

METHODIK DER LUFTBILDINVENTUR BEIM ÖSTERREICHISCHEN WALDSCHADENS- BEOBACHTUNGSSYSTEM

R.Mansberger, P.Gelber, W.Schneider, Wien

1. EINLEITUNG

Die Funktion des Waldes für die Bevölkerung kann frei nach dem österreichischen Forstgesetz und überspitzt formuliert folgendermaßen charakterisiert werden: "Der Wald hat die Menschheit zu schützen und für sie zu sorgen". Verschiedenartigste Einflüsse, die biotischer (z.B. Bakterien, Insekten), abiotischer (z.B. Stürme, Frost, Trockenheit), anthropogener (z.B. Luftverunreinigungen, Tourismus, Brandrodung) oder waldbaulicher (z.B. falsche Baumarten in einer Region, vernachlässigte Pflegemaßnahmen) Natur sein können, führen zur Waldschädigung und damit zu einer empfindlichen Störung des Waldes bei der Erfüllung seiner Nutz-, Schutz-, Wohlfahrts- und Erholungsfunktionen. Um die stetig zunehmende Waldschädigung zu stoppen, hat nun "die Menschheit ihrerseits den Wald zu schützen und für ihn zu sorgen". Mithelfen kann hier die Politik mit der Formulierung neuer Gesetze und Verordnungen (z.B. Luftreinhaltegesetze, Abgasbeschränkungen), die Wissenschaft mit der Erforschung von Maßnahmen gegen die Waldschädigung und mit der Entwicklung von umweltfreundlichen Produktionsverfahren, die Industrie und Wirtschaft durch den Einsatz der neu entwickelten Produktionsmethoden, aber auch jeder einzelne von uns durch die Einschränkung des Verbrauchs fossiler Brennstoffe, durch die Einsparung von Energie u.ä.m.

Die Kenntnis der Ursachen der Waldschäden ist für eine nachhaltige Sanierung unseres Waldes von großer Bedeutung. Konnten in der Vergangenheit die "klassischen", lokal auftretenden Waldschäden mit relativ einfachen Methoden eindeutig einem Verursacher zugeordnet werden, so trifft dies für die in Mitteleuropa sich im letzten Jahrzehnt stark verbreitenden "neuartigen Waldschäden" nicht mehr zu. Sie werden durch die oben angeführten Faktoren (biotische, abiotische, waldbauliche, anthropogene) verursacht, treten großflächig auf und werden durch synergetische Effekte der Störeinflüsse verstärkt.

Für diese neue Art von Waldschädigungen können bislang in den meisten Fällen die Hauptstöreinflüsse festgestellt werden. Will man jedoch die kausalen Zusammenhänge zwischen Ursachen und Wirkungen exakter bestimmen, benötigt die Wissenschaft ausreichendes Datenmaterial über die zeitliche Entwicklung des Waldzustandes in Abhängigkeit von kleinräumlichen Standortverhältnissen, d.h. in Abhängigkeit von der Höhenlage, Hangneigung, geologischen und pedologischen Verhältnissen, der Immissionsbelastung, der Wasser- und Nährstoffversorgung u.ä.m. Erst mit einer genauen Kenntnis dieser Störeinflüsse können gezielte Maßnahmen zur Sanierung des Waldes bzw. zur Prophylaxe gegen eine weitere Ausdehnung der Waldschäden getroffen werden. Da der Idealfall einer flächendeckenden und zeitlich kontinuierlichen Gesamtaufnahme des Waldes aus finanziellen, aber auch aus technischen Gründen nicht möglich ist, wurde mit dem "Österreichischen Waldschadens-Beobachtungssystem" der Forstlichen Bundesversuchsanstalt ein Verfahren ausgearbeitet, welches mit statistischen Methoden aussagekräftige Parameter über den Waldzustand und dessen Entwicklung österreichweit flächendeckend und in periodischen Zeiträumen erfaßt und darüberhinaus Kenntnisse über die Ursachen-Wirkungs-Relationen verschafft.

2. DAS ÖSTERREICHISCHE WALDSCHADEN-BEOBACHTUNGSSYSTEM

Seit dem Beginn der zum Großteil mit photogrammetrischen Methoden durchgeführten Waldstandsaufnahme im Jahre 1952 wird der Zustand und die Entwicklung des österreichischen Waldes von amtlicher Seite durch die Forstliche Bundesversuchsanstalt in Wien erhoben, analysiert und dokumentiert. Standen anfangs aus finanztechnischen Gründen

hauptsächlich die Feststellung von Holzvorrat und Holzzuwachs im Mittelpunkt der bundesweiten Erhebungen (Österreichische Forstinventur), so wurde in den Jahren 1984 bis 1988 mit der bundesweiten Waldzustandsinventur (WZI) auch das Ausmaß der Waldschädigungen und -erkrankungen durch jährlich durchgeführte terrestrisch-visuelle Beurteilungen der Kronenzustände von Einzelbäumen erfaßt.

Dem Wunsch nach dem Erfassen und Verstehen von Wirkungszusammenhängen von Störeinflüssen wird erst mit der Umstellung des WZI-Verfahrens auf das "Waldschaden-Beobachtungssystem" (WBS) Rechnung getragen (Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien, 1991). Es ist ein auf die Ursachenforschung ausgerichtetes System, welches in den folgend angeführten Teilprojekten auf - sofern nicht anders angegeben - 534 Dauerbeobachtungsflächen (Größe ca. 1000m²) repräsentative Daten über Waldzustand, Waldstandorte und -typen sowie über deren Veränderungen liefert (Abb. 1):

- * Periodische bodenkundliche und vegetationskundliche Erhebungen (Wiederholung alle 5 oder 10 Jahre) zur Gewinnung von Information über Bodenzustand und dessen mittelfristige Veränderungen, wie z.B. pH-Wert, Nährstoffversorgung, Schwermetallbelastung;
- * jährliche Entnahme von Nadelproben zur chemischen Analyse (Erhebung des Gehaltes von Schwefel und von Hauptnährelementen);
- * auf bestimmte Zeitperioden und Regionen beschränkte (119 Beobachtungsflächen) Schadstoffmessungen mit integrierenden Methoden (SO₂, NO_x, Ozon);
- * forstpathologische Untersuchungen zur Erfassung von Schadenssymptomen und Symptomkategorien auf ca. 150 besonders geschädigten Beobachtungsflächen;
- * jährliche terrestrische Kronenzustandserhebung;
- * gebietsweise flächendeckende Luftbildinventuren mit 5-jährigem Wiederholungsintervall;
- * zuwachskundliche Untersuchungen anhand von Stammscheiben gefällter Analyseebäume.

Die Auswertung der gewonnenen Daten erfolgt in mehreren Ebenen, wobei zusätzlich extern gewonnene Daten, wie Klimadaten oder Daten der Österreichischen Forstinventur (Holzvorrat u.ä.m.) für die Analyse miteinbezogen werden. Vorerst werden die im Rahmen der Teilprojekte gewonnenen Daten unmittelbar nach der Ersterfassung einer Detailbearbeitung zugeführt und analysiert. Zeitliche Veränderungen können erst nach Vorliegen von weiteren Erhebungsdurchgängen festgestellt werden. Darüberhinaus werden repräsentative Daten aller Teilprojekte in einem WBS-Informationssystem zentral gesammelt, miteinander verknüpft und analysiert. Die dadurch gewonnenen Daten bilden abgesicherte Grundlagen für die Ursachenforschung, für Schutzwaldsanierungen sowie für Planungen im Bereich der Wildbach- und Lawinenverbauung. Zu guter Letzt dienen diese Daten dem Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft zur Beantwortung forstpolitischer, umweltpolitischer und wirtschaftlicher Fragestellungen.

Die oben angeführten Teilprojekte wurden zum Großteil von den dafür zuständigen Instituten der Forstlichen Bundesversuchsanstalt entwickelt und werden auch von diesen operationell bearbeitet. Die Konzeption und Installation eines Verfahrens einer österreichweit flächendeckenden Waldzustandsinventur mit Methoden der Fernerkundung wurde in Form eines Forschungsprojektes (Zl. 56.129/104 - VA5/86) vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft an das Institut für Vermessungswesen und Fernerkundung der Universität für Bodenkultur vergeben. Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten beinhalten die Methodenwahl, die Spezifikation von fotografischen Aufnahmeparametern, die Bearbeitung von forstfachlichen Fragen sowie die Einrichtung eines Luftbild-Interpretationsarbeitsplatzes und wurden

zum Großteil von einem interdisziplinären Arbeitsteam am Institut durchgeführt. Dabei konnten die im Rahmen des "Forschungsschwerpunktes Fernerkundung" des Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (Proj.Nr.S38/02) erworbenen Erkenntnisse und Erfahrungen verwertet werden. Bei forstfachlichen Entwicklungsarbeiten sowie bei Fragen zum Gesamtkonzept des Waldschaden-Beobachtungssystems wurde die Forstliche Bundesversuchsanstalt (FBVA) konsultiert; alle Belange der Bilderherstellung wurden in Kooperation mit dem österreichischen Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV) sowie der Luftbildkompanie des Österreichischen Bundesheeres erarbeitet. Teilergebnisse dieser Forschungsarbeiten werden in den folgenden Ausführungen behandelt.

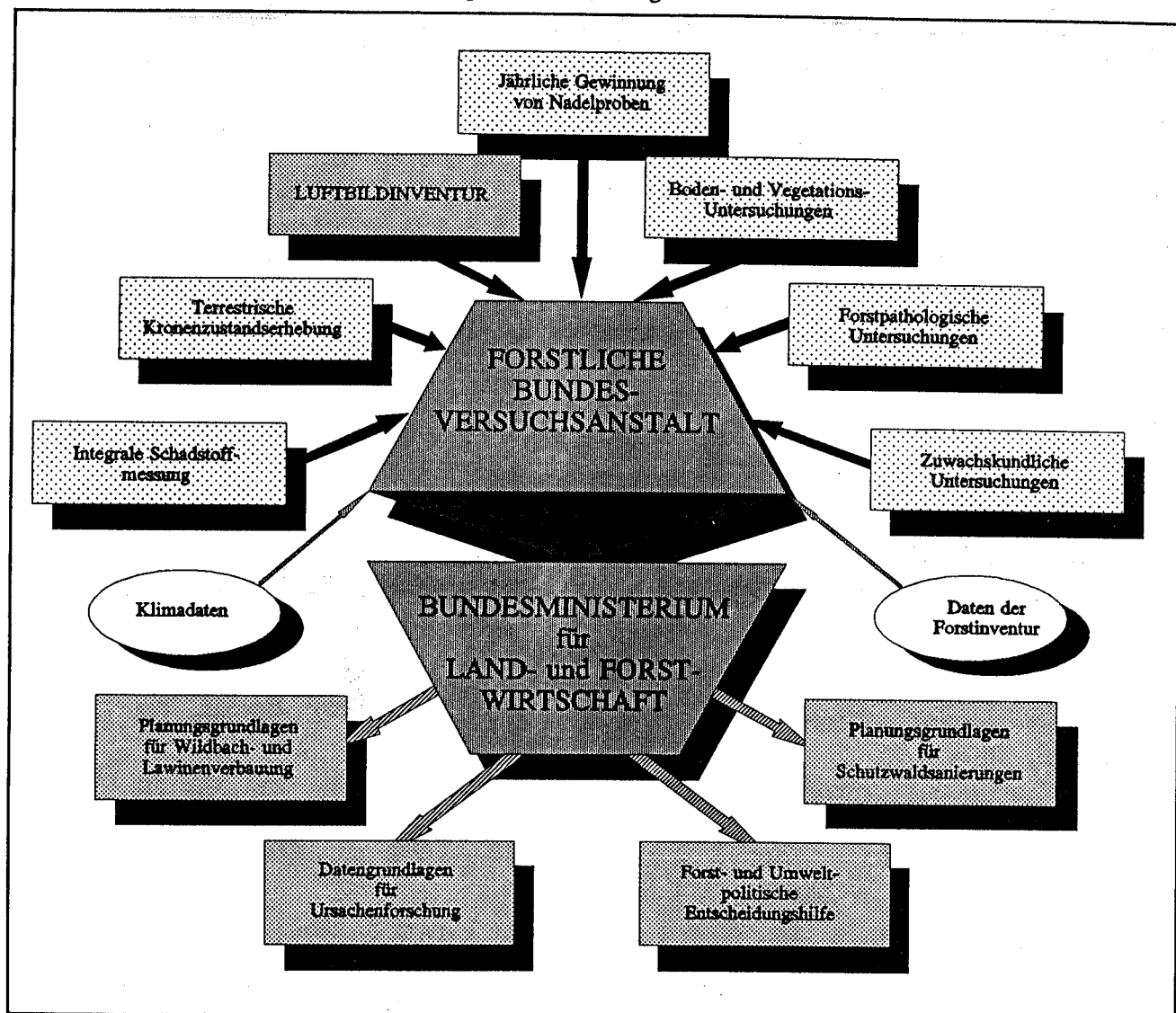


Abb. 1: Grundkonzept des Österreichischen Waldschaden-Beobachtungssystems

3. DIE LUFTBILDINVENTUR (LBI)

Die visuelle Interpretation von Farb-Infrarot-Luftbildern stellt derzeit das einzige operationell angewendete Fernerkundungsverfahren zur Beurteilung von kleinräumigen Waldzuständen dar. Es erlaubt die Gewinnung von umfassenden Überblicken mit einer - im Gegensatz zu terrestrischen Erhebungsmethoden - hohen räumlichen Dichte unter einem vertretbaren wirtschaftlichen Aufwand. Zusätzlich zu den Waldzustandsdaten beinhaltet das Luftbild noch weitere forstliche Information, welche zur Beantwortung der Kausalitätsfrage der Waldschädigungen herangezogen werden kann.

Abb. 2 zeigt in generalisierter Darstellung das Ablaufdiagramm einer Luftbildinventur:

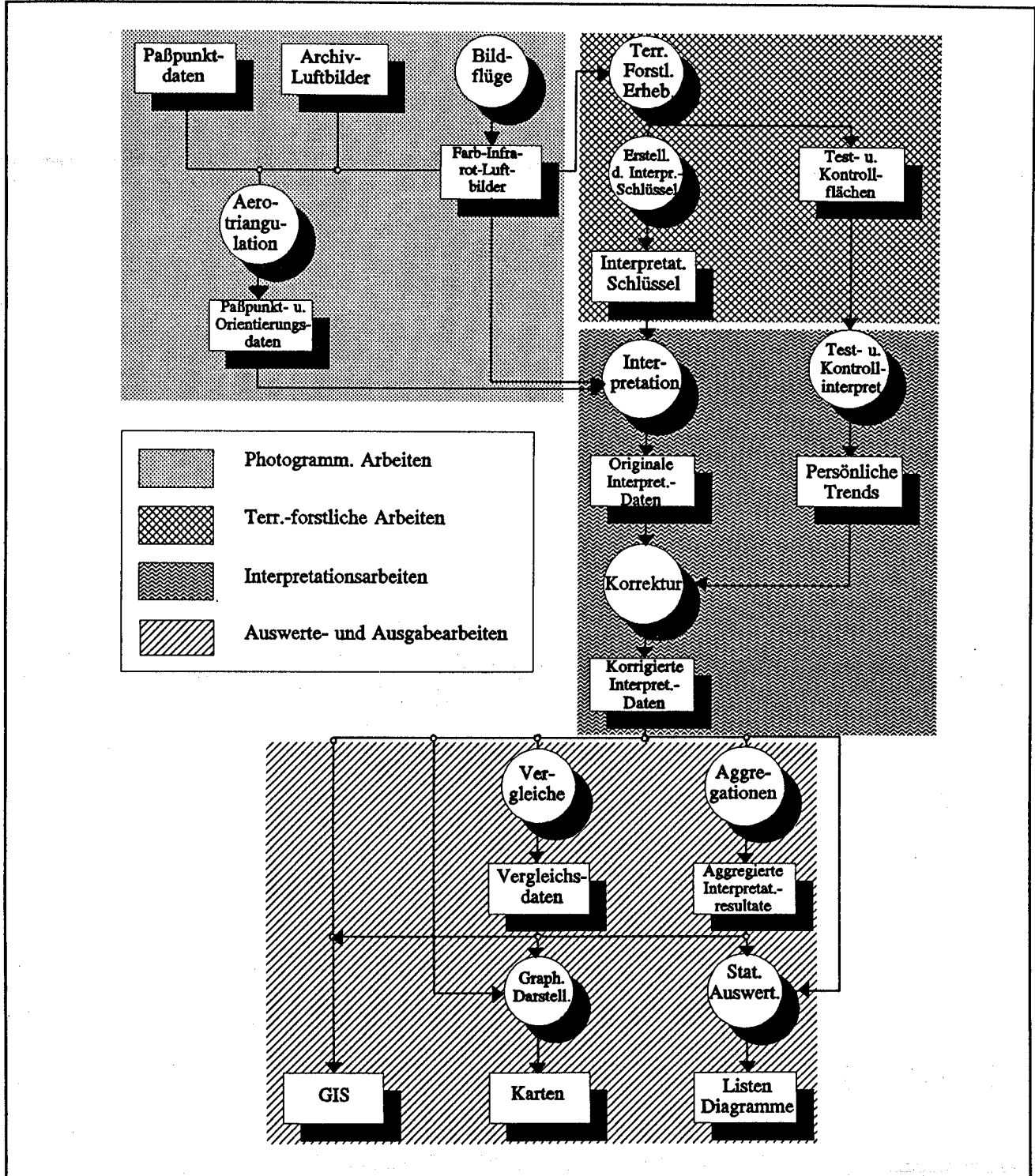


Abb. 2: Ablaufschema der Luftbildinterpretation

Photogrammetrische Routinarbeiten, wie die Durchführung von Bildflügen und die Bestimmung der Orientierungselemente mittels Aerotriangulation, dienen vorerst der bildhaften Gewinnung von Information sowie der Erfassung der geometrischen Zusammenhänge zwischen Bild- und Landeskoordinaten. Anhand der Landeskoordinaten können die interpretierten Einzelbaumkronen bei einer Folgeerhebung (Zweitbefliegung) eindeutig identifiziert werden.

Die stichprobenhafte Erhebung von forstlichen Daten in der Natur dient der Auswahl und Eichung von luftsichtbaren Interpretationsmerkmalen und -vorschriften durch einen an ausgewählten Testflächen durchgeführten Vergleich zwischen terrestrischen Erscheinungsformen der Bäume und deren Abbildungen am Luftbild. Dieser Zusammenhang zwischen Natur und Luftbild wird zur Vereinheitlichung der Interpretation in einem sogenannten Interpretationsschlüssel (Interpretationsanleitung) in verbaler Beschreibung und in Form von Bildbeispielen dokumentiert.

Die eigentliche Interpretation erfolgt an einem Meßbildauswertegerät. Da bei der Beurteilung von Zuständen der Einzelbaumkronen neben Farbe und Textur auch die dreidimensionale Gestalt und Struktur der Baumkronen herangezogen wird, muß die stereoskopische Betrachtungsmöglichkeit gewährleistet sein. Zur Vermeidung von Informationsverlusten aufgrund fotografischer Kopierprozesse geschieht die Luftbildinterpretation üblicherweise mit Luftbild-Originalen. Neben der Interpretation werden periodisch auch Test- und Kontrollinterpretationen durchgeführt, welche unter Einbeziehung statistischer Verfahren (Regressionsanalysen) eine Homogenisierung der von unterschiedlichen Luftbildinterpreten beurteilten Daten erlaubt.

Vierter und in der zeitlichen Abfolge letzter Teil einer Luftbildinterpretation ist die Auswertung und grafische Repräsentation der Daten. Dabei werden sowohl zeitlich als auch räumlich unterschiedliche Daten für eine anschließende Analyse miteinander verglichen und/oder verknüpft.

Die Erfassung, die Abspeicherung, die rechnergestützte Verarbeitung und die Ausgabe (Darstellung) von Daten sind laut Definition Grundelemente eines Informationssystems. Beschreiben diese Daten darüberhinaus noch Teile der Erdoberfläche, darauf befindliche technische oder administrative Einrichtungen oder deren ökologische und ökonomische Gegebenheiten, so spricht man von Räumlichen Informationssystemen (Bartelme, 1989). Die Luftbildinventur ist somit in ihrer Struktur ein Räumliches Informationssystem, dessen Schwerpunkt in der räumlichen und thematischen Erfassung der forstlichen Daten liegt.

3.1 Zum Filmmaterial und zur Spezifikation der Aufnahme

Die äußerlich sichtbaren Symptome von Waldzuständen reichen bei Einzelbäumen je nach Störungseinfluß von Nadel- oder Blattverfärbungen bis hin zu Nadel- oder Blattverlusten. Üblicherweise wird das Maß der Blatt- und Nadelverluste (Verlichtungen) durch den sogenannten Verlichtungsgrad beschrieben, der in Österreich durch fünf Stufen definiert wird (Pollanschütz et al., 1985): Verlichtungsgrad 1 kennzeichnet eine gesunde, normal entwickelte Krone, Verlichtungsgrad 2 charakterisiert eine leicht verlichtete Baumkrone u.s.w. Ein abgestorbener Baum wird mit dem Verlichtungsgrad 5 bezeichnet. Auf einem Luftbild kann neben der Baumart auch der Verlichtungsgrad (in Halbstufen: 1, 1.5, 2 ... 5) und somit der Zustand der Einzelbaumkrone durch Gestaltsmerkmale (Form, Struktur, Textur) und Farbe (Spektralsignatur) festgestellt werden. Unter der Prämisse des sparsamen Einsatzes von Ressourcen (Personal und Gerät) ist bei der Durchführung von Waldzustandsmethoden mit Luftbildern ein möglichst kleiner Bildmaßstab, d.h. die Verwendung von hochauflösenden Filmen zur Gewährleistung der Detailerkennbarkeit der Kronenstruktur (Aststruktur) anzustreben.

Farb-Infrarot-Filme eignen sich durch das hohe Infrarot-Reflexionsvermögen der Vegetation und die damit verbundene höhere Farbdifferenzierbarkeit besonders gut zur Beurteilung forstlicher Parameter. Die Baumart und vor allem der Zustand des Baumes sind durch ein charakteristisches Verhältnis von Reflexionsgrad im Infrarotbereich zu Reflexionsgrad im roten bzw. grünen Spektralbereich gekennzeichnet. Bei Schädigung der Blattorgane nimmt durch die Verminderung des Chlorophyllgehaltes des Blattes der Reflexionsgrad im Bereich des roten Lichtes zu und im anschließenden Infrarotbereich wegen der Veränderung der Zellstruktur ab (Abbildung 3). Durch Verminderung der Belaubung wird dieser Effekt noch verstärkt. Tote Bäume weisen daher eine geringere Reflexion im Infrarotbereich (Rot auf dem Farb-Infrarot-Film) und eine erhöhte Reflexion im roten Spektralbereich (Grün auf dem Film) auf, wodurch sie im Farbinfrarotluftbild in einer markant grünen Farbe aufgezeichnet werden.

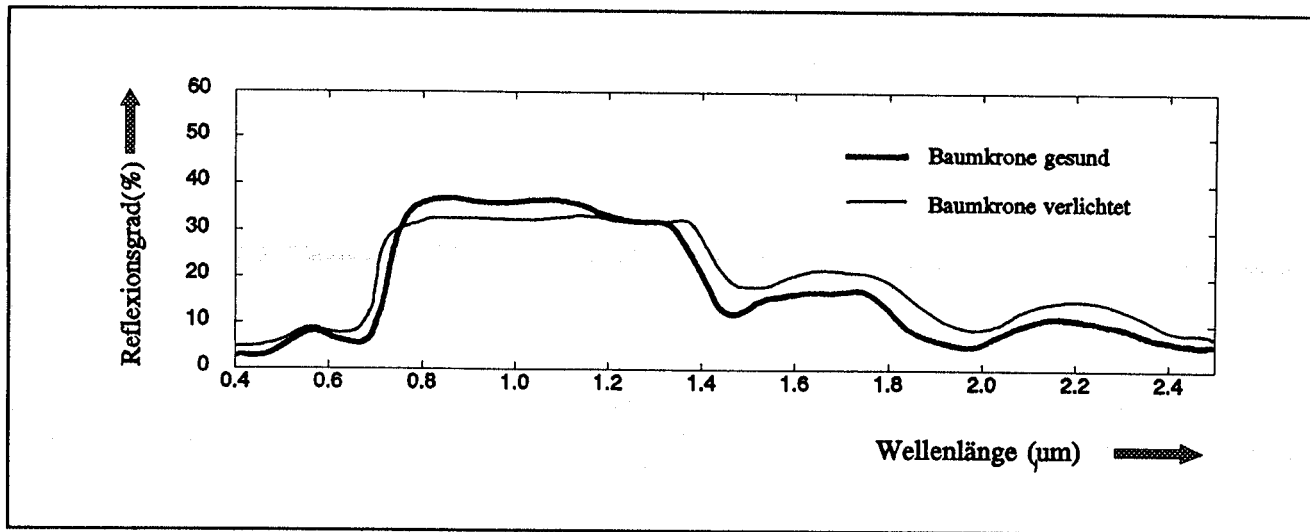


Abb. 3: Reflexionsgrad einer gesunden und einer verlichteten Nadelbaumkrone

Mit dem KODAK SO-131 stand bei der Konzeption der österreichweiten Luftbildinventur in den Jahren 1986/87 ein Farb-Infrarot-Film zur Verfügung, der dank seiner geringen Körnigkeit eine höhere Auflösung als der bislang für Luftbildinterpretationen eingesetzte KODAK Aerochrome 2443 aufweist. Darüberhinaus sind die spektralen Empfindlichkeitsbereiche des SO-131 gegenüber jenen des Aerochrome 2443 schmaler und zeigen weniger Überlappung, was eine günstigere Farbdifferenzierung ergibt (Abbildung 4).

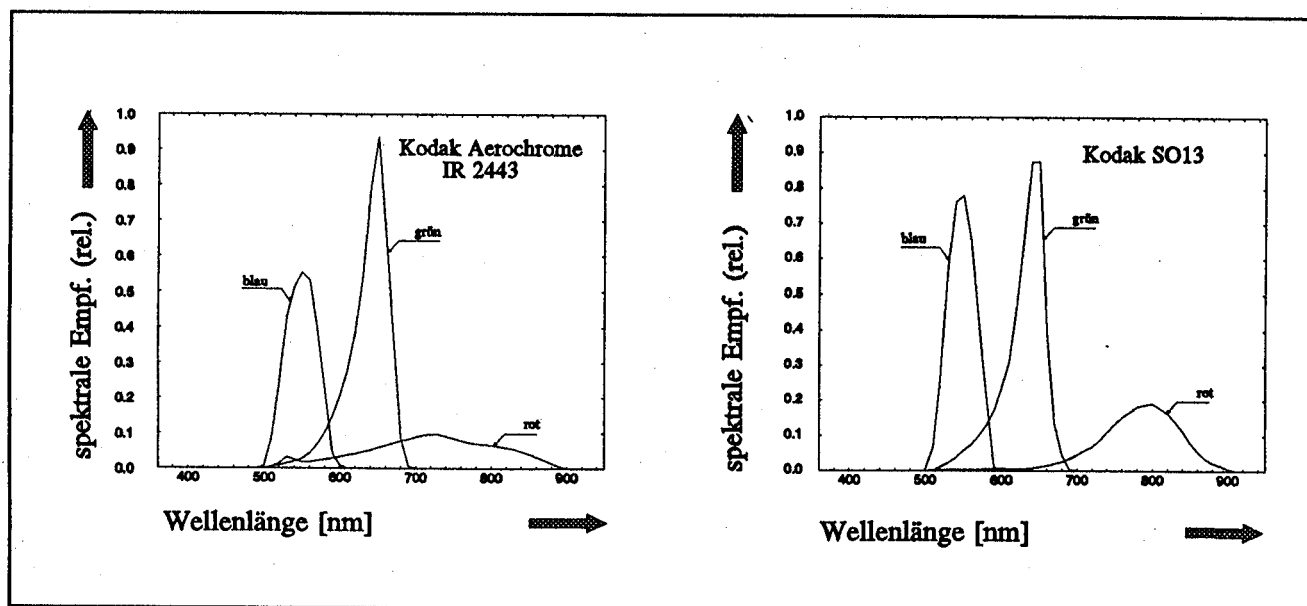


Abb. 4: Spektrale Empfindlichkeit der Filme KODAK Aerochrome 2443 und KODAK SO-131

Nachteile des hochauflösenden Filmes sind seine geringe Empfindlichkeit und die damit verbundenen langen Belichtungszeiten. Bewegungsunschärfen können nur durch den Einsatz von bewegungskompensierenden Kameras (FMC-Kameras) vermieden werden. Zum Zweiten wurde dieser Film vorrangig für den Einsatz aus hochfliegenden Flugzeugen oder Satelliten konzipiert, sodaß bei Bildflügen mit geringen Flughöhen spezielle Minus-Infrarot-Filter eingesetzt werden müssen.

Ergebnisse der seit nunmehr zwei Jahren mit dem KODAK SO-131 Filmmaterial operationell durchgeführten Luftbildinventur bestätigen die am Institut in umfangreichen Tests gewonnene Erfahrung, daß bei gleicher Interpretierbarkeit zum Zwecke der Kronenzustandsbeurteilung die mittlere Bildmaßstabszahl von 8.000 bei Verwendung von konventionellem Filmmaterial (Aerochrome 2443) auf 12.000 beim Einsatz des SO-131 gehoben werden kann.

Im Jahre 1990 hat die Firma KODAK die Produktion des SO-131 aus marktpolitischen Überlegungen eingestellt. Als Folge davon wird im Rahmen des Waldschaden-Beobachtungssystems aus Kostengründen (zu hohe Personal- und Gerätekapazitäten wegen des mit größerem Bildmaßstab aufzunehmenden KODAK Aerochrome 2443 Filmes) von der österreichweit flächendeckenden Luftbildinventur abgegangen und nur mehr die Interpretation von ausgewählten "Problemgebieten" durchgeführt.

Zur Erzielung von optimal für die Kronenzustandserhebung interpretierbaren Farb-Infrarot-Luftbildern sind bei der Durchführung des Bildfluges neben den allgemeingültigen geometrischen und fotografischen Bedingungen folgende Auflagen einzuhalten:

- * Objektivbrennweiten von 21cm und größer zur Verminderung von Blickrichtungseffekten, welche vorallem bei aufgelockerten Waldgebieten je nach Lage im Bild zu verschiedenen Gestalt-, Textur- und Spektralmerkmalen der Einzelbaumkronen führen.
- * Flugstreifenanordnung in Nord-Süd-Richtung, damit jede Baumkrone zumindest auf einem Luftbild des Stereomodells im leichter interpretierbaren Mitlichtbereich erscheint.
- * Minimale Horizontalsichtweiten von 20 - 25km zur Gewährleistung eines geringen Aerosolgehaltes der Atmosphäre und damit zum Erhalt kontrastreicherer Luftbilder.
- * Jährlicher Befliegungszeitraum abgestimmt auf die regional unterschiedlichen phänologischen Verhältnisse, d.h. Befliegungen ab Beginn der Hochvegetation (in Österreich ab Anfang Juli) bis Ende August, da ab September bereits mit jahreszeitlich bedingten Laubverfärbungen gerechnet werden muß.
- * Sonnenhöhen wenn möglich größer als 50° , wobei in unseren geografischen Breiten diese Forderung in der zweiten Augushälfte gelockert werden muß.

3.2 Zum Luftbild-Interpretationsarbeitsplatz

Die Luftbildinventur des Waldschaden-Beobachtungssystems beruht auf der Beurteilung der am Farb-Infrarot-Film abgebildeten Einzelbaumkronen nach Gestalts- und Farbmerkmalen, wobei die Auswahl der im Landeskoordinatensystem erfaßten Stichproben zweistufig erfolgt. In einer ersten Stufe werden in einem gleichmäßig über das Inventurgebiet verteilten Raster Probeflächen ausgewählt, in denen wiederum - in einer zweiten Stufe - die dem Rasterpunkt nächstliegenden Einzelbaumkronen zur stichprobenhaften Erfassung des Waldzustandes herangezogen werden. Eine detailliertere Erhebung von forstlich besonders interessanten Erscheinungen ist durch die zusätzliche Beurteilungsmöglichkeit von beliebig im Stereomodell verteilten Einzelbäumen (Sonderbäume) und regional durch die Verdichtung des Inventurrasters gegeben (Abbildung 5).

Neben den auswerte- und bildspezifischen Daten (z.B. Filmart, Befliegungsdatum, Interpret) werden für alle im Waldgebiet liegenden Probeflächen Bestandes- (Wuchsklasse, Exposition, Neigung u.ä.m.) und Flächenmerkmale (z.B. Baumarten, Baumartenanteile) erhoben. Vorrangige Attribute der Einzelbäume sind Baumart und der den Zustand der Krone

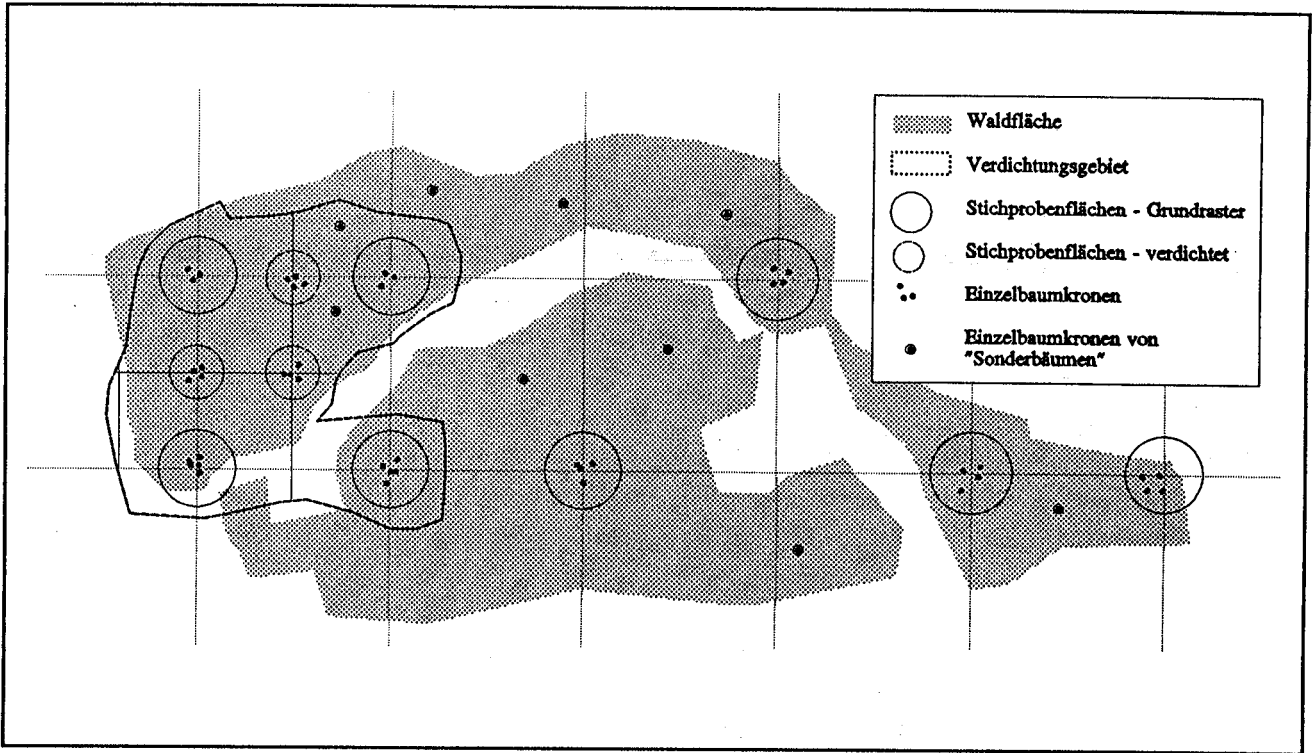


Abb. 5: Erhebungsraster der WBS-LBI

charakterisierende Verlichtungsgrad; darüberhinaus können, je nach Bedarf, noch weitere baumspezifische Gegebenheiten (wie Kronendurchmesser, soziale Stellung, Lage im Bestand u.ä.m.) interpretiert und abgespeichert werden.

Instrumentell wurde das beschriebene Inventurkonzept am analytischen Auswertegerät PHOCUS P1 der Fa. Carl ZEISS, Oberkochen, realisiert (Abbildung 6).

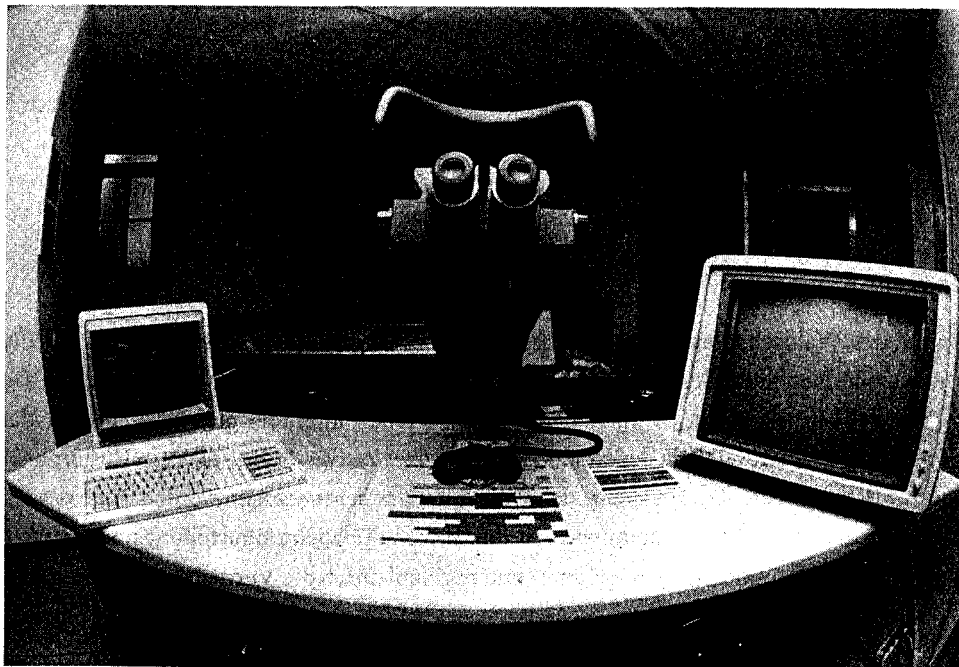


Abb. 6: Luftbild-Interpretationsarbeitsplatz (PHOCUS P1 mit zusätzlicher LBI-Software)

Analytische Auswertegeräte ermöglichen u.a. die für Interpretationen wichtige dreidimensionale Betrachtung der Luftbilder, die - nach Durchführung der inneren und äußeren Orientierung - koordinative Bestimmung von in Meßbildern abgebildeten Objekten in einem übergeordneten System (z.B. Landeskoordinatensystem), die digitale Abspeicherung von Daten sowie die Einspiegelung von grafischer Information und deren Überlagerung mit dem Bildinhalt. Für die Durchführung der Luftbildinventur wurde das PHOCUS-System um Software-Module erweitert, welche generell für punktförmige statistische Erhebungen raumbezogener Daten (Objekte und Attribute) nach beliebigen Stichprobenmustern und deren Weiterverarbeitung ausgerichtet sind. Zentrales Element der Erhebungs-, Homogenisierungs-, Aggregations- und Ausgabeprogramme ist eine der Problemstellung angepaßte Datenstruktur.

Das Erhebungs- oder Interpretationsprogramm sorgt für eine optimale Unterstützung des Interpreten bei seiner Arbeit durch die programmtechnische Implementierung vorgegebener Arbeitsabläufe. Dazu zählt z.B. das automatische Anfahren der zu interpretierenden Probeflächen in einem frei zu definierenden Bearbeitungsraster sowie bei einer Wiederholungsinventur das automatische Anfahren der im vorherigen Interpretationszyklus beurteilten Einzelbäume. Auch die Reihenfolge der zu erhebenden Merkmale (Bestandes-, Flächen- oder Einzelmerkmale) wird programmgesteuert vorgegeben, so daß der forstlich ausgebildete Auswerter sich voll auf seine eigentliche Arbeit - die Interpretation - konzentrieren kann. Die Eingabe der Attribute geschieht im allgemeinen über Tabletmenüs, kann aber auch, entsprechend dem PHOCUS-Konzept, über eine Hilfstastatur (PHOCUS-Panel), Funktionstasten oder alfanumerisch über das Terminal erfolgen, wobei die Anzahl der zu erhebenden Attribute und deren Defaultwerte (üblicherweise Wert mit größter Wahrscheinlichkeit des Auftretens) mit einigen Einschränkungen frei gewählt werden können. Bei Folgeinventur müssen z.B. Attribute "Exposition", "Hangneigung" u.ä.m. nicht mehr erhoben werden; bei Durchführung einer "Nur-Kronenzustandsinventur" wird nur die Eingabe der Attribute "Baumart" und "Kronenzustand" verlangt. Vom Interpretationsprogramm werden Kontrollen bzgl. der Konsistenz und Plausibilität der erhobenen Daten durchgeführt (z.B. Abstand der Baumkrone vom Probeflächenmittelpunkt kleiner als vorgegebene Schranke). Mit der grafischen Einspiegelung von Hilfsinformationen (Maßstabsleisten, Größe der Probefläche bezogen auf den Bildmaßstab des Probeflächenmittelpunktes, Windrose, Lage der interpretierten Bäume u.ä.m.) wird dem Interpreten einerseits die Extraktion von im Bild vorhandener Information (Kronendurchmesser, Exposition) erleichtert, andererseits wird ihm damit eine visuelle Kontrolle über seine interpretierten Daten ermöglicht. Der Aufruf von jederzeit verfügbaren Hilfs- und Informationsfunktionen ist beim Interpretationsprogramm ebenso implementiert wie flexible Hilfen zur Korrektur von interpretierten oder gemessenen Daten (Editor).

Das Interpretationsprogramm wurde für eine bundesweite, in Zeitintervallen zu wiederholende Stichprobenerhebung von Einzelpunktmerkmalen ausgerichtet. Die Lage der Probeflächen kann in einem Rechtecksraster durch die Angabe von Anfangspunkt und Rasterweiten in Richtung der beiden Koordinatenachsen vorgegeben werden, kann aber auch in Form einer Datei, auf welcher die Probeflächenmittelpunkte abgespeichert sind, vordefiniert sein. Zur Vermeidung von Doppelinterpretationen in den Überlappungsbereichen der unterschiedlichen Abbildungssysteme (z.B. in Österreich Gauß-Krüger-System M28, M31 und M34) können die Daten durch die Umrechnung in geografische Koordinaten aufgrund der Angabe einer geografischen Länge als Diskriminator jeweils einem System eindeutig zugeordnet werden.

Für die Abspeicherung der bei der Luftbildinventur gewonnenen Daten wurde eine eigene Datenbank (Datenstruktur und Verwaltungssystem) entwickelt. Das Konzept der Datenbank wurde auf eine rechner-spezifische (HP1000/A900) Speicherplatz- und Laufzeitminimierung sowie auf die Problemstellung des beschriebenen Inventurverfahrens ausgerichtet und weist folgende Charakteristika auf (siehe auch Abbildung 7):

- * Abspeicherung von nur punktförmigen Objekten: Dem Stichprobendesign entsprechend, sind im Rahmen der Luftbildinventur nur punktförmige Objekte zu erheben. Jede Probefläche bzw. jede Stichprobe in dieser Probefläche (Einzelbaumkrone) wird geometrisch durch ihre Mittelpunktskordinaten repräsentiert.

- * Hierarchisches Datenbankmodell: Mehrstufige Stichprobenverfahren weisen hierarchische Strukturen auf. Jedes Bearbeitungsgebiet hat mehrere Probeflächen, die wiederum eine Anzahl von Einzelstichproben aufweisen können. Der Sonderfall eines einstufigen Stichprobenverfahrens (in jedem Bearbeitungsgebiet befinden sich beliebig verteilte Einzelstichproben) ist in diesem Datenbankmodell ebenso enthalten wie die Möglichkeit einer Verdichtung des Stichprobenrasters.
- * Abspeicherung von beliebig vielen Attributsätzen: Die in einem Erhebungsdurchgang gewonnenen Attribute (Probeflächen-Attribute und Einzelpunkt-Attribute) werden jeweils in einem Attributsatz zusammengefasst. Entsprechend dem Zeitreihenkonzept der Luftbildinventur wird die Datenbank bei jeder Wiederholungsinterpretation um einen Attributsatz erweitert.

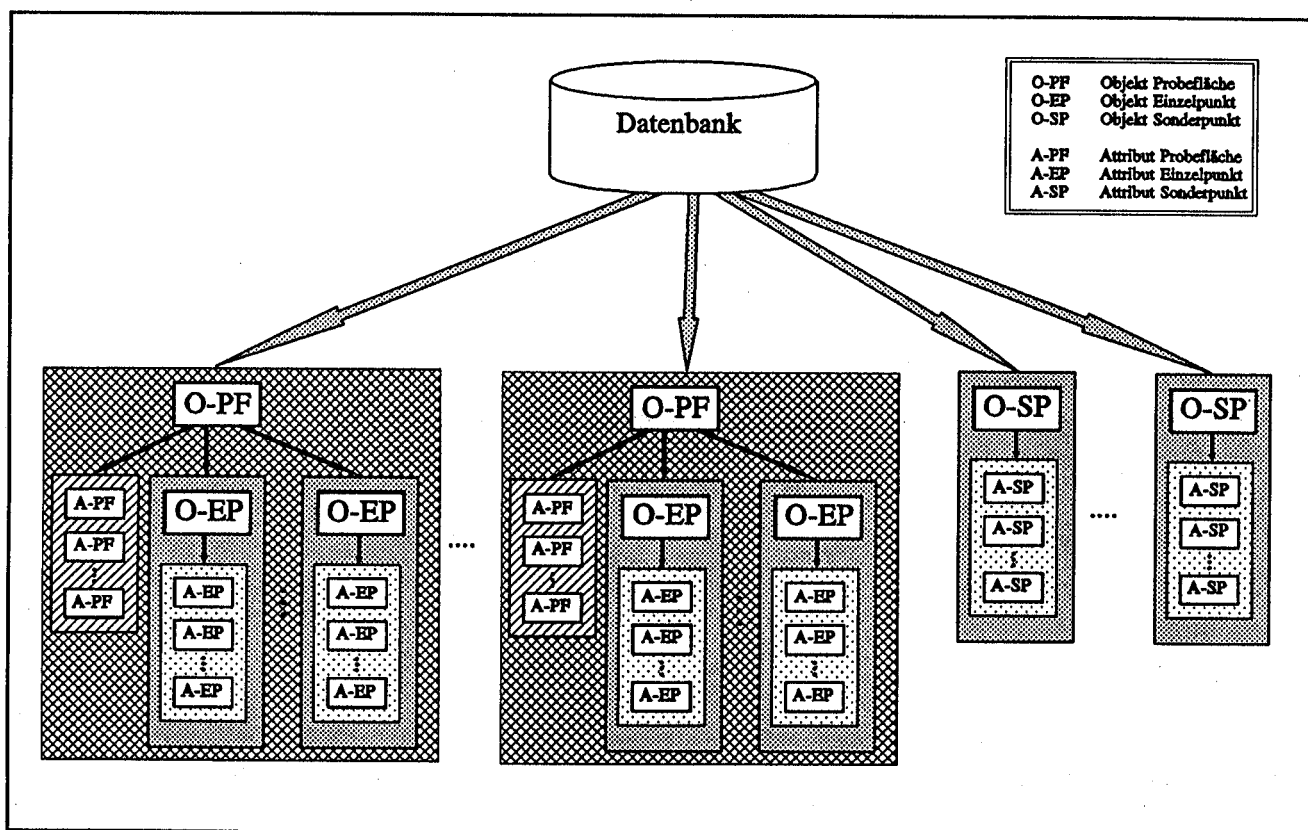


Abb. 7: Datenbankstruktur

Die Kommunikation zwischen Datenbank und Anwenderprogrammen (Interpretations-, Aggregations-, Homogenisierungs- und Ausgabeprogramm) wird durch eine vordefinierte Anwendersprache (Programmierschnittstelle) gewährleistet. Mit Hilfe dieser Anwendersprache können Objekte nach regionalen und thematischen Kriterien ausgewählt und einer Weiterverarbeitung zugeführt werden.

4. AUSBLICK

Das vorgestellte Verfahren wird seit dem Frühjahr 1989 an der Forstlichen Bundesversuchsanstalt operationell vorrangig zur Zustandsinterpretation von Baumkronen in Problemgebieten angewendet. Dabei wird vom Interpretieren der Zustand der Baumkrone rein visuell aufgrund von Gestalts- und Farbmerkmalen beurteilt. Wegen der Unvollkommenheit des menschlichen Auges bei der Quantifizierung von Farbdichten am Luftbild wird derzeit am Institut für Vermessungswesen und Fernerkundung die Luftbildinventur um eine digitale Komponente erweitert, in welcher die Klassifizierung der Baumkronen durch Farbmessungen von Luftbildausschnitten mit einer am analytischen Auswertegerät montierten CCD-Kamera unterstützt wird. Die einzelnen Farbauszüge werden durch rechnergesteuertes Wechseln der zwischen Objektiv und CCD-Array kreisförmig angeordneten Glasfilter (Filterrad) gewonnen. Die Objektivierung der Farbmessung steigert die Homogenität der Interpretationen durch den Wegfall der subjektiven Farbbeurteilungen von einzelnen Interpreten. Ein weiterer Vorteil dieser "visuell-digitalen" Luftbildinventur ergibt sich in der rechnerischen Berücksichtigung von aufnahmesystem- und atmosphärenbedingten Einflüssen (z.B. Filmart, Kameraobjektiv, Kamerafilter), welche Farbwertveränderungen am Luftbild bewirken. Der Mensch kann durch seine forstliche Erfahrung, sein Kontextwissen, durch seine räumliche Beurteilungsfähigkeit von Gestalt, Textur und Struktur auch bei einer objektivierten Farbmessung bei der Erhebung von forstfachlichen Daten nicht ersetzt werden. Dieses Wissen kann nur mit Methoden der wissensbasierten Mustererkennung (Artificial Intelligence) eingebracht werden. Erste Versuche in diese Richtung laufen seit einiger Zeit am Institut (Pinz, 1988).

LITERATURVERZEICHNIS

- ARONOFF, St. (1989): Geographic Information Systems: A Management Perspective. Ottawa.
- BARTELME, N. (1989): GIS-Technologie. Geoinformationssysteme, Landinformationssysteme und ihre Grundlagen. Springer Verlag.
- FORSTLICHE BUNDESVERSUCHSANSTALT WIEN (1991): Österreichisches Waldschaden-Beobachtungssystem: Ziele, Methoden und erste Ergebnisse. FBVA - Berichte, Heft 49. Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien.
- HILDEBRANDT, G.; KADRO, A. (1984): Aspects of countrywide inventory and monitoring of actual forest damages in Germany. Bildmessung und Luftbildwesen 52, p.201-216.
- PINZ, A. (1988): Ein bildverstehendes Expertensystem zur Erkennung von Bäumen auf Farb-Infrarot-Luftbildern. Dissertation Technische Universität Wien.
- POLLANSCHÜTZ, J. ET AL. (1985): Instruktion für die Feldarbeit der Waldzustandsinventur nach bundeseinheitlichen Richtlinien 1984 - 1988. Herausgegeben von der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien.
- SCHNEIDER, W. (1989): Verfahren, Möglichkeiten und Grenzen der Fernerkundung für die Inventur des Waldzustandes. FBVA - Berichte, Sonderheft 1989. Forstliche Bundesversuchsanstalt, Wien.
- STOLITZKA, G. ET AL. (1990): Technischer Endbericht zum Forschungsprojekt des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft "Österreichische Waldzustandserhebung mittels Methoden der Fernerkundung" (Zl. 56.120/104 VA5/86), unveröffentlicht.

ZUSAMMENFASSUNG

Zur Erforschung der mannigfaltigen Ursachen von neuartigen, großflächig auftretenden Waldschäden wurde in Österreich von amtlicher Seite ein landesweites "Waldschaden-Beobachtungssystem" eingerichtet. Die Erfassung von kleinräumlichen Daten über den Waldzustand erfolgt dabei mit Hilfe von Farb-Infrarot-Luftbildern. Das dafür am Institut für Vermessungswesen und Fernerkundung in Zusammenarbeit mit der Forstlichen Bundesversuchsanstalt entwickelte Verfahren beruht auf der stichprobenweisen Zustandsbeurteilung von Einzelbaumkronen am analytischen Auswertegerät PHOCUS P1 der Fa. Carl ZEISS, Oberkochen. Dieses System wurde mit Komponenten für statistische Bestandserhebungen punktförmiger Objekten nach einem mehrstufigen Stichprobenplan erweitert, wie z.B. mit einem Interpretationsprogramm und einer hierarchischen Datenbank, welche die Abspeicherung von mehreren Attributen zu beliebig vielen Zeitpunkten einer Zeitreihe erlaubt.

METHOD OF THE AUSTRIAN FOREST INVENTORY BY MEANS OF CIR-AERIAL PHOTOGRAPHS WITHIN THE AUSTRIAN "FOREST DAMAGE MONITORING SYSTEM"

ABSTRACT

A countrywide "Forest Damage Monitoring System" was installed by the Austrian government to explore causes of forest decline. In this system detailed information on the condition of forests is assessed by means of CIR-aerial photographs. A method was developed at the Institut for Surveying and Remote Sensing (University of Agriculture) in cooperation with the "Forstlichen Bundesversuchsanstalt" (Forest Research Station of the Austrian Ministry of Forestry and Agriculture). This method is based on the interpretation of tree-crown-condition at regularly spaced sample plots and is implemented on the system ZEISS PHOCUS P1, which was completed with components for a multi-stage-sample inventory. Amongst other software-components, an interpretation programme and a hierarchical data base were developed. The data base allows the storage of attributes of the same trees, interpreted in different years.

Dipl.-Ing. R.Mansberger, Dipl.-Ing. P. Gelber, Univ.Doz. Dr. W. Schneider
Institut für Vermessungswesen und Fernerkundung
Universität für Bodenkultur
Peter Jordanstraße 82
A - 1190 WIEN