



Neue Bestandeskarte

Halbautomatisiertes Verfahren zur Erstellung von Waldbestandeskarten mit Luftbildern und Oberflächenmodellen

Forschungsprojekt

Projektbericht

Dr. Hubertus Schmidtke

Michael Götz

Roland Wack

Prof. Dr. Mathias Schardt

Winterthur und Graz, November 2008



SILVA CONSULT AG Neustadtgasse 9 Postfach 184 CH-8402 Winterthur
T +41 (0)52 214 02 65 F +41 (0)52 214 02 66 www.silvaconsult.ch
JOANNEUM RESEARCH, Institut für Digitale Bildverarbeitung, Wastlinggasse 6, A-8010 Graz
T +43 (316) 876-1754 F +43 (316) 876-1754 www.joanneum.at

SILVACONSULT AG Neustadtgasse 9 Postfach 184 CH-8402 Winterthur
T +41 (0)52 214 02 65 F +41 (0)52 214 02 66 www.silvaconsult.ch

JOANNEUM RESEARCH, Institut für Digitale Bildverarbeitung, Wastiangasse 6, A-8010 Graz
T +43 (316) 876-1754 F +43 (316) 876-1754 www.joanneum.at

Inhalt

Zusammenfassung

1. Einleitung.....	1
1.1. Ausgangslage	1
1.2. Zielsetzung	2
1.3. Beteiligte.....	3
2. Material und Methoden	4
2.1. Testgebiete	4
2.2. LIDAR	6
2.3. Spektraldaten	7
2.4. Geländemodelle und Oberflächenmodelle	9
2.5. Datenlage Übersicht	10
3. Ergebnisse.....	10
3.1. Verfahren Überblick	10
3.2. Datenbereitstellung	12
3.3. Waldaussengrenzen	12
3.4. Bestandesgrenzen	14
3.5. Diskussion des Verfahrens der Bestandesabgrenzung	15
3.6. Ableitung der Bestandesparameter aus LIDAR und Spektraldaten	16
3.6.1. Übersicht über die Bestandesparameter	17
3.6.2. Diskussion der Bestandesparameter	17
3.7. Bestimmung des Holzvorrates und der Baumbiomasse.....	22
3.8. Die „Neue Bestandeskarte“	24
3.9. Auswertungen der Datenbank. Wo steht das Holz?	26
4. Weitergehende Auswertungen.....	27
4.1. Bestimmung der Sturmstabilität von Waldbeständen.....	27
4.2. Bestimmung der Lawinengefahr.....	29
5. Diskussion der Ergebnisse	30
5.1. Verfahren und Resultate	30
5.2. Kosten der Daten	30
5.3. Kosten-/Nutzenüberlegungen	32
5.4. Ausblick.....	32
6. Literatur- und Quellenverzeichnis.....	33

Abbildungen

Abb. 1: Verfahrensübersicht.....	3
Abb. 2: Organisation.....	4
Abb. 3: Testgebiet Obwalden, ArGE Forst Sarnen	5
Abb. 4: Testgebiet Kanton Basel-Landschaft.....	5
Abb. 5: Testgebiet Schwyz	6
Abb. 6: LIDAR-Daten Testgebiet BL.....	6
Abb. 7: Luftbild Testgebiet BL	7
Abb. 8: Satellitendaten Testgebiet Obwalden	8
Abb. 9: Klassifizierung Testgebiet Obwalden.....	8
Abb. 10: Geländemodell DTM Testgebiet BL	9
Abb. 11: Vegetationsmodell DOM Testgebiet BL.....	9
Abb. 12: Automatisch abgeleitete Bestandesgrenzen, OW	16
Abb. 13: Automatisch abgeleitete Baumspitzen.....	18
Abb. 14: Die „Neue Bestandeskarte“	25
Abb. 15: Flächenverteilung der Hektarvorräte Testgebiet Schwyz.....	26
Abb. 16: Karte der Hektarvorräte Testgebiet Schwyz.....	27
Abb. 17: Übersicht Verfahren Sturmstabilität.....	28
Abb. 18: Karte zur Sturmstabilität.....	29
Abb. 19: Lawinengefahrenpotenziale	30

Tabellen

Tab. 1: Übersicht Datenlage im Projektperimeter(Ausnahme Zürich).....	10
Tab. 2: Übersicht über die Bestandesattribute.....	17
Tab. 3: Bestandescode	19
Tab. 4: Entwicklungsstufen	20
Tab. 5: Mischungsgrad	20
Tab. 6: Deckungsgrad.....	21
Tab. 7: Holzvorrat, Variablen.....	21
Tab. 8: Plausibilität Vorrat	23
Tab. 9: Holzvorräte Testgebiet Schwyz.....	26
Tab. 10: Preisindikationen ASTEC GMBH	31
Tab. 11: Preisvergleich der Verfahren.....	31

Zusammenfassung

Im Rahmen des Projektes „Neue Bestandeskarte“ wurde ein operationelles Verfahren zur Waldbestandeskartierung mit digitalen Oberflächenmodellen und Spektraldaten entwickelt, dessen Kosten-/Nutzenrelation deutlich besser ist, als diejenige des konventionellen Verfahrens mit Luftbildern. Es werden zusätzliche Parameter abgeleitet, die bisher nicht oder nur mit sehr grossem Aufwand erhoben werden konnten, wie zum Beispiel der Holzvorrat je Bestand. Die Waldbestände werden halbautomatisch abgegrenzt, die Bestandesparameter werden automatisch abgeleitet. Die Operationalität wurde an drei Testgebieten mit zusammen 3'000 Hektaren demonstriert.

Das Projekt wurde finanziert vom Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung sowie vom Bundesamt für Umwelt BAFU sowie von den Kantonen Obwalden, Schwyz, Baselland und Zürich. Die SILVACONSULT AG Winterthur führte das Projekt zusammen mit dem Joanneum Research Graz durch.

1. Einleitung

1.1. Ausgangslage

Waldbestandeskarten sind ein wichtiges Instrument für die Waldbewirtschaftung und für die hoheitlichen Belange der Forstbehörden. Das konventionelle Verfahren zur Erstellung von Waldbestandeskarten in der Schweiz ist die visuelle Interpretation von Luftbildern. In den meisten Kantonen werden Luftbilder stereoskopisch photogrammetrisch ausgewertet und interpretiert¹. Vereinfachte Verfahren nutzen Orthophotos². Versuche, allein aus digitalen Luftbildern Bestände automatisiert zu klassifizieren, sind bisher fehlgeschlagen. Gründe dafür sind u.a. Texturprobleme und die fehlenden Höheninformationen. Zudem enthält eine Bestandeskarte Generalisierungen, die nicht physisch sondern betrieblich bedingt sind. Das ist auch der Grund, weshalb das hier zu entwickelnde Verfahren nicht vollautomatisiert ist.

Die Auswertung von digitalen Höhenmodellen aus LIDAR³ Daten in Kombination mit digitalen optischen Luftbilddaten zur Herleitung von Waldparametern ist Gegenstand der Forschung. Verschiedene Teilergebnisse zeigen das Potenzial der neuen Technologie. Bestandesgrenzen, -höhen, -lücken, Steilränder, Baumarten u.a. werden aus diesen Daten hergeleitet. Was bisher fehlt, ist ein Verfahren, das dieses Potenzial ausschöpft, das operationell über grosse Flächen angewandt werden kann und das ein für die Praxis taugliches Produkt liefert.

Hinzu kommt ein Aspekt, der sich aus dem Projekt „Sturmstabilität“ ergeben hat. Im Projekt „Sturmstabilität“⁴, wurde zusammen mit den Kantonen Luzern, Thurgau und Zürich sowie dem Fonds- für Wald und Holzforschung ein operationelles Verfahren zur Beurteilung der Sturmstabilität von Waldbeständen als Basis für die Schadenprävention entwickelt. Neben digitalen Bestandes- und Standortdaten wurden Gelände- und Oberflächenmodelle aus LIDAR Daten verwendet. Für die Anwendung des Verfahrens hat sich die Aktualität der Daten als kritisch

¹ Z.B. Kantone Zürich, Aargau, Glarus

² Z.B. Kanton Jura

³ LIDAR: Laserscanning ist eine Methode, zur Erfassung der Gelände- und Vegetationsoberfläche, bei der von einem Flugzeug aus die Oberfläche mit einem Laser-Entfernungsmessgerät abgetastet wird und so hochdichte und hochpräzise Oberflächen- und Geländemodelle liefert. Ein Hektar Wald wird mit bis zu 40'000 Punkten dreidimensional beschrieben und bildet somit die Oberfläche der Vegetation sehr präzise ab. Daraus lassen sich einzelne Bäume identifizieren und wald- und holzwirtschaftliche Parameter ableiten.

⁴ M. GÖTZ & H. SCHMIDTKE (2006): Projekt Sturmstabilität: Verfahren zur Bestimmung der Sturmstabilität von Waldbeständen als Basis für die Schadenprävention (Projektnummer 2006.06).

erwiesen. Sind Bestandes- oder LIDAR-Daten älter als 5 Jahre, nimmt die Unschärfe der Resultate stark zu. Eine Neubefliegung nur zum Zwecke der Sturmstabilität rechnet sich nicht. Insofern macht es Sinn, die Oberflächen- und Geländemodelle aus LIDAR Daten für die Aktualisierung oder Neukartierung von Bestandeskarten nutzen. Dieser mehrfache Nutzen der Daten (Bestandeskartierung und Sturmstabilität) rechtfertigt möglicherweise auch eine Neubefliegung.

1.2. Zielsetzung

Das Ziel des Projektes war es, ein operationelles Verfahren zur Waldbestandeskartierung zu entwickeln, dessen Kosten-/Nutzenrelation deutlich besser ist, als diejenige des konventionellen Verfahrens aus Luftbildern. Es sollen zusätzliche Parameter abgeleitet werden, die bisher nicht oder nur mit sehr grossem Aufwand erhoben werden konnten. Die verbesserten Planungsgrundlagen sollen es den Forstbetrieben u.a. erleichtern, die Holznutzung nach den Bedürfnissen des Holzmarktes zu steuern.

Es ging bei dem Projekt nicht darum, Grundlagenforschung zu betreiben, sondern darum, vorhandene Erkenntnisse in einem Verfahren zusammenzufassen. Es sollte ein Produkt entwickelt werden, das aus einer Karte und Bestandesinformationen besteht und das von der Praxis genutzt werden kann. Es ist somit eine angewandte Forschung im Bereich des Technologietransfers.

Das Projekt umfasste 3 Testgebiete mit zusammen 3000 ha. Damit sollte die Praxistauglichkeit bewiesen werden. Das Verfahren sollte für andere Gebiete ebenso angewendet werden können.

Der Katalog der Bestandesinformationen, die mit dem neuen Verfahren hergeleitet werden, soll den Bedürfnissen der Auftraggeber angepasst werden können (Abb.1).

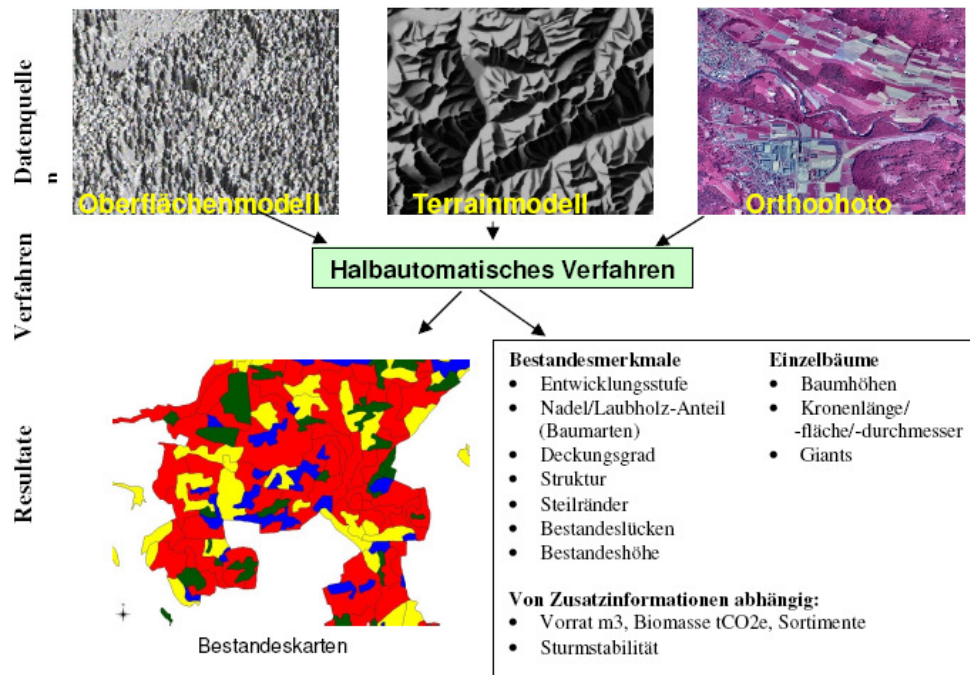


Abb. 1: Verfahrensübersicht

1.3. Beteiligte

Das Projekt wurde gemischt finanziert von den Kantonen Zürich, Obwalden, Basel-Landschaft und Schwyz, vom BAFU, sowie vom Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung. Die Testgebiete lagen in den Kantonen Obwalden, Basel-Landschaft und Schwyz. Die Durchführung oblag der SILVACONSULT AG⁵, Winterthur (Projektleitung), sowie dem Joanneum Research⁶, Graz.

⁵ siehe www.silvaconsult.ch

⁶ siehe www.joanneum.at

Organisation

Projektleitung/	
Projektdurchführung:	SILVACONSULT AG, Neustadtgasse 9, 8402 Winterthur <ul style="list-style-type: none"> ▪ Dr. Hubertus Schmidtke ▪ Dipl. Forstingenieur ETH Michael Götz ▪ Dipl. Ing. Roland Wack, Joanneum Research Graz
Projektteilnehmer:	Kanton Basel-Landschaft , Forstamt beider Basel <ul style="list-style-type: none"> ▪ Kantonsforstingenieur Ueli Meier ▪ Förster Max Fischer, Forstliche Planung Kanton Obwalden , Amt für Wald und Raumentwicklung <ul style="list-style-type: none"> ▪ Kantonsoberrförster Peter Lienert ▪ Dipl. Forstingenieur ETH Roland Christen Kanton Schwyz , Amt für Wald, Jagd u. Fischerei <ul style="list-style-type: none"> ▪ Kantonsförster Theo Weber ▪ Dipl. Forstingenieur ETH Bernhard Roth, Fachbereich Forstliche Planung Kanton Zürich , Amt für Landschaft u. Natur, Abt. Wald <ul style="list-style-type: none"> ▪ Kantonsforstingenieur Alain Morier ▪ Dipl. Forstingenieur ETH Hermann Hess, Leiter der Sektion Planung BAFU , Bundesamt für Umwelt, Abteilung Wald <ul style="list-style-type: none"> ▪ Hans-Peter Schaffer, Sektion Grundlagen und Waldberufe ▪ Erica Zimmermann, Forstkreis 3
Beratung:	Prof. Dr. Mathias Schardt , Institutsleiter, Joanneum Research, Institut für digitale Bildverarbeitung
Steuerungsgruppe:	Jeweils ein Vertreter der am Projekt beteiligten Kantone

Abb. 2: Organisation

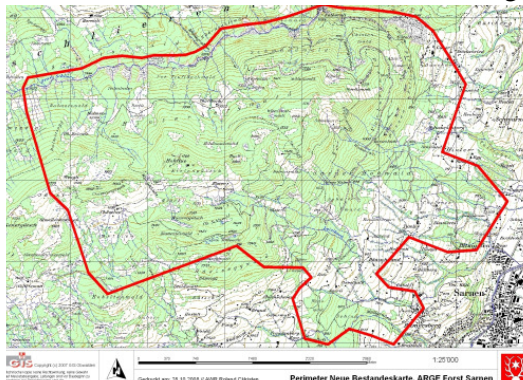
2. Material und Methoden

2.1. Testgebiete

Die drei Testgebiete in den Kantonen Obwalden, Basel-Landschaft und Schwyz wurden aufgrund ihrer geografischen Lage, des Standorts, der vorherrschenden Bestockung und der Datenlage ausgewählt. In ihrer Gesamtheit repräsentieren die Testflächen Waldverhältnisse wie sie in weiten Teilen des schweizerischen Mittel-landes, Juras und der Voralpen anzutreffen sind.

Obwalden

Das Testgebiet im Kanton Obwalden (Abb. 3) umfasst insgesamt 1035 ha Wald. Es befindet sich oberhalb des Sarnersees, in der Gemeinde Sarnen. Die Wälder liegen zwischen 490 und 1700 Meter über Meer. In den unteren Lagen dominieren Laub- und Mischwälder, in den oberen Lagen sind es Nadelwälder. Sturmschäden sind im Gebiet weit verbreitet.

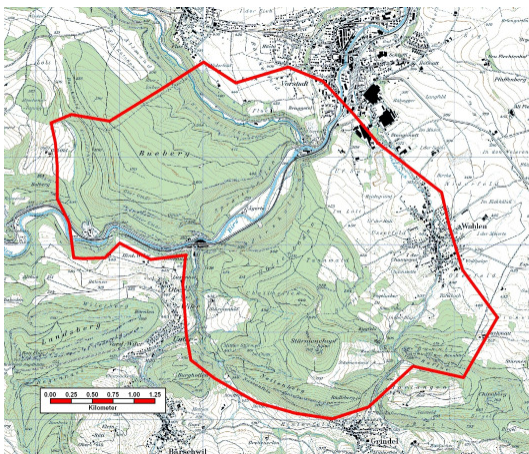


Kartengrundlage Landeskarte 1:
25'000⁷

Abb. 3: Testgebiet Obwalden, ArGE
Forst Sarnen

Basel-Landschaft

In den Gemeinden Laufen und Wahlen zwischen 390 und 770 Meter ü. Meer gelegen, umfasst das Testgebiet im Kanton Basel-Landschaft insgesamt 770 ha Wald, überwiegend bestehend aus Laubholz- oder Mischbeständen.



Kartengrundlage Landeskarte 1:
25'000⁸

Abb. 4: Testgebiet Kanton Basel-
Landschaft

⁷ Landeskarte 1:25'000 ©swisstopo DV 046375 PK25, genutzt mit Bewilligung des GIS Obwalden 2008

⁸ Landeskarte 1:25'000 ©swisstopo DVI175.PK.25, genutzt mit Bewilligung Forstamt beide Basel 2008

Schwyz

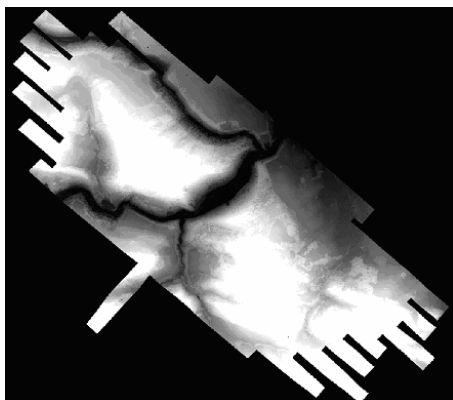


Das Testgebiet im Kanton Schwyz Abb. 5 liegt in der Gemeinde Einsiedeln, oberhalb des Sihlsees auf einer Höhe von 880 bis 1290 Meter über Meer und umfasst insgesamt 926 ha Wald. Die Wälder sind überwiegend nadelholzdominiert.

Kartengrundlage Landeskarte 1: 25'000⁹

Abb. 5: Testgebiet Schwyz

2.2. LIDAR



In den Testgebieten Obwalden und Schwyz wurde mit bestehenden LIDAR Daten der swisstopo gearbeitet. Die Befliegungen der Wälder fanden in unbelaubten (Dezember) oder in der Übergangsphase zum belaubten (April) Zustand statt. Für das Testgebiet im Kanton Basel-Landschaft wurde eine aktuelle Befliegung im belaubten Zustand (September) in Auftrag gegeben (Abb. 6).

Abb. 6: LIDAR-Daten Testgebiet BL

⁹ Landeskarte 1:25'000 ©swisstopo DV 549.1 PK 25, genutzt mit Bewilligung Amt für Wald, Jagd und Fischerei, Kanton Schwyz.

2.3. Spektraldaten

Orthophotos

Für alle drei Testgebiete standen normalfarbene Orthophotos (RGB) in guter Qualität zur Verfügung. Die Bildauflösung betrug generell 50 x 50 cm. Der untere, laubholzreiche Bereich des Testgebietes Obwalden war teilweise durch Bilder mit der Auflösung 20 x 20 cm abgedeckt (Abb. 7).



Abb. 7: Luftbild Testgebiet BL

Satellitendaten

Ohne Infrarotdaten ist die automatische Ableitung von Baumarten stark eingeschränkt. Deshalb wurden für die Testgebiete kostengünstige SPOT V Satelliten-Szenen mit einer Auflösung von 10 m x 10 m beschafft. Der Kanal mit dem mittleren Infrarot eignete sich am besten für die Unterscheidung Nadel-/ Laubholz (Abb. 8).

Die SPOT V Satellitenbilder der jeweiligen Testgebiete wurden über Passpunkte georeferenziert und mittels Geländemodell zu einem Orthobild umgerechnet. Dadurch konnten alle Datensätze direkt übereinander gelegt werden. Weiters wurde eine topographische Normalisierung gerechnet, um geländebedingte Abschattungen im Bild entsprechend anzupassen. Dieser Schritt war nötig, um bei der Klassifikation sowohl für sonnige als auch Schattbereiche vergleichbare Spektralwerte nutzen zu können. Anhand zahlreicher Referenzflächen erfolgte schließlich eine Klassifikation der SPOT V Szenen. Dabei wurden neben Laub-, Misch- und Nadelwaldklassen auch Strassen, Gebäude, Wiesen, Äcker und Gewässer klassifiziert (Abb. 9).

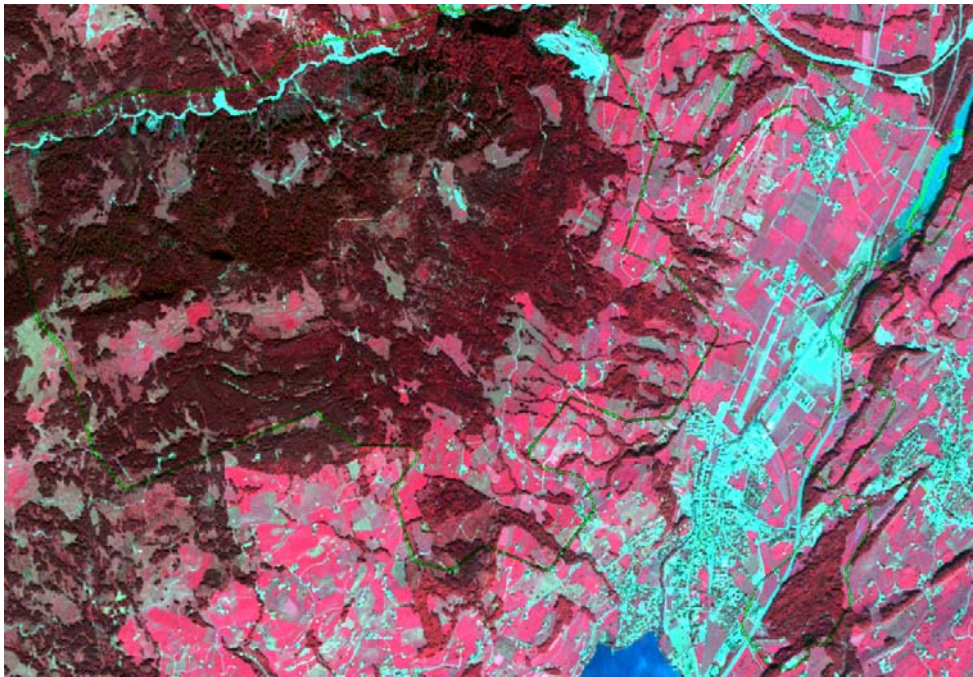
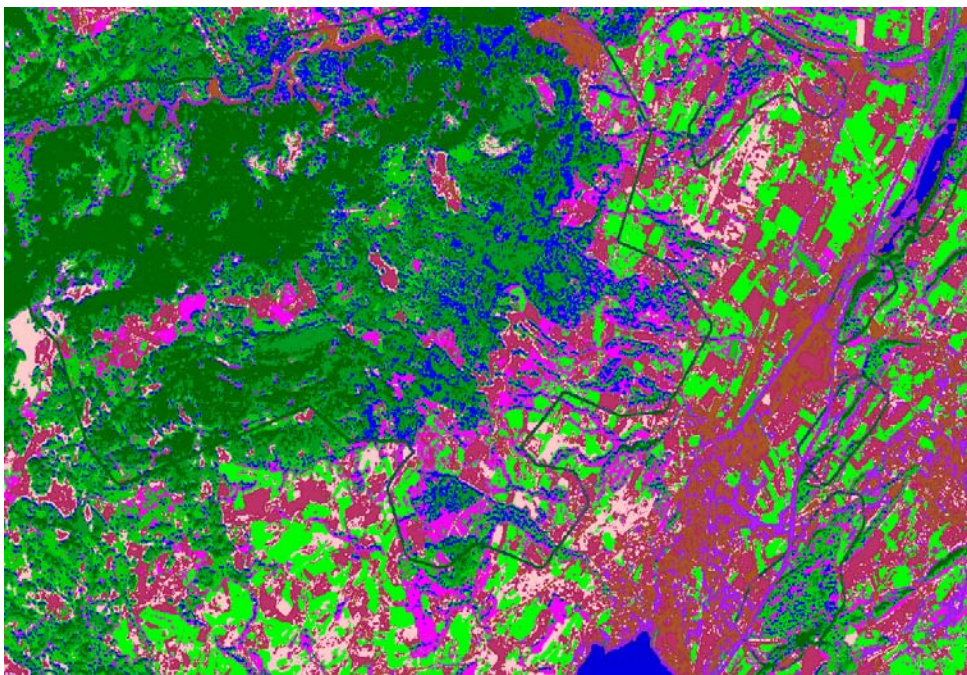


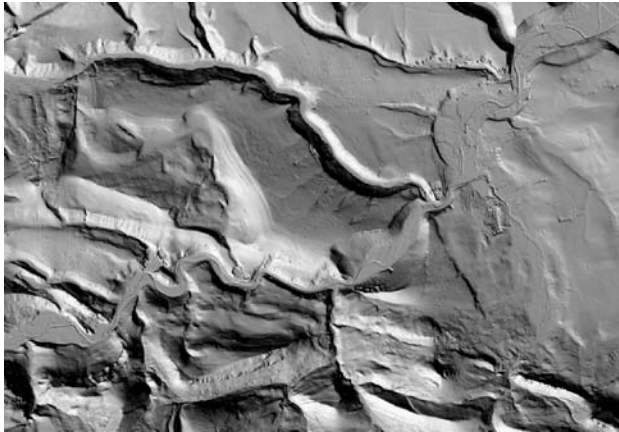
Abb. 8: Satellitendaten Testgebiet Obwalden



hellgrün: Nadelholz ES 1,2,3 grün: Nadelholz ES 4,5 dunkelgrün: Nadelholz ES >5
blau: Mischwald magenta: Laubholz
braun: Brache neongrün: Wiese gelb: Acker orange: Fels lila: Siedlung grau: Schatten
violett: Moor dunkelblau: Gewässer

Abb. 9: Klassifizierung Testgebiet Obwalden

2.4. Geländemodelle und Oberflächenmodelle



Aus den LIDAR-Rohdaten wurden das digitale Geländemodell DTM (Abb. 10) und das digitale Oberflächenmodell DOM abgeleitet.

Abb. 10: Geländemodell DTM
Testgebiet BL

Die Differenz von DOM und DTM ergibt das Vegetationsmodell (Abb. 11).

In diesem Modell kommen nur mehr Höhen über dem Gelände vor, die Geländeform ist in diesem Datensatz nicht mehr sichtbar, da bereits herausgerechnet (normalisiertes digitales Oberflächenmodell - nDOM).

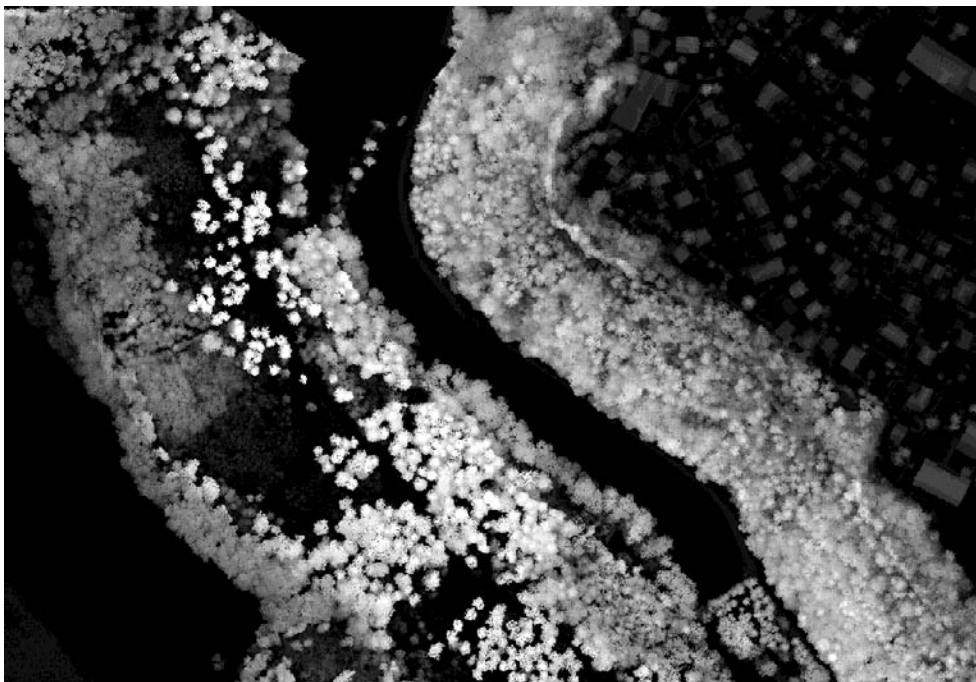


Abb. 11: Vegetationsmodell DOM Testgebiet BL

2.5. Datenlage Übersicht

Folgende Tabelle Tab. 1 gibt einen Überblick über die Datensituation der beteiligten Kantone.

Daten	Obwalden	Basel	Schwyz	Zürich
LIDAR DTM (Roh)	Swisstopo April 2007	AstecGeodata Sept. 2007	Swisstopo Dez - Feb 2002	Nein
LIDAR DOM (Roh)	Swisstopo April 2007	AstecGeodata Sept. 2007	Swisstopo Dez - Feb 2002	Nein
Satellit	Infrarotbild Spot5: 9.2005 10m Raster	Infrarotbild Spot5: 9.2004 10m Raster	Infrarotbild Spot5: 09.2005 10m Raster	Nein
Orthophotos	Normalfarben 2004, 50cm Raster. 2005, 20cm Raster.	Normalfarben 2004, 50 cm Raster.	Normalfarben 2004, 50cm Raster.	Ja
Standortskarte	Ja	Ja	Nein	Ja
Bonitierung	teilweise	Nein	Nein	Ja
Referenzbäume	102 Bäume April 2008	79 Bäume Juni 2008	Nein	Nein
Kontroll- stichproben	LFI 3 verdichtet 2004, 10 SP	Schmid-Haas 2008, 360 SP	Nein	Ja
Waldfläche	1'035 ha	770 ha	926 ha	Ja
Waldabgrenzung	Ja (unverbindlich)	Nein	Ja (unverbindlich)	Ja
Bestandeskarte	-	-	Einsiedeln 1991	Ja

Tab. 1: Übersicht Datenlage im Projektperimeter (Ausnahme Zürich)

3. Ergebnisse

3.1. Verfahren Überblick

Folgende sind die Hauptarbeitsschritte:

- Aufbereitung der Fernerkundungsdaten
- Ableitung der Bestandesgrenzen (automatisch mit manueller Überarbeitung)
- Berechnung der Forstparameter aus den Fernerkundungsdaten und ergänzenden Informationen
- Erstellung einer Bestandeskarte mit allen Attributen

Zur Ableitung der Forstparameter für die Bestandeskarte wurden Fernerkundungsdaten genutzt, wodurch große Flächen einheitlich und effizient ausgewertet werden konnten. Im Rahmen zahlreicher Projekte am Institut für Digitale Bildverarbeitung, Joanneum Research, konnte gezeigt werden, dass sich Laserdaten sehr gut dazu eignen, Forstparameter abzuleiten. Dabei werden im Allgemeinen zwei Ansätze verfolgt:

Eine Detektion der **Einzelbäume** mit Modellierung der einzelnen Baumkronen – die Forstparameter werden hier für jeden einzelnen Baum bestimmt und dann zusammengefasst. Ein rechenintensiver Ansatz, der je nach Forststruktur, Laserpunktdichte und erfolgreicher Einzelbaumdetektion mehr oder weniger genaue Ergebnisse liefert.

Die zweite Möglichkeit ist ein **bestandesweiser Ansatz**, wobei in diesem Fall die vertikale Struktur des gesamten Bestandes betrachtet wird. Durch geeignete Parameter wird diese Verteilung der Laserdaten je Bestand beschrieben, eine Regressionsanalyse führt dann schließlich zu den gesuchten Forstparametern. Für jedes Untersuchungsgebiet müssen dazu jedoch intensive Feldarbeiten durchgeführt werden.

Basierend auf den Erfahrungen mit beiden Ansätzen wurde für die drei Testgebiete in der Schweiz ein hybrider Ansatz gewählt, um ein robustes Verfahren zu erstellen. Durch eine Detektion der Einzelbäume im Bestand wird die Oberhöhe, Mittelhöhe und Unterhöhe der Unterschicht abgeleitet. Jede Einzelbaumdetektion birgt eine gewisse Unsicherheit in sich. Da hier aber ‚nur‘ die Oberhöhen abgeleitet werden, hat eine Fehldetection einiger Bäume nur sehr geringen Einfluss auf das Endergebnis. Alle weiteren Parameter werden direkt aus der Gesamtheit aller Laserdaten je Bestand abgeleitet.

Die optischen Daten ergänzen die Auswertung, da durch die Klassifikation des Satellitenbildes die Klassen Laubholz und Nadelholz einfach abgeleitet werden können. Über den Bestand gemittelt ergibt sich daraus das Mischungsverhältnis je Bestand. SPOT V Satellitenbilddaten haben sich dazu als sehr geeignet erwiesen. Mit einer räumlichen Auflösung von 10m sind die Daten gut geeignet, um einen Bestand ausreichend zu beschreiben. Eine gesamte Szene deckt ein Gebiet von 60*60km ab, und die Kosten sind nicht sehr hoch. Die spektrale Auflösung umfasst neben Grün, Rot und Nahem Infrarot auch das Mittlere Infrarot. Dadurch wird eine verbesserte Klasstrennung im Bereich der Vegetation erzielt. Im Archiv lagern zahlreiche Szenen welche fast ganz Europa abdecken, ein Warten auf die Durchführung einer Aufnahme ist daher meist nicht notwendig.

Ergänzend zu diesen Fernerkundungsdaten sind Informationen zur Bonität und dem Holzvorratwert des gesamten Projektgebietes nötig. Basierend auf all diese Daten konnten dann für die drei Testgebiete die Forstparameter abgeleitet werden.

3.2. Datenbereitstellung

Folgende Auflistung zeigt die wichtigsten Grunddaten für das Verfahren:

Grunddaten

- DTMAv – Laser Geländemodell (2 m Raster)
- DOMAv - Laser Oberflächenpunkte (Rohdaten)
- Perimeter Landschaft (shape)
- Digitale Orthobilder, 3 Kanäle
- SPOT V Satellitenbilder NIR
- Forstparameter – Referenzdatensatz

3.3. Waldaussengrenzen

Für die aus den LIDAR Daten automatisiert abgeleiteten Waldgrenzen wurde eine Bäumhöhe von 3 m Höhe vorausgesetzt. Wo der Perimeter geschlossenen Wald schneidet, gilt er als Waldaussengrenze. Die Abgrenzung von Einzelbäumen erfolgte im Zweifelsfalle nach den Richtlinien des Schweizerischen Landesforstinventars (KELLER M. (2005), S. 48ff).

Obwalden

Die minimale Waldfläche beträgt 200 m². Waldstrassen und Bäche unter 4 m Breite gehören zum bestockten Waldareal. Waldstrassen und Bäche unter 4 m Breite gehören zum Waldareal. Für den Perimeter Obwalden stand eine bestehende Abgrenzung in digitaler Form zur Verfügung. Änderungen erfolgten nur in den Fällen, wo, im Vergleich zu den automatisierten Grenzen, offensichtlich Wald eingewachsen war.

Basel-Landschaft

Eine bestockte Fläche gilt als Wald, wenn sie eine Mindestbreite von 12 m (inkl. je 3m Saum) oder 6 m von Stamm- zu Stammmitte, eine Mindestfläche von 500

m² und bei Einwuchsflächen ein Mindestalter von 20 Jahren aufweist. Kleinflächen, die nur teilweise über 12 m breit sind, gelten als Wald, wenn das minimale Waldflächenareal von 500 m² auf einer Länge von 40 m (inkl. Saum) erreicht wird. Waldstrassen und Bäche unter 4 m Breite gehören zum Waldareal. Die beidseitige Bestockung gilt in diesem Fall als zusammenhängende Wuchseinheit. Im Perimeter Basel-Landschaft stand keine bestehende Waldabgrenzung zur Verfügung. Die automatisiert abgeleiteten Waldgrenzen wurden mittels Spektraldaten und normalisiertem Oberflächenmodell wo notwendig angepasst.

Schwyz

Eine bestockte Fläche gilt als Wald, wenn sie eine Mindestbreite von 12 m (inkl. je 2, m Saum) oder 8, m von Stamm- zu Stammmitte, eine Mindestfläche von 600 m² und bei Einwuchsflächen ein Mindestalter von 20 Jahren aufweist. Kleinflächen, die nur teilweise über 12 m breit sind, gelten als Wald, wenn das minimale Waldflächenareal von 600 m² auf einer Länge von 40 m (inkl. Saum) erreicht wird. Für den Perimeter Schwyz existieren Waldabgrenzungen aus dem Projekt Landwirtschaftliche Nutzflächen (LWN). Diese sind für den Forstdienst jedoch nicht verbindlich und wurden nur als Vergleich zu den automatisiert abgeleiteten Waldgrenzen herangezogen. Die automatisiert abgeleiteten Waldgrenzen wurden mittels Spektraldaten und normalisiertem Oberflächenmodell überprüft und wo notwendig angepasst.

Zürich

Eine mit Waldbäumen oder Waldsträuchern bestockte Fläche gilt im Kanton Zürich als Wald, wenn sie folgende Minimalerfordernisse aufweist:

- a) 800 m Fläche mit Einschluss eines zweckmässigen Waldsaumes,
- b) 12 m Breite mit Einschluss eines zweckmässigen Waldsaumes,
- c) ein Alter von 20 Jahren bei Einwuchsflächen.

Diese Walddefinition bewegt sich im üblichen Rahmen und wird auch in der gebräuchlichen Bestandeskartierung mit Luftbildern verwendet. Sie ist grundsätzlich auch für das neue Verfahren anwendbar.

Diskussion des Verfahrens zur Bestimmung der Waldaussengrenzen

Waldaussenränder haben in der Regel einen deutlichen Sprung im Oberflächenmodell. Das Verfahren wurde in der Schweiz auch für die Bestimmung der

landwirtschaftlichen Nutzfläche angewandt (ALN-Projekt). Dabei wird eine Mindesthöhe der Vegetation von z.B. 3 Metern angenommen. Die Ableitung von Waldaussenrändern aus Oberflächenmodellen kann als Standardverfahren bezeichnet werden. Schwierigkeiten ergeben sich bei Nutzungsflächen, bei denen die Vegetation unter dieser Schwelle zu liegen kommt. Eine visuelle Kontrolle ist erforderlich. Zusätzlich können digitale Spektraldaten klassifiziert werden und so die Waldaussengrenze bestimmen helfen.

3.4. Bestandesgrenzen

Hauptkriterien der Bestandesabgrenzung in der Schweiz sind die Entwicklungsstufe, die Baumartenmischung und der Deckungsgrad. Die Reihenfolge ist auch eine Prioritätenfolge. Neben den genannten physischen Merkmalen werden jedoch auch andere Kriterien zur Bestandesabgrenzung herangezogen, die geländebedingt oder betrieblich bedingt sind. So können auch Transportgrenzen dazu führen, homogene Bestände aufzuteilen, oder es werden ungleiche Bestände zusammengefasst, da sie die gleiche waldbauliche Behandlung erfahren sollen. Hinzu kommt aus praktischen Erwägungen eine Mindestgrösse für Bestände. Das hat zur Folge, dass kleine Flächen zu Beständen zugeschlagen werden, deren Hauptmerkmale sie nicht unbedingt erfüllen. Das können Überhälter oder Restbäume des Altbestandes über Jungwald sein. Oder Verjüngungsansätze in Althölzern. Wird des kleinflächig uneinheitlich, dann kann auch ein „Stufiger Bestand“ vorliegen. Die Übergänge können dabei fließend sein.

Die Bestandesausscheidung hängt also, wie gesagt, nicht nur von den Hauptmerkmalen Entwicklungsstufe, Mischung und Deckungsgrad ab, die zunächst scheinbar gut in definierte Klassen eingeteilt werden können und eine gute automatische Klassifizierung erwarten lassen könnten. Die visuelle Interpretation durch eine Person ist daher bisher allen automatisierten Verfahren überlegen, da Zusatzinformationen mit einfließen können, die über die rein physischen Merkmale hinausgehen.

In der Regel werden in der Schweiz in den Bestandeskarten die Entwicklungsstufen farblich dargestellt. Gebräuchlich ist ein numerischer Bestandscode, der die drei genannten Merkmale charakterisiert und der in die Karten mit eingedruckt wird, oft kombiniert mit einer Bestandesnummer.

3.5. Diskussion des Verfahrens der Bestandesabgrenzung

Die visuelle Abgrenzung und Interpretation von Waldbeständen berücksichtigt nicht nur die genannten physischen Merkmale. Hinzu kommen betriebliche Aspekte der Bewirtschaftung oder Geländeformen, die bei der Delinierung mit berücksichtigt werden. Eine Überarbeitung der automatisiert abgeleiteten Bestandesgrenzen ist daher immer erforderlich.

Zur automatischen Bestandesabgrenzung, welche aus Ausgangsdatensatz für die weitere manuelle Bearbeitung diente, wurde das LIDAR nDOM und die SPOT V Szenen genutzt. Zur Bestimmung der Polygone wurden vereinfacht die folgenden Arbeitsschritte durchgeführt:

- falls vorhanden, wurde aus dem nDOM das Strassen und Wegenutz ausgeschnitten.
- für das nDOM wurden mittels ‚moving window‘ - Technik großflächige statistische Eigenschaften abgeleitet
- die verschiedenen Datensätze: statistische Ableitung, Spot V Szenen, LIDAR – nDOM wurden zu einem ‚Bild‘ aus mehreren Layern zusammengefasst
- Segmentierung basierend auf allen Layern
- Aggregation benachbarter, ‚ähnlicher‘ Segmente
- Berechnung der Gesamtstatistik je Segment
- erneute Aggregation benachbarter ‚ähnlicher‘ Segmente
- Elimination von Waldsegmenten, welche gemäß Definition zu klein sind
- Einrechnung von Waldlücken, welche über eine definierte Mindestgröße hinausgehen und zuvor eliminiert wurden

Der Aufwand für die Überarbeitung hängt von den Bestandesverhältnissen und den Ansprüchen an die Bestandesausscheidung ab. Er kann im Extremfall gleich hoch sein wie eine vollständig manuelle Abgrenzung.

Abb. 12 zeigt das nDOM Obwalden mit Segmenten, welche durch manuelle Nachbearbeitung in Bestandespolygone übergeführt werden.

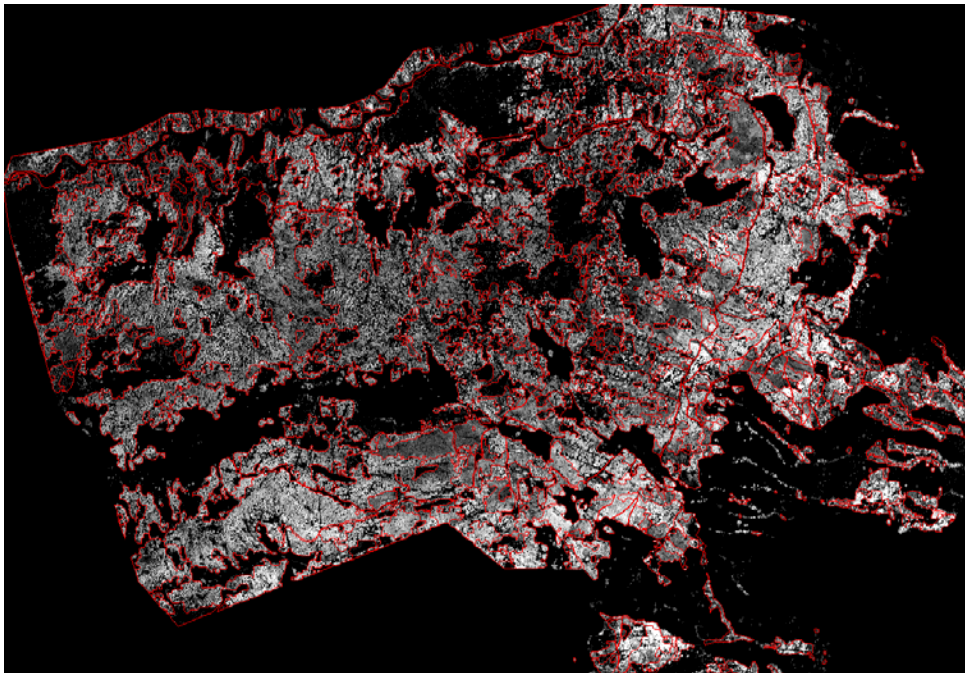


Abb. 12: Automatisch abgeleitete Bestandesgrenzen, OW

3.6. Ableitung der Bestandesparameter aus LIDAR und Spektraldaten

Konventionell wird im Anschluss an die Delinierung der Bestand nach Entwicklungsstufe, Mischung, Deckungsgrad interpretiert. Teilweise werden bei der stereoskopischen Auswertung noch ein paar Baumspitzen zur Absicherung der Entwicklungsstufe gemessen. Je nach Bildmaterial werden die Baumarten noch differenziert unterschieden. Dieser Vorgang wird im neuen Verfahren vollständig automatisiert. Die Bestandesparameter werden automatisiert abgeleitet. Neben den genannten kommen noch einige neue hinzu.

3.6.1. Übersicht über die Bestandesparameter

Folgende Tab. 2 zeigt die abgeleiteten Bestandesparameter.

Attribut	Beschreibung	Einheit
FID	GIS: automatisch generierte Objektnummer	
Shape	GIS: Objekttyp	
BNR	Fortlaufende, eindeutige Bestandesnummer (1 - 1222)	
BFL	Bestandesfläche in m ²	m ²
BC	3-stelliger Bestandscode (ESVI, MGK, DG1KL)	
BCOW	3-stelliger Bestandscode (ESVOW, MGK, DG1KL). Vorgabe Obwalden.	
OHF	Oberhöhe (hdom)	m
OM	Mittlere Bestandeshöhe	m
NHBON	Bonität Nadelholz	
LHBON	Bonität Laubholz	
ESVI	Entwicklungsstufe (fein)	
ESOW	Entwicklungsstufe nach Vorgabe Obwalden	
MG	Mischungsgrad in 10%-Stufen (0.0 –1.0)	
MGK	Mischungsgradklassen	
DG1	Deckungsgrad der Oberschicht in 10%-Stufen (0.0 –1.0) (hdom > 3 m)	
DG1KL	Deckungsgrad der Oberschicht klassiert (1 –5)	
DG2	Deckungsgrad untere Schichten in 10%-Stufen (0.0 –1.0) (hdom > 3 m)	
DG	Gesamtdeckungsgrad in 10% Stufen (0.0 –1.0) (hdom > 3 m)	
DGKL	Gesamtdeckungsgrad klassiert (1 – 5)	
VNHha	Nadelholzvolumen pro ha (Schaftholz in Rinde)	m ³ /ha
VLHha	Laubholzvorrat pro ha (Schaftholz in Rinde)	m ³ /ha
VTha	Vorrat pro ha (VNHha + VLHha), Schaftholz in Rinde	m ³ /ha
VNH	Nadelholzvorrat (Schaftholz in Rinde)	m ³
VLH	Laubholzvorrat (Schaftholz in Rinde)	m ³
VT	Vorrat (VNH + VLH), Schaftholz in Rinde	m ³
BBT	Baumbiomasse, ausgedrückt in Tonnen CO ₂ -Äquivalenten	tCO ₂

Tab. 2: Übersicht über die Bestandesattribute

3.6.2. Diskussion der Bestandesparameter

Bestandesschichten

Gesamtheit der Bäume, die in einem definierten Oberhöhenbereich eine nach unten klar abgrenzbare Kronenschicht bilden. Für die Ableitung der Oberhöhen wurden die Baumspitzen aus dem DOM automatisiert detektiert. Abb. 13 zeigt die Baumspitzen über dem DOM. Die Zugehörigkeit zu den Baumkronen ist gut

sichtbar. Diese Ableitung der Baumspitzen liefert gute Resultate im Nadelholz, zwei nahe beieinander stehende Bäume werden unter Umständen nicht unterschieden. Im Laubholz mit nicht eindeutigen Baumspitzen kann es zu Unschärfen kommen. Trotz dieser Einschränkungen sind die Resultate bei weitem genügend, um die Parameter zur Ableitung der Entwicklungsstufe zu bestimmen. Die Darstellung der Baumspitzen kann auch betrieblich hilfreich sein, wenn man z.B. die Anzahl grösserer Bäume in einem Holzschlag abschätzen möchte.

Oberschicht	Gesamtheit der Bäume in eine Höhe $> 2/3$ der Oberhöhe
Mittelschicht	Gesamtheit der Bäume in eine Höhe von $1/3 - 2/3$ der Oberhöhe
Unterschicht	Gesamtheit der Bäume in eine Höhe $< 1/3$ der Oberhöhe

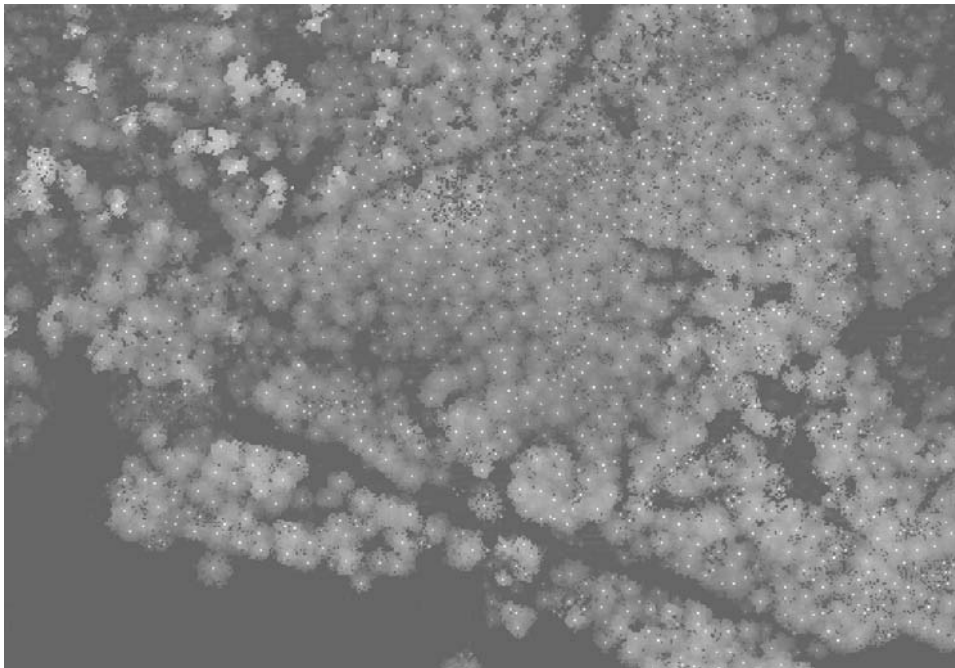


Abb. 13: Automatisch abgeleitete Baumspitzen

Bestandesnummer (BNR)

Fortlaufende eineindeutige Nummerierung der Bestände (1 - 1222)

Bestandescode (BC, BCOW)

3-stellige Zahl, zusammengesetzt aus den Codierungen der Entwicklungsstufe, des Mischungs- und des Deckungsgrades (Tab. 3).

Attribute	Bestandesmerkmale (Attribute)		
	1. Stelle	2. Stelle	3. Stelle
BC	ESVI	MGK	DG1KL
BCOW	ESOW	MGK	DG1KL

Tab. 3: Bestandescode

Oberhöhe (OHF)

Mittel der 100 höchsten Bäume pro Hektare (flächenproportional). Bei einem Deckungsgrad von unter 25% in der Oberschicht, bezieht sich die Oberhöhe [m] auf die abfolgenden Schichten. Die Oberhöhen wurden aus den LIDAR-Daten bzw. den Oberflächenmodellen für Höhen > 3 m abgeleitet.

Mittelhöhe (OM)

Durchschnittliche Höhe aller Bäume > 3m im Bestand

Bonität (NHBON, LHBON)

Mass für die nach den Ertragstafel von Badoux für eine Baumart im Alter von 50 Jahren ergebende Oberhöhe in Abhängigkeit der Standortsgüte (Pflanzensoziologie). Die Laubholzbonität (LHBON) bezieht sich auf die Baumart Buche, die Nadelholzbonität (NHBON) auf die Fichte. Für die Bonitierung massgebend war die gelieferte Bonitierungstabelle. Fehlende Angaben wurden durch eigene Berechnungen vervollständigt. Die räumliche Zuordnung der Bonitäten erfolgte über die pflanzensoziologische Kartierung.

Entwicklungsstufe (ESVI und ESOW)

Klassierung der Bestände aufgrund der Oberdurchmesser (ddom). Die Umsetzung in Höhenklassen, die in den LIDAR-Daten abgebildet sind, ist baumarten- und bonitätsspezifisch. Das Merkmal „Entwicklungsstufe“ bezieht sich bei gleichförmigen Beständen auf die herrschende Schicht, sofern diese einen Deckungsgrad von mindestens 25% erreicht. Ansonsten gilt die nächst untere Schicht mit einer

Mindestdeckung von 25%. Ungleichförmige (strukturierte) Bestände werden unabhängig vom der Oberhöhe als „stufig“ klassiert. Die Unterscheidung zwischen gleichförmig und ungleichförmig erfolgte über statistische Werte. Bei einer Gesamtdeckung (DG) unter 0.25 (Blössen) wurde der Code 1 (Jungwuchs) vergeben (Tab. 4).

Struktur	Entwicklungsstufe	d _{dom}	h _{dom}	Attributcode	
				ESVI	ESOW
gleichförmig	Jungwuchs /Blösse		<= 1.3 m / DG < 0.25	1	1
	Dickung	<12 cm	> 1.3 m - ...	2	2
	Stangenholz 1	12-20 cm	abhängig von Bonität Baumart	3	3
	Stangenholz 2	21-30 cm		4	3
	Baumholz 1	31 –40 cm		5	5
	Baumholz 2	41 –50 cm		6	5
	Baumholz 3	> 50 cm		7	7
ungleichförmig	Stufig	divers	Statistischer Wert	8	8

Tab. 4: Entwicklungsstufen

Beim Attribut ESOW (Vorgabe OW) wird, im Gegensatz zu ESVI (fein), nicht zwischen Stangenholz 1 und 2 unterschieden und die Klassen Baumholz 1 und 2 werden zur Klasse Baumholz zusammengefasst. Blössen wurden der Kategorie Jungwuchs zugewiesen.

Mischungsgradklassen (MG und MGK)

Anteil des Deckungsgrades der am Bestandaufbau beteiligten Laub- und Nadelhölzer, abgeleitet aus den Spektraldaten (Orthophotos und Satellitenbilder).

Attribute	Bezeichnung	Mischungsgrad	Code
MG	Nadelholzanteil in 10%-Stufen	0 – 100%	0.0 – 1.0
MGK	Nadelholz (NH)	NH 81 - 100%	1
	Mischbestand mit überwiegend NH	NH 51 – 80%	2
	Mischwald mit überwiegend LH	NH 21 - 50%	3
	Laubholz (LH)	NH 0 – 20%	4

Tab. 5: Mischungsgrad

Deckungsgradklassen (DG1, DG1KL, DG2, DG, DGKL)

Verhältnis der durch die vertikalen Kronenprojektionen überschirmten Fläche zur Gesamtfläche. Im Gegensatz zum Beschirmungsgrad kann der Deckungsgrad 100% nicht überschreiten. Abgeleitet wurde der Deckungsgrad der Oberschicht (DG1) und der Gesamtdeckungsgrad (DG) in 10%-Stufen. Bei einer Deckung der Oberschicht von weniger als 25% wurde zusätzlich der Deckungsgrad der unteren

Schichten (DG2) ermittelt (Tab. 6).

Attribut	Beschreibung	Code
DG	Gesamtdeckungsgrad	0.0 – 1.0
DG1	DG der Oberschicht	0.0 – 1.0
DG2	DG untere Schichten (Mittel- + Unterschicht)	0.0 – 1.0
DGKL	DG > 0.8	1
	DG = 0.7 oder 0.8	2
	DG = 0.5 oder 0.6	3
	DG = 0.3 oder 0.4	4
	DG < 0.3	5
DG1KL	DG1 > 0.8	1
	DG1 = 0.7 oder 0.8	2
	DG1 = 0.5 oder 0.6	3
	DG1 = 0.3 oder 0.4	4
	DG1 < 0.3	5

Tab. 6: Deckungsgrad

DGKL oder DG1KL können anstelle des bis anhin verwendeten Schlussgrades (nicht abgeleitet) im Bestandescode berücksichtigt werden. Sowohl Schlussgrad als auch Deckungsgrad sind Dichtekriterien. Beim Schlussgrad wird im Gegensatz zum Deckungsgrad (Kronenprojektion) der Abstand zwischen den Kronen angesprochen.

Holzvorrat

Folgende Vorratskennziffern wurden hergeleitet:

Attribute	Beschreibung	Einheit
VNHha	Schaftholzvolumen Nadelholz pro ha	m3/ha
VLHha	Schaftholzvolumen Laubholz pro ha	m3/ha
VTha	Schaftholzvolumen pro ha	m3/ha
VNH	Schaftholzvolumen Nadelholz	m3
VLH	Schaftholzvolumen Laubholz	m3
VT	Schaftholzvolumen	M3

Tab. 7: Holzvorrat, Variablen

Kohlenstoffvorrat (BBT)

Der in der Baumbiomasse gespeicherte Kohlenstoff (BBT) wird über baumarten-spezifischen Faktoren aus dem Vorrat (Waldinventur 2004) ermittelt und in Tonnen CO₂ Äquivalenten ausgedrückt.

3.7. Bestimmung des Holzvorrates und der Baumbiomasse

Aus den LIDAR-Daten lassen sich baumweise Vorräte herleiten, die auf eine Einzelbaumidentifikation aufbauen und mit Baumhöhen und Kronenradien arbeiten. Die Einzelbaumidentifikation ist jedoch ausserhalb von gleichaltrigen Reinbeständen mit grösseren Unsicherheiten behaftet. Es wurde hier daher ein bestandesweiser Ansatz verfolgt. Das Oberflächenmodell eines Gebietes wird mit einem bekannten Gesamtvorrat in Beziehung gesetzt. Dieser kommt in der Regel aus terrestrischen Stichprobeninventuren. Dieser Vorrat wird über das DOM auf die Bestände „verteilt“. Die Summe der Bestandesvorräte ergibt wieder den Ausgangsvorrat. Die Verteilung ist eine näherungsweise Zuordnung von Vorräten zu den einzelnen Beständen anhand von Parametern, die aus dem Oberflächenmodell hergeleitet worden sind. Zur Unterscheidung von Nadel- und Laubholz wird zudem die Klassifikation der Infrarot-Spektraldaten verwendet.

Das Ergebnis ist ein Hektarvorrat und ein Gesamtvorrat je Bestand für Laub- und Nadelholz. Aussageeinheiten können auch andere als die Waldbestände sein, z.B. Parzellen, Eigentümer, Abteilungen. Jede geographische Unterteilung kann gewählt werden.

Es wird vermutet, dass die Zuordnung über das DOM zu genaueren Werten führt als eine Zuordnung über Stratenmittelwerte. So werden z.B. Altholzreste oder Überhälter über Jungwüchsen berücksichtigt, die bei den üblichen stratenbezogenen Zuordnungen (synthetische Schätzer) die Stratenmittelwerte verwischen.

Baumbiomasse

Die Holzvorräte wurden näherungsweise nach den Regeln des UNFCCC in lebende Baumbiomasse in Tonnen CO₂-Äquivalente umgerechnet.

Obwalden

In Obwalden lagen keine Vorratsdaten für den Testperimeter vor. Aus dem verdichteten LFI3 lagen nur 10 Stichproben innerhalb des Testperimeters. Die Verteilung war zudem nicht gleichmässig. Zur Demonstration des Verfahrens wurden daher die Hektarwerte für den ganzen Kanton verwendet (281 m³/ha Nadelholz, 87 m³/ha Laubholz, total 368 m³/ha). Das heisst, dass es Ungenauigkeiten gibt zum in der absoluten Vorratshöhe und auch bei der Verteilung auf Nadel- und Laubholz.

Schwyz

Aus dem Testgebiet Schwyz lagen keine Vorratsdaten vor. Es wurde aus der Inventur für die benachbarten Wälder der Genossenschaft Willerzell von 1995 folgende Hektarwerte angenommen: Nadelholz 325 m³/ha und Laubholz 25 m³/ha oder total 350 m³/ha angenommen. Die Umrechnung der ursprünglichen Masseinheit Silve (sv) zu m³ erfolgte 1:1 (1 m³ = 1 sv). Dieser Vorrat wurde gemäss dem beschriebenen Verfahren auf das Testgebiet hochgerechnet und auf die Bestände verteilt.

Basel-Landschaft

Im Testgebiet Baselland wurde im Jahr 2007 eine Holzvorratsinventur durchgeführt. Die Stichprobeninventur hatte ein Raster von 100 x 200 Meter, was total 366 Stichproben im Perimeter von 770 ha bedeutet. Damit standen hier hervorragende Vorratsdaten zur Verfügung. Die Stichproben ermöglichten, die mit dem DOM ermittelten Vorratsdaten zu plausibilisieren. Für die bestandesweise Betrachtung ist das Raster in der Regel zu weit. In einen grösseren Bestand von 13.26 ha kamen jedoch 7 Stichproben zu liegen. Der mittlere Vorrat des Bestandes BNR 441 aus den Stichproben betrug 417 m³/ha (Standardfehler 39 m³/ha). Der zugeordnete Wert aus dem Verfahren betrug 457 m³/ha, Was als gute Übereinstimmung anzusehen ist (Tab. 8).

Basel BNR 441			
m ³ /ha aus Stichproben			m ³ /ha
371	Mittelwert		417
332	Standardfehler		39
475	Konfidenzniveau(95.0%)		95
268	Standardabweichung		103
401	Minimum		268
544	Maximum		544
528	Anzahl		7
	zugeordneter Wert		457

Tab. 8: Plausibilität Vorrat

Zürich

Der Kanton Zürich führt periodisch Stichprobeninventuren ähnlich dem Konzept von Basel durch. Damit stehen für Zürich ebenfalls sehr gute Daten für eine Vorratszuordnung zu den Beständen oder Abteilungen zur Verfügung.

3.8. Die „Neue Bestandeskarte“

Die „Neue Waldbestandeskarte“ besteht primär aus einer digitalen Bestkarte, mit deren Polygonen Attributdaten einer Datenbank verknüpft sind. Siehe hierzu Tab. 2: *Übersicht über die Bestandesattribute*. Die Attribute lassen sich mit Hilfe eines geographischen Informationssystems GIS einzeln oder kombiniert darstellen. Die konventionelle Bestandeskarte stellt die generalisierten Entwicklungsstufen dar, Zusatzinformationen über Mischung und Deckungsgrad werden mit Hilfe eines Bestandescodes in Ziffern dazugeschrieben. Eine solche Darstellung ist natürlich auch auf der Basis der hier abgeleiteten Bestandesdaten möglich.

Im Rahmen des Projektes zeigte sich jedoch, dass eine neue Darstellung der Praxis dienlicher ist. Es ist dies eine Darstellung des Oberflächenmodells, wobei die Höhen entsprechend den Entwicklungsstufen farblich codiert werden. Man sieht somit sofort die Höhenklasse jedes grösseren Baumes. Überlagert wird die Karte mit den Bestandespolygonen und hinterlegt mit dem Orthobild. Hinzu kommen die Baumspitzen.

Die Karte Abb. 14 zeigt augenfällig allein aufgrund der Signatur die Entwicklungsstufe und die Überschirmung. In jedes Polygon können sodann weitere Informationen numerisch eingefügt werden, wie z.B. der Holzvorrat pro Hektar oder der Gesamtvorrat eines Bestandes.

Dadurch dass annähernd jeder Baum mit seiner Höhe erkennbar ist, kann die Darstellung eine Hilfe bei der Abschätzung von Nutzungsmengen oder bei der Planung von Nutzungsmassnahmen sein. So kann eine Seillinie so geplant werden, dass eine bestimmte Baumgruppe noch erreicht wird, Mastbäume können vorbestimmt werden.

Aus Naturschutzsicht können z.B. sehr grosse Einzelbäume (Giants) leicht identifiziert werden.



Abb. 14: Die „Neue Bestandeskarte“

Die „Neue Bestandeskarte“ enthält hier:

- Orthobild als Hintergrund
- Digitales Obeflächenmodell höhenkodiert (Entwicklungsstufe, Deckungsgrad)
- Bestandesgrenzen
- Hektarvorrat (obere Zahl)
- Gesamtvorrat (untere Zahl)

3.9. Auswertungen der Datenbank. Wo steht das Holz?

Die Daten im GIS lassen sich in vielfältiger Weise auswerten. Der geographische Bezug ist jederzeit gegeben. So lassen sich z.B. die Bestände nach den Hektarvorräten klassieren, bilanzieren und kartographisch darstellen (Frage: wo steht das Holz?).

Beispiel Testgebiet Schwyz: Der Gesamtvorrat (VT) im Testgebiet Schwyz beträgt rund 325'000 m³ Schaftholz in Rinde. Davon sind 93% Nadel- und 7% Laubholz. Der durchschnittliche Hektarvorrat beläuft sich auf 352 m³/ha (Tab. 9).

Vorrat	m ³	%	m ³ /ha
Nadelholz	301082	92.9%	325
Laubholz	23153	7.1%	25
Total	324235	100.0%	350

Tab. 9: Holzvorräte Testgebiet Schwyz

Die folgende Abb. 15 zeigt den Flächenanteil nach Vorratsklassen (VTha) im Testgebiet Schwyz, die Karte in Abb. 16 die mit den Hektarvorräten bezeichnete Bestandeskarte (VTha).

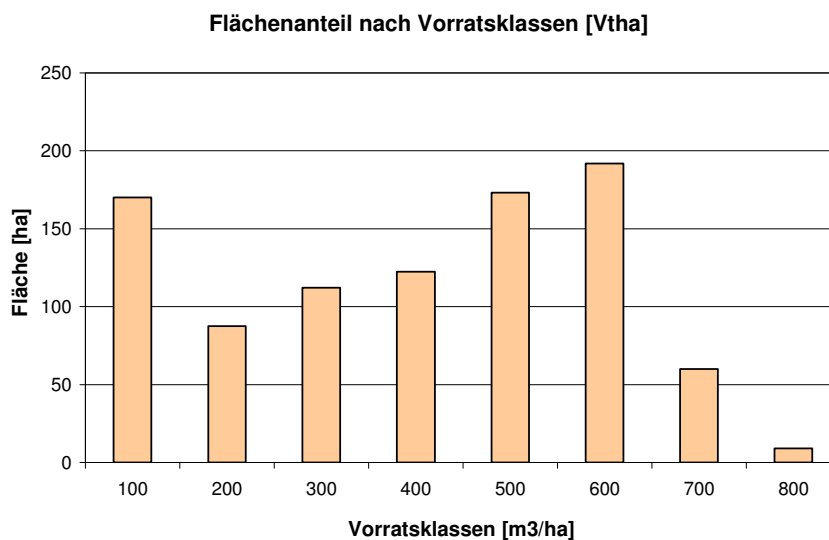


Abb. 15: Flächenverteilung der Hektarvorräte Testgebiet Schwyz

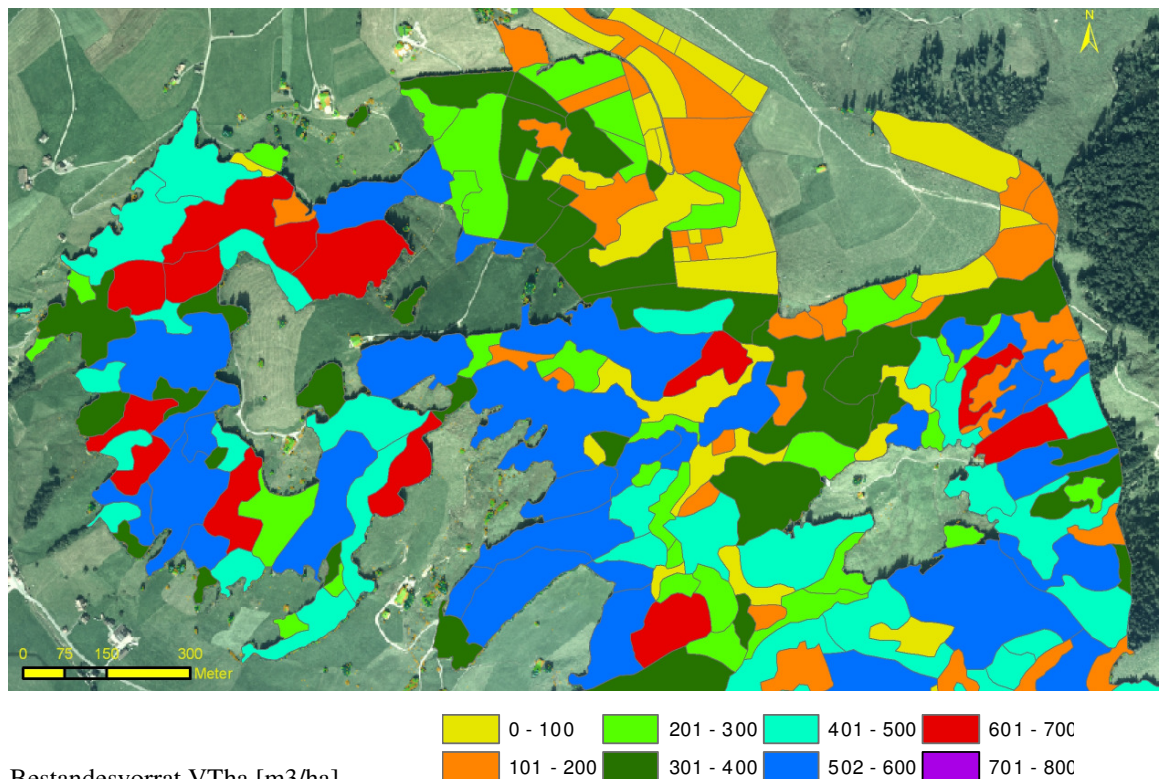


Abb. 16: Karte der Hektarvorräte Testgebiet Schwyz

4. Weitergehende Auswertungen

Auf der Grundlage der Daten und Auswertungen aus dem Verfahren „Neue Bestandeskarte“ können weitere relevante Parameter über den Wald abgeleitet werden.

4.1. Bestimmung der Sturmstabilität von Waldbeständen

In einem vorgängigen Projekt hat die SILVACONSULT AG ein Modell zur Beurteilung der Sturmstabilität von Waldbeständen entwickelt. Das Modell basiert auf umfangreichen Literaturauswertungen zum Sturmschaden-Ursachenkomplex sowie auf Expertenbefragungen. Die sturmrelevanten Bestandes- und Standortfaktoren wurden identifiziert, klassiert und untereinander gewichtet. Die Summe der Gewichte ergeben ein Mass für die Sturmstabilität, getrennt nach Standort und Bestand. Beide Werte kombiniert ergeben die Gesamtstabilität oder Widerstandsfähigkeit im Bezug auf Stürme. Daraus lassen sich dann Ansatzpunkte für Präventionsstrategien ableiten (Abb. 17).

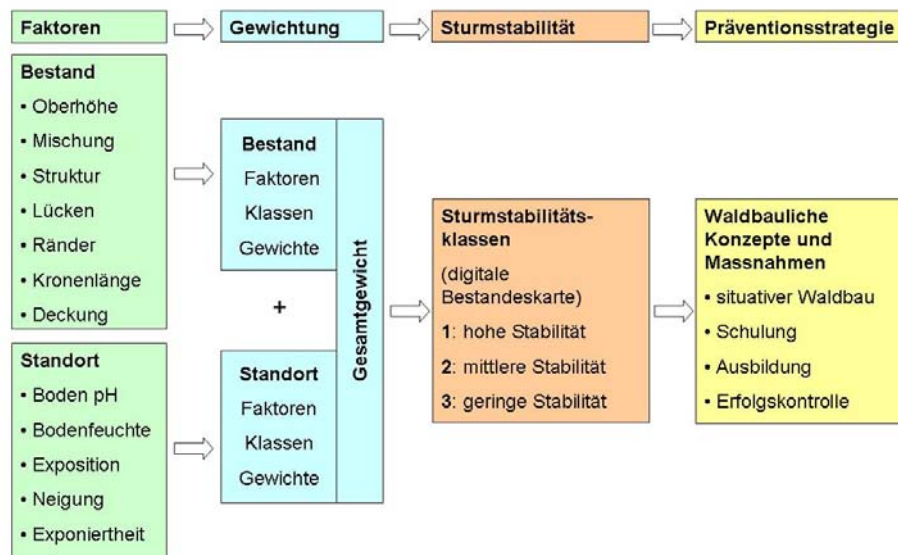


Abb. 17: Übersicht Verfahren Sturmstabilität

Zur Herleitung der Bestandesfaktoren werden die Informationen aus der digitalen Bestandeskarte übernommen. Zudem können aus dem DOM Lücken, Oberhöhe, Ränder, Kronenlängen sowie Strukturmerkmale hergeleitet werden. Ergebnis ist eine Klassierung der Bestände nach ihrer Sturmwurfgefährdung. Dabei ist die Herleitung transparent und kann dazu dienen, präventive Massnahmen zu ergreifen.

Die digitale Bestandeskarte mit dem DOM ist eine wesentliche Grundlage für das Verfahren zur Bestimmung der Sturmstabilität. Produkt ist eine Attributierung der Bestände mit Informationen zur Sturmstabilität (Abb. 18).

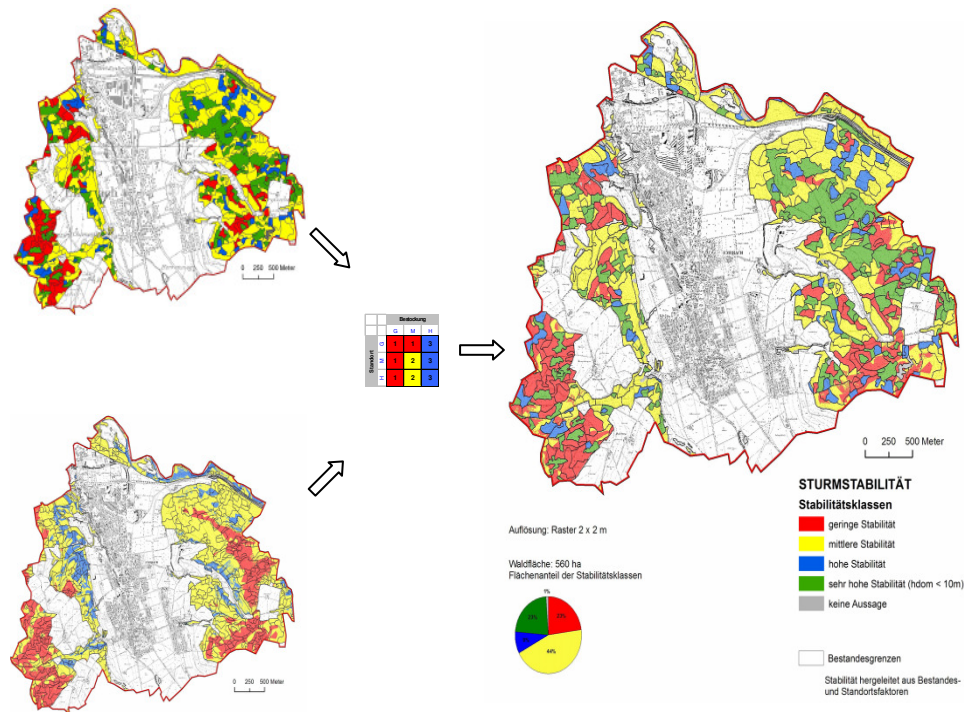


Abb. 18: Karte zur Sturmstabilität

4.2. Bestimmung der Lawinengefahr

Automatische Detektion von Lawinengefahrenpotentialen nach Scheiring – Kriterien: Lawinenanrisse können im Wald entstehen, wenn der Wald Bestockungslücken aufweist, die bestimmte Bedingungen erfüllen, wie Länge in Falllinie abhängig von der Hangneigung. Diesbezügliche Modelle sind verfügbar (Scheiring und Schieler (2000)). Bestandeslücken können sehr gut mit LIDAR-Daten detektiert werden. Das Geländemodell ist in der Regel verfügbar. Für die beiden Testgebiete Obwalden und Schwyz wurde das Verfahren angewendet. In beiden Fällen gab es innerhalb des Testgebietes keine lawinenrelevanten Bestandeslücken. Die Grafik Abb. 19 zeigt daher ein Beispiel aus dem Bundesland Kärnten (Österreich). Lawinengefahrenpotential nach Scheiring – Hangneigung > 100% in rot, > 85% in orange und >70% in grün

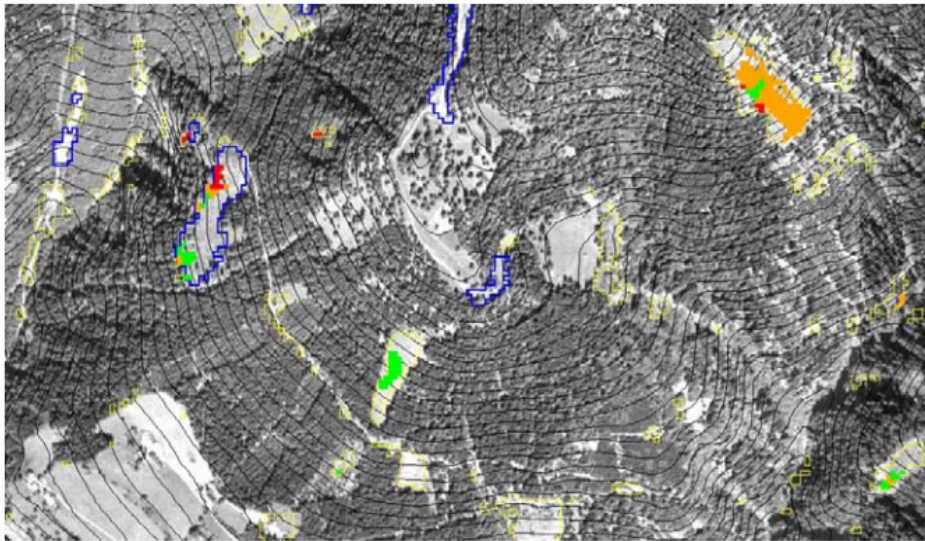


Abb. 19: Lawinengefahrenpotenziale

5. Diskussion der Ergebnisse

5.1. Verfahren und Resultate

Im Rahmen des Projektes wurde ein Verfahren zur halbautomatischen Waldbestandeskartierung entwickelt und an drei Testgebieten angewandt. Es hat sich gezeigt, dass das Verfahren operational ist. Nicht die Grundlagenforschung stand im Zentrum, sondern die Verfahrensentwicklung. Damit wurde ein Technologietransfer von der Forschung zur praxisreifen Anwendung geleistet.

5.2. Kosten der Daten

Folgende Daten sind für die Durchführung des Verfahrens erforderlich:

- Normalisiertes Oberflächenmodell der Vegetation
- Digitales Orthobild, RGB /CIR
- Infrarot-Kanal aus Orthobild oder Satellitendaten.

Das Oberflächenmodell stammt entweder aus einer LIDAR-Befliegung oder es wird aus hochauflösenden digitalen Luftbildern abgeleitet. Für Luftbilder werden

separate Befliegungen angeboten. Für Befliegungen gilt allgemein eine Auflagen-degression, das heisst, je grösser das Gebiet, umso günstiger sind die Daten. Sommerbefliegungen haben möglicherweise einen Rabatt.

Es stellt sich immer die Frage, ob man bereits vorhandene Daten günstig beziehen kann.

Die Preisangaben Tab. 10 und der Preisvergleich Tab. 11 zeigen, dass das konventionelle Verfahren und das neue Verfahren etwa gleich viel kosten. Die Daten sind beim neuen Verfahren teurer, die Auswertung ist etwa um den gleichen

Betrag günstiger.

Preisindikationen ASTEC GmbH

Laserscanning	Orthobilder	
100-200€/qm 2-4 p/km2	70-90 €/km2	
150 €/km2	80	
1.5	1.5	
2.25 Fr./ha Beflieg	1.2 Fr./ha Befl.	
30 % Wald	30 % Wald	
7.5 Fr./ha Wald	4 Fr./ha Wald	

Tab. 10: Preisindikationen
ASTEC GMBH

Bei den Kosten für die Daten ist zu beachten, dass der Massstab der Luftbilder, das Bewaldungsprozent, die Verteilung des Waldes in der Landschaft mit Kosten bestimmend sind.

Preisvergleich, mehrere Tausend ha, 30% Bewaldung			
Konventionelles Verfahren		Neues Verfahren	
Konventionelle Befliegung		Laserscanning	
4	Fr./ha Wald	DOM/DTM	
Scannen		7.5	Fr./ha Wald
1	Fr./ha Wald		
Orientieren/GIS			
2.5	Fr./ha Wald		
Orthobilder		Orthobilder RGB CIR	
1	Fr./ha Wald	4	Fr./ha Wald
Daten total		Daten total	
8.5	Fr./ha Wald	11.5	Fr./ha Wald
Auswertung		Auswertung	
12	Fr./ha Wald	9	Fr./ha Wald
Gesamtkosten		Gesamtkosten	
20.5	Fr./ha Wald	20.5	Fr./ha Wald

Tab. 11: Preisvergleich der
Verfahren

Bei beiden Verfahren stellt sich die Frage, ob bereits

vorhandene Daten gratis oder günstig bezogen werden können, oder ob sich eine Zwischenlösung anbietet. Dies wurde im Rahmen des Projektes praktiziert, indem die normalfarbigen Orthobilder mit dem Infrarotkanal von SPOT V Satellitendaten ergänzt worden sind. Das DTM kann in der Regel in genügender Genauigkeit bezogen werden. Eine Vielfachnutzung der Fernerkundungsdaten kann ebenfalls zur Kostensenkung beitragen. Auch die Auswertungsintensität kann unterschiedlich sein und damit unterschiedlich kosten.

Jedes neue Kartierungsprojekt muss daher auch preislich separat betrachtet

werden.

Zu beachten sind die Aktualität und die zeitliche Homogenität der Daten. Es konnte jedoch gezeigt werden, dass man mit ungleichaltrigen Datensätzen umgehen kann.

5.3. Kosten-/Nutzenüberlegungen

Die Kosten für die Auswertung liegen leicht unter denjenigen des konventionellen Verfahrens mit digitaler Photogrammetrie bei ca. 9-11 Fr./ha. Dafür bekommt man im Bereich der Baumartenunterscheidung weniger, jedoch im Bereich der übrigen Bestandesparameter deutlich mehr wie Oberhöhe, Mittelhöhe, Deckungsgrad der Oberschicht, Gesamtdeckungsgrad. Hinzu kommt die Option, mit Hilfe des Oberflächenmodells für jeden Bestand einen Holzvorrat abzuleiten. Dies mit sehr genaueren Ergebnissen als eine Zuordnung von Durchschnittsvorräten zu Bestandestypen. Die Darstellung des Höhenmodells erlaubt zudem alle grösseren Bäume individuell mit ihren Höhen zu zeigen. Für die konkrete Planung von Erntemassnahmen kann dies von grossem Nutzen sein. Auch die Planung von Seillinien kann dadurch optimiert werden. Insgesamt kann man feststellen, dass das Verhältnis Kosten/Leistung deutlich besser ist, als beim konventionellen Verfahren.

5.4. Ausblick

Das Verfahren kann mit den heute zur Verfügung stehenden Daten und Methoden operationell und Kostengünstig durchgeführt werden. Die Entwicklung der Fernerkundungstechnologien geht jedoch weiter. Die simultane Aufnahme von LIDAR-Daten und Luftbildern wird die Daten weiter verbilligen. Die Vielnutzung der Daten ist ebenfalls zu beachten.

Folgaufnahmen sind tendenziell günstiger. Sowohl in der Datenbeschaffung wie auch in der Auswertung. In der Schweiz werden Umsätze von 500 – 1000 Fr. pro Jahr und Hektar im Wald getätigt. Alle 5-15 Jahre eine Nachführung der Bestandeskarte mit aktuellen Daten zum Preis von 20-25 Fr./ha scheint da eine kleine aber höchst sinnvolle Investition.

6. Literatur- und Quellenverzeichnis

GÖTZ M, SCHMIDTKE H. 2007: Bestimmung der Sturmgefährdung von Waldbeständen für die Schadenprävention. Wald und Holz 4/07

KELLER M. (2005): Schweizerisches Landesforstinventar. Anleitung für die Feldaufnahmen der Erhebung 2004 - 2007. Birmensdorf, Eidg Forschungsanstalt WSL. 393 S.

SCHARDT M., WACK R, (2004): Assessment of Forest Parameters for Avalanche Modelling by Means of Laser Scanning and Aerial Photos, Proceedings of the EARSEL Workshop, Dubrovnik.

SCHEIRING H., SCHIELER K. (2000): Ein Verfahren zur Beurteilung der landeskulturellen Leistungsfähigkeit – die Schutzerfüllungsfähigkeit des Österreichischen Waldes. Intern. Symposium Interpraevent 2000 – Villach / Österreich, Bd.2, pp.75-84.

SCHMIDTKE H., FREY U., ROTH S. 2003: Waldbestandeskartierung mit digitaler Photogrammetrie. Wald und Holz 9/03 S. 47-49.

WACK, R.; SCHARDT, M.; LOHR, U.; BARRUCHO, L. & OLIVEIRA, T. (2003): Forest Inventory for Eucalyptus Plantations Based on Airborne Laser Scanner Data. Proceedings of the ISPRS working group III/3 on "3-D Reconstruction from Airborne Laserscanner and InSAR Data", Dresden, Germany, 8-10 October 2003.

WACK R., (2006): Assessment of Alpine Protection Forest Parameters based on LIDAR Data and SPOT V Satellite Imagery. Proceedings of the HMRSC Workshop Graz

WACK R., OLIVEIRA T., (2005) Analyses of vertical vegetation structures for fire management by means of airborne laser scanning. Application in forestry- University of Göttingen. pp 127-135