

# Luftbildeinsatz im dritten Landesforstinventar der Schweiz

*Christian Ginzler,  
Lukas Mathys,  
Patrick Wicki*



## Zusammenfassung

Das Luftbild war im schweizerischen Landesforstinventar schon immer eine wichtige Datengrundlage (Mahrer 1980; Köhl und Keller 1999; Keller 2001). War es im ersten Landesforstinventar (LFI1) die Basis, um potentielle Feldaufnahmepunkte zu identifizieren und Fixpunkte für die Einmessung der Probeflächen bereitzustellen, so diente es im zweiten Landesforstinventar (LFI2) zusätzlich zur Verdichtung der terrestrischen Stichproben (Köhl 1994). Im dritten Landesforstinventar (LFI3) wird verstärkt über die eigentliche Waldfläche hinaus geschaut, so dass der Wald in einen landschaftlichen Kontext gesetzt wird (Wildi und Brassel 1999). Dabei gewinnt die Betrachtung von Gehölzen außerhalb des Waldareals an Bedeutung.

Methodisch wurde von der Luftbildinterpretation im LFI2 zur Luftbildinterpretation im LFI3 ein grosser Schritt vollzogen. Der gesamte Datenfluss, von den orientierten Luftbildern und Landeskarten bis hin zu den Merkmalsinterpretationen, wird nun digital gehalten. Die Interpretationsergebnisse und -entscheide der Luftbildinterpretierenden und -interpretierten werden vollständig in einer Geodatenbank erfasst und dokumentiert. Eine von Beginn an kontinuierliche Qualitätssicherung garantiert hochqualitative, reproduzierbare und schnell verfügbare Daten.

## 1 Einführung

Eine nachhaltige Raumplanung sowie der Schutz und die Nutzung des Waldes erfordern objektive Informationen über den Zustand und die Veränderungen der Landschaft.

Der Bundesrat beschloss deshalb 1981 die Durchführung eines ersten Landesforstinventars (LFI). Heute besteht eine gesetzliche Grundlage für das LFI im Artikel 33 des Bundesgesetzes über den Wald von 1993. Mit dem Landesforstinventar werden Zustand und Veränderungen des Schweizer Waldes periodisch erfasst. Die Erhebungen zum laufenden dritten Landesforstinventar erfolgen von 2003 bis 2007.

Schon im ersten Landesforstinventar wurde das Luftbild als eine Datenquelle in das Inventurdesign mit einbezogen (Brassel 2001). Im LFI1 diente es hauptsächlich der Waldflächen- und damit Waldprobenbestimmung sowie der Messung von Fixpunktdaten für die anschliessende Einmessung der Proben im Feld.

Im LFI2 wurde das Stichprobennetz für die Waldflächenbestimmung mit Hilfe von Luftbildern verdichtet und der Katalog der im Luftbild erhobenen Merkmale ergänzt, um damit die Anzahl der kostenintensiveren Feldaufnahmen reduzieren zu können (Double Sampling). Dabei orientierten sich die erfassten Landschaftsmerkmale an einem Wald als stationäres Objekt. Fiel im LFI1/2 eine Stichprobe auf eine gehölzfreie oder gehölzarme Fläche, so wurde diese als Nichtwald-Probe eingestuft und es wurden ihr keine zusätzlichen Daten attribuiert. Entwickelt sich eine solche Stichprobenfläche im Verlauf der Zeit zu Wald, so fehlen bei späteren LFI-Erhebungen Angaben dazu, welche Bodenbedeckung sich zuvor auf dieser Fläche befand.

Das LFI3 berücksichtigt neu solche dynamische Landschaftsveränderungen in Raum und Zeit. Der Wald wird in einem gesamtlandschaftlichen Kontext erfasst (Mathys et al. subm.). Neben Waldflächendaten, Bestandesdaten und Baumdaten werden vor allem die bestimmenden Bodenbedeckungselemente innerhalb und außerhalb des Waldes mit Hilfe eines erweiterten Merkmalskatalogs detailliert erhoben. Der Wald-/Nichtwald-Entscheid ist dabei eines von vielen Produkten der Luftbildinterpretation.

## 2 Ziele der Luftbildinterpretation

- **Bestimmung der Waldfläche:** Jede Luftbildprobe wird entweder als »Wald« oder als »Nichtwald« gemäß LFI-Kriterien klassifiziert (sog. »Wald-/Nichtwald-Entscheid«).
- **Erfassung der Bestockungen außerhalb der Waldfläche** nach LFI: Unabhängig vom »Wald-/Nichtwald-Entscheid« werden bei den Luftbildinterpretationen Bestockungen außerhalb der Waldfläche erfasst.
- Erfassung der **kleinräumigen Diversität** der Bodenbedeckung unabhängig vom »Wald-/Nichtwald-Entscheid«.

- **Vorstratifizierung** für den Einsatz der Feldequipen.
- **Reduktion** der Anzahl im Feld zu erhebenden **Probeflächen** bei gleichbleibender Aussagegenauigkeit.
- Bestimmung von **Fixpunkten**: Für Probeflächen des terrestrischen Netzes werden Fixpunkte aufgenommen (Koordinaten, Situation). Diese Fixpunkte helfen den Feldaufnahmegruppen bei der terrestrischen Einmessung des Probeflächenzentrums (PFZ) der jeweiligen Luftbildstichprobe.
- Erhebung **stratifizierender Merkmale**: Im Luftbild werden Bestandesmerkmale erhoben (z. B. Schlussgrad, Entwicklungsstufe), die als stratifizierende Variablen bei der statistischen Auswertung der Felddaten verwendet werden.

### 3 Methoden

#### **Stichprobendesign**

Das Landesforstinventar ist eine repräsentative Stichprobenerhebung im Schweizer Wald. Im LFI1 lagen die Probeflächen auf den Schnittpunkten des Kilometernetzes des kartesischen Koordinatensystems der Schweiz (*Bild 1*). Auf analytischen Stereoplottern (Kern-DSR1) wurde mit analogen SW-Luftbildern eine Vorausscheidung in Wald- und Nichtwaldproben durchgeführt.

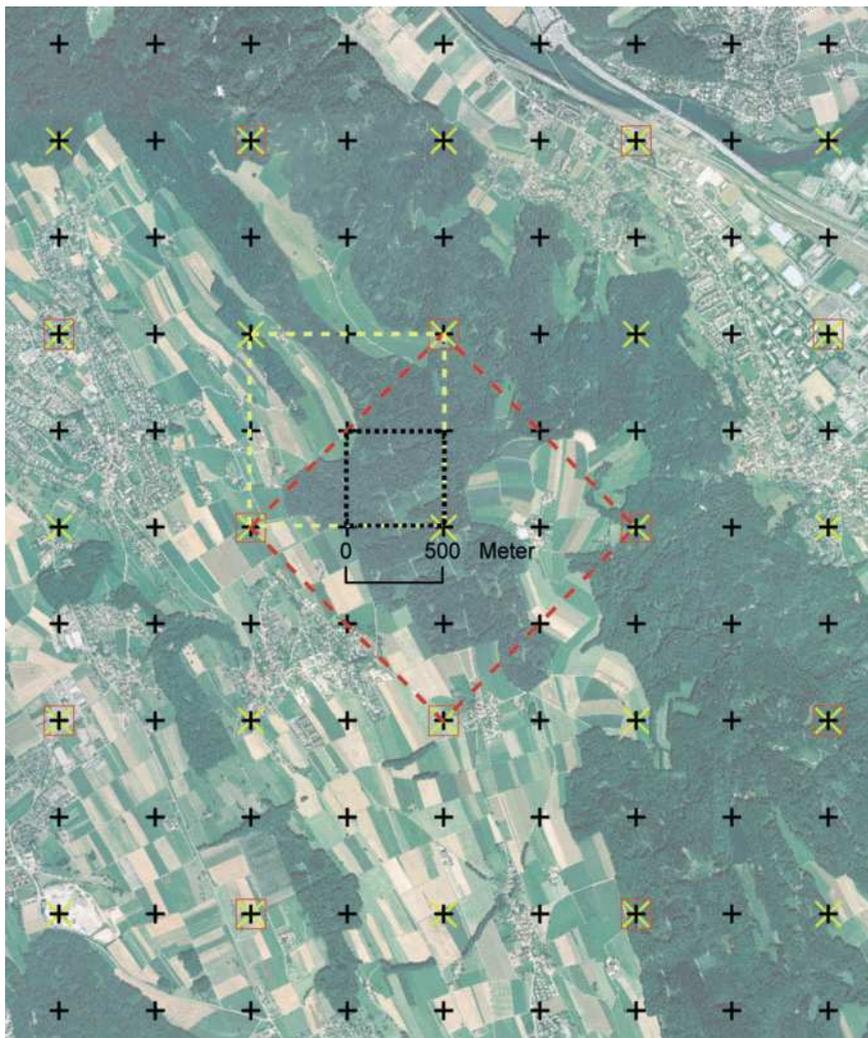
Im LFI2 wurde die Zahl der Stichprobenpunkte im Luftbild (ausgewertet mit Leica-DSR15) vervierfacht (0,5 km Raster) um dafür die terrestrischen halbieren zu können (1,4 km Raster). Durch diese zweiphasige Forstinventur (Double sampling) konnte die Aussagegenauigkeit gleich hoch gehalten werden (Köhl 1999).

Stichprobennetz	Anzahl Probeflächen
Probeflächen 1,0 km-Netz LFI1 im Luftbild	11 863
Probeflächen 1,4 km-Netz LFI2 (terrestrisch)	5 923
Probeflächen 0,5km-Netz LFI2 im Luftbild	49 432
Probeflächen 0,5km-Netz LFI3 im Luftbild	171 277

*Tabelle 1:* Anzahl der interpretierten Probeflächen im LFI1, LFI2 und LFI3. Im LFI3 werden auch Nichtwaldproben interpretiert.

Dieses Stichprobendesign wird im LFI3 beibehalten, um die Fortführung der Zeitreihe gewährleisten zu können. Es werden allerdings neu alle Probeflächen

im Luftbild gleich interpretiert, unabhängig von anderen Netzen und gutachterlichen Wald/Nichtwald-Entscheiden. Dies führt zu einer Verdreifachung der zu interpretierenden Probeflächen im Luftbild gegenüber dem LF12. Durch den Einsatz digitaler Luftbilder und neuer Erfassungssoftware ist der Gesamtaufwand allerdings gleich geblieben.



*Bild 1:* Stichprobennetz im LFI. Schwarz – 0,5 km Luftbildraster. Gelb – 1 km Raster im LFI1. Rot – 1,4 km terr. Raster LF12/3 (swissimage (c) swisstopo DV033492).

## Walddefinition

Die Walddefinition im LFI stützt sich auf die drei Kriterien Deckungsgrad, Waldbreite und Baumhöhe: Eine mit Bäumen bewachsene Fläche gilt als Wald, wenn sie eine minimale Ausdehnung von 50 Metern hat und die Baumkronen mindestens 20% der Waldfläche bedecken. Ist der Deckungsgrad höher, gelten auch schmalere Flächen als Wald (Bild 2). Mit Ausnahme von Aufforstungen, Brand- und Sturmflächen sowie Gebüschwäldern müssen die Bäume zudem drei Meter oder höher sein.

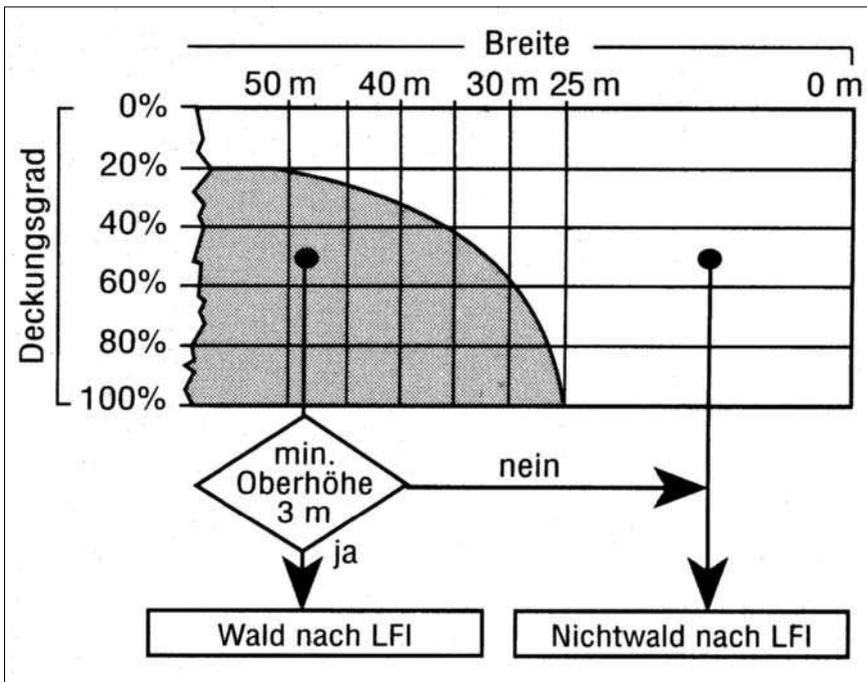


Bild 2: Walddefinition gemäß Schweizerischem Landesforstinventar (LFI) – (Quelle <http://www.lfi.ch>)

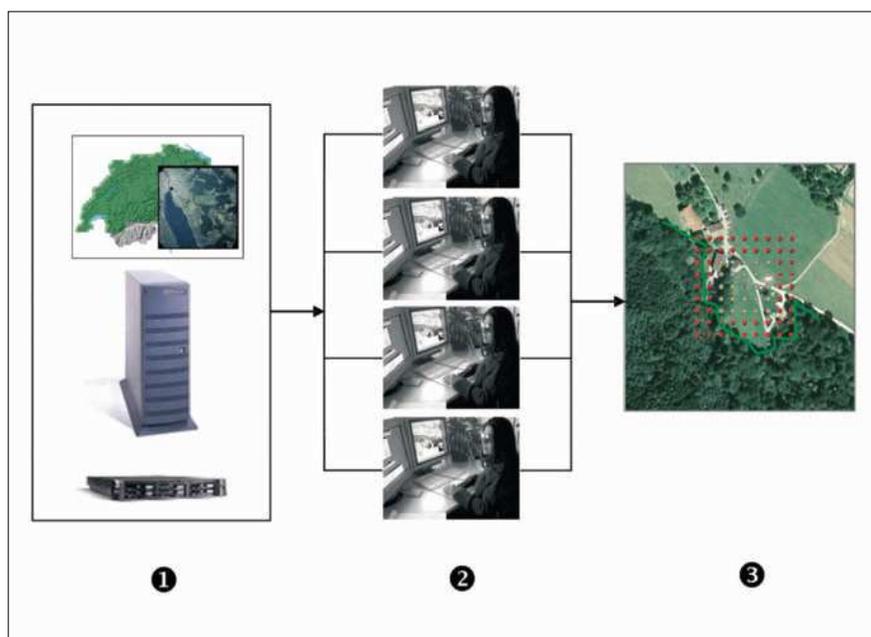
## Bildmaterial

Die Luftbildinterpretation im LFI3 wird mit digitalen Echtfarben-Luftbildern im mittleren Maßstab von 1 : 30 000 durchgeführt. Dies bedeutet einen entscheidenden operationellen, aber auch inhaltlichen Unterschied zum LFI1 und LFI2. Zum einen werden dadurch Synergien mit anderen Bundesstellen genutzt (z. B.

Bundesamt für Landestopographie (swisstopo<sup>1</sup>), Bundesamt für Statistik (BFS)), zum anderen können Arbeitsabläufe weitgehend automatisiert und dadurch abgekürzt werden. Der Schwerpunkt wird vermehrt auf die eigentliche Interpretation gelegt, da wenig vorbereitende Arbeiten nötig sind.

Die Bilder werden von »swisstopo« für das Orthomosaik Schweiz und für die periodische Kartennachführung geflogen, gescannt und aerotrianguliert. Die Lagegenauigkeit liegt unter 1 m in Lage und Höhe.

Für forstliche Interpretationen wäre Falschfarben-Infrarot das Bildmaterial der Wahl. Auf eine Spezialbefliegung für das Landesforstinventar musste jedoch aus Kostengründen verzichtet werden.



**Bild 3:** Infrastruktur der Luftbildinterpretation. Vier Stereostationen (2) sind mittels einem 1 GB LAN mit dem zentralen Bildserver (1) verbunden. Die erhobenen Daten werden direkt in die Datenbank gespeichert (3).

<sup>1</sup> swisstopo ist das Kompetenzzentrum der Schweizerischen Eidgenossenschaft für räumliche Referenzdaten und daraus abgeleitete Produkte

## **Infrastruktur**

Die digitalisierten und orientierten Luftbilder liegen auf einem Bildserver und sind für die Interpretinnen und Interpreten online verfügbar. Vier Stereo-Arbeitsstationen sind über eine 1 GB Leitung mit dem zentralen Bildserver verbunden und können auf über 10 000 Luftbilder zugreifen. Die Erhebungsdaten werden in einer zentralen Datenbank abgelegt und sind sofort verfügbar (*Bild 3*). Das Bildmaterial für ein Jahrespensum und ein Duplikat dieser Datenbank liegen redundant auf zwei getrennten Servern vor. Bei einem Systemausfall kann mit sehr geringem Aufwand auf das zweite System gewechselt werden, wodurch unproduktive Phasen minimiert werden.

## **Interpretation**

Die Zuteilung der Probeflächen erfolgt automatisch per Zufallsprinzip aus dem Jahrespensum aller Probeflächen. Die notwendigen Daten werden aus der Datenbank und dem Dateisystem gelesen. Durch die gleichzeitige Verfügbarkeit aller Stereomodelle wird eine modellweise Interpretation durch einen einzigen Bearbeiter vermieden. Der Einfluss des Einzelnen wird somit auf das gesamte Untersuchungsgebiet verteilt. Das für die Interpretation benötigte Stereomodell wird von der Interpretationssoftware automatisch ausgewählt, auf den Bildschirm geladen und die Messmarke im Stereofenster auf den Mittelpunkt der Probefläche gesetzt. Bei Bedarf kann das angrenzende Stereomodell oder ein Modell aus einem benachbarten Flugstreifen geladen werden.

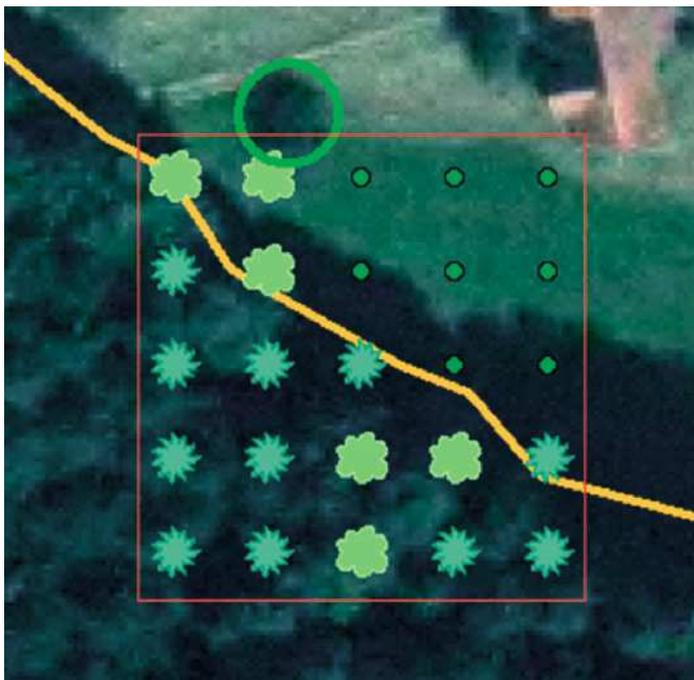
Durch die Möglichkeit des Setzens von Prioritäten bei der Zuteilung werden zuerst die Probeflächen auf dem 1,4 km Netz (terrestrisches Aufnahmenetz) interpretiert, um eine effiziente, zeitgerechte Planung der Feldarbeiten zu ermöglichen. Anschließend wird auf das 1 km Netz verdichtet und zuletzt mit dem 0,5 km Netz abgeschlossen.

Die Steuerung der Zuteilung per Datenbank erlaubt jederzeit einen Überblick über den Arbeitsfortschritt und detaillierte Angaben über Zeiten und Aufwände für einzelne Interpretationsschritte. Probleme, wie zum Beispiel fehlende oder fehlerhafte Luftbilder, können sofort erkannt und behoben werden.

### *Aufnahme der Waldbegrenzungslinie (WBL)*

Liegt eine Probefläche in Waldrandnähe, so muss eine WBL bestimmt werden. Die WBL bildet die längste mögliche Verbindung aller Waldrand bildenden und dem Wald vorgelagerten Bestockungsglieder, die von Kronenmittelpunkt zu

Kronenmittelpunkt höchstens 25 m voneinander entfernt sind und eine Mindesthöhe von 3 m besitzen (Keller 2001). Die WBL dient der Berechnung der Waldbreite (kürzeste Distanz von WBL zu WBL durch das Zentrum der Probe-  
fläche).



*Bild 4:* Graphische Darstellung der WBL (orange), der 25 Rasterpunkte sowie der Gehölze außerhalb des Waldareals (grüner Kreis) einer Probefläche (rot).

#### *Aufnahme der Rasterpunkte*

Der Interpret wird automatisch zu 25 Rasterpunkten hingeführt und muss dort die Oberflächenhöhe und den Bodenbedeckungstyp (Merkmal, welches die Art der Bodenbedeckung charakterisiert) festlegen (*Bild 4*). Es werden 11 Bodenbedeckungstypen unterschieden (*Tabelle 2*). Anhand des Bodenbedeckungstyps und der Oberflächenhöhe aller Rasterpunkte wird der gemessene Deckungsgrad (prozentualer Anteil der durch die Kronenprojektionen überschirmten Fläche von der Gesamtfläche) bestimmt.

<b>Vegetation</b>	<b>Vegetationslos</b>	<b>Künstliche Objekte</b>
Laubbaum	Felsen	Befestigte Fläche
Nadelbaum	Sand, Gestein, Offenerde	Bauobjekt
Lärche	Gewässer	
Strauch	Gletscher, Firn	
Kraut- und Grasvegetation		

*Tabelle 2:* Bodenbedeckungstypen, die im Landesforstinventar unterschieden werden.

### *Wald-/Nichtwald-Entscheid*

Aufgrund der interpretierten Rasterpunkte, dem Deckungsgrad und der Waldbreite (basierend auf der eventuell vorhandenen WBL) schlägt die Applikation einen Wald-/Nichtwald-Entscheid vor. Dieser Vorschlag kann in bestimmten Fällen vom Interpreten verworfen werden, wobei der Grund für die Ablehnung angegeben werden muss. Für neue Waldproben müssen für die terrestrische Inventur drei Fixpunkte für die Einmessung im Feld bestimmt werden. Nach der anschließenden Interpretation der gutachterlichen Merkmale (Entwicklungsstufe, Schlussgrad) kann die Probefläche gespeichert werden.

### *Aufnahme der Gehölze ausserhalb des Waldareals*

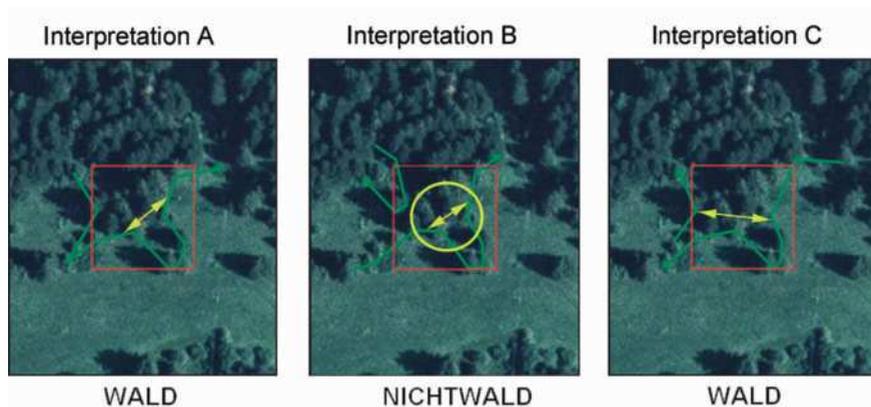
Fällt der Wald/Nichtwald-Entscheid auf Nichtwald, wird der Interpret zur Gehölzmessung geführt. In diesem Interpretationsschritt werden lineare und punktförmige Gehölze innerhalb der Probefläche, aber außerhalb des Waldareals über ihre horizontale Ausdehnung kartiert.

## **4 Qualitätskontrolle**

Im Gegensatz zum LFI2 (Paschedag und Keller 2001) werden kontinuierlich Kontrollflächen interpretiert. Um einerseits den Bearbeiterinfluss auf die Interpretation abschätzen zu können und andererseits die Interpretation zwischen den Interpreten homogen zu halten, werden 5 000 zufällig ausgewählte Probeflächen (ca. 3%) von zwei weiteren Interpreten und 1 000 Probeflächen von allen Interpreten ausgewertet. Diese Kontrollinterpretationen sind im normalen Arbeitsprogramm integriert, damit der Interpret nicht weiß, ob es sich um

eine »Erstauswertung« oder um eine »Wiederholungsauswertung« handelt. Die Steuerung der Qualitätskontrolle läuft, wie auch die Auswahl der Probeflächen, über die Datenbank.

Die Zuverlässigkeit der Merkmalsansprachen und die Reproduzierbarkeit der Merkmale sind somit jederzeit überprüfbar.



*Bild 5:* Beispiel für unterschiedlichen Wald-/Nichtwaldentscheid bei einer Dreifachinterpretation. Rot – Probefläche. Grün – Waldbegrenzungslinie (WBL). Gelb – Berechnete Waldbreite. Gelber Kreis: In diesem Fall erfüllt die Waldbreite nicht die geforderten 25 m für einen positiven Waldentscheid.

Ein möglicher Grund für unterschiedliche Waldentscheide liegt in den abweichenden Interpretationen der Waldbegrenzungslinie (*Bild 5*).

## 5 Fazit und Ausblick

Die operationelle Interpretation läuft seit Oktober 2003. An vier Arbeitsstationen wird gleichzeitig auf digitale Stereomodelle zugegriffen und Informationen zum Schweizer Wald aber auch zum Nichtwaldareal erhoben. Die erhobenen Daten werden kontinuierlich auf Plausibilität überprüft, um eine gleich bleibende Datenqualität zu gewährleisten. Dadurch können Probleme, wie fehlende Luftbilder oder Softwarefehler, sehr rasch erkannt und behoben werden.

Die eingesetzte Hard- und Software hat sich bewährt, der Wartungsaufwand liegt im erwarteten Rahmen. Durch die Software-Produktion im Haus und dem

intensiven Austausch zwischen Entwickler und Interpreten konnte die Benutzersteuerung mit geringem Aufwand optimiert werden.

Im LFI3 wird versucht, gutachterliche Ansprachen zu vermeiden. Die erhobenen »Rohdaten«, d. h. die Rasterpunkte und Objekthöhen, lassen die Anwendung verschiedener Walddefinitionen zu. Abgeleitete Merkmale, wie Wald oder Nichtwald, sind reproduzierbarer als bei direkter Interpretation. Der Interpreteneinfluss auf gutachterliche Merkmale, wie Schlussgrad und Entwicklungsstufe, ist nicht von der Hand zu weisen. In Zukunft sollen diese Ansprachen vermehrt von Messgrößen abgeleitet werden.

Die nächste Generation von Luftbildern ist absehbar. Das Bundesamt für Landestopographie setzt ab 2005 die digitale Kamera ADS40 von Leica für die Bildfassung ein. Zusätzlich werden der Bildmaßstab und der Befliegungsrhythmus geändert. Dies eröffnet neue Interpretations- und Messmöglichkeiten. Der zusätzliche nahe Infrarotkanal wird feinere Differenzierungen der Gehölze und der Vegetation erlauben. Die grosse Herausforderung wird die Sicherstellung der Vergleichbarkeit der gewonnenen Daten bei Änderungen in Methoden und Material gegenüber früheren Inventuren sein.

## Literatur

- Brassel, P. (2001): Swiss National Forest Inventory: Methods and Models of the Second Assessment. Birmensdorf, Swiss Federal Research Institute WSL, S. 336.*
- Keller, M. (2001): Aerial Photography. In: Brassel, P.; Lischke, H. (eds) Swiss National Forest Inventory: Methods and Models of the Second Assessment. Birmensdorf, Swiss Federal Research Institute WSL, S. 45-64.*
- Köhl, M.; M. Keller (1999): Luftbildinterpretation mit Hilfe von analytischen Stereoauswertegeräten im Schweizerischen Landesforstinventar. GIS(6), S. 13-19.*
- Köhl, M.; Brassel P. (1994): Zweites Schweizerisches Landesforstinventar: Optimierung des Stichprobenplanes unter dem Gesichtspunkt der Kosteneffizienz. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 145(9), S. 721-738.*
- Mahrer, F. (1980): Application of aerial photography in the Swiss National Forest Inventory (NFI). International archives of photogrammetry 23, S. 589-600.*
- Mathys, L.; Ginzler, C.; Zimmermann, N.E.; Brassel, P.; Wildi, O. (subm.): Assessment of continuous landscape variables to extract a discrete forest area.*
- Paschedag, I.; Keller, M. (2001): Control Survey of the Aerial Photo Interpretation. In: Brassel, P.; Lischke, H. (Hrsg.): Swiss National Forest Inventory: Methods and Models of the Second Assessment. Birmensdorf, Swiss Federal Research Institute WSL, S. 125-131.*
- Wildi, O.; Brassel, P. (1999): Die Landschaftsinventur – Ein Informationssystem für die »Landschaft Schweiz«. Inf.b. Forsch.bereich Landschaft 44, S. 1-4.*