

Zeitschrift:	Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse
Herausgeber:	Schweizerischer Forstverein
Band:	141 (1990)
Heft:	5
Artikel:	Zur Baumhöhenmessung auf Orthophotos
Autor:	Bodmer, Hans-Caspar / Commarmont, Brigitte
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-764986

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: 14.01.2026

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

Zur Baumhöhenmessung auf Orthophotos

Von *Hans-Caspar Bodmer* und *Brigitte Commarmot*
(Departement Wald- und Holzforschung der ETH Zürich,
Professur für Forsteinrichtung, CH-8092 Zürich)

Oxf.: 587.2:522.2

Einleitung und Problemstellung

Orthophotos und Stereo-Orthophotos gewannen in den letzten Jahren als Planungsgrundlage zunehmend an Bedeutung, da sie den Detailreichtum des Luftbildes mit der geometrischen Exaktheit der Karte verbinden (*Kraus* 1979). Sie ermöglichen die direkte Übertragung der Photoinformation auf Karten oder Pläne und unterscheiden sich darin wesentlich von den normalen Luftbildern, die durch die Zentralprojektion erhebliche Verzerrungen aufweisen (*Blachut* 1971). Die kartengerechte Darstellung im Orthophoto lässt dieses besonders als Grundlage für analoge und digitale Informationssysteme verwenden. Ein häufiger Anwendungsbereich ist die Nachführung von Kartenwerken in verschiedenen Massstäben.

Seit etwa 1970 hat das Orthophoto im Massstab 1 : 5000 oder 1 : 10 000 auch in der Forstwirtschaft Einzug gehalten. Verwendet werden hier häufig auch Farbinfrarotbilder, da diese bezüglich der Vegetation mehr Informationen enthalten.

Erst selten erwähnt wurde die Möglichkeit der Baumhöhenmessung auf dem Orthophoto (zum Beispiel *Collins* 1970), wobei Angaben über erzielte Genauigkeiten fehlen. Die Baumhöhe ist ein wichtiges Merkmal zur Ausscheidung von Entwicklungsstufen oder zur Schätzung des Vorrates eines Bestandes.

Baumhöhenmessungen auf Orthophotos sind deshalb möglich, weil bei der Herstellung der Bilder nur diejenigen Punkte entzerrt werden, die in der Bezugebene (Geländeoberfläche) liegen. Die Parallaxen (scheinbare Verschiebung eines Objektes, das unter verschiedenen Gesichtswinkeln aufgenommen wird) von Objekten, die das Gelände-modell überragen, bleiben hingegen erhalten.

Mit der vorliegenden Untersuchung soll an einem Testobjekt gezeigt werden, welche Genauigkeit bei der Messung von Baumhöhen auf Orthophotos erreicht wird, und welche Faktoren diese beeinflussen. Untersucht werden soll insbesondere auch der Einfluss des Vergrösserungsfaktors des Auswertegerätes auf den zufälligen Messfehler.

Untersuchungsmaterial

Für die Untersuchungen stand ein Orthophoto zur Verfügung, das einen Ausschnitt aus dem Brunnatal im Kanton Uri zeigt. Die Waldbestände im Bereich der Waldgrenze sind stark aufgelöst, so dass die volle Höhe der Bäume problemlos gesehen und die einzelnen Fichten auch im Gelände eindeutig identifiziert werden können.

Das Orthophoto im Massstab 1 : 5000 wurde auf einem Avioplan OR1 hergestellt. Ausgangsmodell war ein Luftbild-Stereopaar vom August 1979 im Massstab 1 : 25 000. Für den Stereoeffekt wurden neue Parallaxen künstlich eingeführt und auf einem sogenannten Stereopartner aufbelichtet.

Methode

Die Bestimmung der Baumhöhe auf dem Orthophoto erfolgt aufgrund von Parallaxenmessungen am Stammfuss und am Scheitelpunkt eines Baumes. Durch die verschiedenen Gesichtswinkel, unter denen ein Baum auf einem Luftbildpaar sichtbar wird, werden die Krone und der Stammfuss radial nicht gleich stark gegen den Bildrand verschoben. Die Bäume ausserhalb des Bildzentrums scheinen vom Bildmittelpunkt wegzukippen. Die Differenz der Parallaxen der Kronenspitze und des Stammfusses ermöglicht die Berechnung der Baumhöhe.

Zur Untersuchung der Genauigkeit der Baumhöhenmessung auf den Orthophoto wurden von 58 gut sichtbaren Fichten unterschiedlicher Grösse die Höhen sowohl auf dem Stereo-Orthophoto als auch im Gelände (mit einem Suunto-Hypsometer) gemessen. Der Zusammenhang zwischen den Baumhöhen im Orthophoto gemessen und den terrestrischen Messungen wurde mit Hilfe der linearen Regression geprüft.

Zur Bestimmung der zufälligen Messfehler und zur Untersuchung des Einflusses des Vergrösserungsfaktors des Auswertegerätes auf die Genauigkeit der Messung wurden zunächst an fünf ausgewählten Bäumen mittlerer Höhe mit je vier Vergrösserungsfaktoren je zehn Messungen durchgeführt. Die Messungen erfolgten mit dem Stereomikrometer und verschiedenen Stereoskopen (ST4 für einfache, ODSS II für eineinhalbache, APT1 für 3- und 7,5fache Vergrösserung).

Sowohl die Messungen zur Baumspitze und zum Stammfuss als auch die Differenzen der auf dem Orthophoto bestimmten Baumhöhen zu den terrestrisch gemessenen Höhen wurden auf ihre Homogenität untersucht. Der zufällige Messfehler wurde für jede Vergrösserung individuell aus den Wiederholungen berechnet.

Ergebnisse

Die an den fünf Einzelbäumen durchgeföhrten wiederholten Messungen zeigten folgende Ergebnisse:

- Die zufälligen Messfehler (Standardabweichungen aus den zehn Messungen pro Vergrösserungsfaktor) sind in 18 der 20 Fälle bei den Parallaxenmessungen der Baumspitze grösser als bei den Messungen des Stammfusses; bei acht der Messgruppen

- (40%) weichen die Standardabweichungen der «oberen» Messung (Baumspitze) signifikant von den Standardabweichungen der «unteren» Messung (Stammfuss) ab.
- Die kleinsten Standardabweichungen ergaben sich bei den Messungen mit dem Vergrösserungsfaktor 3. Dies gilt sowohl am Stammfuss als auch an der Baumspitze, ebenso für die Differenzen zwischen «Orthophoto-Baumhöhe» und «terrestrischer Höhe» (*Tabelle 1*). In 40% der Fälle war die Standardabweichung bei den Baumhöhenmessungen mit 3facher Vergrösserung signifikant kleiner als bei den Messungen mit den anderen Vergrösserungsfaktoren.
 - Die Standardabweichung der Differenzen der «Orthophoto-Baumhöhen» zu den terrestrisch gemessenen Höhen beschreibt den gesamten zufälligen Messfehler. Sie beträgt bei den Messungen mit dem Vergrösserungsfaktor 3 im Durchschnitt der fünf Bäume 2,71 m. Bei den Messungen mit den Faktoren 1 und 7,5 ist sie mit 4,47 m bzw. 5,24 m wesentlich grösser (*Tabelle 1*).

Tabelle 1. Vergleich der Standardabweichungen bei Messung mit verschiedenen Vergrösserungsfaktoren (Durchschnittswerte der fünf Bäume).

Standardabweichung	Vergrösserungsfaktor			
	1 x	1,5 x	3 x	7,5 x
Messung Baumspitze	3,59 m	3,11 m	2,37 m	4,97 m
Messung Stammfuss	2,25 m	1,80 m	1,66 m	3,14 m
Differenz «Orthophoto-Höhe» – «terrestrische Höhe	4,47 m	3,58 m	2,71 m	5,29 m

Aufgrund dieser Resultate wurden die Parallaxenmessungen zur Bestimmung der Baumhöhen für die 58 Fichten (zwischen 9 und 31 m) schliesslich nur noch mit dem Vergrösserungsfaktor 3 durchgeführt.

Die Regressionsrechnung mit der terrestrisch gemessenen Baumhöhe (H_{terr}) als unabhängige und der «Orthophoto-Höhe» (H_{orth}) als abhängige Variable ergab folgendes Modell (siehe auch *Abbildung 1*):

$$H_{orth} = 4,43 + 0,77 H_{terr}$$

mit $r^2 = 42\%$ und einem Standard-Fehler von 4,32 m.

Diskussion

Die Resultate zeigen, dass die Baumhöhenmessungen auf dem verwendeten Orthophoto-Stereopaar mit einem zufälligen Messfehler von 4 bis 5 m behaftet sind, dies obwohl in dem aufgelösten Bestand auch der Stammfuss der einzelnen Bäume gut sichtbar war. Dieser Messfehler ist rund drei- bis viermal grösser als bei Höhenmessungen auf normalen (unkorrigierten) Luftbildern im Massstab 1 : 5000 bis 1 : 10 000 (*Huss, 1984, S. 133*). Aufgrund theoretischer Fehlerrechnungen von *Kalliany R. (1985)* muss jedoch bei Höhenmessungen auf Orthophotos nicht generell mit einer grösseren Ungenauigkeit gerechnet werden als bei Messungen auf unkorrigierten Luftbildern.

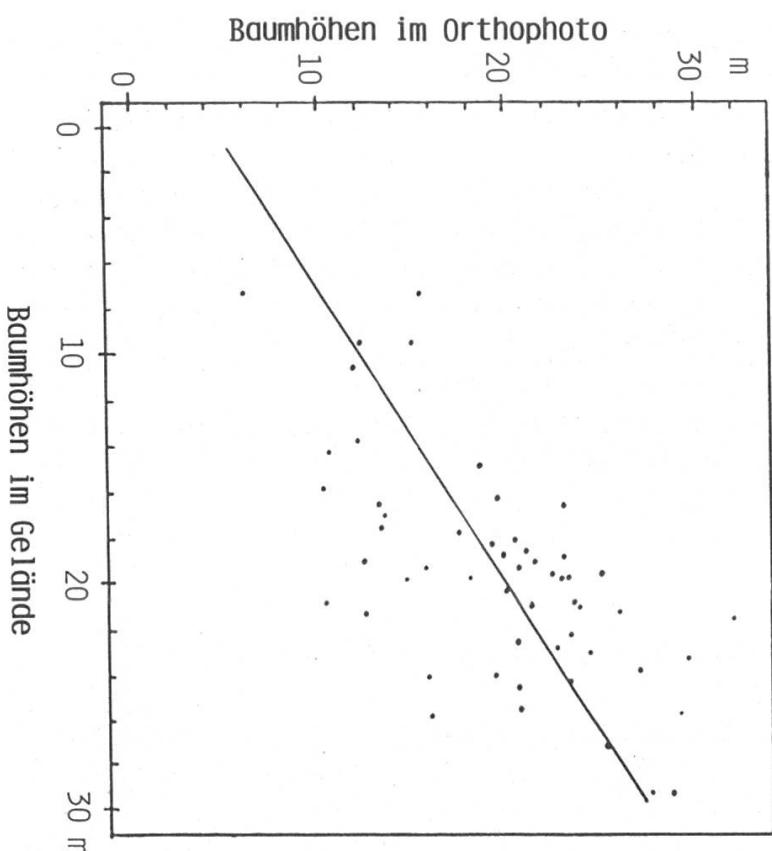


Abbildung 1.
Lineare Regression
zwischen terrestrisch
gemessener Höhe
und «Orthophoto-Höhe».

Die Ergebnisse lassen vermuten, dass die starke Streuung der Werte weniger auf messtechnische Probleme zurückzuführen ist, als darauf, dass mit den vorhandenen Bildern an die Grenze des Auflösungsvermögens von Film und Photopapier gestossen wird. Darauf deutet sowohl die Tatsache hin, dass sich die stärksten Streuungen bei den Messungen mit den grössten Vergrösserungsfaktoren ergaben, als auch diejenige, dass die Parallaxenmessungen am Stammfuss eine geringere Standardabweichung aufwiesen als die Messungen an den Baumspitzen. Offenbar liess sich die Messmarke wesentlich sicherer neben dem Stammfuss aufsetzen als auf den sehr schlanken Fichtenwipfeln, welche bei leichter Unschärfe des Bildes je nach Vergrösserungsfaktor kaum mehr sichtbar sind.

Bei der Herstellung eines Orthophotos wird vom Negativ des Originalluftbildes ein Positiv abkopiert, das im folgenden für die Entzerrung zeilenweise abgetastet wird. Das entzerrte Bild wird wieder aufbelichtet. Durch das zweimalige Umkopieren entstehen trotz des verwendeten harten Kopiermaterials ein Kontrastverlust und eine gewisse Unschärfe, die zwar gering sind, bei Vergrösserungen aber trotzdem hervortreten können.

Nach Angaben von Keller (1988)¹ sollte bei den heute verwendeten Photomaterialien für genaue Messungen der Vergrösserungsfaktor 5 nicht überschritten werden. Einzig bei aussergewöhnlichen Aufnahmebedingungen (Sichtweite über 50 km) kann in Einzelfällen mit grösseren Vergrösserungsfaktoren (bis zu 10) gearbeitet werden. Bei dem für die vorliegende Untersuchung benützten Orthophoto im Massstab 1 : 5000 handelt es sich bereits um eine 5fache Vergrösserung des Originalluftbildes. Weitere Vergrösserungen durch das Auswertegerät sind deshalb problematisch. Dennoch zeigten die

¹ Keller (1988), Swissair Photo- und Vermessungs AG, Zürich: persönliche Mitteilung.

Messungen mit 3facher Vergrösserung (15fach vom Original) geringere Streuungen als die Messungen mit dem Faktor 1. Dies dürfte daran liegen, dass die Messobjekte und vor allem auch die Messmarke mit 0,3 bis 0,5 mm sehr klein sind und besonders in Schattenpartien schlecht gesehen werden können. Bei zunehmender Vergrösserung wird die Messmarke auch im Schatten besser sichtbar. Gleichzeitig leidet jedoch bei konstanter Betrachtungsdistanz die höhere Auflösung durch das Sichtbarwerden des Kernes. Die Konturen verschwinden zusehends. Im vorliegenden Fall scheint nun die 3fache Vergrösserung (15fach vom Original) ein Optimum zwischen Auflösung, Körnung und Sichtbarkeit der Messmarke darzustellen.

Der Einfluss der vertikalen Überhöhung auf die Genauigkeit der Höhenmessung (*Rosas* 1986) kann in der vorliegenden Untersuchung vernachlässigt werden, da das Verhältnis zwischen Flugbasis und Aufnahmehöhe konstant ist.

Weil alle Messungen von derselben Person durchgeführt wurden, wirkt sich systematisch fehlerhaftes Ablesen durch den Interpreten nicht auf die Streuung der Messwerte aus.

Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse haben gezeigt, dass Orthophotos üblicher Qualität, wie sie für die vorliegende Untersuchung verwendet wurden, für Baumhöhenmessungen ungeeignet sind. Die dabei entstehenden Messfehler sind bis zu viermal grösser als bei Messungen auf nicht entzerrten Luftbildern, weshalb für Baumhöhenmessungen mit Vorteil die originalen Luftbilder beigezogen werden.

Diese Aussage soll keineswegs den Wert und die Bedeutung des Orthophotos schmälen. Vielmehr hat die Untersuchung gezeigt, dass die verschiedenen Fernerkundungsmethoden für unterschiedliche Aufgaben zweckmässig sind. Orthophotos sind in der Forstwirtschaft ein äusserst nützliches Hilfsmittel für diverse Planungstätigkeiten, wie Bestandeskartierungen, Wald-Weide-Ausscheidungen, generelle Erschliessungsplanungen oder auch für verschiedene forstpolitische Aufgaben.

Literatur

- Blachut, Th. J.*, 1971: Mapping and Photointerpretation System Based on Stereo-Orthophotos. Diss. No. 4792, ETH.
- Collins, S. H.*, 1970: The Ideal Mechanical Parallax for Stereo Orthophotos. *The Canadian Surveyor* 24, 5.
- Huss, J.*, 1984: Luftbildwesen und Fernerkundung in der Forstwirtschaft. Herbert Wichmann Verlag, Karlsruhe.
- Kalliany, R.*, in *Rüsch, W.*, 1985: Baumhöhenmessung mittels Stereo-Orthophotos. ETHZ, Forsteinrichtung, unveröffentlicht.
- Kraus, K.*, 1979: Moderne Orthophototechnik. *Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik* 4, 1979.
- Rosas H.*, 1986: Vertical Exaggeration in Stereo Vision. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 11, 1986.