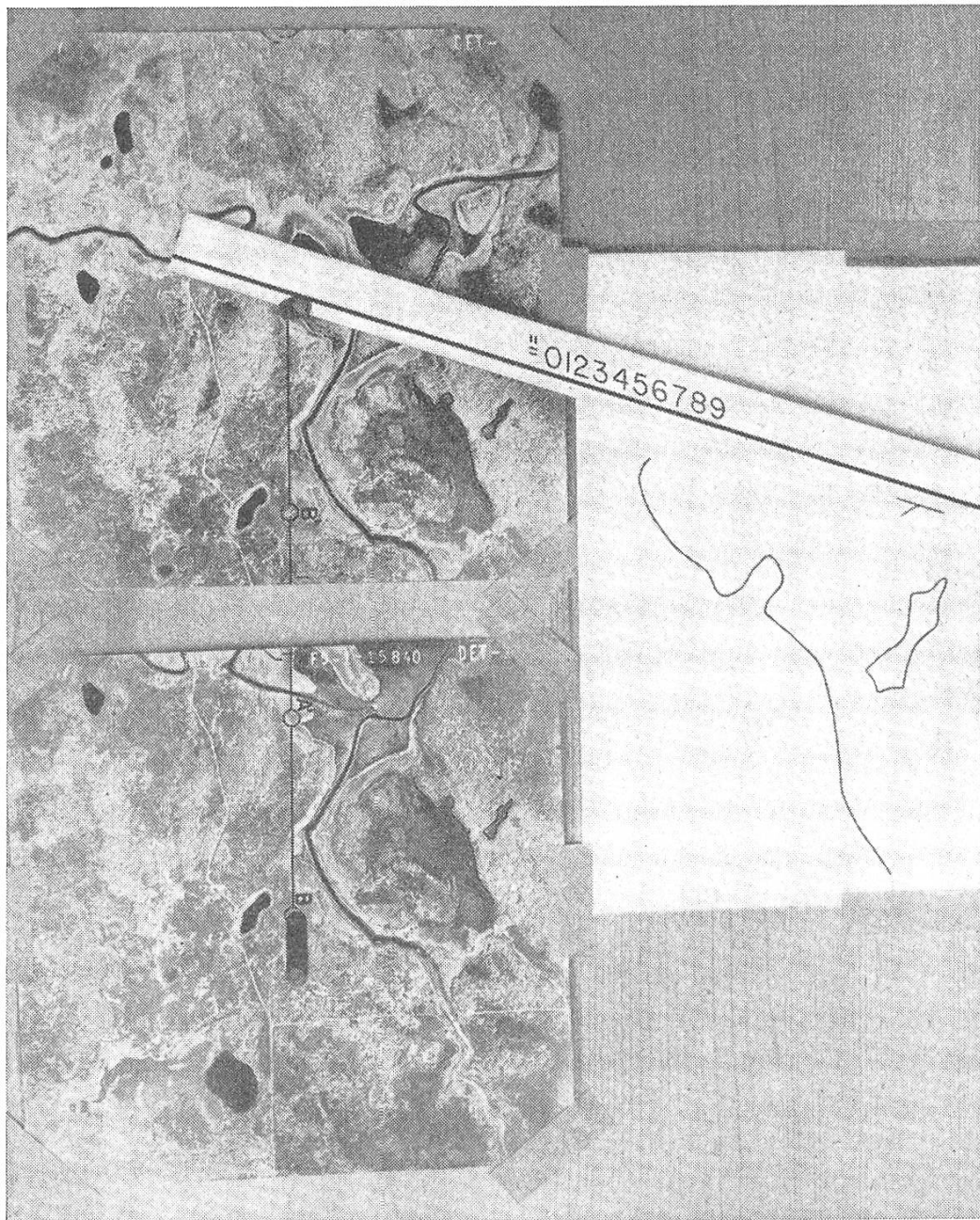


Abbildung 2

Herstellung einer vergrößerten Karte eines kleinen Waldgebietes mit Hilfe der Zentralprojektion. Eine improvisierte Art des Rückwärtseinschnittes mit Radiallinien

Die Bestandeskarte des Itasca-Parkes wird nun mit Hilfe folgender Unterlagen erstellt: 1. Einschaltung weiterer Triangulationspunkte auf Grund bestehender Triangulationsnetze und Landstraßenvermessungen. 2. Vergleichende Kontrollen im Gelände vor und während der Detailkartierung und 3. gleichzeitige Kartierung von planimetrischen Details, Waldtypen und Altersklassen mit Hilfe des Multiskopes. Der für diese Arbeiten benötigte Zeitaufwand beträgt rund eine Mann-Stunde pro Photographie für die Radialtriangulation, zwei Mann-Stunden pro Quadratmeile ($2,56 \text{ km}^2$) für die Aufnahmen im Gelände und zwei Mann-Stunden pro Quadratmeile für die Übertragung der Details. Die Kosten inklusive allgemeiner Ausgaben für Organisation usw. belaufen sich somit auf zirka 3,9 Cents pro Acre (rund 9,6 Cents = 41 Rp. pro Hektare oder 25 \$ pro Quadratmeile) für eine detaillierte Karte im Maßstab 1 : 12 000 mit planimetrischen Einzelheiten, Waldtypen, Altersklassen und wichtigsten Geländeformen der Glaziallandschaft.

Für die Schätzung des Holzvolumens und Zuwachses stehen eine ganze Anzahl verschiedener Methoden zur Verfügung. In Itasca werden auf den Luftaufnahmen sorgfältig Vermessungslinien bestimmt und durch die Flächen der wichtigsten Bestandestypen gezogen. Diesen Linien entsprechen im Gelände Kontrollstreifen von 33 Fuß (zirka 10 m) Breite, auf welchen sämtliche Bäume kluppiert und nach Baumart und Durchmesser notiert werden. Angaben über die Zuwachsverhältnisse gewinnt man hierauf durch eine weitere, besondere Rekognoszierung aus einer größeren Zahl von Probeflächen zu je zirka 10 Bäumen, die ebenfalls sorgfältig auf den Photographien bestimmt worden sind. Auf diesen kleinen Musterflächen mißt man die Baumhöhen, das Alter und den Zuwachs. Das Volumen, das Alter, den mittleren Durchmesser und den Zuwachs der verschiedenen Bestände des ganzen Waldes ermittelt man hierauf durch gutachtlichen Vergleich mit den Probeflächen und -streifen von bekanntem Volumen und Zuwachs. Die Stammdurchmesser lassen sich schätzen durch visuellen Vergleich mit bekannten Beständen oder auf Grund der Korrelationen zwischen Kronendurchmesser und Stammdurchmesser (M i n o r, 1951; S p u r r, 1948).

Schließlich können Luftaufnahmen auch verwendet werden, um die Entwicklungsgeschichte der Bestände so gut als möglich herzuleiten. Es wurde schon darauf hingewiesen, daß sich die Umrisse früherer Waldbrände auf den Luftbildern häufig genau einzeichnen lassen. Dasselbe gilt für frühere Holzexploitationen, Windwürfe, Hagelschäden sowie die Spuren schwerer Insekten- und Pilzepidemien. Für das notwendige genaue Studium derartiger Einzelheiten auf den Stereophotographien verwendet der Forstmann in der Regel das vergrößernde Taschenstereoskop.

Im Beispiel von Itasca betragen die gesamten Kosten der Vermessungen und Kontrollen im Gelände 10 Cents pro Acre oder 64 \$ pro

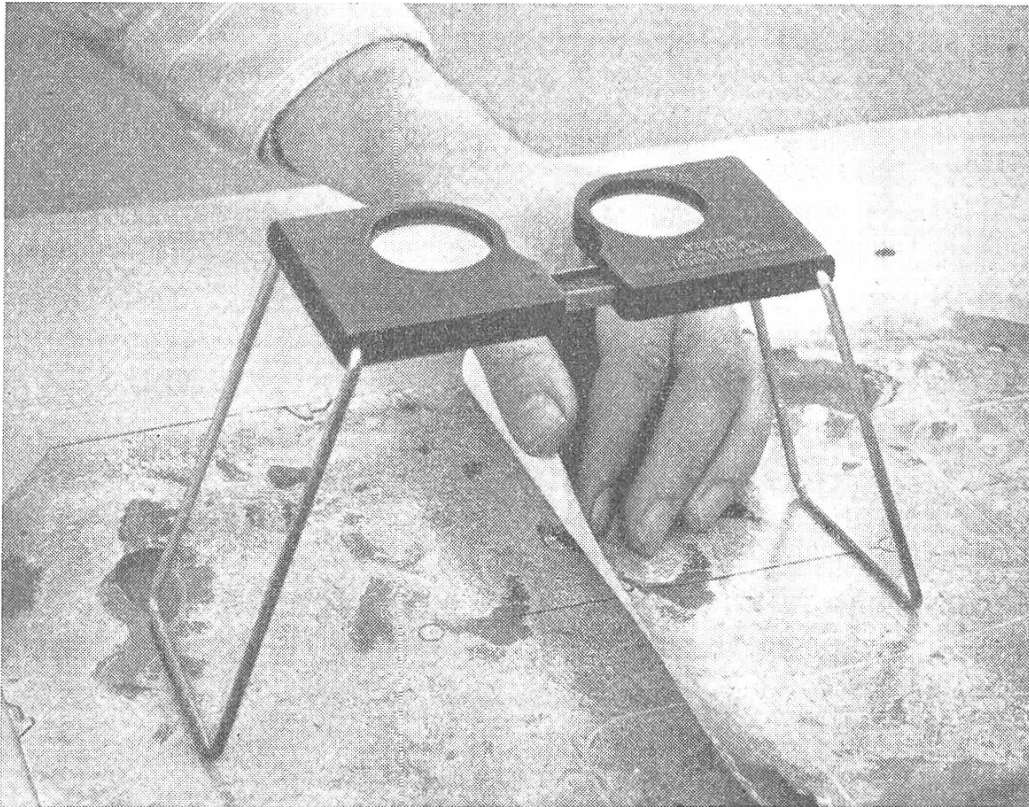


Abbildung 3

Verwendung des Taschenstereoskopes zum Studium der dreidimensionalen Abbildung des Waldes

Quadratmeile (25 Cents = 1 Fr. 08 pro Hektare). Wenn man 100 Mann-Arbeitstage für die Kontrolle der Volumenprobestreifen und 50 Mann-Arbeitstage für die Zuwachsflächen rechnet, so lassen sich damit Probestreifen in einer Gesamtlänge von 2500 Chains ($31\frac{1}{4}$ Meilen oder 50 000 Meter) mit einer Breite von je $\frac{1}{2}$ Chain vermessen sowie 100 Probestflächen für die Zuwachsermittlung. Diese Anzahlen sollten genügen, um für alle wichtigen Bestände innerhalb der ganzen Betriebsfläche von 32 000 Acres (50 Quadratmeilen oder 13 000 Hektaren) eine angemessene Vertretung durch Probestflächen zu gewährleisten.

Der Wirtschaftsplan

Die Gewinnung der Unterlagen aus den Feldaufnahmen bedeutet nur den ersten Schritt in der Erstellung des Wirtschaftsplanes. Im weiteren ist nun die Fläche jedes Bestandes zu ermitteln. Die durch direkte Messung erhaltenen Zuwachs- und Volumenzahlen müssen zusammengestellt und auf die ganze Waldung übertragen werden. Nachdem diese Unterlagen einmal zur Verfügung stehen, sind dann daraus die Pläne für die Bewirtschaftung herzuleiten. Diese enthalten verschiedene Abschnitte:

Erstens ist festzustellen, welche Holzmenge aus der ganzen Waldung während jeder Betriebsperiode genutzt werden darf. Diese Berechnung erfolgt nach bekannten Regeln unter Berücksichtigung 1. des Verhältnisses zwischen dem effektiv vorhandenen Vorrat und dem angestrebten Normalvorrat, 2. der innerhalb jedes Bestandes- und Standortstyps vorhandenen Flächenanteile der verschiedenen Altersklassen und 3. des waldbaulichen Zustandes der einzelnen Bestände. Weil sich alle diese Faktoren durch die oben beschriebenen Photointerpretierungen mit zugehörigen Kontrollen im Gelände ermitteln lassen, vermögen die Luftbilder eine wichtige Rolle bei der Nutzungsregulierung zu spielen.

Zweitens ist sodann ein spezieller Hiebsplan zu erstellen. Die Nutzungsflächen (oder Nutzungsmöglichkeiten) müssen bestimmt und eingezeichnet werden, wobei den lokalen Holzgewinnungsgewohnheiten und Marktverhältnissen Rechnung zu tragen ist. Ein zweckmäßiges Netz von Lastwagenstraßen und Rückwegen ist zur Erschließung dieser Schlaggebiete zu projektieren. Schließlich ist das räumliche Vorgehen beim geplanten Nutzungsbetrieb sowohl auf der Karte als im Gelände festzulegen. Gleichgültig ob die Nutzung streifenweise, löcherweise oder in Form von Kahlschlägen entnommen werde, ist in jedem Falle Ort und Volumen dieser Holzbezüge zu kontrollieren. All das läßt sich vom Forstmann am besten auf stereoskopischen Bildpaaren von Luftaufnahmen durchführen. Wohl ist daneben ein beträchtliches Maß von vergleichenden Kontrollen im Gelände notwendig, aber sehr viel Planung kann dennoch durch bloße Interpretierung der Photos ausgeführt werden. Dabei sind die Ersparnisse an Zeit und Kosten bei dieser Arbeit vielleicht noch größer, wenn auch weniger gut bekannt als die Ersparnisse, die sich durch Verwendung der Photogrammetrie bei forstlichen Inventaraufnahmen erzielen lassen.

Drittens hat sich der Wirtschaftsplan mit der waldbaulichen Behandlung jener Bestände zu befassen, die erst in einem späteren Zeitpunkt zur Ernte kommen werden. Unerwünschte Baumarten müssen aus den wertvollen jungen Zukunftsbeständen entfernt werden. Bestände in vorgerückterem Alter sind zu durchforsten, um den besseren Stämmen zu mehr Raum und damit zusätzlichem Zuwachs zu verhelfen. Bäume, die voraussichtlich vor Erreichung der Reife abgehen werden, sind ebenfalls vorher zu verwerten. Kahle und schwach bestockte Flächen sind zu bepflanzen und damit in den Produktionsprozeß einzugliedern. Auch bei allen diesen Arbeiten erfüllt die Luftphotogrammetrie eine wichtige Aufgabe. Oft lassen sich die unerwünschten Baumarten sowohl nach Mengenanteil wie nach Wuchskraft durch stereoskopische Prüfung der Luftaufnahmen bestimmen, vor allem wenn es sich dabei um minderwertiges Laubholz in wertvollen Nadelholz-Zukunftsbeständen handelt. Innerhalb einer vorhandenen Altersklasse

kann die Kronengröße der verschiedenen Stämme aus den Photographien gemessen werden, woraus sich Schlüsse auf die individuelle Wuchsfreudigkeit ziehen lassen. Daraus vermag der Forstmann dann zu erkennen, welche Bestände am dringendsten einer Durchforstung bedürfen. Für die Bepflanzung vorzusehende Kahlflächen lassen sich ebenfalls leicht auf Luftbildern erkennen und kartieren, wobei in der Regel zudem die benötigten Pflanzenmengen und -arten bestimmt werden können. Als Kontrolle genügen dabei rasche Überprüfungen im Gelände.

Endlich erhält ein Wirtschaftsplan erst seinen vollen Wert, wenn er wirklich in der Praxis angewandt und je nach Notwendigkeit periodisch revidiert wird. Auch bei dieser Ausführung des Planes und bei der späteren Arbeit im Gelände spielen Luftaufnahmen eine wichtige Rolle. Sie leisten besonders wertvolle Dienste bei den üblicherweise mit dem Kauf und Verkauf des stehenden Holzes verbundenen Aufgaben. Es sei zum Beispiel angenommen, daß ein Waldbesitzer zum Forstbeamten kommt, um ihm ein für ihn selber zu weit abliegendes Stück Wald zum Kauf anzubieten. Eine kurze Prüfung des Objektes auf vorhandenen stereoskopischen Luftaufnahmen orientiert den Forstbeamten besser über dieses Gebiet als ein mehrstündiger oder gar tagelanger Marsch ins Gelände. In einem andern Fall interessiert sich vielleicht ein Farmer oder Holzhauer um den Ankauf von stehendem Holz, das der Aufsicht eines Forstbeamten unterstellt ist. Falls es sich dabei um wenig wertvolles Land in extensiver Bewirtschaftung handelt, kann unter Umständen der ganze Verkauf nur auf Grund des Studiums von Luftbildern getätigt werden. Müßte der Forstexperte dagegen in das betreffende Gebiet reisen und die Untersuchungen an Ort und Stelle durchführen, so würden diese Auslagen mitunter den ganzen Ertrag aus dem Holzverkauf aufzehren. Doch auch dort, wo intensive Bewirtschaftung oder wertvolle Bestände eine sorgfältige Holzanzeichnung und Schlagbeaufsichtigung im Gelände verlangen, kann ein großer Teil der mit dem Verkauf zusammenhängenden Arbeiten mit Hilfe von Luftphotographien erledigt werden.

Nicht zu unterschätzen ist sodann der Wert von Luftaufnahmen für die Führung der Wald- und Bestandeschronik. Eine durchgehende genaue photographische Kontrolle des ganzen Waldgebietes dürfte nur etwa alle zehn Jahre gerechtfertigt sein. In der Zwischenzeit jedoch lassen sich durch Aufnahmen, die zum Beispiel mit einer gewöhnlichen Handkamera aus einem Kleinflugzeug gemacht werden können, gute Informationen über Waldbrände, Insektenschäden, Fortschreiten der Holzernte und andere Veränderungen in der Vegetation des Gebietes gewinnen. Die Resultate solcher Zwischenaufnahmen können leicht in die schon vorhandene Präzisionskartierung des ursprünglichen Inventars übertragen werden. Auch bei Aufgaben der Nutzungskontrolle zeigt

sich immer mehr, daß die Photogrammetrie billigere und genauere Mittel für die Nachführung bietet als die Arbeit im Gelände selbst. In vielen, vor allem relativ flachen Gebieten kann man die Photographien selber als Kontrolldokumente behalten, ohne daß daraus noch spezielle Karten hergestellt zu werden brauchen. In solchen Fällen werden Schlagflächen, Waldbrandgebiete, Straßen- und Wegnetze sowie die verschiedenen waldbaulichen und einrichtungstechnischen Einzelheiten direkt auf die Photographien oder Zusammensetzungen von solchen gezeichnet und diese dann als Originalbelege eingeordnet.

Kommen wir abschließend zurück auf die wirtschaftlichen Möglichkeiten der Verwendung von Luftaufnahmen in der Forsteinrichtung. Es wurde schon darauf hingewiesen, daß wahrscheinlich die meisten Waldeigentümer der USA und von Kanada gewillt wären, für genaue und detaillierte Wirtschaftspläne 25 Cents pro Acre (2 Fr. 70 pro Hektare) zu bezahlen. Dieser Betrag setzt voraus, daß es sich um Gebiete mit mindestens einem Teil schlagreifen Holzes handelt, die zudem mindestens teilweise mit jungem Zukunftswald auf günstigen Standorten bestockt sind. Beim erwähnten Projekt von Itasca kosteten die Luftbilder (Maßstab 1 : 12 000, panchromatische Herbstaufnahmen) beispielsweise 2 Cents pro Acre (21 Rp. pro Hektare). Ihre Auswertung sowie die Erstellung der Situations- und der Bestandskarte wird etwa weitere 4 Cents pro Acre kosten. Für die Messungen im Gelände zur Herleitung von Volumen, Zuwachs und anderen forstlichen Angaben rechnet man mit 10 Cents pro Acre (1 Fr. 08 pro Hektare), somit also für alle erwähnten Arbeiten zusammen 16 Cents pro Acre (1 Fr. 72/ha). Für die noch verbleibenden 9 Cents pro Acre könnte man einen bestausgewiesenen Forstingenieur während 6 Monaten voll beschäftigen. Dieser Zeitraum sollte genügen, um die vorhandenen Unterlagen zusammenzustellen und zu verarbeiten sowie den Wirtschaftsplan fertig auszuführen. Es scheint also in diesem Falle möglich, einen guten Wirtschaftsplan über ein Waldgebiet von 32 000 Acres (50 Quadratmeilen oder 13 000 Hektaren) für 25 Cents pro Acre (160 \$ pro Quadratmeile oder 62 Cents = 2 Fr. 70 pro Hektare) zu erstellen. Eine solche Arbeit, inbegriffen die Beschaffung genügender Daten über Zuwachs, Volumen und andere forstliche Größen, wäre unter vergleichbaren Bedingungen kaum möglich ohne die sehr weitgehende Anwendung und Auswertung von Luftphotographien.

Nachdem ein Wirtschaftsplan einmal erstellt ist, muß der betreffende Wald unter Aufsicht eines ortsansässigen Forstmannes bewirtschaftet werden. In amerikanischen Verhältnissen kann man bei vorsichtiger Schätzung annehmen, daß ein Forstingenieur bei vollamtlicher Anstellung eine Waldfläche von 30 000 Acres = 12 000 Hektaren zu betreuen vermag, sofern es sich um ähnliche Waldtypen handelt wie

im Itasca-Park, und daß umgekehrt der Ertrag aus einem Waldgebiet dieser Größe ausreicht, um einen Fachmann angemessen entlöhnen zu können. Der Wald von Itasca würde mit 32 000 Acres das 1,07fache einer solchen forstlichen Arbeitskraft erfordern, was bei Annahme eines mittleren Jahresgehaltes von 6000 \$ einem Betrag von rund 6400 \$ für die Bewirtschaftung entsprechen würde. Falls nun aber Luftphotographien großen Maßstabes aus der Zeit der Wirtschaftsplanaufnahmen vorhanden sind und damals aus den für jenen Zweck bereitgestellten Mitteln bezahlt wurden, so würden diese Bilder ohne zusätzliche Kosten zur Verfügung des Forstingenieurs stehen, der nachher den Wirtschaftsplan in die Praxis umzusetzen hat. Bei vorsichtiger Schätzung darf angenommen werden, daß ein Forstmann, der in der Auswertung von Luftaufnahmen gut bewandert ist, mit ihrer Hilfe pro Zeiteinheit 25 % mehr Arbeit leisten kann. Dieser Gewinn rührt vor allem her von Einsparung an Arbeitszeit im Gelände im Zusammenhang mit Holzverkäufen und Ankäufen, Preisbestimmungen, Ausbau des Straßen- und Wegnetzes und der Kontrolle von Waldbränden, Insekten- und anderen Schäden usw. Der erwähnte Zeitgewinn macht es dem Forstingenieur möglich, nun 37 500 Acres = 15 000 Hektaren mit der gleichen Intensität zu bewirtschaften wie 30 000 Acres beim Fehlen photogrammetrischer Hilfsmittel. Die Kosten der Wirtschaftsführung auf einer Fläche von 32 000 Acres (Itasca) wären in einem solchen Falle nur noch 5100 \$ pro Jahr. Die durch Verwendung von Luftaufnahmen erreichte Ersparnis würde somit jedes Jahr 1300 \$ betragen, nur weil die Arbeit des Forstmannes rationeller gestaltet werden kann.

Selbst bei einer derart vorsichtigen Beurteilung könnten die Kosten der Luftaufnahmen schon im ersten Jahr der Bewirtschaftung zurückbezahlt werden, und die gesamten Auslagen für die Erstellung des Wirtschaftsplanes (8000 \$) ließen sich in wenig mehr als sechs Jahren amortisieren.

Daraus darf der Schluß gezogen werden, daß die Verwendung von Luftaufnahmen in der forstlichen Wirtschaftsführung gerechtfertigt ist und an Bedeutung rasch zunehmen wird. Durch Einsatz der Photogrammetrie nicht nur bei Inventaraufnahmen, sondern auch bei der Erstellung der Wirtschaftspläne und bei der eigentlichen Bewirtschaftung der Waldungen, können die Kosten dieser Arbeiten so weit gesenkt werden, daß die technische Einrichtung für viele Waldgebiete nun wirtschaftlich tragbar wird. In allen dem angeführten Beispiel von Itasca vergleichbaren Verhältnissen, wo ein Wirtschaftsplan über ein Gebiet von gutwüchsigen Beständen auf mittleren Standorten mit einer Gesamtfläche von 32 000 Acres erstellt wurde, wird die Luftphotogrammetrie die Einführung einer rationellen Bewirtschaftung nach gesunden forstlichen Richtlinien bestimmt sehr erleichtern können.

Übersetzung aus dem Englischen: Dr. A. Huber

Bibliographie

Eine vollständige Liste von Publikationen über die Verwendung von Luftaufnahmen in der Forstwirtschaft findet sich in den beiden Werken des Verfassers (siehe Fußnote 3). Die nachfolgend aufgeführte Auswahl von Arbeiten dient als Ergänzung zu den im Text vermerkten Hinweisen.

- Backstrom, H., und Welander, E.*, 1948. En preliminär undersökning rörande möjligheterna att skilja olika trädslag på flygbilder (Eine vorläufige Untersuchung über die Möglichkeiten der Unterscheidung von verschiedenen Baumarten auf Luftaufnahmen). Svenska Skogs.-Fören. Tidskr. **46**, 180—200.
- Bercaw, Thurman*, 1952. Aerial photographs, a practical tool in forestry. Society of American Foresters. Annual meeting, Biloxi, Miss., 1951.
- Chapman, V. J.*, 1947. The application of aerial photography to ecology as exemplified by the natural vegetation of Ceylon. Indian Forester **73**, 287—314.
- Gates, David M., and Tantraporn, Wirojana*, 1952. The reflectivity of deciduous trees and herbaceous plants in the infrared to 25 microns. Science **115**, 613—616.
- Haider, Arne*, 1952. Luftfotogrammetriens brukbarhet ved taksering og kartlegging av skog. Medd. Norske skogfor sdks. **33**, 41—67.
- Jensen, Herbert A., and Colwell, Robert N.*, 1949. Panchromatic versus infrared minus-blue aerial photography for forestry purposes in California. Photogram. Engineer. **15**, 201—223, abstracted in Jour. Forestry **47**, 740—741.
- Kommitteen för skoglig fotogrammetri (Komitee für forstliche Photogrammetrie), 1951. Flygbilden i skogsbrukets tjänst (Luftaufnahmen im Dienst der Forstwirtschaft). Stockholm. 196 pp.
- Losee, S. T. B.*, 1951. Photographic tone in forest interpretation. Photogramm. Engineer. **17**, 785—799.
- Mignery, Arnold L.*, 1951. Use of low-altitude continuous-strip aerial photography in forestry. US Dept. of Agr. Southern Forest Exp. Sta. Occ. Pap. **118**, 19 pp.
- Minor, Charles O.*, 1951. Stem-crown diameter relations in southern pine. Jour. Forestry **49**, 490—493.
- Moessner, Karl E., and Jensen, Chester E.*, 1951. Timber cruising on aerial photos. US Dept. Agr. Central States Forest Exp. Sta. Tech. Pap. **126**, 27 pp.
- Raup, Hugh M., and Denny, Charles S.*, 1950. Photo interpretation of the terrain along the southern part of the Alaska Highway. US Geol. Surv. Bull. **963-D**, 95—135.
- Robinson, J. M.*, 1948. Tri-camera winter photography cuts forest inventory costs. Jour. Forestry **46**, 643—645.
- Schulte, O. W.*, 1951. The use of panchromatic, infrared and color aerial photography in the study of plant distribution. Photogram. Engineer. **17**, 688—714.
- Seely, H. E.*, 1948. The forestry tri-camera method of air photography. Canada Dominion Forest Serv. Forest Air Surv. Leaflet **3**, 12 pp. Ebenso: Photogram. Engineer. **15**, 461—471.
- Spurr, Stephen H.*, 1947. Developments in aerial photography as related to forestry education. Proceedings, Society of American Foresters, 1947. 37—42.
- 1949. Films and filters for forest aerial photography. Photogram. Engineer. **15**, 473—481.
- Stanley, G. W.*, 1950. Use of aerial photos in management plans. Jour. Forestry **48**, 442—443.
- Stoeckeler, E. G.*, 1949. Identification and evaluation of Alaskan vegetation from airphotos with reference to soil, moisture and permafrost conditions. US Dept. of the Army, Corps of Engineers, St. Paul Dist. 103 pp.