

| | |
|---------------------|--|
| Zeitschrift: | Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse |
| Herausgeber: | Schweizerischer Forstverein |
| Band: | 134 (1983) |
| Heft: | 1 |
| Artikel: | Erfassung mitteleuropäischer Hauptbaumarten im Rahmen von Waldinventuren mit Hilfe kleinformatiger Luftaufnahmen |
| Autor: | Rhody, Bruno |
| DOI: | https://doi.org/10.5169/seals-767210 |

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: 05.01.2026

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

Erfassung mitteleuropäischer Hauptbaumarten im Rahmen von Waldinventuren mit Hilfe kleinformatiger Luftaufnahmen

Von *Bruno Rhody*

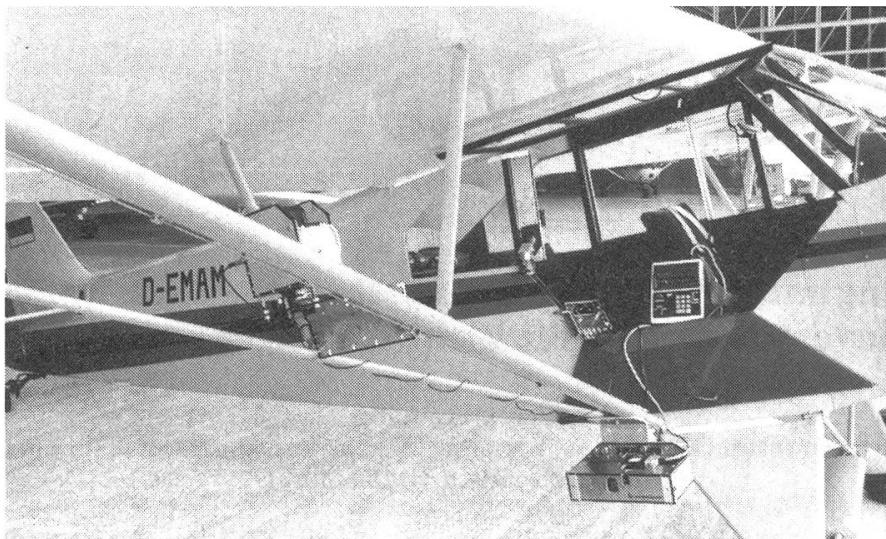
Oxf.: 587.5

(Aus dem Institut für Weltforstwirtschaft, Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Hamburg)

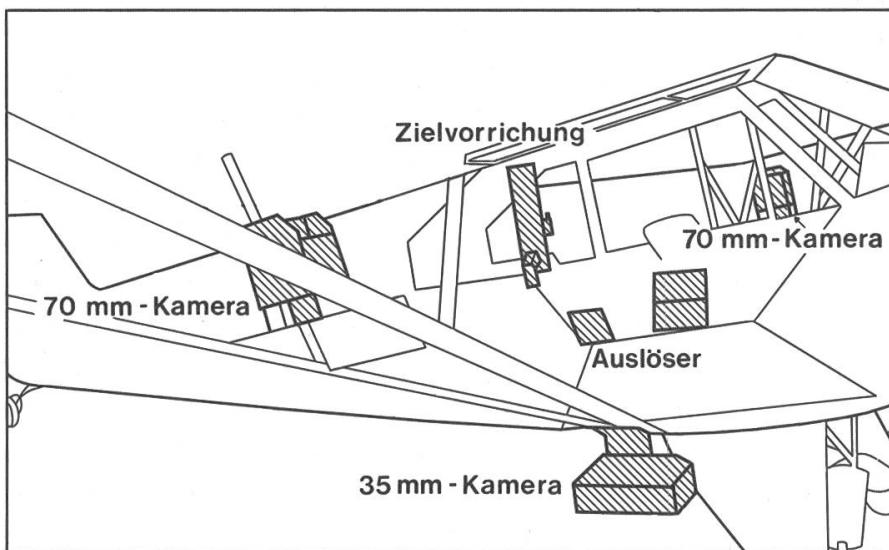
1. Einleitung

In Wirtschaftswäldern Mitteleuropas beeinflusst die Zusammensetzung der Baumarten in hohem Masse das Leistungsvermögen der Wälder. Dies ist wichtig für die zuwachs- und ertragskundliche Forschung, für die Holzmarktpolitik, für die Erstellung von Holzaufkommensprognosen sowie für die Infrastruktur und die Umweltwirkung des Waldes. Da die Erfassung der Baumartenzusammensetzung auch im Rahmen einer konventionellen Forsteinrichtung beziehungsweise Waldinventur recht aufwendig ist, erbrachten in neuester Zeit Satellitenbilder und herkömmliche Luftbilder eine Rationalisierung der Baumartenbestimmung. Durch die Interpretation kleiner Massstäbe können jedoch nur Laub- und Nadelwälder sowie grossflächig vorkommende Hauptbaumarten unterschieden werden. Eine Einzelbaumerfassung, wie sie zum Beispiel für eine Stichprobeninventur erforderlich wäre, kann durch diese überwiegend für topographische Zwecke aufgenommenen mittel- und kleinmassstäbigen Luftbilder nicht erreicht werden.

Eine Möglichkeit zur Einzelbauminterpretation besteht jedoch in der Anwendung der kleinformatigen Luftaufnahme aus geringer Flughöhe. Für die Aufnahme grossmassstäbiger Luftbilder haben sich leichte Luftfahrzeuge als Kameraplatzform für kleinformative Nicht-Messkameras bewährt. (*Rhody, 1978*). An möglichst vibrationsfreien Stellen werden hierbei robuste Aufnahmekameras, zum Beispiel Hasselblad EL 500, entweder als Einzelkamera oder als Doppelkammer mit fixer Basis montiert. *Abbildung 1a* zeigt die Montage von 3 Kameras an einem leichten Flächenflugzeug (Piper PA 18), *Abbildung 1b* an einem Helikopter (Hughes 300). Die optimale Basislänge (Abstand zwischen den beiden Kameraobjektiven) für die Interpretation von Baumarten beträgt 4 bis 6 m. Wenn Aufnahmen aus einer Flughöhe von 100 bis 150 m aufgenommen werden, ist nicht nur eine Stereointerpretation der Baumarten, sondern auch eine Messung von Einzelbaumdaten, zum Beispiel Kronendurchmesser und Baumhöhe, möglich.



Abbildungen 1a: Kameraausrüstung für kleinformatige Luftaufnahme mit zwei 70-mm-Kameras (für Bildmessungen) und einer 35-mm-Langfilmkamera (für Übersichtsaufnahmen bzw. Luftbildstreifen mit 60prozentiger Stereoüberdeckung). Die drei Kameras werden über ein aufladbares Batteriepack synchron über ein variierbares Intervallometer vom Cockpit automatisch ausgelöst. Montage an einer Piper PA 18. Vergleiche Bild und Sketch darunter.



Wichtig für die Waldaufnahme ist eine richtige Exposition, namentlich wenn es sich um einen hohen Nadelholzanteil der Bestände und somit um eine geringe Reflexion handelt. Zur Vermeidung von Bewegungsunschärfen sollte eine möglichst kurze Exposition erfolgen. Bei Kameras mit Schlitzverschluss ist die Bewegungsschärfe sehr gering, wenn der Schlitz entgegengesetzt zur Flugrichtung verläuft.

Erfahrungen bei der Aufnahme kleinformatiger Luftaufnahmen zeigen, dass Normal-Farbaufnahmen gegenüber Schwarzweiss-Aufnahmen bei der forstlichen Interpretation der Baumarten der Vorzug zu geben ist. Die farbige Abbildung von Naturobjekten entspricht dem natürlichen Empfinden des

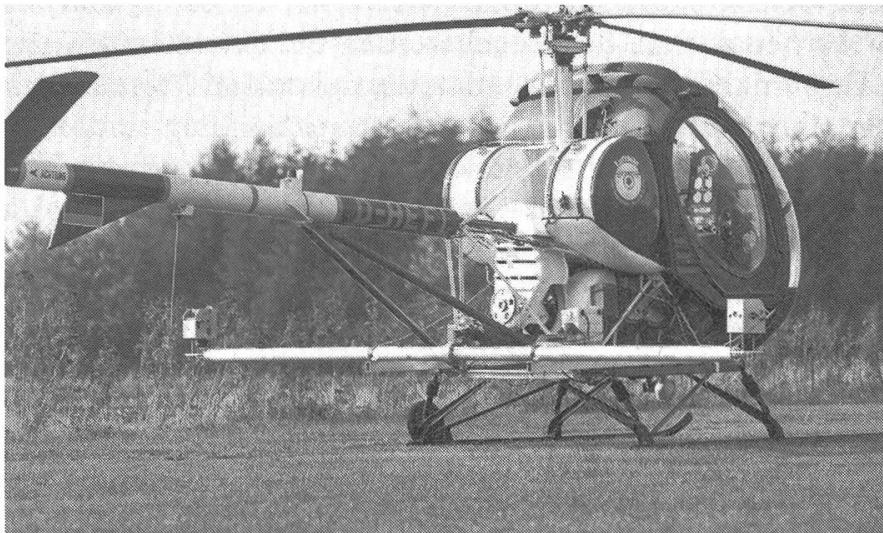


Abbildung 1b: Kameraausstattung wie auf Abbildung 1a; Montage an einem leichten Helikopter Hughes 300. (Die Langfilmkamera, teilweise verdeckt, befindet sich unterhalb der Helikopter-Batterie.)

menschlichen Auges besser als die Schwarzweiss-Photographie. Unterschiede zwischen der Vegetation und nicht natürlichen Objekten, zum Beispiel dem Mineralboden, sind besonders ausgeprägt. Von der Kostenseite ist ein geringer Mehraufwand bei der Aufnahme und Auswertung von Farbbildern – speziell Farbdiapositiven – gegenüber der Schwarzweiss-Aufnahme gerechtfertigt. Eine Voraussetzung für die Baumartenerkennung ist, dass die Farbaufnahme aus geringer Flughöhe (bis 250 m über Grund) erfolgt. Bei grösseren Objektentfernungen verschlechtert sich die Farbwiedergabe erheblich. Eine gute Farbwiedergabe und Farbdifferenzierung weisen Farbaufnahmen auf, die unmittelbar nach feuchten Wetterperioden aufgenommen werden, wobei auch leichte Dunstschleier nicht nachteilig wirken. Dies gilt auch für die kleinformatige Aufnahme von Infrarot-Farbdiapositiven, die unter diesen Aufnahmebedingungen eine besonders gute Ansprache des Vitalitätszustandes von Baumarten erlauben.

Besonders vorteilhaft sind Befliegungen unter einer leichten Hochbewölkung und diffuser Sonnenstrahlung, da die Schlagschatten dann wegfallen und eine Eindringen in tiefere Bestandesschichten möglich wird.

Wechseln zum Beispiel durch Sonne und Wolkenauftreten helle und dunkle Bilder, zum Beispiel bei der Aufnahme ohne Blendennachführung, oder werden von der Sonne beleuchtete und im Schatten stehende Bäume zu Vergleichszwecken – zum Beispiel Durchmesserbestimmung am Bodenschatten – gemessen, so spielt der Überstrahlungseffekt eine Rolle. Dabei werden helle Objekte auf dunklem Grund vergrössert abgebildet, das heisst es gibt positive beziehungsweise negative systematische Fehler der Bildmessung.

Farbfilme weisen heute eine hohe Qualität an Auflösung und Wiedergabe natürlicher Farben auf. In der Regel werden bei der kleinformatigen Luftaufnahme Farbumkehrfilme verwendet, die neben den Vorteilen für die qualitative Stereointerpretation auch äusserst strapazierfähig sind, zum Beispiel bei der Auswertung mit unterschiedlichen Geräten oder bei der Bezeichnung von Bestockungsmerkmalen mittels Tusche, die durch Alkohol leicht beseitigt werden kann.

Werden Stereoaufnahmen von einer Doppelkammer mit fixer Basis aufgenommen, so kann auch die eine Kamera mit einem Farbumkehrfilm und die andere Kamera mit einem panchromatischen Schwarzweiss-Film bestückt werden. In diesen Fällen kann der Vorteil der Farbfilme mit denen der Schwarzweiss-Filme einmal durch die Interpretation von zwei Spektralbereichen, zum anderen durch eine einfachere Vergrösserung auf Papiere verbunden werden. Für die Stereointerpretation müssen jedoch von den Schwarzweiss-Filmen Diapositive hergestellt werden, da Negative infolge der Umkehrung des Hell-Dunkel-Effektes für die forstliche Photointerpretation ungeeignet sind. Bei der Kopierung des Schwarzweiss-Filmes lassen sich gegebenenfalls aufgetretene Expositionsunterschiede im Bildpaar ausgleichen. In diesem Zusammenhang ist auf die Möglichkeit einer Expositionsanpassung um ein – zwei DIN-Grade beim Entwicklungsprozess der Filme hinzuweisen. Die ersten Aufnahmen des Filmes sollten für einen Entwicklungstest vorgesehen werden, der heute von allen Entwicklungsanstalten ausgeführt wird.

Zur Kostenfrage ist zu bemerken, dass der Preisunterschied zwischen kleinformatigen Farbdiapositiven und panchromatischen Schwarzweiss-Aufnahmen verhältnismässig gering ist und weniger ins Gewicht fällt, da die Flugaufnahme- und Auswertekosten gegenüber den Fotomaterialkosten überwiegen.

2. Methodik der Luftbildinterpretation

Bei der forstlichen Luftbildinterpretation können folgende drei Phasen unterschieden werden:

- a) Sehen und Wahrnehmen;
- b) Deuten und Erkennen;
- c) Vergleichen.

Beim Sehen und Wahrnehmen geht es darum, Unterschiede nach den photographischen Grundelementen wie Abstufung der Grautöne oder verschiedene Farbtöne, in Spezialfällen auch spektrale Bildänderungen und -wandlungen, im gesamten Bildbereich festzustellen. Hierbei empfiehlt es sich, vom Grossen ins Kleine zu interpretieren, d. h. zunächst grossflächige

Bilderscheinungen, in drei Komplexen, zum Beispiel Nadelbestände, Laubbestände und Mischbestände, auszuscheiden und sich dann in den meist umgrenzten Flächen den Details zuzuwenden.

Das Deuten bezieht sich vor allem auf unterschiedliche Strukturen und Texturen der im Bild auftretenden Baum- und Bestandesformen und führt schliesslich zum psychologischen Erkennen der Bildobjekte. Die Phase des Deutens und Erkennens entspricht bei der Interpretation grossmassstäbiger Luftbilder mehr der Wirklichkeit als bei der Interpretation mittlerer und kleinerer Bildmassstäbe, da der Interpretierende die Objekte bereits so sieht, wie das zum Beispiel bei der Betrachtung eines Baumes vom Boden aus einer gewissen Entfernung der Fall ist, nur dass es aus einer anderen Perspektive auf das Kronendach erfolgt.

Das Vergleichen der Interpretationsobjekte und -ergebnisse miteinander ist bei der forstlichen Photointerpretation besonders wichtig, da geringe Unterschiede im Alter, in der Höhe oder in der Stärke bei der gleichen Baumart eine Relevanz für die Erfassung der forstlichen Grunddaten besitzen. Das Vergleichen wird dann besonders erschwert, wenn Helligkeitsunterschiede im Bildbereich, zum Beispiel durch die Erscheinung des «hot spot» oder durch einen zentralen Lichtabfall zum Bildrand hin, auftreten.

Der Interpretierende muss hier über eine gute Vorbildung und über langjährige Erfahrungen in der Photointerpretation verfügen.

3. Technik der forstlichen Photointerpretation

Bei der forstlichen Bildauswertung empfiehlt sich eine Koordinierung von qualitativer Photointerpretation und photogrammetrischer Auswertung zur Erfassung forstlicher Grunddaten. Für die Interpretation kleinformatiger, grossmassstäbiger 35-mm- und 70-mm-Luftaufnahmen sind Taschenstereoskope mit Stereomikrometern und Brückenstereoskope geeignet. Von Bedeutung für die Stereointerpretation ist die Möglichkeit zur optischen Vergrösserung des Bildes. Eine besonders gute Interpretation ist gewährleistet, wenn wahlweise der gesamte Bildbereich und einzelne Bildobjekte im unmittelbaren Wechsel betrachtet werden können. Hierfür eignen sich Zoom-Stereoskope, die in unterschiedlichen Ausstattungen und Preislagen zur Verfügung stehen. In der Regel sind diese Geräte jedoch kompliziert in der Bedienung und vor allem sehr teuer. Es erhebt sich die Frage, ob einfache Taschen- und Brückenstereoskope nicht für die Betrachtung kleinformatiger Luftbilder mit einem Zoomvorsatz, wie er für die Fotografie und die Be trachtung mit Ferngläsern entwickelt wurde, ausgerüstet werden könnte. Vom Autor wurden Untersuchungen gemacht, handelsübliche Zoom-Feldstecher mit einem Stereoskop zu kombinieren. Hierbei müssen zwischen dem Stereoskop und dem Zoom-Feldstecher Linsen mit ent-

sprechenden Dioptrien-Werten zwischen dem Zoom-Feldstecher und dem Einblick in das Stereoskop angeordnet werden.

Eine Rationalisierung der Photointerpretation kann erreicht werden, wenn die unzerschnittenen 35-mm- und 70-mm-Filmrollen für die Stereointerpretation benutzt werden. Bei hoher Stereoüberdeckung kann es vorteilhaft sein, jedes zweite Folgebild als Stereobildpaar zu interpretieren oder sich zur Verstärkung der Höhendifferenzierung den Pseudoeffekt durch Austauschen der Bilder zunutze zu machen. Bei motorbetriebenen Kameras kann es aus Gründen der Funktionskontrolle erforderlich sein, die Kamera so anzurichten, dass bei der Flugaufnahme der Filmtransport entgegengesetzt zur Flugrichtung verläuft. Bei Betrachtung der unzerschnittenen Filmrollen können die Bilder beider Filme einander angepasst werden. Unzerschnittene Filme ergeben ferner Probleme bei der Stereobetrachtung, da die einzelnen Bilder nicht dem Augenabstand des jeweiligen Betrachters oder dem Instrumentenabstand des betreffenden Stereoskops durch Verschiebung zugeordnet werden können. Vom Autor wurde ein 6fach vergrößerndes Stereoskop entwickelt, das zwei verschiebbare und für jedes Bild einzeln schwenkbare Prismen enthält. Dadurch wird wahlweise ein normales

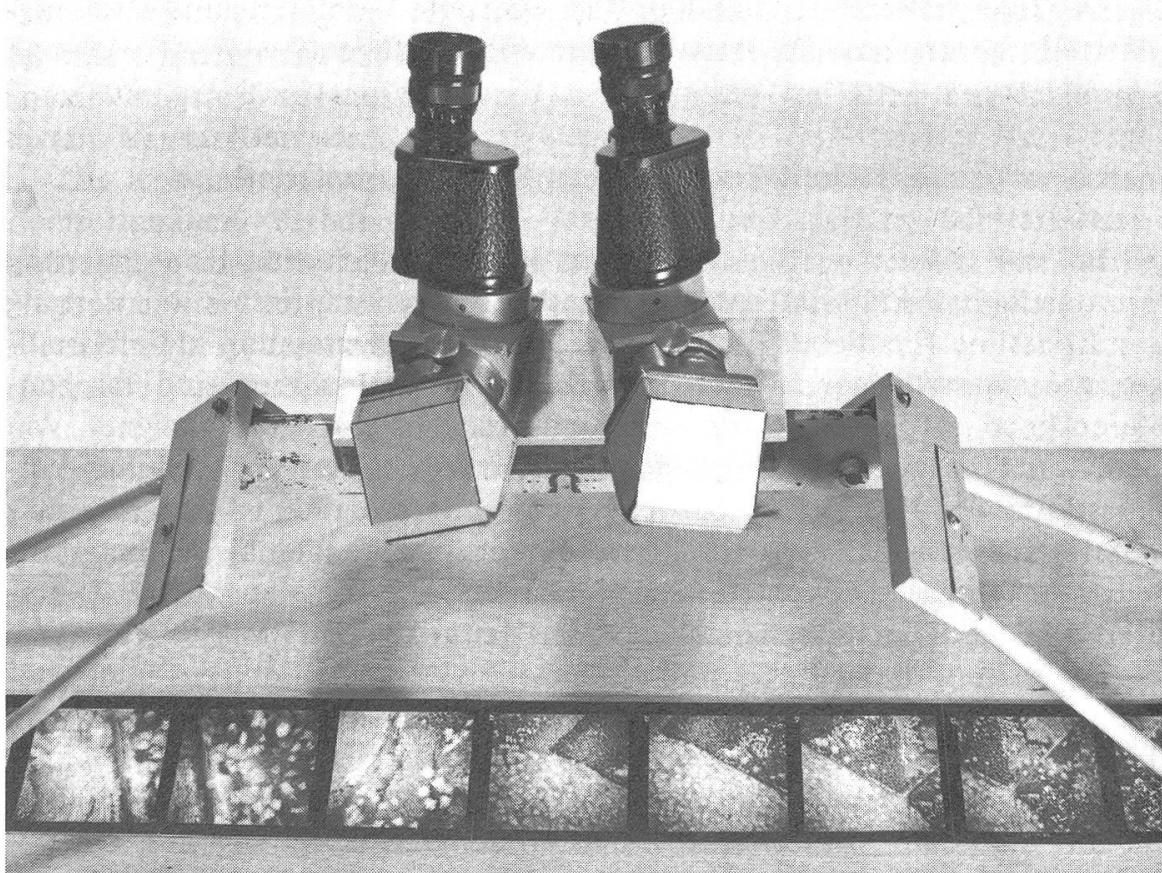


Abbildung 2: Variables Stereoskop mit schwenkbaren Prismen zur Betrachtung unzerschnittenen 35-mm- und 70-mm-Filme mit der Möglichkeit des optischen Bildaustausches im Stereo-paar.

Stereobild oder durch optisches Auswechseln der Bilder ein Pseudobild erzeugt. Dieses variable Stereoskop, das auch mit einem Zoomvorsatz ausgerüstet werden könnte, zeigt *Abbildung 2*.

Für eine gute Stereointerpretation zur Erhebung qualitativer Informationen bzw. eine Messinterpretation zur Erfassung quantitativer Daten ist die Orientierung der beiden Bilder nach sogenannten Kernstrahlen von Bedeutung. Die Orientierung geschieht in der Weise, dass die Bildhauptpunkte durch Verbinden der Bildecken im Stereobildpaar auf beiden Bildern bestimmt werden. Die Flugrichtung und Basislänge ergeben sich durch Übertragen des linken Bildhauptpunktes auf das rechte Bild und umgekehrt. In der Praxis dient dazu ein transparenter Massstab, der über beiden Bildern des Stereobildpaars unter dem Stereoskop angeordnet wird, so dass die beiden Bildhauptpunkte sowie die übertragenen Punkte auf einer Linie liegen und der Abstand zwischen den beiden Bildern dem Zentralabstand des Stereoskops oder der Augenbasis des Betrachters entspricht.

4. Interpretationsbeispiele für die mitteleuropäischen Hauptbaumarten

Es ist schwer, allgemein gültige Kriterien für die Interpretation der mitteleuropäischen Hauptbaumarten auf grossmassstäbigen Luftbildern oder gar allgemein gültige Interpretationsschlüssel festzulegen. Je nach Alter, Ertragsklasse, wirtschaftlicher Behandlung und Standort sowie Aufnahmematerial und Jahreszeit variieren die Baumarten in ihrer Erscheinung.

Für die grossmassstäbige Abbildung der Baumarten auf Farbdiapositiven sollen hier gemeinhin brauchbare Kriterien der Baumartenkennung mit kurzen Formulierungen wiedergegeben werden. Dies wird sicher dazu beitragen, Anfangsfehler zu vermeiden. In jedem Fall ist es besonders wichtig, dass der Auswerter forstlicher Luftbilder die Interpretationstechnik und Methode der Baumarteninterpretation beherrscht und forstliche Fachkenntnisse besitzt.

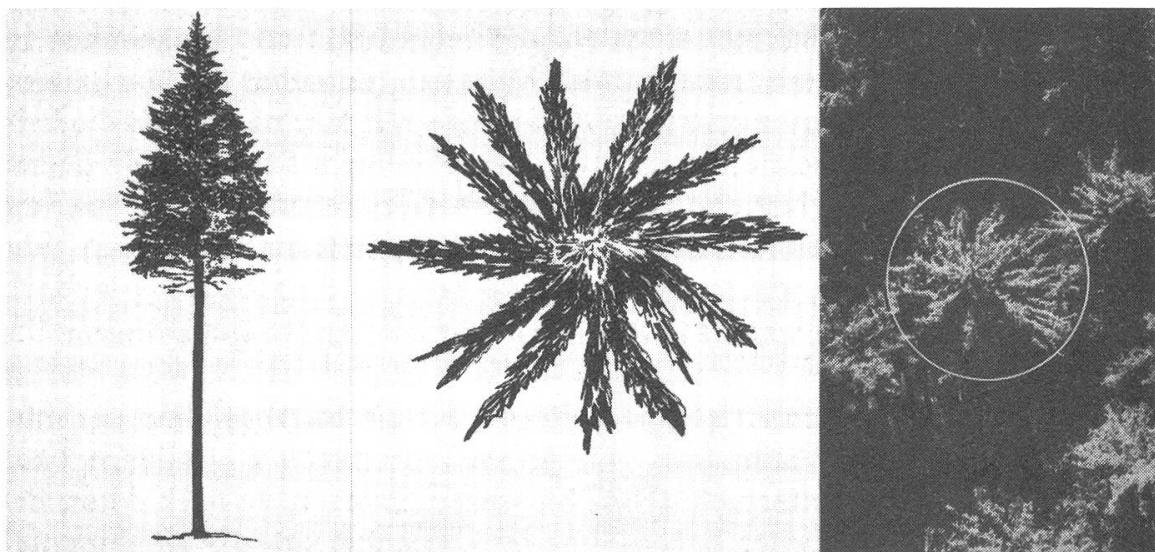
Die nachfolgenden Interpretationsbeispiele beziehen sich auf Flugaufnahmen im Frühjahr und nach Laubabfall, da mit einer Photointerpretation stets eine quantitative Erfassung der forstlichen Grunddaten verbunden werden sollte. Für die Photointerpretation wurden Original-Diapositive auf 70-mm-Ektachrome-Film verwendet, die durch zwei im fixen Abstand angeordnete Hasselblad-Kameras 500 EL mit zwei Planar-Objektiven $F = 80$ mm vom leichten Helikopter aus 100 m Flughöhe über Grund aufgenommen wurden. Die Auflösung betrug etwa 55 Linien pro Millimeter.

Die Illustration der nachfolgenden Baumartenbeschreibungen geschieht durch Schwarzweiss-Stereobildpaare, die photographisch aus den Original-Farbdiapositiven hergestellt wurden. Aus Kostengründen musste auf den weit höheren Informationsgehalt farbiger Bilder, die benutzt wurden, verzichtet werden.

1. Fichte, *Picea abies* Karst.

Kronenform:

Ein typisches Merkmal der Schatten ertragenden Nadelholzbaumarten ist die Sternform der Krone. Die Fichte soll hier vorangestellt werden, da ihre sternförmige Krone besonders symmetrisch auf den Luftbildern erscheint. Die Krone ist im oberen Teil paraboloid- und im mittleren bis unteren Bereich neiloidförmig ausgebildet (vergleiche hierzu *Abbildungen 3 a–c*).



Abbildungen 3: Fichte, *Picea abies* Karst.

3a: Gesamtansicht

3b: Kronenform

3c: Luftaufnahme

Die Fichte ist auch an dem dunklen Grün der Krone bei der Interpretation leicht zu erkennen, da der Farbton, insbesondere auf grossmassstäbigen Luftbildern, weitgehend dem vom Boden aus wahrgenommenen Farbspektrum entspricht. Je nach Alter der Bäume geht das Dunkelgrün in gelbliche und gelblich-braune Töne über. Durch Sonnenbestrahlung treten unterschiedlich helle und dunkle Varianten des Fichtengrüns auf.

Astform:

Während die Hauptäste im oberen Kronenbereich spitzwinklig angeordnet sind, verflacht dieser Winkel im Mittelteil, bis schliesslich die Äste im unteren Kronenbereich mehr oder weniger herunterhängen. Bei den grossen Bildmassstäben ist die Rundbenadelung der Astenden und die spitzwinklige Stellung der Fein- und Nebenäste um die Astachsen herum gut erkennbar.

Schaftform:

Bei sichtbaren Stämmen fällt die vorwiegend gerade Schaftform und walzenförmige Ausbildung auf.

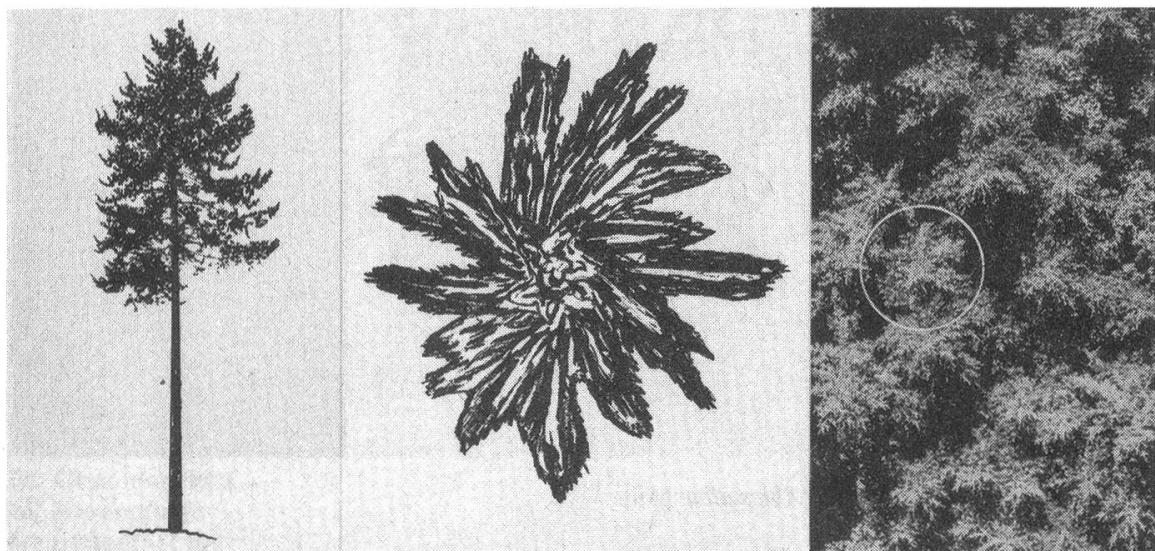
Rinde:

Freie Stammpartien zeigen sich bei guter Beleuchtung graubraun. Ehemalige Aststellen erscheinen als dunkle Tupfen auf Rindenstellen.

2. Douglasie, *Pseudotsuga menziesii* Franco

Kronenform:

Die Sternform ähnelt der Fichte, die Äste sind jedoch weniger gleichmäßig angeordnet, weiträumiger und flacher gestellt. Die paraboloidförmige Lichtkrone erscheint weniger spitz im oberen Bereich (vergleiche hierzu Abbildungen 4 a–c).



Abbildungen 4: Douglasie, *Pseudotsuga menziesii* Franco

4a: Gesamtansicht

4b: Kronenform

4c: Luftaufnahme

Kronenfarbe:

Die Kronenfarbe ist dunkelgrün bis blaugrün, wobei Unregelmäßigkeiten in der Helligkeit auftreten. Diese Farbunregelmäßigkeiten sind bei jüngeren Douglasien besonders ausgeprägt. Bei verschiedenen Aufnahmewinkeln zum Interpretationsobjekt und vermutlich auch bei Windeinwirkungen erscheinen die Kronen und Kronenteile in einem grün- bzw. blausilbrigen Farnton.

Astform:

Die Astform unterscheidet sich gegenüber der Fichte durch etwas steilere Anstellwinkel im oberen Kronenteil. Die Krümmung der Astachsen ist etwas ausgeprägter als bei der Fichte, lässt sich jedoch infolge der breiteren Astausladung weniger gut feststellen.

Stammform:

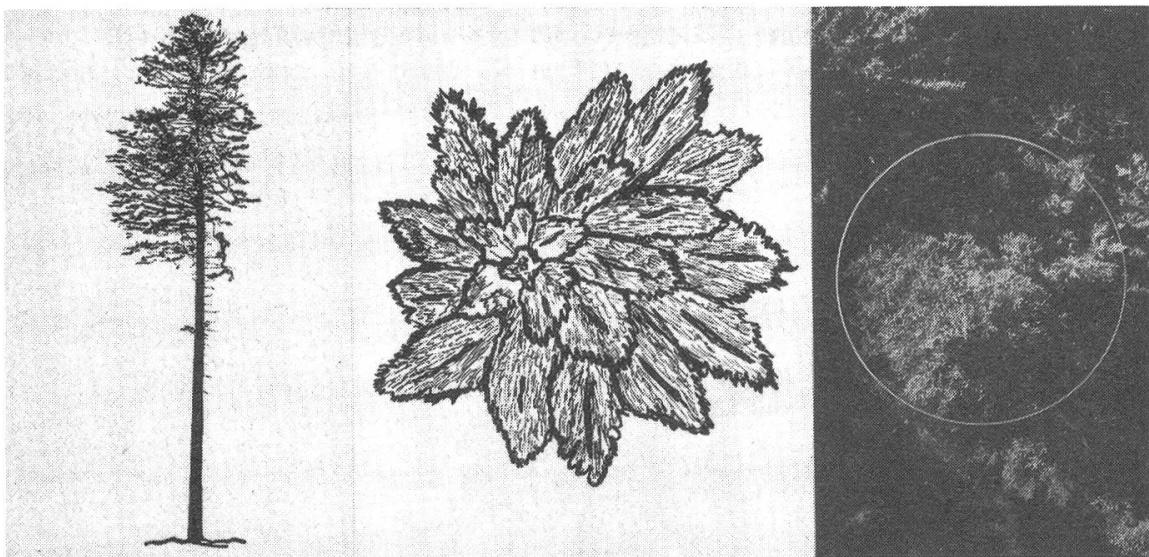
Geringer Unterschied zur Fichte. Infolge der oben genannten Kronenkriterien sind Stämme seltener sichtbar als bei der Fichte.

3. Weisstanne, *Abies alba* Mill.

Kronenform:

Die auch bei der Tanne gut erkennbare Sternform ist namentlich bei älteren Bäumen verwischt. Bei Kronen starker Stämme ist die typische «Storchenhennestform»

auch auf dem Luftbild durch eine Ballung von Ästen zu erkennen. Der obere Bereich der Lichtkrone weist eine mehr oder weniger regelmässige Kegelform auf, die jedoch flacher als bei der Fichte ist (vergleiche Abbildungen 5 a – c).



Abbildungen 5: Weisstanne, *Abies alba* Mill.

5a: Gesamtansicht

5b: Kronenform

5c: Luftaufnahme

Kronenfarbe:

Beim Vergleich mit der Fichte weist die Tanne immer einen dunkleren Grünton auf. Wie bei der Douglasie können die Tannenkronen auch bedingt durch die Nadelstellung und oft vorkommende Flechten eine silbrige Strahlung zeigen.

Astform:

Die Äste sind im oberen Bereich der Krone ansteigend und spitz zulaufend. Astquirle lassen sich gut erkennen. In mittleren Kronenpartien sind die Anstellwinkel der Hauptäste fast horizontal. Durch fächerartige Anordnung der Nebenäste erscheinen die Hauptäste und Quirle etagenartig übereinander.

Stammform:

Durch den grösseren Massstab im oberen Stammbereich fallen Tannenstämmme, sofern sie sichtbar werden, durch ihre Walzenform auf.

Rinde:

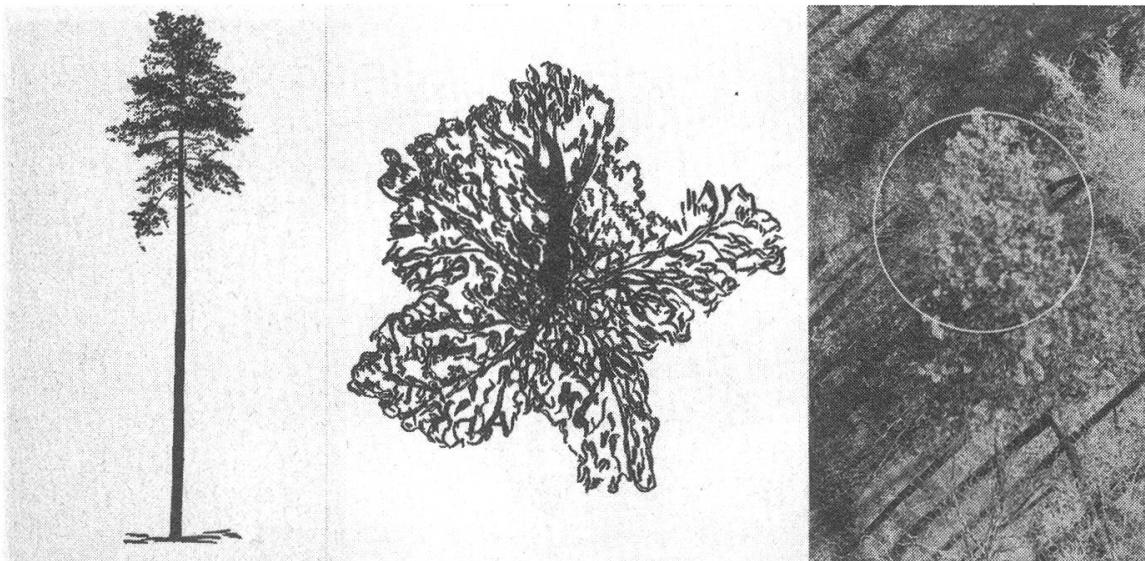
Bei älteren Bäumen ist die hellgraue Tönung und glatte Oberfläche bei Tannen gut erkennbar. Bei Beleuchtung sehen sie graugrün getönt und im Schatten schwarz-grau aus.

4. Kiefer, *Pinus silvestris* L.

Kronenform:

Bei jungen und mittelalten Kronen zeigen sich faustartige Erscheinungen am äusseren Bereich der Lichtkrone. Mit zunehmendem Alter und Lichtstand ergibt sich eine Auflösung in Einzelkronenteile und Kronenballen. Die Paraboloidform der

Krone ist weniger stark ausgeprägt und im mittleren Alter zeigt sich der obere Kronenteil als stumpfer Kegel. Zur Interpretation der Kiefer vergleiche Abbildungen 6 a – c.



Abbildungen 6: Kiefer, *Pinus sylvestris* L.

- 6a: Gesamtansicht
- 6b: Kronenform
- 6c: Luftaufnahme

Kronenfarbe:

Die Krone erscheint auf dem Farbbild hell pastellgrün. Leicht beschattete Teile wirken türkisgrün. Innere Kronenpartien älterer Kiefern erhalten durch das Hindurchscheinen der tiefergelegenen Äste eine typische rotbraune Tönung.

Astform:

Die Äste der Kiefer weisen eine unregelmäßige Länge, Dicke und Anstellrichtung auf. Bei lockeren Kronen können die tiefer gelegenen Äste eingesehen werden. Erkennbar ist die Tendenz der Äste, in offene Kronenbereiche hineinzuwachsen. Ein typisches Kennzeichen ist die wollig erscheinende Benadelung der Feinäste und eine pinselartige Endverzweigung.

Stammform:

Sichtbare Stämme erscheinen im unteren Bereich regelmässig und weisen zum Kronenansatz hin leichte Biegungen auf, die bei vertikal und leichten Schrägaufnahmen auch im Luftbild gut erkennbar sind.

Rinde:

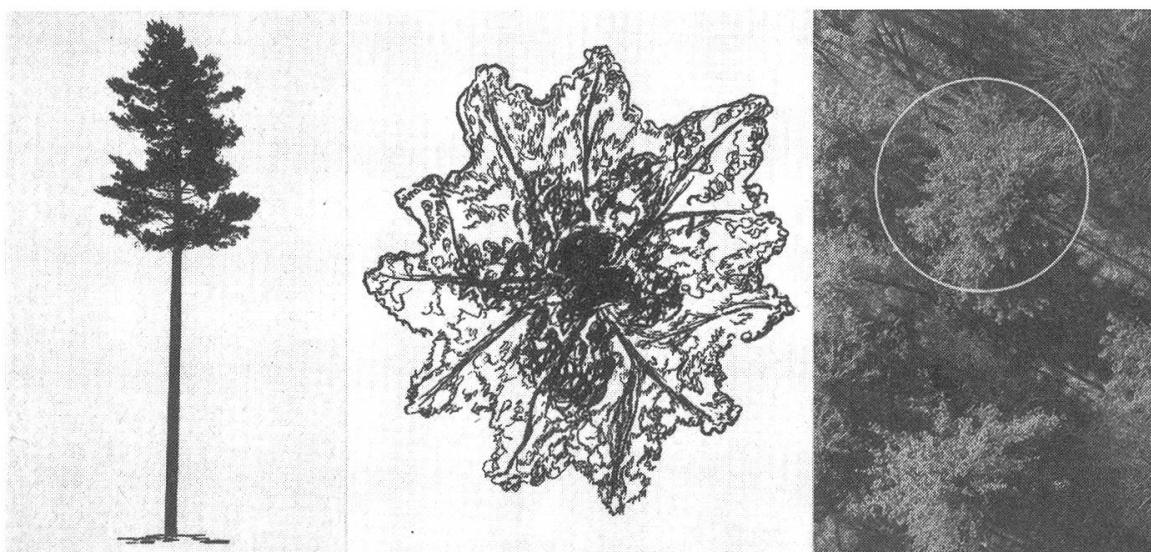
Rötlich bis hellbraun im oberen Bereich, nach unten dunkler werdend.

5. Weymouthskiefer bzw. Strobe, *Pinus strobus* L.

Kronenform:

Bei mittelalten und älteren Kronen bildet sich eine Grosstropfenform, die nach oben spitz ausläuft. Die Krone weist eine grössere Symmetrie als bei der Kiefer auf.

In Beständen hat die Krone eine Paraboloid- bis Kegelform im oberen Bereich (vergleiche Abbildungen 7 a – c).



Abbildungen 7: Weymouthskiefer bzw. Strobe, *Pinus strobus* L.

7a: Gesamtansicht

7b: Kronenform

7c: Luftaufnahme

Kronenfarbe:

Die Krone erscheint pastellgrün, jedoch immer dunkler als bei der Kiefer. Von der Sonne beleuchtete Kronenteile zeigen infolge der Feinverzweigung, ähnlich der Lärche, eine silbrige Strahlung. Das Pastellgrün wird dann etwas abgeschwächt.

Astform:

Typisch ist eine wollige und gegenüber der Kiefer dichtere Benadelung. Auffallend ist auch eine filigranartige Verzweigung der Feinäste. Schlanke Astenden ragen hervor und füllen Freiräume der Krone aus. Obere Astquirle sind gut sichtbar. Im Mittelbereich stehen die Äste horizontal vom Stamm ab.

Stammform:

Bei lockeren Kronen ist die meist gerade Stammform erkennbar. Im Alter tritt nach oben Abholzigkeit auf.

Rinde:

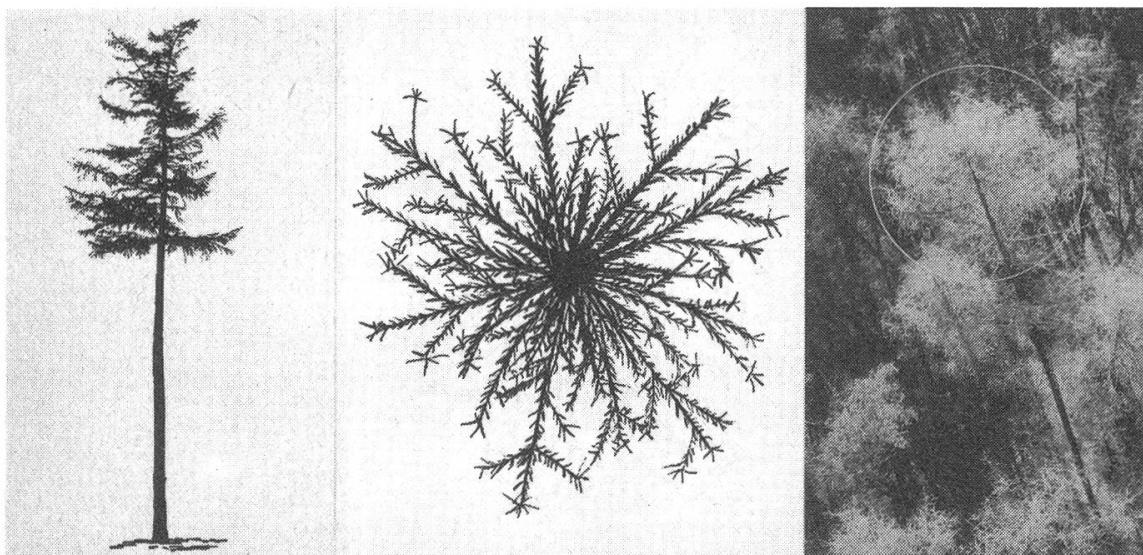
Hell- bis dunkelgrün, wobei die Helligkeit vom oberen zum unteren Stammteil unterschiedlich wechselt und allgemein abnimmt.

6. Lärche, *Larix decidua* Mill.

Kronenform:

Bei jüngeren bis mittelalten Kronen ergibt sich eine typische Eiform der Gesamtkrone. Bei älteren Lärchenkronen ist der obere Bereich stumpf-kegelförmig. Im

Bestandesaufbau ist die Lärchenkrone paraboloid- bis kegelförmig (vergleiche Abbildungen 8 a–c).



Abbildungen 8: Lärche, *Larix decidua* Mill.

- 8a: Gesamtansicht
- 8b: Kronenform
- 8c: Luftaufnahme

Kronenfarbe:

Im unbelaubten Zustand erscheinen die Kronen hellgraubraun und in der Zeit unmittelbar vor Laubausbruch gelblichgrün. Die belaubte Lärchenkrone fällt gegenüber den anderen Nadelbaumarten durch ein helles, oft strahlendes Grün auf. Bei Sonneninstrahlung ergibt sich ein silbriger Schimmer, insbesondere bei der unbelaubten, aber auch bei der belaubten Lärchenkrone.

Astform:

Der Astwinkel wird vom oberen Kronenbereich zum unteren hin flacher, und die Hauptachsen der Äste sind weniger gerundet. Ein typisches Merkmal sind die oft lang herunterhängenden mehr oder weniger geschwungenen Äste im unteren Kronenbereich.

Stammform:

Es befinden sich fast immer einzelne leicht gekrümmte Stämme – insbesondere im unteren Bereich – die teilweise in Säbelwuchs ausarten, unter einer Anzahl sichtbarer Lärchenstämme.

Rinde:

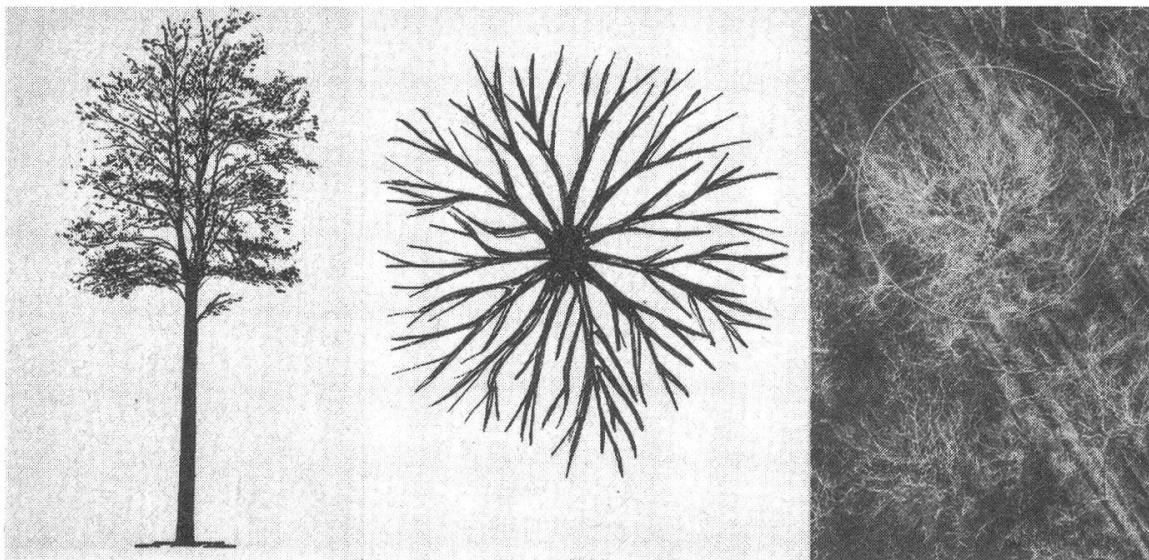
Silbrig-hell im Mittelteil in einen Grauton übergehend, der nach unten bräunlich und dunkel wird.

7. Buche, *Fagus silvatica* L.

Kronenform:

Mittelalte und alte Kronen haben eine ovale bis runde Form, die sich im Alter in Grossballen auflöst. Im laubfreien Zustand sind die durch Zwiesel verursachten Kronenteile gut erkennbar. Typisch sind die spitzwinklig angesetzten Hauptäste im

oberen Kronenbereich, wobei auch die Nebenäste diese Spitzwinkligkeit aufweisen (vergleiche Abbildungen 9 a – c).



Abbildungen 9: Buche, *Fagus sylvatica* L.

9a: Gesamtansicht

9b: Kronenform

9c: Luftaufnahme

Kronenfarbe:

Je nach Alter und Jahreszeit erscheint die Buchenkrone pastellgrün mit einer Gelb- und leichten Brauntönung. Im laublosen Zustand ist eine violette Tönung der hellgrauen Buchenkrone – insbesondere bei beginnendem Saftfluss – typisch (Unterscheidungsmerkmal zur Hainbuche).

Astform:

Schlanke, im spitzen Winkel hochstrebende Äste, die sich nach oben verengen. Die Feinheit der Endverzweigung nimmt zur Kronenperipherie hin zu. Die äussersten Verästelungen wirken fingerartig und erwecken einen schleierartigen Eindruck.

Stammform:

Im unteren Bereich, sofern sichtbar, gerade und walzenförmig. Im mittleren oberen Bereich ist oft eine Einschnürigkeit erkennbar. Im oberen Bereich erfolgt oft eine Aufteilung des Stammes, zum Beispiel in Zwiesel.

Rinde:

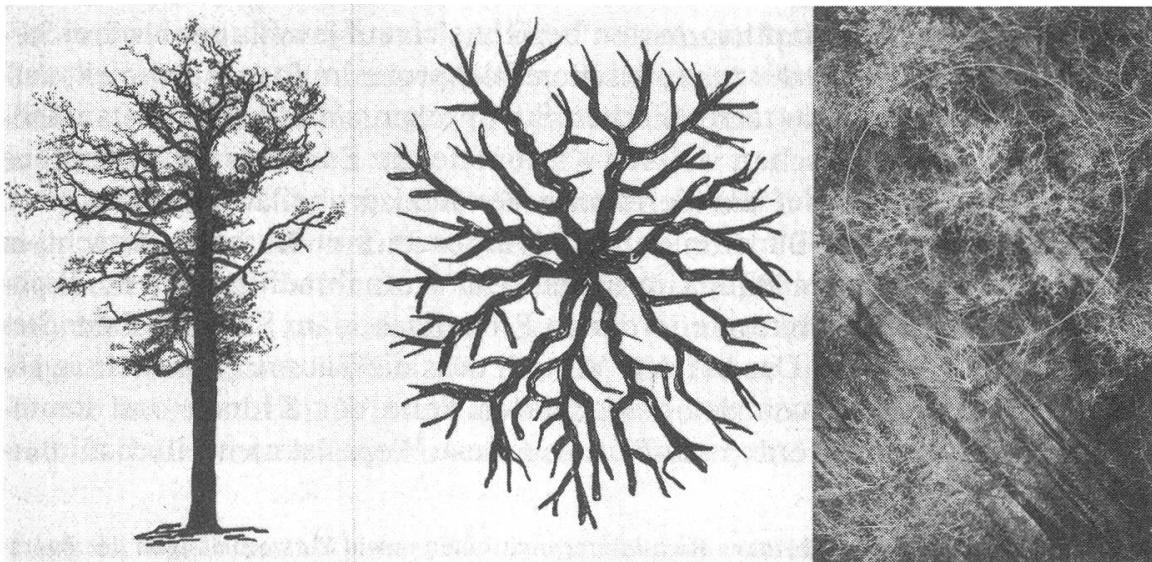
Hellgrau mit dunklen Tupfen, wobei oft Chinesenbärte erkennbar sind. Die unteren Stammteile sehen moosfarbig wechselnd hell aus.

8. Eiche, *Quercus robur* L. und *petraea* Liebl.

Kronenform:

Für die Eichenkrone ist die unregelmässige Textur der Hauptäste typisch. Der Stamm löst sich im Vergleich mit anderen Laubbäumen sehr rasch in einzelne ge-

knickte Hauptäste im Kronenraum auf. Unbelaubt ist ein guter Einblick in die meist lockere Kronenstruktur möglich (vergleiche Abbildungen 10 a – c).



Abbildungen 10: Eiche, *Quercus robur* L. und *petraea* Lieb.

10a: Gesamtansicht

10b: Kronenform

10c: Luftaufnahme

Kronenfarbe:

Die belaubte Krone weist einen satten, dunklen, ins Blau gehenden Grünton auf. Dadurch ist die Eiche sowohl auf panchromatischen Schwarzweiss- als auch auf Farbfilmen besonders gut erkennbar. Im nichtbelaubten Zustand sind die Eichenkronen hellgrau, bei Beleuchtung in eine silbrige Tönung übergehend.

Astform:

Die Äste sind kürzer und unregelmässiger als bei anderen Laubbäumen. Starkäste verlaufen in stumpfen Astwinkeln und stehen meist horizontal vom Stamm ab. Im äusseren Kronenbereich verbreitern sich die Äste in gewissem Masse. Die Feinverzweigung wirkt geflechtartig, wobei die Zweige auch platzsuchend auseinanderstreben. Im oberen Schaftbereich sind sogenannte Klebeäste erkennbar.

Stammform:

Nur im unteren Bereich gerade und vollholzig, dann oft krummer bis knickartiger Stammverlauf zum Kronenansatz hin.

Rinde:

Die grobe Oberflächenstruktur wird, sofern erkennbar, von dunklen Wulsten unterbrochen. Im Winterzustand sieht man eine leicht grünliche Tönung am Stamm und starken Ästen. Die Feinäste erscheinen hellgrau mit silbriger Tönung.

5. Ergebnisse der Baumarteninterpretation

Bei dem untersuchten Interpretationsobjekt handelt es sich um vorwiegend mittelalte Mischbestockungen, die hinsichtlich der Baumartenzusammensetzung mitteleuropäischen Waldverhältnissen entsprechen.

Die Ergebnisse der Baumarteninterpretation beruhen auf der Auswertung kleinformatiger Luftaufnahmen von mitteleuropäischen Inventurprojekten mit photogrammetrischen und terrestrischen Stichproben. Die Photointerpretation der Hauptbaumarten bezieht sich auf jeweils ein bis drei Stereobildpaare, die von jeder terrestrischen Stichprobe im Inventurprojekt aufgenommen werden. Die terrestrischen Stichproben sind für die Luftaufnahme mit einer quadratischen weissen Kartontafel im Zentrum der Stichprobe und zwei Dreiecken auf der Peripherie der Kreisprobeflächen signalisiert. Zur Übersicht werden Bildstreifen mittels einer 35-mm-Kamera gemacht, in deren Mitte die 70-mm-Bildpaare liegen. Der Aufnahmeflug wird so disponiert, dass sich die zu interpretierenden Probeflächen im Südostteil der Stereobildpaare befinden. Das hat den Vorteil, dass die Bäume etwas schräg abgebildet werden und von der beleuchteten Seite der Kronen und Baumstämme interpretiert werden können. Auf diese Weise ist nicht nur die Inter-

Tabelle 1. Matrix der Falsch- bzw. Richtiginterpretationen sowie Verwechslungen der Baumarten für Bäume des Hauptbestandes bis zwei Drittel der Oberhöhe.

| | auf dem Luftbild interpretiert | | | | | | | | Ergebnis | |
|-------------------------|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|----------|----------|---------|
| | Bu | Ei | a. Lb. | Fi | Ta | Ki(Fö) | Lä | a. Nd. | falsch | richtig |
| terrestrische Kontrolle | Bu (40 %) | 94 91 | 4 7 | 2 11 | | | | | 6 % | 94 % |
| | Ei (10 %) | 3 2 | 93 64 | 4 6 | | | | | 7 % | 93 % |
| | a. Lb. (15 %) | 16 7 | 30 29 | 54 83 | | | | | 46 % | 54 % |
| | Fi (10 %) | | | | 95 89 | 5 2 | | | 5 % | 95 % |
| | Ta (5 %) | | | | 18 11 | 82 98 | | | 18 % | 82 % |
| | Ki(Fö) (10 %) | | | | | 96 95 | | 4 10 | 4 % | 96 % |
| | Lä (5 %) | | | | | | 100 100 | | — % | 100 % |
| | a. Nd. (5 %) | | | | | 20 5 | | 80 90 | 20 % | 80 % |
| | Total (100 %) | 100 % | 100 % | 100 % | 100 % | 100 % | 100 % | 100 % | 13 % | 87 % |

Die Zahlen innerhalb der Tabelle sind ebenfalls Angaben in Prozent.

pretation der Lichtkrone, sondern auch eine Ansprache der Hauptäste im Kroneninnern sowie des Stammes und der Rinde möglich.

Tabelle 1 zeigt die Matrix der Falsch- bzw. Richtiginterpretationen sowie Verwechslungen der Baumarten. Die Prozente in den Kolonnen ergeben die Falsch- bzw. Richtiginterpretationen für die einzelnen Baumarten. Aus den Zeilen gehen Verwechslungen mit anderen Baumarten hervor, die wiederum in Prozenten angegeben sind.

Auffallend ist, dass die Eiche besonders oft (86 %) mit anderen Laubbäumen verwechselt wird. Dies ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass die Eiche als Lichtbaumart in Gemeinschaft mit Schattenbaumarten eine relativ kleine Krone ausbildet und somit schwerer zu interpretieren ist. Die geringste Fehlerquote weisen die Lärche, die Tanne und die Fichte auf. Die Lärche ist sowohl im Winter- als auch im Sommerspekt durch ihre Form- und Farbdifferenzierung zu erkennen. Tanne und Fichte zeichnen sich

Tabelle 2. Matrix der Falsch- bzw. Richtiginterpretationen sowie Verwechslungen der Baumarten für Probebäume mit Höhen- und Durchmesserermittlung zur Vorratserfassung.

| | auf dem Luftbild interpretiert | | | | | | | | Ergebnis | |
|-------------------------|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|--------|----------|---------|
| | Bu | Ei | a. Lb. | Fi | Ta | Ki(Fö) | Lä | a. Nd. | falsch | richtig |
| terrestrische Kontrolle | Bu (30 %) | 94 95 | 4 5 | 2 12 | | | | | 6 % | 94 % |
| | Ei (20 %) | 2 2 | 95 86 | 3 7 | | | | | 5 % | 95 % |
| | a. Lb. (10 %) | 10 3 | 20 9 | 70 81 | | | | | 30 % | 70 % |
| | Fi (10 %) | | | | 97 97 | 2 4 | | 1 2 | 3 % | 97 % |
| | Ta (5 %) | | | | 2 1 | 98 95 | | | 2 % | 98 % |
| | Ki(Fö) (10 %) | | | | | 95 99 | | 5 9 | 5 % | 95 % |
| | Lä (10 %) | | | | | | 100 100 | | — % | 100 % |
| | a. Nd. (5 %) | | | | 2 1 | 2 1 | 1 1 | | 95 89 | 95 % |
| Total (100 %) | | 100 % | 100 % | 100 % | 100 % | 100 % | 100 % | 100 % | 7 % | 93 % |

Die Zahlen innerhalb der Tabelle sind ebenfalls Angaben in Prozent.

durch die Sternform aus. Die genaue Unterscheidung von Fichte und Tanne ist ausschliesslich mit grossmassstäbigen Luftbildern möglich, wenn die Feinaststruktur noch wahrnehmbar ist. Der Gesamtfehler mit 13 % gegenüber 87 % Richtiginterpretationen ist bei der Aufnahme grossmassstäbiger Luftbilder mit einer Stereokamera gut möglich.

Tabelle 2 enthält die Interpretationen von Bäumen, an denen auch Grunddaten für die Vorratserfassung bestimmt sind. Bei der gleichen Tendenz wie in *Tabelle 1* ergibt sich ein besseres Gesamtergebnis mit 7 % Fehlinterpretationen und 93 % Treffer. Die höchsten Quoten der Fehlinterpretation sind sowohl bei der Interpretation qualitativer Merkmale mit 46% Fehlinterpretationen als auch bei der Einzelbaummessung mit 30 % Fehlinterpretationen beim anderen Laubholz zu finden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass es sich beim anderen Laubholz vorwiegend um den Nebenbestand handelt. Betrachtet man die Verwechslungen, so wird die Buche (ausgenommen andere Laubhölzer) am meisten und die Lärche und Tanne am wenigsten verwechselt.

6. Interpretation des qualitativen Zustandes der Hauptbaumarten

Tabelle 3 stellt Qualitätsmerkmale an Einzelbäumen dar, die auf einer Stereointerpretation des oben erwähnten Inventurprojektes beruhen. Hierbei lassen sich die Stammform, die Krümmung, die Astigkeit, der Schiefstand und abnorme Wurzelanläufe sowie Stammoberflächen ansprechen.

Als Kriterium der qualitativen Ansprache der Stammform dient die mehr oder weniger ausgebildete Krümmung, wobei beim topographischen Einblick in den Bestand das Verhältnis der Biegung zum Stammdurchmesser geschätzt werden kann. Bei der Stereointerpretation lässt sich eine Krümmung erkennen, wenn die Biegung rund ein Drittel des Stammdurchmessers erreicht. Eine starke Krümmung liegt vor, wenn die gesamte Baumbiegung den doppelten Stammdurchmesser überschreitet.

Der Schiefstand lässt sich durch Vergleich mit anderen vertikal stehenden Bäumen sehr differenziert beurteilen, wobei das Auge sehr kleine Abweichungen von der Vertikalstellung wahrnimmt. Ein Hilfsmittel bei der Feststellung und quantitativen Bestimmung des Schiefstandes ist ein Stereo-mikrometer. Hierbei wird die schwebende Marke auf den Baumgipfel gesetzt und dann zum Boden geführt. Abnorme Wurzelanläufe lassen sich erst bei einer grösseren Verdickung des Stammfusses oder bei ausgeprägten Wurzelanläufen erkennen. Bei der Beurteilung ist der untere Stammdurchmesser in etwa der forstlichen Brusthöhe ein Kriterium für die quantitative Beurteilung.

Tabelle 3. Stereointerpretation qualitativer Merkmale an luftsichtbaren Einzelbäumen auf grossmassstäbigen Luftbildern.

| | | |
|----------------------|--|-------|
| <i>Stammform:</i> | normal geformt | 25 % |
| | leichte Krümmung bzw. Verformung | 46 % |
| | starke Krümmung bzw. Verformung | 29 % |
| | | 100 % |
| <i>Schiefstand:</i> | keine Neigung | 42 % |
| | Neigung wahrnehmbar | 48 % |
| | starke Neigung | 10 % |
| | | 100 % |
| <i>Astigkeit:</i> | gering astig bzw. Kronenansatz in etwa $\frac{3}{4}$ der Baumhöhe | 36 % |
| | mittlere Astigkeit bzw. Kronenansatz in etwa $\frac{1}{2}$ der Baumhöhe | 41 % |
| | grobastig bzw. Kronenansatz in etwa $\frac{1}{3}$ der Baumhöhe | 23 % |
| | | 100 % |
| <i>Wurzelanlauf:</i> | normal | 71 % |
| | Veränderungen wahrnehmbar | 20 % |
| | verstärkter Anlauf bzw. stark gefurcht | 9 % |
| | | 100 % |

7. Zusammenfassung

Die Erfassung der Baumarten hat im Rahmen der Forsteinrichtung und Waldinventur eine hohe Bedeutung für die Beurteilung des Leistungsvermögens der Wälder, für die Holzmarktpolitik, für Holzaufkommensprognosen sowie für Umweltwirkungen.

Da konventionelle Luftbilder eine Einzelbauminterpretation nicht erlauben, werden grossmassstäbige Luftaufnahmen in Farbe auf Stichprobenflächen und Linien mit 35-mm- und 70-mm-Nichtmesskameras von leichten Luftfahrzeugen aufgenommen.

Die Kriterien der Erkennung von Hauptbaumarten durch die Stereointerpretation von Farbbildern wird in kurzen Formulierungen beschrieben. Die Interpretationsergebnisse der im Südosten der Luftbildpaare disponierten Probeflächen weisen bei einer qualitativen Interpretation von Probebäumen 87 % und bei Messbäumen (Volumenbestimmung) 93 % Treffer aus. Ausserdem können die Stammform, der Schiefstand, die Astigkeit und der Wurzelanlauf bei einer stichprobenartig erfassten, ausreichenden Anzahl von Probebäumen repräsentativ interpretiert werden.

Résumé

Identification des principales essences de l'Europe centrale dans le cadre des inventaires forestiers à l'aide de photos aériennes à grande échelle.

L'identification des essences forestières dans le cadre des aménagements et des inventaires de forêts revêt une importance considérable pour l'appréciation du potentiel de production des forêts, la politique du marché des bois, la prévision des quantités de bois disponibles, et aussi la détection d'influences sur l'environnement.

Les photos aériennes conventionnelles ne permettant pas l'interprétation arbre par arbre, on a recours à des photos en couleurs à grande échelle, réalisées depuis des appareils légers, au moyen de caméras d'amateur de 35 et 70 mm, sur des surfaces-échantillons et le long de lignes-échantillons.

Les critères sur lesquels se base la reconnaissance des essences par l'interprétation stéréoscopique d'images en couleurs sont décrits succinctement. Pour la portion située au sud-est du couple d'images, l'interprétation qualitative s'avère exacte 87 fois sur 100 et l'estimation des volumes 93 fois sur 100. En outre, si le nombre d'arbres répertoriés est suffisamment élevé, il est possible d'obtenir des indications représentatives quant à la forme de leur tige, leur inclinaison, la densité de leur branlage et leur empattement.

Traduction: *J.-G. Riedlinger*

Literatur

Rhody, B. 1978: Ein kombiniertes Inventurverfahren mit grossmassstäbigen 35-mm- und 70-mm-Photo- und permanenten Stichproben unter Berücksichtigung terrestrischer Photomessungen. Int. Arch. f. Photogrammetry XII-7, S. 1839 – 1850.