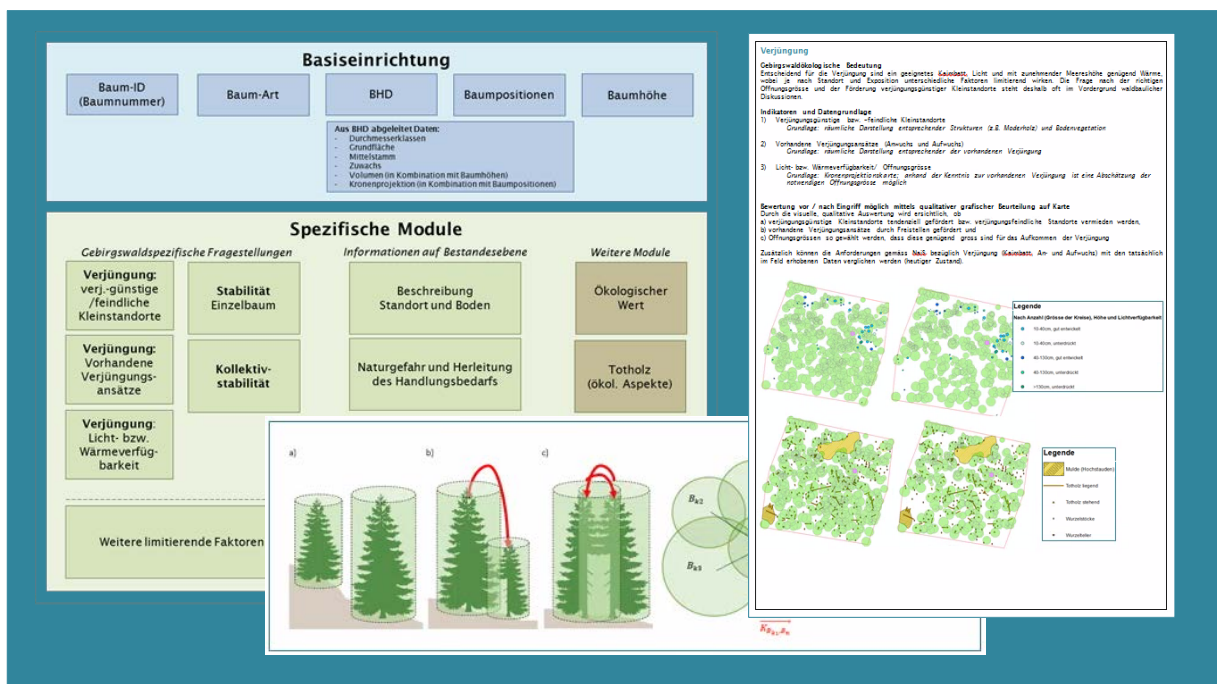


Konzept

Marteloskope im Gebirgswald



Version 1.0

Dezember 2017



ETH zürich



BILDUNGSZENTRUM WALD
CENTRO FORMAZIONE BOSCO
CENTER FURMAZIUN GUAUD
CH-7304 MAIENFELD

Impressum

Projektleitung

Jean-Jacques Thormann, Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL, Abteilung Waldwissenschaften, Fachgruppe Gebirgswald, Naturgefahren und GIS, Länggasse 85, 3052 Zollikofen.

Jean-jacques.thormann@bfh.ch

Projektmitarbeit

Kathrin Kühne und Marc Günter, HAFL

Harald Bugmann und Dominic Michel, ETH Zürich

Projektbegleitung

Karin Allenspach, Amt für Wald Kanton Bern

Riet Gordon, Amt für Wald und Naturgefahren, Kanton Graubünden

Lukas Glanzmann und Raphael Schwitter, ibW Maienfeld / Fachstelle für Gebirgswaldpflege

David Forrester und Andreas Zingg, Eidg. Forschungsanstalt WSL

Projektfinanzierung

Bundesamt für Umwelt (BAFU), Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung (WHFF)

Amt für Wald des Kantons Bern

Amt für Wald und Naturgefahren des Kantons Graubünden

Autoren

Kathrin Kühne, Jean-Jacques Thormann, Harald Bugmann, Lukas Glanzmann, Karin Allenspach

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
1.1	Ausgangslage und Abgrenzung.....	3
1.2	Ziele	3
2	Konzept Marteloskope im Gebirgswald	4
2.1	Modularer Aufbau	4
2.2	Abhängigkeit von Standortbedingungen und Naturgefahr.....	5
2.3	Umsetzung	6
3	Diskussion und Beurteilung des vorgeschlagenen Systems	11
3.1	Weiterentwicklungspotenzial: Automatisierte Modellierung	11
4	Koordination der Standortwahl und Synergienutzung	13
4.1	Koordination, Synergien und Mehrfachnutzung.....	13
4.2	Waldwachstumsmodellierung	17
5	Literatur	19

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Abgrenzung

Ein Marteloskop ist ein didaktisches Werkzeug für Schulungen, Aus- und Weiterbildung im Bereich Waldbau. Zielpublikum sind Auszubildende aller Stufen sowie das Forstpersonal. Ziel ist, dass sich die Praktiker der Konsequenzen ihrer Anzeichnung bewusstwerden und ihr waldbauliches Handeln überprüfen, trainieren und ggf. eichen können. Grundsätzlich sind nur wenige Daten nötig, um ein Marteloskop in seiner einfachsten Form nutzen zu können: Sind auf einer klar definierten Fläche alle Bäume nummeriert und deren Positionen bekannt, können mit Hilfe der Variablen Baumart und Brusthöhendurchmesser bereits einfache Auswertungen zur angezeichneten Grundfläche bzw. dem Holzvolumen und zur Stammzahl gemacht werden, unterteilt nach Baumart und Durchmesserklassen. Diese sind rein quantitativ und sagen alleine noch nicht viel über die Qualität einer Anzeichnung aus, sondern müssen vor dem Hintergrund der räumlichen Anordnung interpretiert und diskutiert werden. Mit Hilfe weiterer Eigenschaften der Einzelbäume oder ggf. des Bestandes wird es möglich, detailliertere Aussagen machen und eine Anzeichnung ganzheitlicher beurteilen und diskutieren zu können. Die bisher vorwiegend in tieferen Lagen eingerichteten Marteloskope fokussieren etwa auf ökonomische Aspekte und/oder den ökologischen Wert von Einzelbäumen bzw. Beständen.

Bei der Pflege von Gebirgswäldern stehen aber andere waldbauliche Aspekte im Vordergrund. Aufgrund ihrer standörtlichen Besonderheiten spielen in der Gebirgswald- und Schutzwaldpflege vor allem Verjüngung, Stabilität sowie das Bestandesgefüge eine wichtige Rolle (Schwitter 2013). Dementsprechend muss es das Ziel bei der Gebirgswaldpflege sein, Eingriffe an die spezifischen waldbaulichen Zielsetzungen und an den lokalen ökologischen Gegebenheiten des Waldes angepasst umzusetzen (Frehner, 2001). Handelt es sich um Schutzwald, so geht es auch um die Beurteilung des Waldes hinsichtlich seiner Schutzwirksamkeit gegen Naturgefahren. Gemäss Frehner et al. (2005) wird bei der Behandlung von Schutzwäldern davon ausgegangen, dass zwischen Waldzustand und Risikominderung ein direkter Zusammenhang besteht. Der angestrebte Waldzustand richtet sich dabei ebenfalls nach den lokalen Standortbedingungen sowie Anforderungen aufgrund der Naturgefahr. Gemäss der Wegleitung NaiS (ebd.) sind es folgende Einzelbaum- und Bestandesmerkmale, deren Zustand eine massgebende Rolle für die Nachhaltigkeit von Gebirgs- bzw. Schutzwäldern spielen: Baumartenmischung, Gefüge (vertikal und horizontal), Stabilitätsträger sowie Verjüngung.

Das vorliegende Konzept für Marteloskope im Gebirgswald ist geht deshalb von einer umfassenden Definition von Gebirgswälder aus, für welche die Grundsätze nach NaiS angewendet werden können. Es kann angewendet werden für:

- alle Wälder der hochmontanen und subalpinen Höhenstufe, welche aufgrund ihrer besonderen standörtlichen Rahmenbedingungen gemäss Schwitter (2013) als Gebirgswald gelten
- sowie Schutzwälder aller Höhenlagen, weil bei diesen waldbaulich die Grundsätze nach NaiS im Vordergrund stehen.

Der modulare Aufbau des Konzepts (vgl. nachfolgendes Kapitel) erlaubt es, die Umsetzung abhängig von Standort und Naturgefahr den jeweils auf der spezifischen Marteloskopfläche vorherrschenden waldbaulichen Zielsetzungen und Fragestellungen - entsprechend der standörtlichen und ggf. durch die Naturgefahr bestimmten Rahmenbedingungen - anzupassen.

1.2 Ziele

Bislang existierten kaum Marteloskope in Wäldern höherer Lagen oder im Schutzwald, bzw. diese waren nicht oder nur unzureichend auf die waldbaulichen Besonderheiten der Gebirgswälder angepasst. Ziel des Projektes ist es deshalb, ein Konzept für Marteloskope im Gebirgswald vorzuschlagen, welches Grundlagen für waldbauliche Diskussionen zu gebirgswaldspezifischen Fragestellungen und waldbaulichen Herausforderungen bietet, um auf Basis quantitativer Daten Anzeichnungsvarianten waldbaulich beurteilen und diskutieren zu können. Durch eine entsprechende Einrichtung und Auswertung sollen so Aussagen zu allen relevanten Einzelbaum- und Bestandesmerkmalen gemacht und damit die Qualität eines simulierten Eingriffs hinsichtlich der in Gebirgs- und Schutzwäldern relevanten Merkmale beurteilt werden können. Im vorliegenden Konzept wird deshalb aufgezeigt, welche (zusätzliche) Fragestellungen und dafür notwendigen Daten im Gebirgswald von Interesse sind und wie diese auf Marteloskopen eingerichtet und umgesetzt werden können.

Es sei darauf hingewiesen, dass das vorliegende Konzept auf den ursprünglichen Zweck der Marteloskope zur waldbaulichen Schulung fokussiert. Andere Fragestellungen bzw. Synergien mit ertragskundlichen Flächen und weiterer Dauerbeobachtungsflächen und Forschungsthemen auf bereits eingerichteten Flächen sind dennoch denkbar. Diesem Thema ist in Kapitel 4 ein eigener Abschnitt gewidmet.

2 Konzept Marteloskope im Gebirgswald

2.1 Modularer Aufbau

Bei der Einrichtung von Marteloskopen unterscheiden wir zwischen der **Basiseinrichtung** – d.h. der Aufnahme derjenigen Daten, die unabhängig von den waldbaulichen Gegebenheiten und Fragestellungen erhoben werden – sowie **spezifischen Modulen**, welche je nach waldbaulicher Frage- bzw. Problemstellung auf der Fläche zusätzlich erhoben werden, um eine zielführende waldbauliche Diskussion zu ermöglichen (siehe Abbildung 1). Im Gebirgswald sind in erster Linie Daten zu Verjüngung und Stabilität von Bedeutung; es können aber auch ökonomische und/oder ökologische Daten erhoben und ausgewertet werden. Der modulare Aufbau erlaubt es, die Einrichtung individuell auf die Zielsetzung und Bedürfnisse an eine Marteloskopfläche anzupassen und diese bei Bedarf auch später zu erweitern.

Die **Basiseinrichtung** eines Marteloskops umfasst die Vorbereitung, Auswahl und das Abstecken der Fläche sowie Aufnahme und Beschriftung der Baumnummern, Erhebung von Baumart, BHD, Baumpositionen und -höhen sowie der Kronenprojektion zu Darstellungszwecken. Dies ermöglicht Aussagen zu Grundfläche, Durchmesserklassen-Verteilung, Eingriffsstärke, Baumartenzusammensetzung vor und nach dem Eingriff sowie weiterer vom BHD abgeleiteter Daten wie etwa Vorrat oder Mittelstamm. Ebenfalls sind grobe qualitative Aussagen aufgrund der visuellen Beurteilung des Eingriffs möglich, wie etwa die räumliche Verteilung, Vergleiche verschiedener Gruppen oder die gruppen- oder einzelbaumweise Entnahme.

Spezifische Module: Abhängig von den jeweils wichtigen Fragestellungen, gewünschter Genauigkeit und Aussagekraft (und den jeweiligen Ressourcen/Zielen des Einrichters) können beliebige weitere Parameter und Variablen ans Marteloskop angebunden werden. Marteloskope im Gebirgswald sollen so konzipiert und eingerichtet werden, dass sie gebirgswaldspezifische Fragestellungen besser beantworten können (nachfolgend im Detail beschrieben).

Nebst der rein waldbaulichen Beurteilung hinsichtlich der gebirgswaldspezifischen Aspekte können auch bei der Gebirgswaldpflege ökonomische und ökologische Fragestellungen eine wichtige Rolle spielen. Die Einbindung dieser Themen kann im Rahmen eines Kurses entweder lediglich auf qualitativer Ebene erfolgen. Es ist aber auch möglich, ein Gebirgswaldmarteloskop um diese Module zu erweitern, so dass sich auch auf Einzelbaumebene Aussagen zum wirtschaftlichen und/oder ökologischen Wert einer Fläche herleiten lassen. Die Umsetzung solcher Fragestellungen wird bereits heute in zahlreichen Marteloskopen angewendet und ist entsprechend aufgearbeitet. Auf eine genaue Beschreibung dieser Themen wird hier deshalb verzichtet. Das Prinzip zu deren Einrichtung und Umsetzung wird im Handbuch zur Einrichtung von Gebirgswaldmarteloskopen (separates Dokument) erläutert.

Eigenschaften auf Bestandesebene

Nebst der vorangehend beschriebenen Daten sollten bei der Einrichtung einer neuen Marteloskopfläche auch Informationen auf Bestandesebene zusammengetragen werden, welche für das waldbauliche Verständnis auf der spezifischen Fläche von Bedeutung sind. Diese Eigenschaften werden lediglich in beschreibender Art gesammelt und dienen informativen Zwecken. Im Gebirgswald sind dies nebst den lokalen topografischen Gegebenheiten der Standortstyp und gegebenenfalls die Naturgefahr sowie die daraus abgeleiteten limitierenden Faktoren.

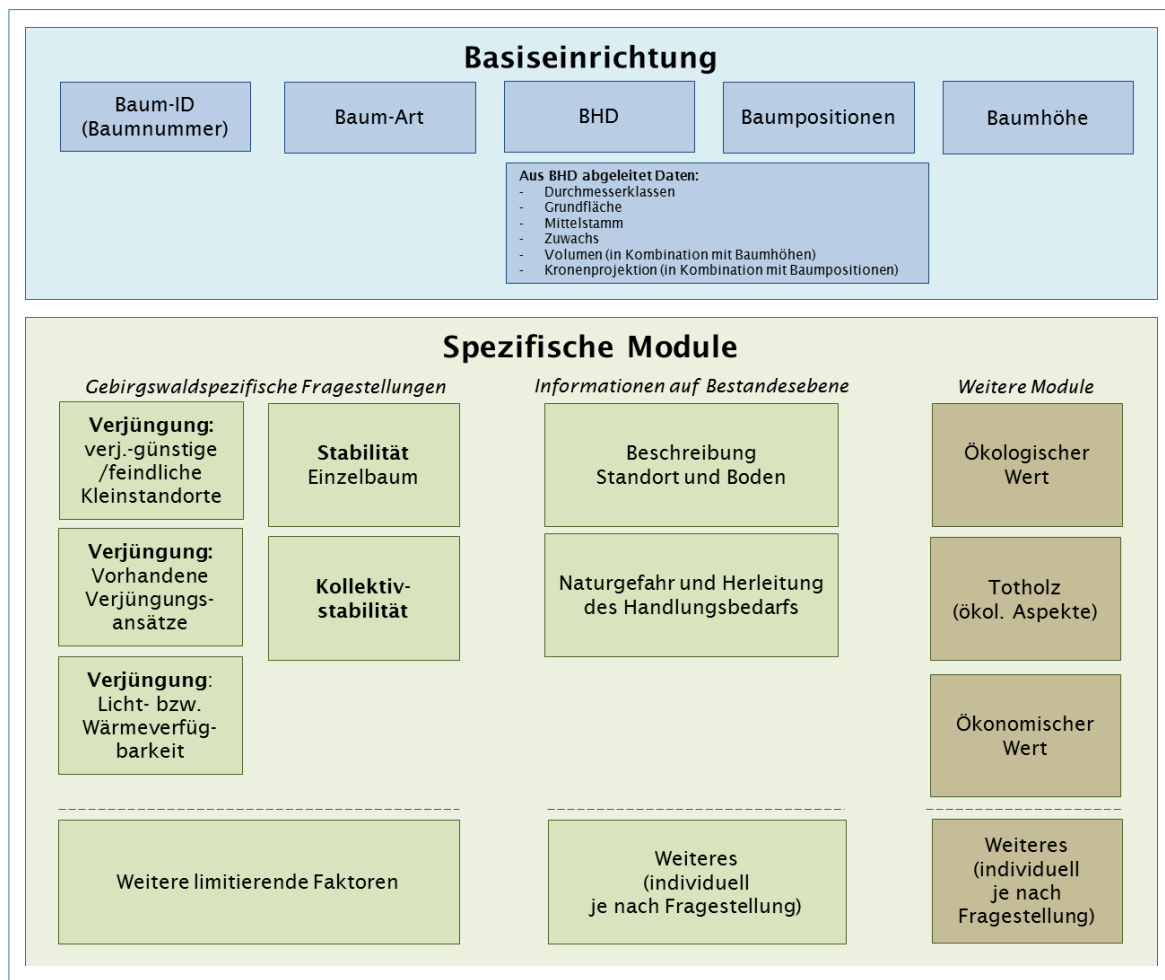


Abbildung 1: Modularer Aufbau zur Einrichtung von Gebirgswaldmarteloskopien

2.2 Abhängigkeit von Standortsbedingungen und Naturgefahr

Der vorgeschlagene modulare Aufbau erlaubt eine an die Fragestellung angepasste Einrichtung und Nutzung der Marteloscope: Je nach Standort und Naturgefahr spielen andere Voraussetzungen und limitierende Faktoren bei der Gebirgswaldpflege eine Rolle. Bei der Einrichtung eines neuen Marteloskops ist deshalb vorgängig zu prüfen und festzulegen, welche Faktoren auf der spezifischen Waldfläche von Bedeutung sind für die waldbauliche Fragestellung resp. Behandlung des Bestandes. Da sich diese direkt aus den Anforderungsprofilen gemäss NaiS ergeben, kann die Wegleitung zur Hilfe gezogen werden, um zu entscheiden, ob beispielsweise gewisse Faktoren auf dem Marteloskop überhaupt eine Rolle spielen oder gar nicht spezifisch erhoben und bewertet werden müssen. Folgende Beispiele sollen dies verdeutlichen:

- In einem subalpinen Hochstauden-Fichtenwald mit ausgeprägter Vegetationskonkurrenz sind zwingend verjüngungsgünstige Kleinstandorte wie etwa Moderholz nötig, damit Verjüngung ansamen kann. Die Auskartierung solcher Kleinstandorte zur grafischen Beurteilung eines Eingriffes scheint hier zielführend, während dies auf einem mittleren Standort tieferer Lagen gemäss den Anforderungen nicht gefordert und deshalb nicht nötig ist.
- Die Bewertung der Licht- bzw. Wärmeverfügbarkeit / Öffnungsgrösse eines Eingriffes macht nur an Orten Sinn, wo dies ein limitierender Faktor ist. Während diese Analyse beispielsweise auf der Pilotfläche in Rona I von grosser Wichtigkeit ist, macht eine solche in Renan nur wenig Sinn, da sich dort die Verjüngung aufgrund des Standorttyps und der Meereshöhe bei einem Deckungsgrad von maximal 80% problemlos installiert (vgl. Anforderungen nach NaiS), weil diffuse Lichtverhältnisse bereits genügen.

2.3 Umsetzung

Zusätzlich zur Auswertung von Baumart, Durchmesserklassen und Volumen soll es durch die Integration der gebirgswaldspezifischen Module auf Gebirgswaldmarteloskopen möglich werden, den Zustand des entsprechenden Waldes vor bzw. nach einem Eingriff hinsichtlich der gemäss NaiS relevanten Kriterien **Baumartenmischung**, **Gefüge** (vertikal und horizontal), **Stabilität** und **Verjüngung** und damit die Qualität einer Anzeichnung zu bewerten. Konkret soll der Vergleich des aktuellen Zustandes der einzelnen Merkmale vor dem Eingriff mit dem Zustand nach einem simulierten Eingriff Aufschluss darüber geben, ob eine Anzeichnung an die spezifischen waldbaulichen Zielsetzungen und den lokalen ökologischen Gegebenheiten angepasst ist und damit längerfristig den gewünschten Waldzustand erhalten bzw. verbessern oder erreichen kann.

Einige Merkmale, wie etwa Mischung oder vertikales Gefüge, können auf Einzelbaumebene gemessen und damit auch quantitativ ausgewertet werden. Die Beurteilung des Bestandesgefüges (horizontale Struktur), der Stabilität sowie der Verjüngungsgunst vor bzw. nach einem Eingriff gestaltet sich aus folgenden Gründen komplexer: Betrachtung im räumlichen Kontext notwendig, keine Möglichkeit zur quantitativen Messung und damit lediglich gutachterliche Abschätzungen möglich und Fehlen entsprechender Grundlagen zur Beurteilung. Für Marteloskope im Gebirgswald schlagen wir deshalb ein System vor, welches es ermöglicht, Eingriffsvarianten basierend auf quantitativen Daten sowie qualitativen, visuellen Einschätzungen beurteilen und diskutieren zu können. Der nachfolgende Überblick je Merkmal (welche durch entsprechende repräsentiert werden) erläutert kurz deren waldbauliche Bedeutung, nennt Indikatoren, mit Hilfe welcher eine Beurteilung möglich wird und illustriert die damit möglichen Bewertungsmöglichkeiten mit Beispielen.

Details zum Vorgehen bei der Datenerhebung zur Einrichtung von Marteloskopen sowie Überlegungen zu alternativen Methoden sind in den begleitenden Dokumenten [Handbuch Marteloskope im Gebirgswald](#) sowie [Methodenbeschrieb zum Handbuch](#) beschrieben.

Baumartenmischung

Gebirgswaldökologische Bedeutung

Eine naturnahe und an die Standortbedingungen angepasste Baumartenmischung ist für einen optimalen und nachhaltigen Aufbau des Waldes anzustreben.

Indikator und Datengrundlage

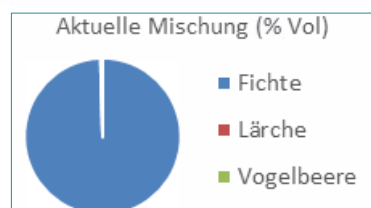
Art und Anteil der Baumarten

Grundlage: Baumart je Einzelbaum

Bewertung vor/nach Eingriff aufgrund einfacher Auswertung quantitativer Daten

Der Vergleich der Baumartenmischung vor/nach einem Eingriff kann exakt quantitativ dargestellt werden und erlaubt den direkten Vergleich mit den gemäss Anforderungsprofil NaiS geforderten Baumartenanteilen.

Baumartenmischung			
Anforderungen (NaiS)		Zustand	
Minimalprofil	Idealprofil	Vor Eingriff	Nach Eingriff
Fi 70 – 100% Vb: Samenbäume	Fi: 90 – 95 % Vb: 10%	Fi: 99% Lä: 1% Vb: Samenbäume	Fi: 99% Lä: 0% Vb: Samenbäume



Gefüge vertikal: Stammzahl- bzw. Durchmesserklassenverteilung

Gebirgswaldökologische Bedeutung

Die vertikale Struktur eines Waldes ist v.a. für die kontinuierliche Gewährleistung der Schutzfunktion wichtig. Stufige Bestände tragen zu einem stabilen Bestandesgefüge bei.

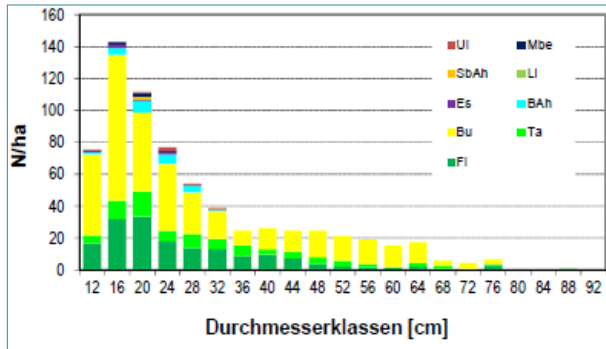
Indikator und Datengrundlage

Stammzahl- und Durchmesserklassenverteilung

Grundlage: BHD je Einzelbaum

Bewertung vor / nach Eingriff aufgrund einfacher Auswertung quantitativer Daten

Der Vergleich der Stammzahl- und Durchmesserklassenverteilung vor/nach einem Eingriff kann exakt quantitativ dargestellt werden und erlaubt den direkten Vergleich mit den gemäss Anforderungsprofil NaiS geforderten Stammzahlen.



Zusammenzug Anforderungen Benötigte Stammzahlen für NaiS Formular 2

BHD-Klassen: Verteilung

	Anforderungen: benötigte Stammzahlen gemäss RockForNet		Zustand effektiv (Renan)	
	minimal	ideal	Zustand heute	Zustand (direkt) nach Eingriff
mit BHD 8 - 12 cm:	210	260	75	72
mit BHD 12- 24 cm:	220	270	331	319
mit BHD 24 - 36 cm:	70	90	118	110
mit BHD > 36 cm:	40	40	165	151
Grundfläche	20 m2/ha	25 m2/ha	44.01 m2	40.79 m2

Gefüge horizontal: Deckungsgrad, Lückengrösse, liegendes Holz

Gebirgswaldökologische Bedeutung / Ziel

Die horizontale Struktur eines Waldes beeinflusst die Schutzwirksamkeit hinsichtlich Naturgefahr. Dabei spielen je nach vorherrschenden Prozessen Deckungsgrad, Lückengrösse und ggf. die Bodenrauigkeit erhöhende Strukturen (z.B. hohe Stöcke, liegendes Holz) eine Rolle.

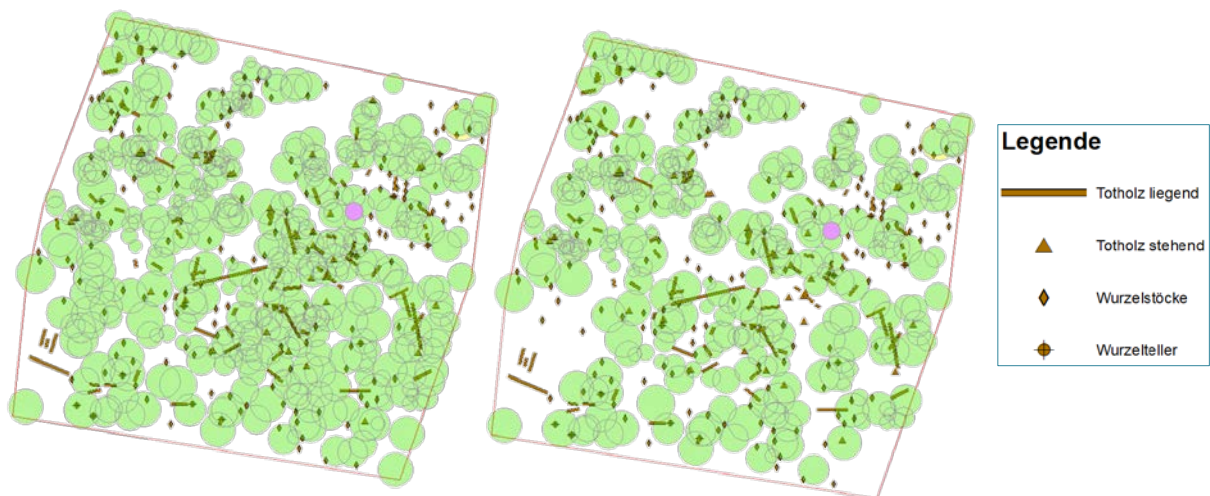
Indikator und Datengrundlage

Deckungsgrad, Lückengrösse, die Bodenrauigkeit erhöhende Strukturen

Grundlage: räumliche Darstellung auf Ebene Marteloskop

Bewertung vor / nach Eingriff möglich mittels qualitativer grafischer Beurteilung auf Karte

Ersichtlich sind die ungefähren Lückengrössen vor (links) bzw. nach einem Eingriff (rechts) sowie im vorliegenden Beispiel liegendes Holz, Wurzelteller und hohe Stöcke, welche die Bodenrauigkeit erhöhen (relevant im Steinschlag- und Lawinenschutzwald).



Stabilität

Ökologische Bedeutung und begriffliche Abgrenzung

Bei der Pflege von Gebirgswäldern spielt die Stabilität eine wichtige Rolle. Es lässt sich feststellen, dass im Bereich der forstlichen Stabilität zwischen einem umfassenden Verständnis von Stabilität im Sinne der Resilienz¹ sowie einem eher auf mechanische Standhaftigkeit von Bäumen und Baumkollektiven beruhenden Konzept unterschieden werden kann. Der Begriff der Stabilität, wie er in der Praxis sowie im vorliegenden Konzept verwendet wird, fokussiert auf die aktuelle Störungsresistenz, also die Fähigkeit des Waldes, Belastungen durch einen Störungsfaktor ohne Veränderung zu überstehen (Glanzmann 2012). Somit ist mit diesem Begriff im Wald in erster Linie die Standfestigkeit von Einzelbäumen bzw. Baumkollektiven gemeint (Bischoff 1984).

Die Stabilität in Gebirgswäldern setzt sich zusammen aus stabilen Einzelbäumen und stabilen Strukturen wie Kollektive, Rotten und innere, grüne Waldränder, deren Zusammenspiel für die Bestandesstabilität und der Bewahrung der natürlichen ökologischen Dynamik wichtig sind. Je nach standörtlichen Bedingungen und Waldstruktur nimmt dabei die Kollektivstabilität eine mehr oder weniger zentrale Rolle ein (Zeller 1993).

Einzelbaum- und Kollektivstabilität und deren Beurteilung

Die Frage, welche Bedingungen auf der Ebene von Einzelbäumen, Kollektiven oder dem gesamten Bestand die Stabilität beeinflussen, beschäftigt die Forschung schon seit langem. Langenegger (1979) erarbeitete etwa einen Vorschlag zur Bewertung des Stabilitätsgrades; die WSL (Foetzki et al. 2004) befasste sich intensiv mit verschiedenen Indikatoren zur näheren Beschreibung der Stabilität. Bis heute existiert aber kein einheitliches Bewertungssystem, welches sich in der Praxis durchgesetzt hat (Caflisch 2014). Dies hängt damit zusammen, dass entsprechende Grundlagen fehlen und einzelne Kriterien nicht unmittelbar mess- und damit quantifizierbar sind.

In NaiS beschränkt man sich bei der Herleitung des Handlungsbedarfs hinsichtlich Stabilität auf so genannte Stabilitätssträger – also besonders stabiler Bäume der Oberschicht – welche hinsichtlich Kronen, Schlankheitsgrad sowie Stand/Verankerung beurteilt werden. Die kollektive Stabilität ist noch schwieriger zu beurteilen und wird lediglich im Bestandesgefüge erwähnt (z.B. Vorhandensein von Kollektiven). Für die Anwendung in Marteloskopen schlagen wir deshalb ein eigenes Konzept zur Beurteilung der Stabilität vor, welches es erlaubt, mit einer praxistauglichen und pragmatischen Methode die Stabilität zu beurteilen. Dieses basiert auf einer gutachterlichen Bewertung der Einzelbaummerkmale (Einzelbaumstabilität) und stabilitätsbildender Elemente (Kollektivstabilität und innere Waldränder), welche im Feld erhoben, auf Karten grafisch dargestellt und qualitativ ausgewertet werden können.

Konzept zur Erhebung der Stabilität

Beurteilt werden sowohl die Einzelbaumstabilität wie auch die Stabilität in Kleinkollektiven. Um keine Vermischung zwischen Einzelbaumkriterien und Kollektivbetrachtungen zu machen, werden diese getrennt betrachtet, können bei der Auswertung und Diskussion aber gemeinsam behandelt werden.

Einzelbaumstabilität

Die Merkmale der Stabilität von Einzelbäumen und deren Bewertung sind Gegenstand zahlreicher Arbeiten. Auf eine detaillierte Beschreibung wird hier verzichtet; für eine umfassende Übersicht sei etwa auf die Arbeit von Höllerl (2008) verwiesen. Wir schlagen die Beurteilung folgender Merkmale vor:

- Gutachterlicher Gesamteindruck
- Kronen (Kronenlänge und -ausformung)
- Schlankheitsgrad (h/d-Verhältnis)
- Stand/Verankerung
- Schäden
- Vitalität

Gerade der h/d-Wert sowie die Kronenlänge sind wichtige messbare Grössen als Indikatoren für die Einzelbaumstabilität, wobei sie meist miteinander korrelieren. Nicht miteinbezogen wird die Stellung im Bestand (z.B. soziale Stellung nach Kraft), weil diese bereits durch BHD, Baumhöhe, Kronenlänge sowie h/d-Wert berücksichtigt wird.

Das Bewertungssystem funktioniert nach folgendem Prinzip: Jedem Einzelbaum wird für jedes Merkmal ein diskreter Wert zugewiesen, welcher die Stabilität in den Kategorien *stabil*, *stabil-labil* und *instabil* repräsentiert. Die Abgrenzung erfolgt aufgrund der in NaiS definierten Anforderungen (z.B. zur minimalen bzw. idealen Kronenlänge der Fichten) oder der gutachterlichen Beurteilung, ob ein Einzelbaum beispielsweise aufgrund seiner Schäden in seiner Widerstandskraft gegen äussere Einflüsse beeinträchtigt ist oder nicht. Zur Beurteilung können Merkmale gutachterlich geschätzt oder teilweise terrestrisch detailliert gemessen werden. Um eine gewisse Flexibilität bei der Einrichtung zu gewährleisten (in Abhängigkeit der gewünschten Aussagekraft bezüglich Stabilität, Ressourcen des Einrichters usw.), kann die Anzahl der Merkmale, deren Einteilung in Kategorien sowie die Genauigkeit der Aufnahmemethodik bei Bedarf selbstständig angepasst werden.

Kollektivstabilität

Wo die Kollektivstabilität aufgrund der standörtlichen Bedingungen und Waldstruktur eine Rolle spielt, soll diese beurteilt werden. Wir schlagen dazu die Zuordnung von Einzelbäumen zu stabilen Kollektiven vor, welche im Feld gutachterlich aufgrund der Zugehörigkeit zu stabilen Baumgruppen vorgenommen wird. Zusätzlich sollen innere Waldränder kartiert werden. Durch die räumliche Darstellung dieser stabilen Strukturen kann beurteilt werden, ob bei einem Eingriff zusammengehörende Kollektive belassen, als Ganzes entfernt oder destabilisiert werden.

¹ Gemäss Ott et al. (1997) gelten Gebirgswälder etwa dann als stabil, wenn sie einen ununterbrochenen Fortbestand der Waldbestockung gewährleisten mit einem minimalen Risiko für schutzwaldgefährdende bzw. grossflächige Entwaldungen. Dazu sind einerseits standfeste, widerstandsfähige Bäume sowie Baum- und Bestandeskollektive nötig, andererseits aber auch Wälder, welche sich kontinuierlich kleinflächig verjüngen können.

Einzelbaumstabilität

Indikator und Datengrundlage

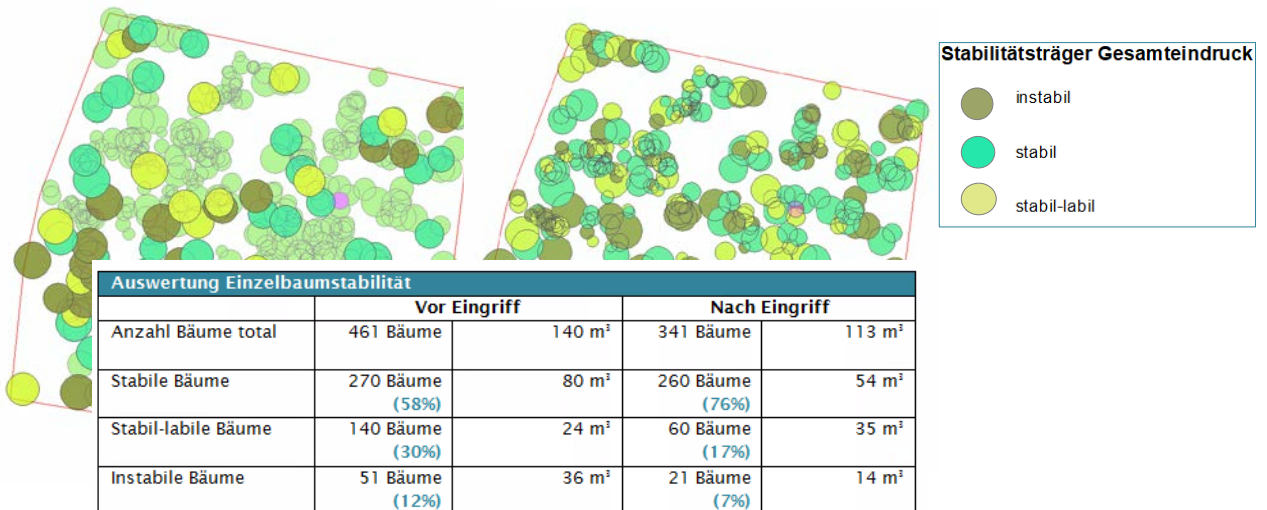
Stabilitätswerte der Einzelbäume (Gesamteindruck sowie einzelne Merkmale: Kronenlänge, Schlankheitsgrad, Stand/Verankerung, Schäden und Vitalität)

Bewertung vor / nach Eingriff möglich mittels qualitativer grafischer Beurteilung auf Karte sowie Zahlen zur Veränderung der Anzahl stabiler Einzelbäume

Ersichtlich wird die räumliche Anordnung der Einzelbäume, dargestellt mit Hilfe der Stabilitätsklassen *stabil*, *stabil-labil* sowie *instabil* vor bzw. nach dem Eingriff. Zur Auswertung können folgende Varianten angezeigt werden, jeweils entweder für alle Einzelbäume oder nur die 100 stärksten Bäume der Fläche („Stabilitätsträger“):

- Gesamteindruck Einzelbaumstabilität
- Einzelmerkmale der Stabilität (Kronenlänge, Schlankheitsgrad, Stand/Verankerung, Schäden und Vitalität)

Zusätzlich gibt eine Tabelle Auskunft zum quantitativen Anteil der auf der Fläche vorkommenden Stabilitätswerte.



Kollektivstabilität

Gebirgswaldökologische Bedeutung

Die Stabilität in Kleinkollektiven und Rotten spielt zusammen mit der Einzelbaumstabilität je nach Standort und Struktur des Waldes eine wichtige Rolle. Die gruppenförmigen Strukturen wie Kleinkollektive, Rotten und innere, grüne Waldränder bilden ein standfestes Verbundsystem. Nebst der Förderung stabiler Kollektive dreht sich die waldbauliche Diskussion beim Schaffen neuer Öffnungen deshalb auch um das Ausformen stabiler Ränder.

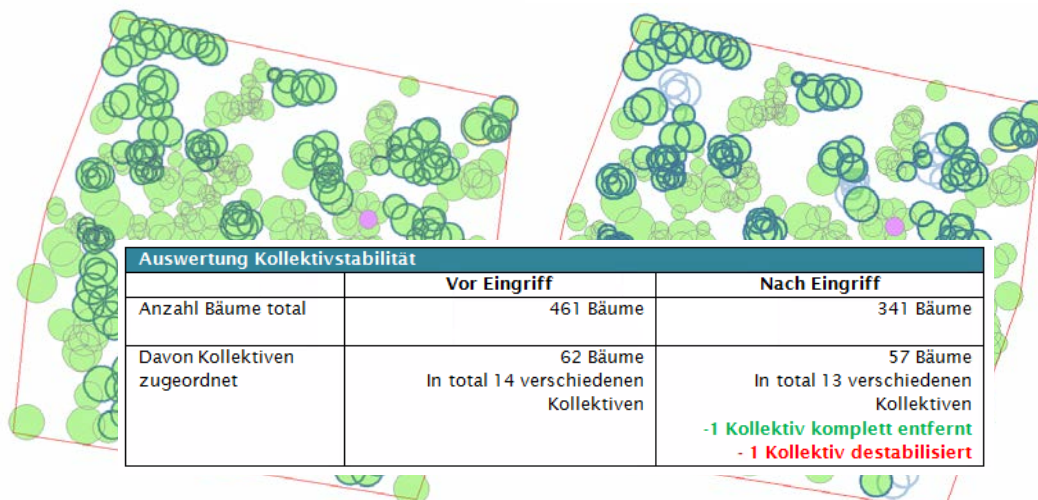
Indikator und Datengrundlage

(Fort)bestehen stabiler Kollektive und innerer Waldränder

Grundlage: räumliche Darstellung der zusammengehörenden Einzelbäume sowie innerer Waldränder

Bewertung vor / nach Eingriff möglich mittels qualitativer grafischer Beurteilung auf Karte sowie Zahlen zur Veränderung der Anzahl stabiler Elemente

Die Auswertung der Daten erfolgt mittels optischer Darstellung zusammengehörender Bäume sowie einer numerischen Auswertung, bei welcher angezeigt werden kann, ob tendenziell Kollektive als Ganzes entfernt/stehen gelassen werden oder destabilisiert werden, falls nur einzelne Bäume aus einem stabilen Kollektiv entfernt wurden.



Verjüngung

Gebirgswaldökologische Bedeutung

Entscheidend für die Verjüngung sind ein geeignetes Keimbett, Licht und mit zunehmender Meereshöhe genügend Wärme, wobei je nach Standort und Exposition unterschiedliche Faktoren limitierend wirken. Die Frage nach der richtigen Öffnungsgrösse und der Förderung verjüngungsgünstiger Kleinstandorte steht deshalb oft im Vordergrund waldbaulicher Diskussionen.

Indikatoren und Datengrundlage

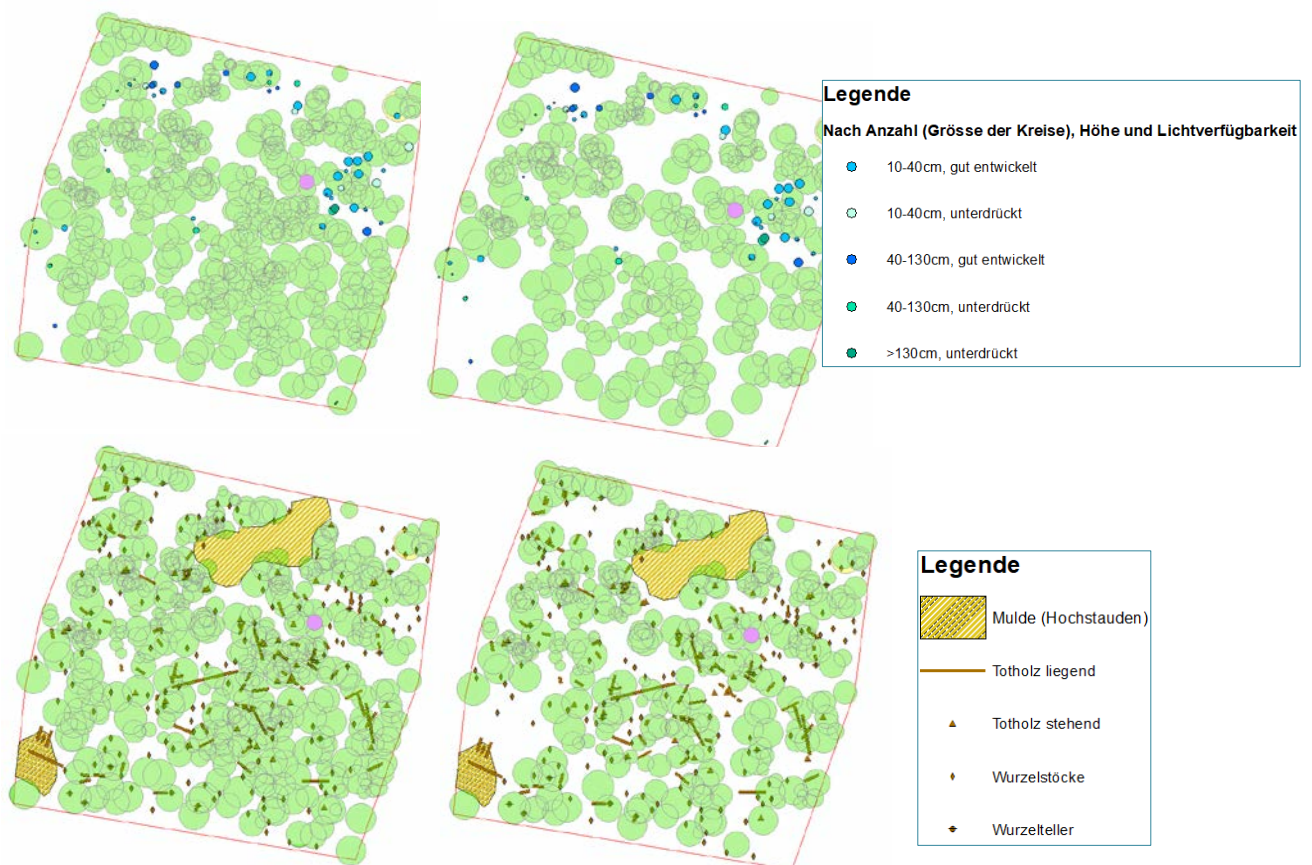
- 1) Verjüngungsgünstige bzw. -feindliche Kleinstandorte
Grundlage: räumliche Darstellung entsprechender Strukturen (z.B. Moderholz) und Bodenvegetation
- 2) Vorhandene Verjüngungsansätze (Anwuchs und Aufwuchs)
Grundlage: räumliche Darstellung entsprechender der vorhandenen Verjüngung
- 3) Licht- bzw. Wärmeverfügbarkeit/ Öffnungsgrösse
Grundlage: Kronenprojektionskarte; anhand der Kenntnis zur vorhandenen Verjüngung ist eine Abschätzung der notwendigen Öffnungsgrösse möglich

Bewertung vor / nach Eingriff möglich mittels qualitativer grafischer Beurteilung auf Karte

Durch die visuelle, qualitative Auswertung wird ersichtlich, ob

- a) verjüngungsgünstige Kleinstandorte tendenziell gefördert bzw. verjüngungsfeindliche Standorte vermieden werden,
- b) vorhandene Verjüngungsansätze durch Freistellen gefördert und
- c) Öffnungsgrössen so gewählt werden, dass diese genügend gross sind für das Aufkommen der Verjüngung

Zusätzlich können die Anforderungen gemäss NaIS bezüglich Verjüngung (Keimbett, An- und Aufwuchs) mit den tatsächlich im Feld erhobenen Daten verglichen werden (heutiger Zustand).



3 Diskussion und Beurteilung des vorgeschlagenen Systems

Die vorgeschlagene Umsetzung erlaubt es, analog zum Formular 2 (NaiS) einen Eingriff auf Basis der Beurteilung einzelner Merkmale zu evaluieren. Die Merkmale werden getrennt analysiert und stellen somit keine aggregierte Lösung dar, so dass keine direkte oder gar automatisierte Aussage zur Gesamtschutzwirksamkeit eines Bestandes vor bzw. nach einem Eingriff gemacht werden kann. Da ein Eingriff im Schutzwald eine Einwirkung in einem komplexen System bedeutet, das idealerweise in seiner Gesamtheit analysiert werden sollte und nicht anhand der Summe seiner Einzelteile beschrieben werden kann (Brang et al. 2004), scheint eine aggregierte Lösung, beispielsweise auf Basis eines einzigen, künstlich generierten Gesamtindex, aber auch nicht zielführend. Aufgrund der Komplexität des Ökosystems Wald können die teils noch zu wenig gut verstandenen Zusammenhänge und Wechselwirkungen aller Einflussfaktoren ohnehin kaum so modelliert werden, dass eine aggregierte Bewertung ohne Unsicherheiten möglich wäre.

Die ganzheitliche Diskussion der Konsequenzen eines Eingriffs hinsichtlich Walddynamik und Schutzwirksamkeit soll deshalb nach wie vor - analog zur Beurteilung mit Hilfe des Formulars 2 nach NaiS - auf Basis einer qualitativen Synthese stattfinden. Die Möglichkeiten zur teilweise automatisierten Auswertung der simulierten Eingriffe ersetzen deshalb nicht die geführte Diskussion der Fachpersonen und die Notwendigkeit, die generierten Daten vorsichtig zu interpretieren und vor dem Kontext der Unsicherheiten bezüglich natürlicher Waldentwicklung kritisch zu analysieren. Dies ist insbesondere bei jenen Merkmalen von Bedeutung, deren Erhebung auf Basis gutachterlicher Schätzungen vorgenommen wurde (z.B. Stabilität). Eine im Anschluss an die Auswertungsrunde erneute Begehung im Wald wird deshalb nach wie vor empfohlen.

Dennoch bieten Marteloskope im Gebirgswald nach vorgeschlagenem Konzept einen deutlichen Mehrwert gegenüber rein theoretisch bzw. ohne Datengrundlagen durchgeführten Anzeichnungsübungen, indem sich die Anzeichnenden dank der mit Hilfe von Zahlen, Grafiken und Karten generierten Auswertungen den Folgen ihres simulierten Eingriffs bewusst werden, sich eichen und Vergleiche verschiedener Anzeichnungsvarianten und deren Vor- und Nachteile diskutieren können. Das vorgeschlagene System evaluiert die Qualität von Anzeichnungen also indirekt, indem die Resultate eine Diskussion in der Gruppe anregen und den Wissensaustausch zwischen den Beteiligten fördern.

3.1 Weiterentwicklungspotenzial: Automatisierte Modellierung

Wie die vorangehenden Überlegungen zeigen, ist es mit den im Rahmen dieses Projekts für Marteloskope im Gebirgswald vorgeschlagenen Lösungen also nicht möglich,

- a) alle einzurichtenden Merkmale so abbilden zu können, dass deren Auswertung teils nicht nur qualitativ auf Basis von angezeigten Karten vorgenommen werden kann, sondern deren Bewertung automatisiert auf Basis von Modellen erfolgt und evaluiert werden kann
- b) die Qualität einer Anzeichnung direkt (beispielsweise zur Selbst- bzw. Gruppenevaluation) automatisiert zu evaluieren, ohne dass sich diese auf eine geführte Diskussion und Synthese der Einzelresultate abstützt.

Da entsprechende waldbauliche Grundlagen teilweise fehlen und deshalb im Waldbau gutachterliche Ansprachen nach wie vor notwendig sind, bleibt offen, inwiefern eine automatisierte und validierte Modellierung aller Kriterien in absehbarer Zukunft möglich sein wird. Eine entsprechende Ergänzung bzw. Weiterentwicklung der aktuellen Konzepte wäre deshalb - gerade in Kombination mit der Anbindung an Waldwachstumsmodelle - zu begrüßen, weshalb empfohlen wird, dies in weiterer Forschungs- und Entwicklungsarbeit weiter zu verfolgen. Einen viel versprechenden Ansatz zur automatisierten Wirkungsanalyse für die Beurteilung von Eingriffen in Schutzwäldern auf Grundlage einer räumlich expliziten Waldbeschreibung hat Rosselli (2017) für die Pilotfläche Rona I im Rahmen seiner Masterarbeit entwickelt. Mit MATLAB (R2016b) programmierte er eine Marteloskop-Begleitsoftware, mit welcher es möglich wird, Anzeichnungen im Gebirgsschutzwald automatisiert zu evaluieren. Neben allen NaiS-Anforderungskriterien wurden auch die Kosteneffizienz und Konsequenzen bezüglich Holzbringung mit Mobilseilkran berücksichtigt. Die Software basiert auf einer räumlich expliziten Waldbeschreibung, bei welcher verschiedene Kriterien automatisch charakterisiert, modelliert und bewertet werden können. Als Basis diente die integrative Anwendung von Felddaten sowie des digitalen Höhenmodells, dank welchem mit Hilfe verschiedener Modellansätze zahlreiche

Kriterien (Stabilitätsträger, Baumkollektive, Kronenlängen, horizontale und vertikale Waldstrukturen usw.) modelliert und nach einem simulierten Eingriff ausgewertet werden können (Abbildung 2). Für die Auswertung und Beurteilung einer Anzeichnung schlägt Rosselli die Verwendung von Spinnendiagrammen vor. Für jedes Kriterium (z.B. Schutzwirkung hinsichtlich Lawengefahr, vertikale Waldstruktur, Beachtung von Kollektiven, Kronenlänge usw.) wurde dazu eine Bewertungsfunktion entwickelt, welche einen Wert zwischen 0 (inakzeptabel) und 2 (ideale Anforderungen erfüllt) annimmt und entsprechend dargestellt werden kann (Abbildung 3).

Die vorgeschlagene Methodik birgt Potenzial, künftig auch auf weiteren Flächen angewendet und ggf. weiterentwickelt zu werden, so dass sie künftig auch ohne intensive Auseinandersetzung mit der Software und deren Kalibrierung für eine automatisierte Auswertung und Modellierung verwendet und angepasst werden könnte. Unmittelbar wäre insbesondere die Untersuchung folgender Fragestellungen zu begrüßen, um die Basis für eine entsprechende Weiterentwicklung zu legen:

- Validierung bzw. Weiterentwicklung der von Rosselli (2017) vorgeschlagenen Methode auf anderen Pilotflächen
- Vergleich der von uns vorgeschlagenen, teils pragmatischen Datenerhebungsmethoden von Einzelbaum- und Bestandesmerkmalen zu den von Rosselli (2017) angewendeten Erhebungen bzw. Modellierungsansätzen hinsichtlich Aufwand, Praxistauglichkeit sowie Beeinflussung der Aussagekraft waldbaulicher Schlussfolgerungen (Beurteilung einzelner Kriterien)

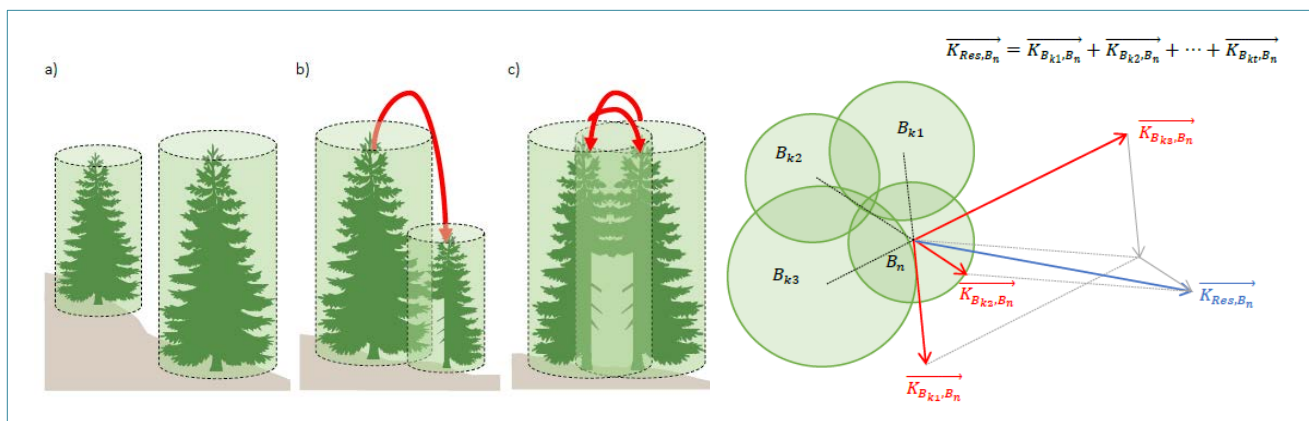


Abbildung 3: Beispielgrafiken zu modellierten Abhängigkeitsverhältnissen benachbarter Bäume (links) sowie der vektorielle Darstellung der Konkurrenz (rechts) im Rahmen der von Rosselli (2017) entwickelten Beurteilung der Schutzwirksamkeit auf Basis räumlich expliziter Daten.

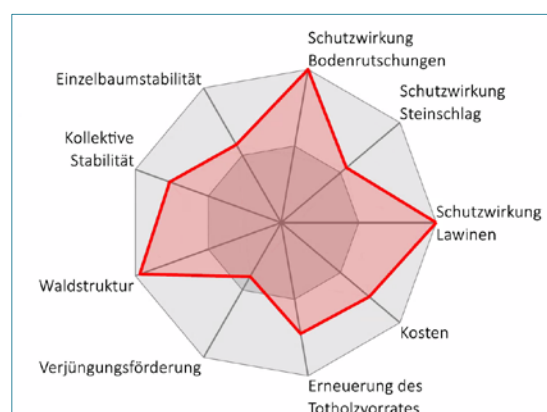


Abbildung 2: Beispiel eines Spinnendiagramms: Komplette Bewertung der Musteranzeichnung, wobei alle analysierten Beurteilungskriterien miteinbezogen wurden. Das Zentrum des Diagramms entspricht der schlechtesten Bewertung, der Rand der besten (Rosselli 2017).

4 Koordination der Standortwahl und Synergienutzung

bei der Einrichtung und Nutzung von Marteloscopen im Gebirgswald

4.1 Koordination, Synergien und Mehrfachnutzung

Idealerweise sollen neu entstehende Marteloskope im Gebirgswald verschiedene Standorte, Höhenstufen und waldbauliche Problemstellungen abdecken. Auch wenn es letztlich dem jeweiligen Einrichter einer neuen Fläche selbst überlassen ist, wo und mit welchen Zielen er ein Marteloskop einrichten möchte, empfiehlt sich die vorgängige Prüfung bereits bestehender Flächen sowie möglicher Synergien. Ziel ist die Gewährleistung der Koordination von Marteloscopen im Gebirgswald für die Standortwahl bei der Neueinrichtung, der zweckmässigen Einbindung in die waldbauliche, ertragskundliche und waldwachstumskundlichen Forschung sowie beim Wissenstransfer. Das vorliegende Kapitel gibt dazu Empfehlungen, welche vor der Einrichtung zu beachten sind und zeigt auf, wie Synergien mit bereits bestehenden, anderen Beobachtungsflächen bzw. für neue Flächen und Forschungsfragen allenfalls genutzt werden können, damit das vorhandene Potenzial zur Weiter- bzw. Mehrfachnutzung solcher Flächen ausgeschöpft werden kann.

Empfehlungen zur Standortwahl

Ziel ist die Abdeckung verschiedener repräsentativer Standorte auf unterschiedlichen Höhenstufen und verschiedenen im Gebirgswald relevanten Frage- bzw. Problemstellungen. Sehr ähnliche Flächen auf gleichen Standorten sollten tendenziell vermieden werden. Deshalb empfiehlt sich die vorgängige Prüfung geplanter bzw. bereits bestehender Marteloskopflächen im Gebirgswald. Sind ähnliche Flächen bereits vorhanden, empfiehlt es sich zu prüfen, ob Kurse nicht auf bereits bestehenden, externen Marteloscopen durchgeführt werden und ggf. ein zusätzliches, eigenes Marteloskop mit anderem Fokus eingerichtet werden kann. Der aktuelle Stand der entsprechenden Marteloskope soll leicht zugänglich sein, weshalb eine Übersicht auf der Homepage www.gebirgswald.ch sowie die Verlinkung auf die bestehende Übersicht der Fachstelle Waldbau in Lyss² umgesetzt wird.

Wissenstransfer via Homepage

Nebst einer Übersicht bestehender Marteloskope sind auf der Homepage auch alle wichtigen Dokumentationen zu Marteloscopen im Gebirgswald aufgeschaltet, welche es der Praxis ermöglichen, eigene Flächen einzurichten und für andere nachvollziehbar zu dokumentieren. Dies soll den Wissens- und Ideenaustausch fördern und damit zum waldbaulichen Kompetenzgewinn beitragen.

Synergiepotenzial zur Mehrfachnutzung

Marteloskope bieten das Potenzial zur Ausnutzung von Synergien bzw. zur Mehrfachnutzung mit weiterführenden Forschungs- und Beobachtungsfragen. Dabei kann unterschieden werden zwischen:

- der Möglichkeit, bestehende Beobachtungs- bzw. Forschungsflächen bzw. deren Datenbasis als Grundlage für das Marteloskop zu nutzen
- der Möglichkeit, Marteloskope für weitere Beobachtungs- bzw. Forschungszwecke zu verwenden

Nutzung bestehender Beobachtungs- bzw. Forschungsflächen

Für die waldbauliche Forschung und die Verbesserung von Kenntnissen im Gebirgswald existieren schon heute verschiedene Flächenkonzepte, beispielsweise die ertragskundlichen Versuchsflächen der WSL, Dauerbeobachtungsflächen, alte Flächen der Gebirgswaldpflegegruppe (GWG) oder Weiserflächen. Die WSL etwa unterhält ein Netz von bewirtschafteten Waldforschungsflächen im Gebirgswald. Darunter sind rund 50 ertragskundliche Flächen unterschiedlicher Struktur, Alter und Dichte, einige Windwurfflächen sowie weitere permanent eingerichtete Flächen mit Verjüngungsstudien mit teils über 50jährigen Datenzeitreihen (vgl. Abbildung 4). Diese sollen vermehrt für Weiterbildung zu waldbaulichen und ertragskundlichen Themen verfügbar gemacht werden und könnten gegebenenfalls auch für verschiedene Fragestellungen als Marteloskope genutzt werden.

² http://www.waldbau-sylviculture.ch/94_martelo_d.php

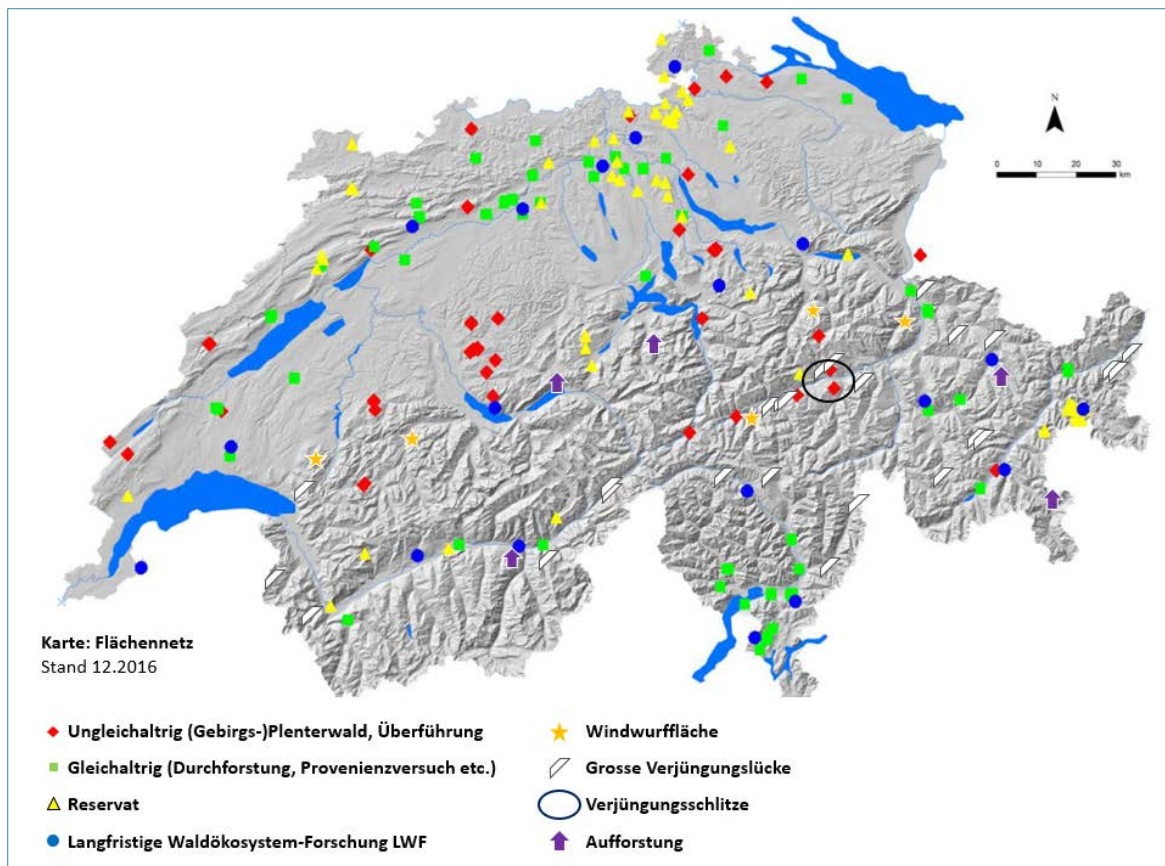


Abbildung 4: Überblick Flächennetz Langzeitforschung im Gebirgswald. Quelle: WSL, 2016.

Es besteht Potenzial, solche Flächen teilweise oder ganz für die Umsetzung von Gebirgswaldmarteloscopen zu nutzen. So könnten bereits bestehende Flächen teilweise oder vollständig als Marteloskopobjekte genutzt werden. Dies bietet nicht nur den Vorteil einer Mehrfachnutzung, sondern auch die Möglichkeit, auf bereits bestehende Datengrundlagen und Zeitreihen zurückzugreifen, die ansonsten nicht bzw. nur mit viel Aufwand erhoben werden könnten.

So könnten etwa Dauerbeobachtungsflächen oder bestehende Weiserflächen zu Marteloscopen umfunktioniert und genutzt werden.

Wo eine Umnutzung nicht in Frage kommt, lohnt es sich dennoch zu prüfen, ob Daten aus bestehenden, naheliegenden und vom Waldbestand und Standort her ähnliche Flächen gegebenenfalls Informationen liefern, welche bei der Umsetzung eines neuen Marteloscops wertvolle waldbauliche Erkenntnisse liefern, ohne dass diese speziell erhoben werden müssen. Denkbar wären hier etwa Kenntnisse zum lokalen Zuwachs auf analogen ertragskundlichen Flächen oder waldbauliche Folgerungen einer nahegelegenen Weiserfläche, welche aufzeigen könnte, dass auf diesem Standort bereits gezielte kleinflächige Eingriffe genügen und somit bei der Einrichtung eines Gebirgswaldmarteloscops bereits Anhaltspunkte bei der Umsetzung der Öffnungsgrössenfrage bestehen.

Vor der konkreten Planung neuer Gebirgswaldmarteloscopen empfehlen wir deshalb abzuklären, ob in der entsprechenden Region bereits Flächen existieren, welche sich zur Mehrfachnutzung eignen könnten. Zur Hilfe gezogen werden können dazu beispielsweise die Übersicht der WSL-Flächen, SuisseNais oder kantonal bestehende Übersichten.

Verwendung von Martelocopen für weitere Beobachtungs- bzw. Forschungszwecke

Umgekehrt ist es auch möglich, Marteloscopen für weitere beobachtende bzw. analysierende Forschungszwecke zu verwenden. Da mit der Einrichtung eines Marteloscops eine gute Datengrundlage auf einer vordefinierten Fläche geschaffen wird, lassen sich daran einfach weitere Forschungsfragen anbinden. Die Resultate daraus können wiederum dazu verwendet werden, die

Diskussion bezüglich spezieller waldbaulicher Fragestellungen bei Marteloskopübungen um zusätzliche lokale Kenntnisse zu erweitern.

Möglichkeiten bestehen hier einerseits im zur Verfügung stellen der ohnehin auf dem Marteloskop erhobenen Daten, auf Basis derer unterschiedlichste Studien durchgeführt werden könnten. Beispiele sind etwa studentische Arbeiten oder Analysen für thematisch ähnliche Forschungsprojekte, die Entwicklung lokal angepasster Modelle oder die Validierung von bestimmten Methodenvorschlägen. Die nachfolgende Tabelle gibt eine beispielhafte Übersicht über einige Studien, die während der Projektlaufzeit auf den Pilotflächen umgesetzt wurden sowie offenen Forschungsfragen, welche gerade im Zusammenhang mit Fragen der Waldwachstumsmodellierung sowie der automatisierten Erhebung und Auswertung von Einzelbaum- bzw. Bestandesmerkmalen von Interesse wären.

Alternativ wäre es auch möglich, durch die Ausweitung von Marteloskopen neue Dauerbeobachtungsflächen zu schaffen. Es ist aber zu beachten, dass es dabei zu prüfen gilt, ob die Qualität der erhobenen Daten dem erweiterten Zweck auch angepasst ist. Auch wenn sich die Empfehlungen zur Einrichtung von Gebirgswaldmarteloskopen zumindest hinsichtlich der Basiseinrichtung grösstenteils an gängigen Erhebungsmethoden orientiert, sind Marteloskope keine ertragskundlichen Forschungsflächen. Weiterführende Beobachtungsstudien oder die Umnutzung als gut dokumentierte Weiserfläche auf Marteloskopen, auf denen ein reeller Eingriff erfolgt ist, können ebenfalls einen Beitrag zum waldbaulichen Erkenntnisgewinn leisten, indem die tatsächliche Waldentwicklung nach einem Holzschlag beobachtet und analysiert werden kann.

Thema	Rahmen	Quelle
Bereits durchgeführte bzw. laufende Forschungsarbeiten		
Messung der Lichtverhältnisse (Fischaugenfotos) der Fichtenverjüngung, Marteloskop Rona I	Semesterarbeit HAFL	Scherrer K. (2013)
Entwicklung und Test Beurteilungssystem der Einzelbaumstabilität bei Fichten, Marteloskop Rona I	Semesterarbeit HAFL	Caflisch F. (2014)
Vergleich von Stabilität und ökologischem Wert zweier subalpiner Marteloscope (Dischma, Rona I)	Bachelorarbeit ZHAW	Morgenthaler R. (2016)
Entwicklung einer Wirkungsanalyse auf Grundlage einer räumlich expliziten Waldbeschreibung, Marteloskop Rona I	Masterarbeit ETH	Rosselli S. (2017)
Untersuchungen zu den aus Drohnendaten abgeleiteten Parametern Koordinaten und BHD zur Verbesserung der Detailplanung von Seillinien, unter anderem mit Hilfe der Daten der Marteloskopdaten in Rona.	Bachelorarbeit HAFL WHFF-Projekt HAFL	Condrau C. (2017) Ziesak M. et al. (2017)
Aufnahme der ökologischen Werte auf dem Marteloskop in Renan und vergleichende Analysen zwischen Ökologie und Stabilität	Semesterarbeit HAFL	Brunner, A. (laufend)
Untersuchungen zur Einzelbaumstabilität auf dem Marteloskop in Renan	Semesterarbeit HAFL	Rüfenacht, V. (laufend)
Prüfung von Optimierungsmodellen zur Anzeichnung im Steinschlagschutzwald auf Basis von räumlich expliziten Baumdaten, Marteloskop Renan	Masterarbeit ETH	Mader, D. (laufend)
Weiterentwicklung des Modells ForClim im Hinblick auf bessere Abbildung des Zuwachses im Gebirgswald	Dissertation ETH	Huber, N. (laufend)
Offene Forschungsfragen mit direkter Relevanz zur Weiterentwicklung von Gebirgswaldmarteloskopen		
Verbesserung / Vereinfachung der Einrichtung durch automatisierte luftbildgestützte Verfahren		
Vorhandene Verjüngungsansätze	Weiterentwicklung bestehender, auf luftbildgestützten Verfahren hergeleiteter Methoden zur Charakterisierung dieser Merkmale und Vergleich von Aufwand und Aussagekraft mit der im vorliegenden Konzept vorgeschlagenen, pragmatischen Erhebungsmethoden	
Charakterisierung der Bestandesstabilität und Waldstruktur (Baumkollektive, Kronenlänge der neu freigelegten Lückenränder, innere Waldränder, horizontale und vertikale Waldstruktur)		
Automatisierte Auswertung simulierter Eingriffe		
Weiterführende Studien zur Möglichkeit der automatisierten Modellierung und Auswertung (vgl. Ansatz Rosselli 2017)	Insbesondere für: - Lichtmodellierung / Verjüngung (Öffnungsgrössen) - Bestandesstabilität und Waldstruktur (Kollektive, innere Waldränder usw.)	
Kronenprojektionsmodellierung	Erhebung und Tests versch. Kronenprojektionsmodelle und Anbindung an Konkurrenzmodellierung (competition cernels)	
Simulierung der mittel- bis langfristigen Waldentwicklung		
Waldwachstumsmodelle	Anbindung von für Gebirgswaldbestände entwickelten Waldwachstumsmodellen an die automatisierte Auswertung von Eingriffsvarianten zur Simulation der mittel- bis langfristigen Waldentwicklung (Beurteilung Entwicklungsprognose). vgl. nachfolgendes Kapitel	

4.2 Waldwachstumsmodellierung

Das vorangehend beschriebene Konzept für Marteloskope im Gebirgswald bietet die Möglichkeit, verschiedene Daten auf Einzelbaumebene vor bzw. direkt nach einem Eingriff darzustellen und auszuwerten. Für die Simulation der Waldentwicklung über einen längeren Zeitraum sind damit aber noch keine Aussagen möglich. In der Konzeption NaiS (Frehner et al. 2005) wird die längerfristige Entwicklung über die nächsten 50 Jahre qualitativ mit Hilfe von Pfeilen im Formular 2 («Entwicklungsprognose») abgeschätzt. Eine solche qualitative Bewertung lässt sich bei der Diskussion von Anzeichnungsergebnissen gut in bestehende Kurse einbauen. Idealerweise sollten Aussagen über die langfristige Bestandesentwicklung aber auf der Basis von automatisierten Simulationen in die waldbauliche Diskussion einfließen können. Die Simulation der ertragskundlichen Daten ist somit ein wichtiges Ziel, um die zukünftige Entwicklung eines Bestandes nach einem Eingriff – und damit die Folgen verschiedener Anzeichnungsvarianten – aufzeigen zu können.

Waldwachstumsmodelle erleichtern das Verständnis komplexer Wachstumsvorgänge und sind praktische Hilfsmittel für die forstliche Planung. Sie stellen vereinfacht die Entwicklung bestimmter Wachstumsgrößen von Beständen in Abhängigkeit der Zeit und waldbaulichen, waldwachstumskundlichen und standörtlichen Variablen dar. Sie ermöglichen es, betriebliche Fragestellungen zu untersuchen. Gängige Modelle mit einer räumlichen Auflösung auf Einzelbaumebene sind etwa SILVA, PrognAus, MOSES, BWINPro, ForClim, PICUS, Samsara oder TASS, welche jeweils unterschiedliche Datengrundlagen und Auswertungsmöglichkeiten berücksichtigen (Frehner und Bugmann, 2015). Auch die Anbindung spezifischer Modelle für detaillierte Prozess-Beschreibung an bestehende Waldwachstumssimulatoren ist denkbar, wie dies etwa Müller (2002) zur Modellierung des Sturm- oder Schneefäulerisikos in Fichtenbeständen auf Einzelbaumbasis mit Hilfe des Modells SILVA aufzeigt. Da auf Marteloskopflächen zahlreiche Daten auf Einzelbaumebene erhoben werden, bietet sich die Anbindung von Waldwachstumsmodellen unmittelbar an. Allerdings sind die gebräuchlichsten forstlichen Wachstumsmodelle in erster Linie für reine und gleichaltrige Bestände und eine bestimmte waldbauliche Behandlung gültig, oder sie sind nicht für Gebirgsverhältnisse entwickelt worden. Eines der theoretisch genauesten Modelle, SILVA (entwickelt an der TU München) erwies sich als sehr fragwürdig in der Anwendung in den Alpen (Schmid et al. 2006), das heisst es wären erhebliche Weiterentwicklungs- und Kalibrierungsarbeiten nötig, um derartige empirisch basierte Modelle in Gebirgswaldmarteloskopen der Schweiz verwendbar zu machen.

Der Weiterentwicklung von Waldwachstumsmodellen im Gebirgswald kommt deshalb eine grosse Bedeutung zu. Sie würde der Praxis Grundlagen liefern, um auf der Ebene der waldbaulichen Planung einen Schritt weiter zu kommen. Eine Verwendung solcher Modelle auf Ebene Marteloskop wäre deshalb zu Bildungszwecken äusserst wünschenswert, um Aussagen im Sinn einer Wirkungskontrolle für die Weiterentwicklung des Bestandes nach einem simulierten Eingriff machen zu können.

Im Rahmen des vorliegenden Projektes war es nicht möglich, entsprechende Modelle neu zu entwickeln. Um eine Anbindung von Waldwachstumsmodellen zu ermöglichen und austesten zu können, wurde bei Konzeption der Software eine Schnittstelle geschaffen, damit Auswertedaten von Marteloskopübungen an Waldwachstumsmodelle angebunden werden können. Diese Schnittstelle wurde im Rahmen der GWG Sommertagung 2016 mit dem von der ETH entwickelten Wachstumsmodell ForClim v3.3 für die Fläche in Rona I getestet (Abbildung 3). Dazu wurde die Waldentwicklung mit und ohne Berücksichtigung des Klimawandels anhand von drei verschiedenen Behandlungsvarianten simuliert. Dabei zeigte sich die grundsätzliche Eignung des Modells, allerdings erwies sich der simulierte Zuwachs als wesentlich zu gering. Dies führte zu weitergehenden Untersuchungen im Rahmen einer laufenden Dissertation an der ETH Zürich (N. Huber), welche zu einer wesentlich verbesserten Modellversion führen soll, die im Lauf des Jahres 2018 verfügbar sein wird. Weitere Tests mit der neuen Modellversion sind vorgesehen.

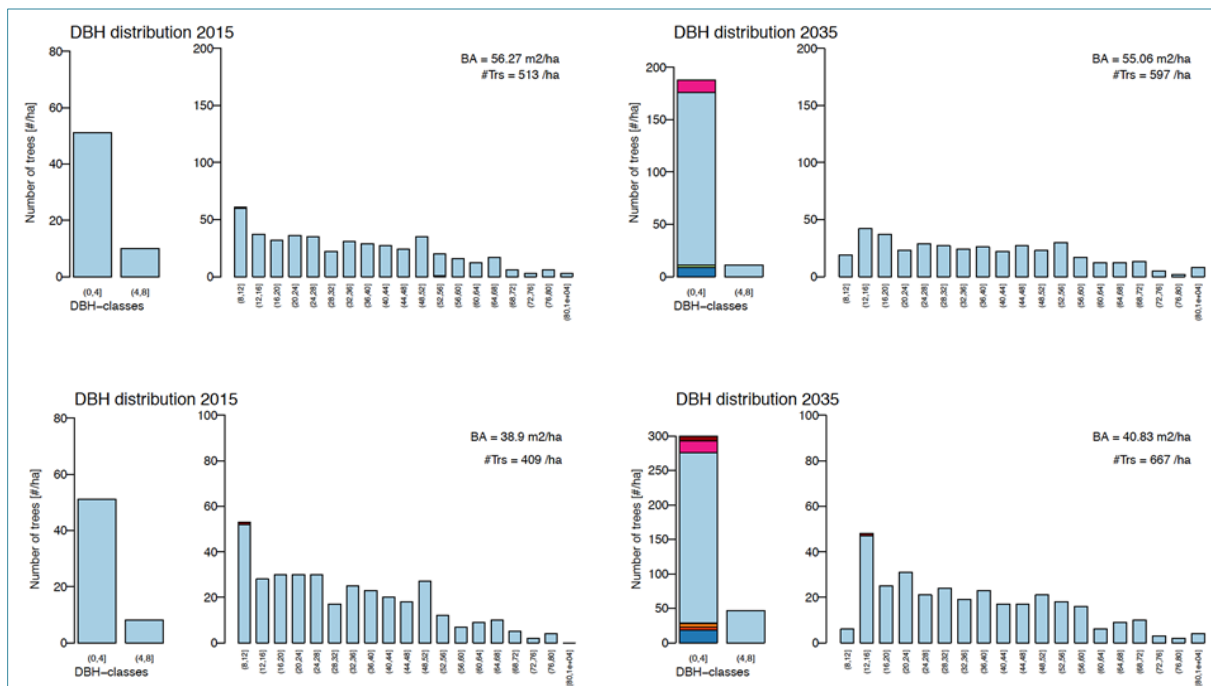


Abbildung 5: Zustand des Marteloskops Rona I im Jahr 2015 und 2035 ohne Eingriff (oben) sowie gemäss dem von ETH-Studierenden angezeichneten Maximaleingriff (unten).

5 Literatur

Bischoff N., 1984: Begründung und pflegliche Nutzung von Gebirgswäldern. Leitfaden für die Begründung und forstliche Nutzung von Gebirgswäldern. Bern, 379 S.

Brang P., Schönenberger W., Bachofen H., Zingg A., Werhli A., 2004: Schutzwalddynamik unter Störungen und Eingriffen: Auf dem Weg zu einer systemischen Sicht. Forum für Wissen 2004:55–66.

Caflisch F., 2014: Beurteilungssystem der Einzelbaumstabilität bei Fichten (*Picea abies*). Semesterarbeit, Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften (HAFL), 28 S.

Condrau C., 2017: Drohnen im Forst – Einsatz von Drohnen zur Planung der Holzernte im Seilkrangelände. Bachelorarbeit, Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften (HAFL), Zollikofen, 161 S.

Glanzmann L., 2012: Planung im Schutzwald. Vergleich ausgewählter Informationsgrundlagen am Beispiel des Kantons Appenzell Ausserrhoden. Masterarbeit, Eidgenössisch Technische Hochschule ETH, Zürich, 81 S.

Foetzki A., Jonsson M., Kalberer M., Simon H., Mayer A.C., Lundström T., Stöckli V., Ammann W.J., 2004: Die mechanische Stabilität von Bäumen: das Projekt Baumstabilität des FB Naturgefahren. Forum für Wissen. S 35-42.

Frehner M., 2001: Gebirgswaldpflege – es kommt auf den Standort an. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen (152) Nr. 5, S. 169 – 176.

Frehner M., Wasser B., Schwitter R., 2005: Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald (NaiS). Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern, 564 S.

Höllerl S., 2008: Auswirkungen von waldbaulichen Massnahmen auf die Stabilität (Resistenz und Elastizität) von Fichtenreinbeständen in der Bergmischwaldstufe der Bayerischen Alpen. Eine Analyse aus waldbaulich-forstökonomischer Sicht. Dissertation. Technische Universität München, Lehrstuhl für Waldbau. München, 312 S.

Langenegger H., 1979: Eine Checkliste für Waldstabilität im Gebirgswald. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 130/8.

Morgenthaler R., 2016: Beurteilung des Naturschutzwertes und der Stabilität zweier Marteloskopflächen im subalpinen Gebirgswald. Bachelorarbeit, Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften ZHAW. Wädenswil, 88 S.

Müller F., 2002: Modellierung von Sturm-, Schnee- und Rotfäulerisiko in Fichtenbeständen auf Einzelbaumebene. Dissertation, Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, Technische Universität München, 175 S.

Ott E., Frehner M., Frey H.-U., Lüscher P., 1997: Gebirgsnadelwälder: Ein praxisorientierter Leitfaden für eine standortsgerechte Waldbehandlung. Paul Haupt, Bern, Stuttgart, Wien, 287 S.

Rosselli S., 2017: Entwicklung einer Wirkungsanalyse für die Beurteilung der Baumanzeichnung in subalpinen Schutzwäldern auf Grundlage einer räumlich expliziten Waldbeschreibung. Masterarbeit, Eidgenössisch Technische Hochschule Zürich ETHZ. Zürich, 100 S.

Scherrer K., 2013: Untersuchungen zu den Einflüssen des Lichtes auf das Höhenwachstums der Fichte (*Picea abies*). Semesterarbeit an der Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL, Zollikofen, 41 S.

Schmid S., Zingg A., Biber P. und Bugmann H., 2006: Evaluation of the forest growth model SILVA along an elevational gradient in Switzerland. European Journal of Forest Research 125: 43-55. Doi 10.1007/S10342-005-0076-4.

Schwitter R., 2013: Gebirgswald- und Schutzwaldpflege: eine Orientierungshilfe für die Praxis. 29 S.

Zeller E., 1993: Rottenpflege. Ausformung und Benutzung von Baumkollektiven als stabile Bestandeselemente. Projekt Gebirgswaldpflege II. Bericht Nr. 3A.

Ziesak M., Dietsch P., Günter M., Thormann J.J., Dorren L., 2017: Verbesserte waldbaulich-forsttechnische Planung bei Seilkraneinsätzen mittels Drohnentechnik. Schlussbericht. Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL, Zollikofen. 85 S.