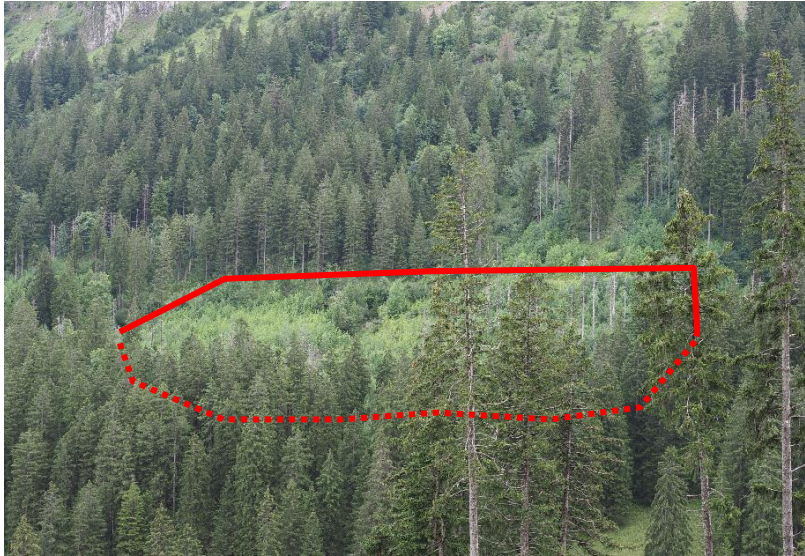


Dokumentation der Anpassung an den Klimawandel

Fallbeispiel Stäfeliwäng, Schwarzenberg LU

November 2023 (überarbeitet im Juni 2024)



Auf einer durch Borkenkäferbefall 2003 bis 2006 entstandenen Störungsfläche im besonderen Hochwasserschutzwald wurde der Bestand natürlicherweise und kostenlos von 99% Nadelholz zu 96% Laubholz adaptiert, darunter die wichtige Zukunftsbaumart Buche. Die Naturverjüngung auf dem als schwierig bekannten Hochstauden-Standort verlief erstaunlich rasch und problemlos.

Abbildung 1: Die Untersuchungsfläche vom Gegenhang gesehen.

Ort	Stäfeliwäng, Schwarzenberg LU	
Höhe	1'370 – 1'420 m ü. M.	
Geologie	Felssturzmasse aus Kalk/Sandstein	
Boden	Braunerde, Gesteinsrohboden	
Waldstandort (obermontan/ hochmontan)		
50f		
60* (subalpin)		
48 (Blockschutt)		
Verjüngungsart	Naturverjüngung	
Verjüngungsform	Borkenkäfer 2003-2006	
Fläche	1.80 ha	
Eigentümer	Kanton Luzern	
Bewirtschafter	Staatsforstbetrieb LU	

Klimanormwerte (Meteo Schweiz) und Klimaszenarien CH2018.

	Normwert 1961-1990	Normwert 1991-2020	Szenario RCP2.6 2070-2099	Szenario RCP8.5 2070-2099
Jahresniederschlag	1'776 mm	1'839 mm	-92 bis +20 mm	-118 bis +74 mm
Temperaturmittel	4.9°	6.0°	+0.7° bis +1.9°	+3.3° bis +5.2



Dokumentation der Anpassung an den Klimawandel

Inhalt

1	Einleitung	3
1.1	Herausforderung Klimawandel.....	3
1.2	Anpassungsvorgänge.....	3
2	Fallbeispiel Stäfeliwäng, Schwarzenberg (LU)	3
2.1	Zielsetzung.....	3
2.2	Befragung des lokalen Forstdienstes und Vertreter des Waldeigentümers	3
2.3	Untersuchungsfläche «Stäfeliwäng», Schwarzenberg (LU).....	4
2.4	Wirtschaftsplan Rümli I 1952 – 1971.....	5
2.5	Ausgangsbestand und Käferbefall von 2003 bis 2006.....	6
2.6	Samenbäume für die Wiederbewaldung nach dem Käferbefall	8
2.7	Zustand im Jahr 2023	10
2.8	Standort.....	11
2.9	Standortsveränderung aufgrund Klimawandel	12
2.10	Schutzwaldbewirtschaftung	14
2.11	Fragestellungen bezüglich Schutzwaldpflege und Adaptation	15
2.12	Empfehlung zur Jungwaldpflege	16
3	Schlussfolgerung	18
4	Danksagung	19
5	Literaturverzeichnis	20

Das Fallbeispiel Stäfeliwäng wurde im Auftrag des Kantons LU durch die Berner Fachhochschule (HAFL) am 05.04.2024 an 9 Fotostandorten als hochaufgelöste Photosphären (sphärische Panoramaaufnahmen mit 360° Rundumsicht und Zoommöglichkeit) aufgenommen: <https://martelage.sylvotheque.ch/explore?visit=113>

Impressum

Autoren: Silas Gigon und Peter Ammann

Projekt: «Fallbeispiele Anpassung Klimawandel»

Auftraggeber: Bundesamt für Umwelt BAFU (Forschungsvertrag 19.0051.PJ / 3AC510E6A)

Auftragnehmer: Bildungszentrum Wald Lyss, Fachstelle Waldbau

Projektleitung: Dr. Peter Ammann



Fachstelle Waldbau
Centre de sylviculture
Centro per la Selvicoltura

1 Einleitung

1.1 Herausforderung Klimawandel

Der Klimawandel stellt uns vor grosse Herausforderungen. Die Waldökosysteme müssen sich an die sich rasant verändernde Situation anpassen. Einzelne Baumarten haben Probleme mit den wärmeren und trockeneren Bedingungen; Störungen durch Stürme, Insekten oder extreme Trockenheitsphasen nehmen tendenziell zu.

Die Wälder sollen so bewirtschaftet werden, dass die geforderten Waldleistungen weiterhin erbracht werden können bzw. die Wälder ein zwar reduziertes, aber hinreichendes Niveau z.B. an Schutzleistungen erbringen können. Generell soll die Störungsresistenz (Widerstandsfähigkeit), Störungsresilienz (Wiederherstellungskraft) und Anpassungsfähigkeit von Wäldern erhöht werden. Dazu wurden fünf konkrete Adaptationsprinzipien (Anpassungsprinzipien) formuliert (Brang, P., Küchli, C., Schwitter, R., Bugmann, H., und Ammann, P. 2016): Erhöhung der Baumartenvielfalt, Erhöhung der Strukturvielfalt, Erhöhung der genetischen Vielfalt, Erhöhung der Störungsresistenz der Einzelbäume und Reduktion der Umtriebszeit und des Zieldurchmessers. Die Umsetzung der Adaptationsprinzipien erfolgt mit den bekannten waldbaulichen Massnahmen wie Verjüngung, Jungwaldpflege, Durchforstung usw.

1.2 Anpassungsvorgänge

Die Verjüngungsphase ist eine Schlüsselsituation für die Adaptation. Planmässige Verjüngungen in Gebirgswäldern laufen oftmals langsam und kleinflächig ab und die bisher dominante Hauptbaumart (meist Fichte) wird wieder bevorteilt. Dagegen führen rasche und grossflächige Verjüngungen zu günstigen Voraussetzungen für wesentliche Veränderungen der Baumartenzusammensetzung oder des Bestandes. Solche adaptiven Verjüngungsabläufe werden bewusst geschaffen durch kurze Verjüngungszeiträume (Schirmhieb) und/oder flächige Verjüngungshiebe (Femelhieb, Saumhieb, mosaikartiger Waldbau). Oder aber sie sind eine Folge von Störungen (Sturm, Kalamitäten, etc.) – die Natur sorgt also gleich selbst für die optimalen Bedingungen für rasche Anpassung. Es wird vermutet, dass die extremeren Standortsbedingungen im Gebirgswald sowie der Wildeinfluss dazu führen, dass grössere Flächen (als bezüglich theoretischem Lichtbedarf anzunehmen) nötig sind bzw. oftmals deutlich erfolgreicher sind als kleine Lücken. Im Schutzwald kann dies eine besondere Herausforderung darstellen, da aufgrund der Anforderungsprofile NaiS (Frehner et al. 2005/09, in Revision) je nach Naturgefahr und Standorttyp gewisse Vorgaben z.B. bezüglich der Grösse und Anordnung von Lücken bestehen.

2 Fallbeispiel Stäfeliwäng, Schwarzenberg (LU)

2.1 Zielsetzung

Das vorliegende Fallbeispiel soll Anpassungsvorgänge am Beispiel eines Gebirgswaldes nachvollziehbar und verständlich machen. Positive Entwicklungen und natürliche Abläufe sollen erkannt werden und als Vorbild dienen. Faktoren mit negativer Wirkung sollen ebenfalls erkannt und vermieden werden können.

2.2 Befragung des lokalen Forstdienstes und Vertreter des Waldeigentümers

Zur Beschaffung von Informationen wurde der Staatforstbetrieb Luzern, Waldeigentümer der betroffenen Fläche, kontaktiert. Bruno Duss, langjähriger Forstwartvorarbeiter beim Staatsforstbetrieb Kanton Luzern, beschrieb die Geschichte seit der letzten Jahrtausendwende. Frühere Ereignisse und Informationen wurden dem Wirtschaftsplan Rümli I von 1952 – 1971 entnommen.

2.3 Untersuchungsfläche «Stäfeliwäng», Schwarzenberg (LU)

Die untersuchte Waldfläche befindet sich im Gebiet «Stäfeliwäng» auf dem Gemeindegebiet von Schwarzenberg, Kanton Luzern, am Nordfuss der Pilatuskette. Die Untersuchungsfläche ist 1.8 ha gross und liegt unterhalb der Forststrasse zur Risetenegg. Die Fläche selbst ist teilweise durch eine alte Rückegasse und einen Begehungsweg erschlossen (siehe Abb. 2). Die Fläche liegt zwischen 1370 und 1420 m ü.M. und weist eine durchschnittliche Hangneigung von ca. 30 % auf. Der Hang ist nordexponiert und gleichmäßig geneigt mit einem kleinen Plateau in der Mitte. Die Fläche ist geprägt von verschiedenen Sturzablagerungen der darüber liegenden Pilatuskette, dementsprechend sind die abgelagerten Gesteine überwiegend Kalk- und Sandsteine.

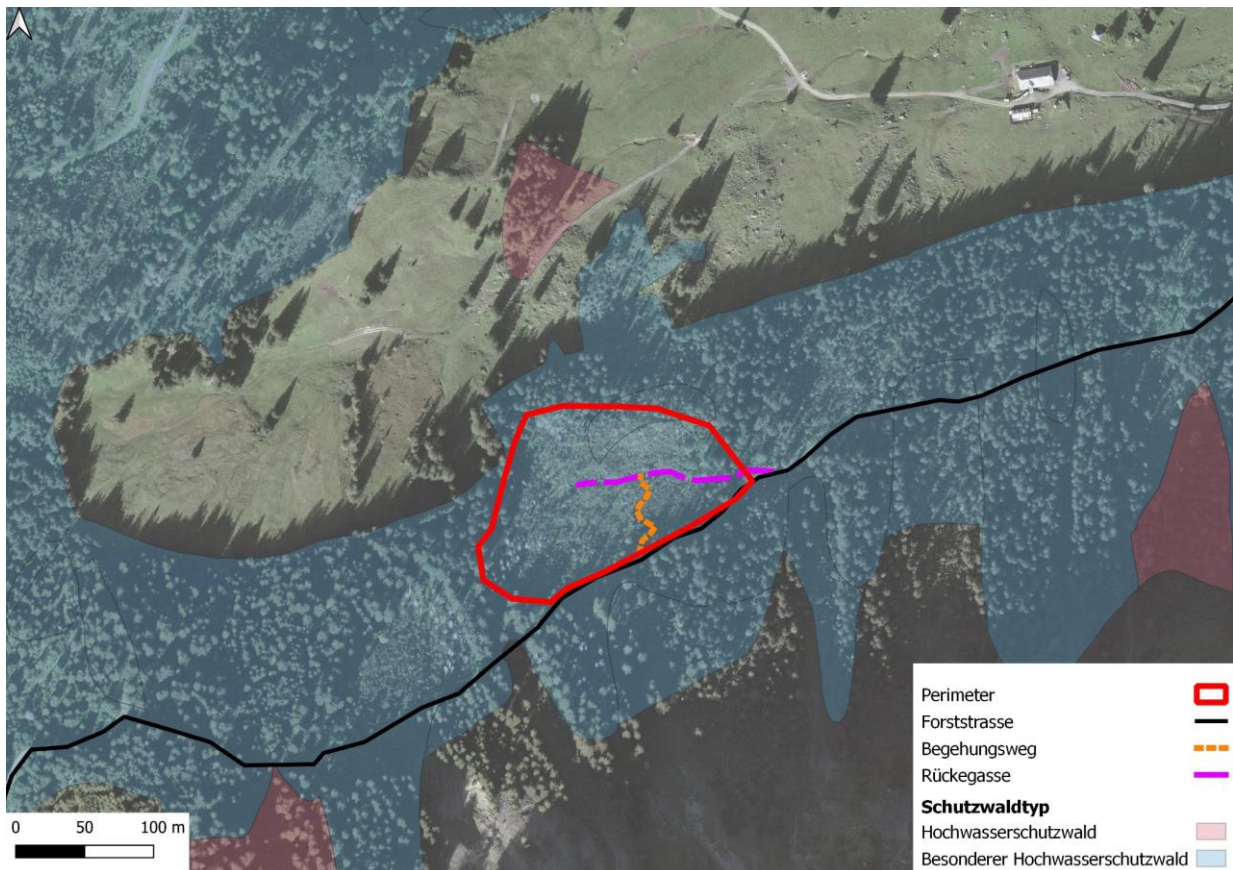


Abbildung 2: Untersuchungsfläche mit Schutzwald-Karte (Quelle: Kanton Luzern, eigene Veränderungen).

Der Wald im Untersuchungsgebiet ist als besonderer Hochwasserschutzwald ausgeschieden. Diese Kategorie ist eine Spezialität des Kantons Luzern. Besondere Hochwasserschutzwälder befinden sich in waldreichen Einzugsgebieten von hochwasserrelevanten Flächen. Diese sind hinsichtlich der Waldverjüngung besonders sensibel bzw. die Verjüngungssituation ist aufgrund von Konkurrenzvegetation und/oder Hochstaudenflora besonders schwierig. Durch geeignete Baumartenmischung, Strukturvielfalt, Naturverjüngung und Dauerbestockung wird eine Erhöhung des Speichervolumens angestrebt. Dies führt zu einer Verzögerung des Wasserabflusses bei Starkniederschlägen. Folgenden Punkte sollen im besonderen Hochwasserschutzwald beachtet werden: Keine grossflächigen Öffnungen schaffen (zur Vorbeugung vor Hochstauden) und an geeigneten Stellen Moderholz fördern (Dienststelle Landwirtschaft und Wald lawa 2022). Im Gegensatz zu besonderen Hochwasserschutzwäldern besteht bei einem Gerinneschutzwald (von den Kantonen gemäss den Kriterien von SilvaProtect ausgeschieden) eine direkte Verbindung zu einem schadensrelevanten Gewässer.

2.4 Wirtschaftsplan Rümli I 1952 – 1971

Das Gebiet Stäfeli, in dem sich das Untersuchungsgebiet Stäfeliwäng befindet, gehörte im Wirtschaftsplan Rümli I von 1952 bis 1971 zur 38 ha grossen Abteilung 6. Nach dem Stand von 1971 umfasste diese 27 ha Aufforstungsflächen und 11 ha Altholz (keine nähere Definition des Begriffs). Das erste Forstpolizeigesetz von 1876 gab in der ganzen Schweiz den Anstoss zur Wiederbewaldung ehemals kahlgeschlagener Flächen in den Alpen und Voralpen. Die häufigen Überschwemmungen des Rümli- und Fischbaches mit Schäden in Schachen und Malers führten zu drei staatlichen Aufforstungsprojekten entlang der Pilatuskette. Ein Aufforstungsprojekt umfasst das Gebiet Riseten (76 ha), zu dem auch das Gebiet Stäfeli gehört (Baumann 2014). Die staatlichen Aufforstungsgebiete sind nach wie vor im Besitz des Kantons.

Im Rahmen der Aufforstungen im Gebiet Stäfeli wurden zwischen 1911 und 1938 insgesamt 102'550 Bäume gepflanzt, davon rund 38% Laubbäume. Folgende Baumarten wurden eingebracht: 36'900 Erlen (Weiss-, Schwarz- und Grünerle), 11'200 Fichten, 9'300 Lärchen, 3'650 Buchen, 5'300 Tannen, 2'100 Bergahorne, 1'430 Vogelbeeren, 300 Mehlbeeren und 100 Föhren. Im Gebiet wurden zwischen 1912 und 1934 auch mehrere Lawinenverbauungen (Trockenmauern) errichtet. Im Rahmen der Erstellung des Wirtschaftsplanes wurde festgestellt, dass die Verbauungen ihren Zweck erfüllt haben und die Aufforstung wesentlich erleichtert haben. Nur vereinzelte Lawinenzüge konnten noch nicht ausreichend beruhigt werden, die Vegetation kam dort nur sehr langsam voran.

1951 wurden 11,65 ha Aufforstungen und Altbestände im Gebiet Stäfeli vollkluppiert. Bei dieser Vollkluppierung wurde folgende Baumartenverteilung festgestellt: 97,8 % Fichte, 1,5 % Tanne, 0,2 % Ahorn und 0,4 % Vogelbeere. Der Vorrat lag bei 112 m³/ha, der Durchschnittsstamm bei 0,56 Tfm. Bemerkenswert ist, dass der Nadelholzanteil im Vergleich zur Aufforstung von 62% auf über 99 % gestiegen ist! Der Grund für diese enorme Abnahme des Laubholzanteils (innert 15 bis 40 Jahren!) lässt sich aus den folgenden, ebenfalls im Wirtschaftsplan enthaltenen Wirtschaftszielen ableiten (*Kommentar kurziv*):

- Schaffung und Erhaltung eines ausgesprochenen Schutzwaldes bei gleichzeitiger wirtschaftlicher Nutzung → *Förderung von Nadelholz, insbesondere der Fichte?*
- Steigerung des Vorrates und konsequente Pflege des Waldes → *Holzertrag steigt mengen- und wertmässig → Förderung von Nadelholz, insbesondere der Fichte?*
- Plenterartige Verfassung dient dem anzustrebenden Schutzwald → *Dies war mit Nadelhölzern wohl einfacher vorstellbar?*

Der Waldbau der damaligen Zeit wird im Wirtschaftsplan folgendermassen gefordert:

- Der Vorrat pro Hektare wird mit allen Mitteln der Waldbehandlung gefördert → *mittels des Brotbaums der Forstwirtschaft, der Fichte?*
- Die Förderung von Laubholz erfolgt im normalen Rahmen, das Laubholz kann sich lokal auf speziell geeigneten Standorten gut entwickeln → *Abwertung von Laubholz im Vergleich zu Nadelholz? «Normal» hiess damals eher: Laubholz entfernen?*
- Stangenholzpartien sind immer wieder zu durchforsten, damit die besseren Bestandeglieder genügend Raum haben, um sich entwickeln zu können → *keine Z-Baum-Pflege und biologische Rationalisierung, sondern flächige Erdünnerungen.*

Damit soll keinesfalls die Arbeit der damaligen Forst-Equipen kritisiert werden. Die konsequente Entfernung von Laubholz ist jedoch aus anderen Gegenden gut bekannt und liegt noch nicht allzu lange zurück (z.B. Emmental, Berner Oberland). Ein weiterer möglicher Grund für die Abnahme des Laubholzes könnte auch die Beweidung durch Ziegen sein (Felder 2024, schriftliche Mitteilung). Eine andere

Interpretation des überwiegenden Ausfalls der gepflanzten Laubhölzer könnte sein, dass der Standort zur Zeit der Aufforstungen noch zu extrem war für diese Baumarten (Schnee, Fröste, Kälte). Schliesslich waren auch die Nadelhölzer Lärche und Föhre kaum erfolgreich. Umso bemerkenswerter wäre dann die nach 2003 erfolgte «natürliche Umwandlung» in einen laubholzdominierten Bestand. Das im Vergleich zur Zeit der Aufforstung heute bereits um ca. 2.5 Grad wärmere Klima erleichtert zweifellos die Anpassung. Dies könnte ein Hinweis sein, Adaptationsmassnahmen nicht zu früh «mit der Brechstange» versuchen zu wollen.

2.5 Ausgangsbestand und Käferbefall von 2003 bis 2006

Wie Luftbilder und die heutigen Waldbilder der Umgebung zeigen, handelte es sich beim Ausgangsbestand auf der Untersuchungsfläche bis 2003 um einen geschlossenen Nadelholzbestand. Um diesen auch zahlenmässig etwas zu charakterisieren, wurden die Nachbarbestände mittels MOTI¹-Aufnahmen (je 5 Stichproben westlich und östlich der Untersuchungsfläche auf gleicher Höhenlage) aufgenommen (siehe nachfolgende Tabelle). Der Zustand 2003 wurde mit Hilfe der Ertragstafel für Fichte abgeschätzt.

Parameter	Nachbarbestände Messung 2023	Untersuchungsfläche 2003
Bestandesalter	Ca. 90 Jahre (Aufforstung)	Ca. 70 Jahre
Ddom (BHD der 100 Dicksten/ha)	50 cm	45 cm
Hdom (Höhe der 100 Dicksten/ha)	30 m	26 m
Bonität	19	19
Grundfläche	30.8 und 28.8 m ² /ha	Ca. 28 m ² /ha
Vorrat	408 und 381 Tfm/ha	Ca. 300 Tfm/ha

Tabelle 1: Waldbauliche Grössen der Untersuchungsfläche und Nachbarbestände.

Die Fichten auf der Untersuchungsfläche wurden zwischen 2003 und 2006 vom Borkenkäfer (Buchdrucker) befallen. Nach Aussagen von Bruno Duss fand der Hauptbefall zwischen 2003 und 2004 statt. Die befallene Fläche betrug in dieser Zeit ca. 1.2 ha. Nach 2004 kam es auf ca. 0.6 ha zum Nachbefall, dieser endete ca. 2006 (Duss 2023, persönliche Mitteilung). Im östlichen, etwas flacheren Teil des Bestandes wurde das Käferholz im Bodenzugverfahren genutzt. Nach Schätzungen von Bruno Duss handelte es sich dabei um ca. 200 m³, teils Käferholz, teils Frischholz (Duss 2023, persönliche Mitteilung). Die restlichen Bäume im westlichen, steileren Bereich wurden stehen gelassen. Zur Anreicherung mit Moderholz wurden befallene Randbäume nach innen in die Fläche gefällt. Auch im Bereich der Forststraße (Wander- und Mountainbikeweg) wurden die Dürrständer aus Sicherheitsgründen teilweise gefällt. Der Grund für die defensive Käferholznutzung lag in der Holzmarktsituation. Der Staatsforstbetrieb Luzern hatte damals die klare Devise, den angespannten Holzmarkt (nach Lothar mit viel Sturm- und Käferholz) nicht mit weiterem Käferholz zu bedienen.

Nach dem Borkenkäferbefall wurden keine Pflanzungen durchgeführt. Eine Tannenpflanzung mit Hilfe der Helvetia Versicherung war angedacht, wurde aber aufgrund der positiven Flächenentwicklung nicht umgesetzt. Der unterste (nördlichste) Teil der Fläche wurde zeitweise beweidet, dies umfasst eine Fläche von ca. 0,1 ha. In der folgenden Abbildung 3 ist die Entwicklung der Untersuchungsfläche anhand von Luftbildern dargestellt. Auf den Luftbildern ist auch zu erkennen, dass sich in unmittelbarer Nähe der Untersuchungsfläche ebenfalls zwei Käfernester entwickelt haben. Diese sind jedoch deutlich kleiner.

¹ Android-Applikation für die Ermittlung von waldbaulichen Grössen mittels Mobiltelefon

Zeitreise 2003 - 2021

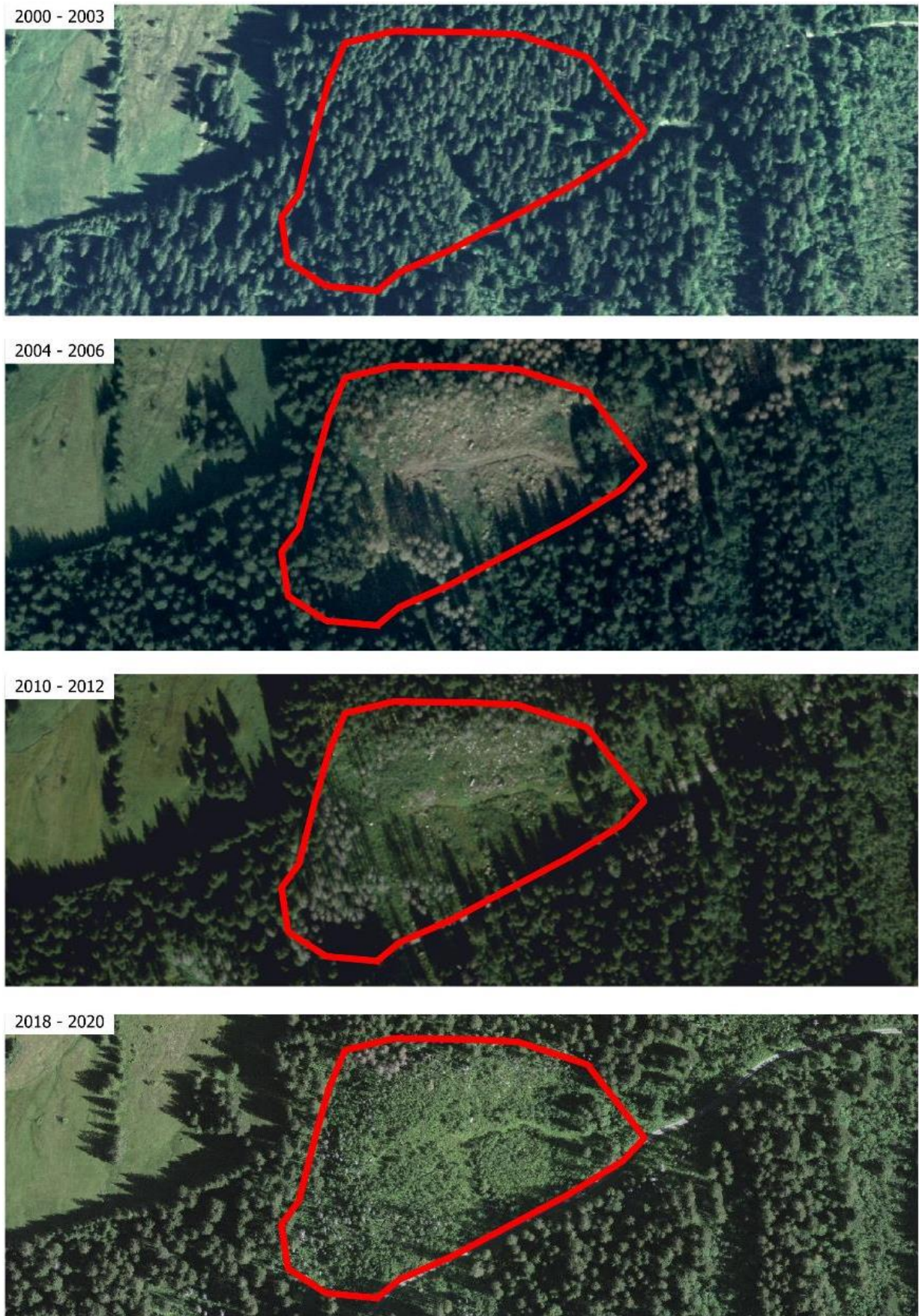


Abbildung 3: Luftbilder der Untersuchungsfläche aus verschiedenen Jahren (Quelle: swisstopo, eigene Veränderungen).

Bis heute, im Jahr 2023, fanden keine Pflegeeingriffe auf der Fläche statt. Einzelne Bäume wurden von Bruno Duss, während Kontrollfahrten im Gebiet, gepflegt. Er konzentrierte sich dabei auf den Bergahorn. Die Eingriffe waren jedoch sehr gering und erfolgten sehr lokal (Duss 2023, persönliche Mitteilung).

Bruno Duss teilte im persönlichen Gespräch auch seine Einschätzung der Situation mit. Nach dem Käferbefall herrschte eine gewisse Angst und Sorge. Es stellte sich die Frage, wie sich die Fläche nun entwickeln würde. In den Jahren 2013 bis 2015 habe er erstmals einen positiven Blick auf die Fläche gehabt, die Naturverjüngung entwickelte sich gut.

2.6 Samenbäume für die Wiederbewaldung nach dem Käferbefall

Für die Wiederbewaldung von Flächen nach einem Störereignis sind die vorhandenen Samenbäume entscheidend. Im Rahmen der Erarbeitung des vorliegenden Fallbeispiels wurden die Samenbäume erfasst, die potenziell zur Wiederbewaldung der Untersuchungsfläche beigetragen haben. Der Schwerpunkt lag dabei auf Baumarten, die für die zukünftige Waldgesellschaft entscheidend sein können (Bergahorn, Buche, Esche, Mehlbeere, Birke, Aspe, Salweide und Vogelbeere). Als potenzielle Samenbäume wurden Bäume mit einem BHD ab 15 cm angesehen. Die Wahrscheinlichkeit, dass Bäume mit einem geringeren Durchmesser in der Zeit nach dem Borkenkäferbefall bereits fruktifizieren konnten, ist sehr gering. Die aufgenommenen Samenbäume sind in der folgenden Abbildung 4 dargestellt. In Grün ist der 49.1 ha grosse Perimeter (Wald und Weideland mit Einzelbäumen) abgebildet, in dem nach Samenbäumen gesucht wurde. Die Punktgröße entspricht dem BHD, d.h. ein größerer Punkt steht für einen größeren BHD.

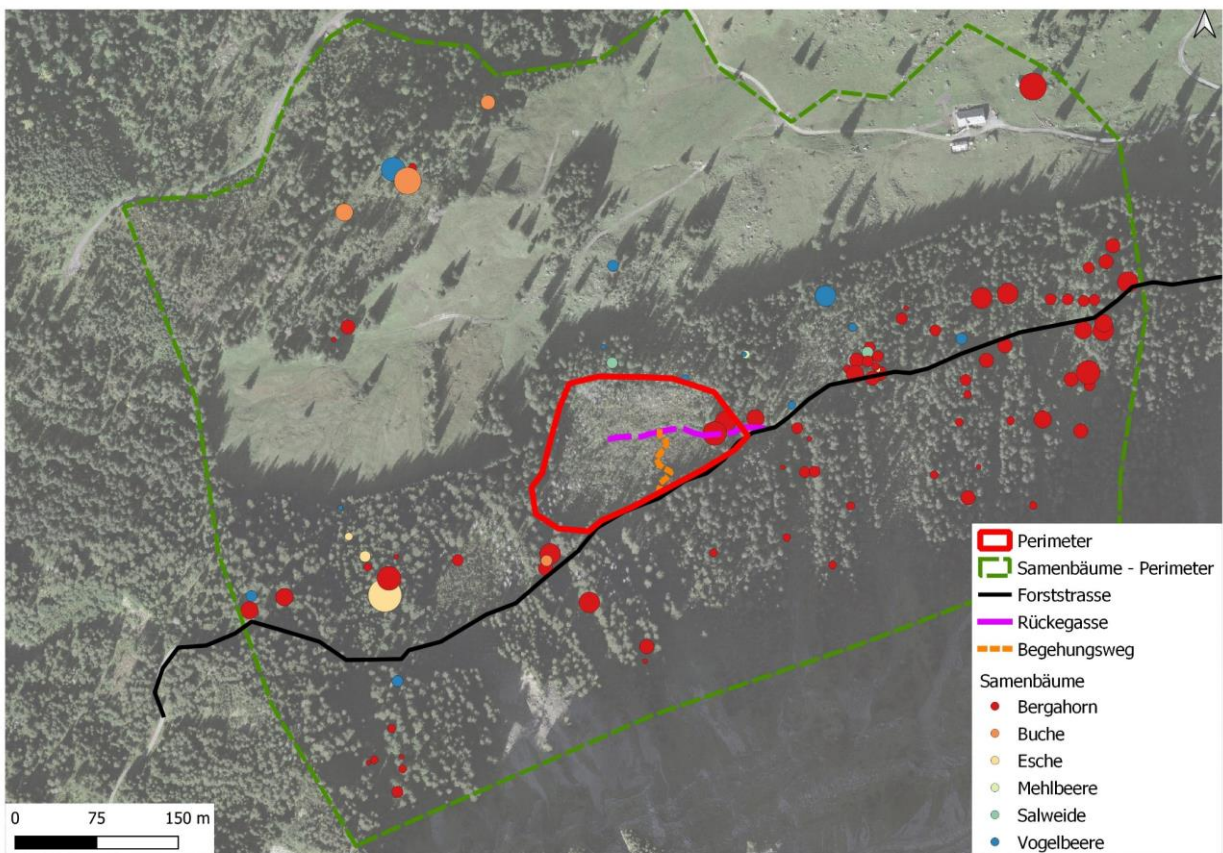


Abbildung 4: Verteilung der Samenbäume, in Grün der abgesuchte Perimeter (49.1 Hektaren).

In nachfolgender Tabelle ist die Anzahl Samenbäume pro Hektare und pro Baumart dargestellt. Dabei wurde nach BHD-Klassen von 5cm unterschieden, weil nicht klar ist, ob z.B. ein 15 bis 20cm dicker Bergahorn (vor 20 Jahren noch dünner!) innerhalb eines 26m hohen Fichtenbestandes (Baumholz 2) überhaupt fruktifizieren konnten.

BHD-Klassen	Buche/ha	Bergahorn/ha	Vogelbeere/ha
15-20 cm		1.65 (= alle BAh)	0.29
20-25 cm		1.45	0.22
25-30cm	0.08 (= alle Bu)	1.06	0.14
30-35cm	0.06	0.71	0.04
35-40cm	0.04	0.41	
>40cm	0.02	0.24	

Tabelle 2: Dichte der Buchen- und Bergahorn-Samenbäume.

Aus der Karte mit der Verteilung der Samenbäume können folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

Buche:

- Mit einer Samenbaum-Dichte von nur 0.08/ha wurde die Fläche erfolgreich mit Buchen naturverjüngt. Hier spielen zweifellos Vögel (Eichelhäher, Tannenhäher) die entscheidende Rolle.
- Mit nur vier Buchen (mittlere Distanz von 280 zum Zentrum der Fläche) haben sich natürlicherweise so viele Buchen angesamt, so dass im Endabstand ein Buchenanteil von ca. 40% möglich ist.
- Konkret sind die vier Buchen-Samenbäume 337m, 336m, 315m und 142m vom Zentrum der Fläche entfernt. Bei der nächstgelegenen Buche mit 25cm BHD ist es fraglich, ob sie zum Zeitpunkt des Borkenkäferbefalls bereits fruktifizierte.

Bergahorn:

- Es gibt 1.65 Samenbäume pro Hektare. Nimmt man nur Bergahorn mit heute mindestens 25cm BHD, so waren es 1.06 /ha. Dies genügte für hohe Anteile des Bergahorns in der Naturverjüngung.
- Die windverbreiteten Samen des Bergahorns können rund 100m weit fliegen, womit ein Samenbaum pro Hektare genügen würde.

Vogelbeere:

- Die Vogelbeere war bezüglich der Samenverbreitung sehr effizient und ist aktuell die Hauptbaumart im Jungbestand. Gesamthaft wurden 14 Vogelbeeren über 15cm im Samenbaum-Perimeter gefunden. Dies entspricht einer Dichte von 0.29 Samenbäumen pro Hektare.
- Auch hier spielen Vögel als Vektoren die entscheidende Rolle.

Birke und Aspe:

- Innerhalb des Samenbaum-Perimeters wurden keine Birken- und Aspen-Samenbäumen gefunden, obwohl diese auf der Untersuchungsfläche vorkommen. Die Verbreitungsdistanz muss folglich grösser als 500m gewesen sein.
- Gemäss Literatur können sich diese Pionierbaumarten über die Distanz von einem Kilometer verbreiten.

Es ist zu beachten, dass in den letzten 20 Jahren möglicherweise Samenbäume verschwunden sind. Allerdings ist diese Gefahr relativ gering, weil es sich beim Störungsregime nicht um Sturm, sondern um Borkenkäfer handelte, welcher die Fichte selektiv eliminiert hat.

2.7 Zustand im Jahr 2023

Der Bestand auf der Untersuchungsfläche befindet sich heute, ca. 20 Jahre nach dem Borkenkäferbefall, im schwachen Stangenholz mit einem geschätzten Oberdurchmesser von 12 cm und einer Oberhöhe von 8 bis 9 m. Die aktuelle Baumartenzusammensetzung der Untersuchungsfläche setzt sich wie folgt zusammen: 50% Vogelbeere, 35% Bergahorn, 4% Weide, 4% Fichte, 2% Buche, 2% Mehlbeere, 2% Aspe, 1% Birke sowie vereinzelt Esche und Tanne. Die Baumartenmischung wurde durch Schätzung des Deckungsgrades der einzelnen Baumarten ermittelt. Erinnern wir uns an die Vollkluppierung von 1951: Damals hatten wir einen Nadelholzanteil von über 99%, heute liegt er bei knapp 5%. Die Abbildungen 5 und 6 verdeutlichen diese Veränderung der Baumartenzusammensetzung. Die rasche Entwicklung von einem fast reinen Fichtenwald zu einem Laubmischwald mit potenziellen Zukunftsbaumarten ist beeindruckend, und dies ohne Pflanzung und ohne Wildschutz in einer schwierig zu verjüngenden Waldgesellschaft. Ähnliche Entwicklungen sind ebenfalls auf vergleichbaren Käfer- und Sturmflächen in der Region zu beobachten.



Abbildung 5: Alter Bestand (links, vergleichbar mit der Situation vor dem Käferbefall) und der heutige, von Laubholz dominierte Jungbestand auf der Untersuchungsfläche (rechts).



Abbildung 6: Übersichtsbild der Untersuchungsfläche, Fotostandort im Süden der Fläche.

2.8 Standort

Die Kenntnis der vorhandenen Waldgesellschaften ist einerseits für die Schutzwaldpflege wichtig. Aus der Waldgesellschaft in Verbindung mit der vorkommenden Naturgefahr ergibt sich ein spezifisches Anforderungsprofil (unterteilt in ein Minimal- und ein Idealprofil). Andererseits ist die Bestimmung der Waldgesellschaft wichtig für einen zielgerichteten Waldbau, insbesondere bei der Baumartenwahl im Hinblick auf den Klimawandel.

Auf der Untersuchungsfläche kommen folgende Waldgesellschaften vor:

Waldgesellschaft	Kurzbeschreibung
50f (Hochstauden-Tannen-Fichtenwald mit Alpenmilchlattich)	<ul style="list-style-type: none"> • Laubholzanteil bis zu 20% • Tannanteil von min ½, optimal 2/3 • Wüchsige Tannen-Fichtenwälder mit Plenter- und leichter Rottenstruktur • Von üppigen Hochstauden beherrscht
48 (Blockschutt-Nadelwälder)	<ul style="list-style-type: none"> • Seltene Gesellschaft mit wichtiger Naturschutzfunktion • Vorkommend im Bergsturzgebiet oder Schutthang mit mässig wüchsigen stufigen Nadelwäldern
60* (Buntreitgras-Fichtenwald)	<ul style="list-style-type: none"> • Laubholzanteil bis 10% • Hoher Fichtenanteil • Lockere bis aufgelöste mässig wüchsige Fichtenbestände mit wenigen Mischbaumarten

Tabelle 3: Auflistung der aktuell vorkommenden Waldgesellschaften in der Untersuchungsfläche (Quelle: Dienststelle Landwirtschaft und Wald lawa 2021).

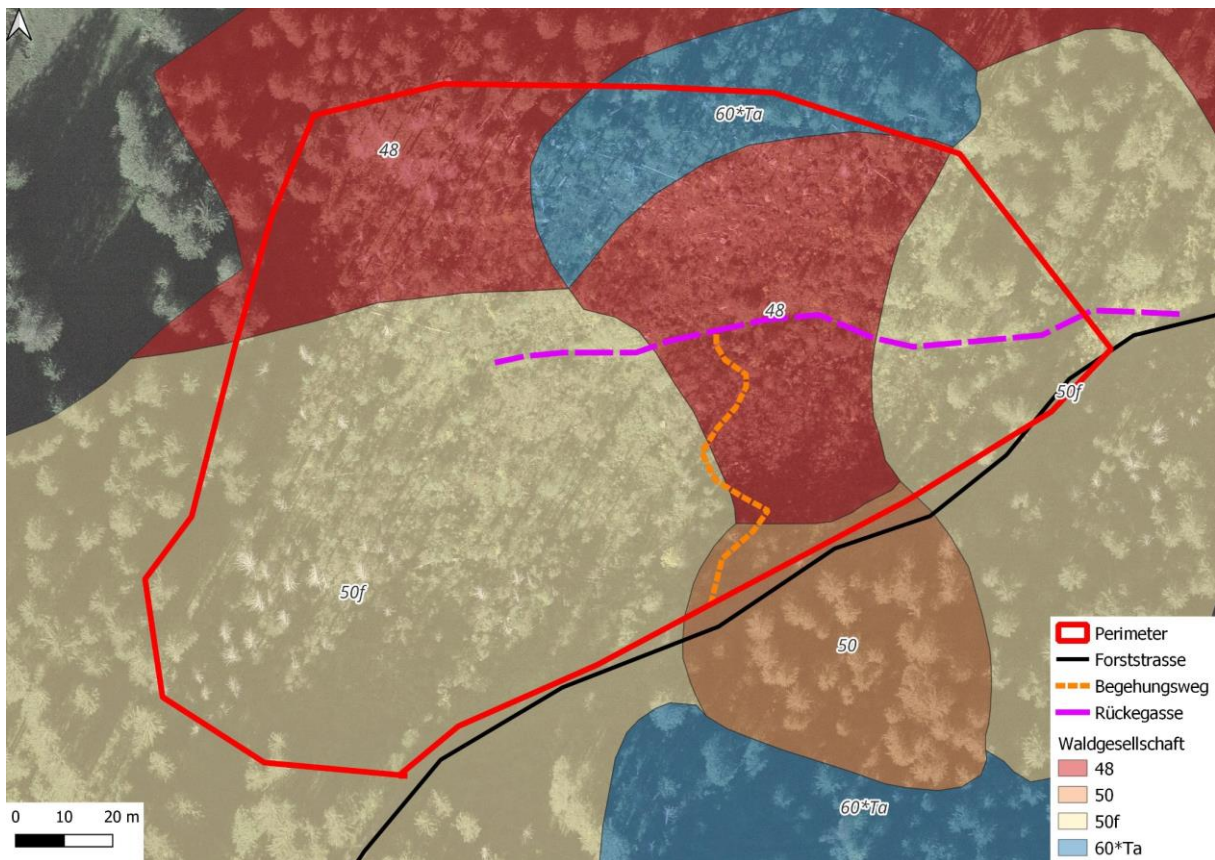


Abbildung 7: Waldgesellschaften in der Untersuchungsfläche (Quelle: (Kanton Luzern 2023) Geoportal, modifiziert).

Während des Borkenkäferbefalls wurden einzelne Käferbäume vom Rand zur Mitte hin gefällt, um das Moderholz zu fördern. Gemäss NaiS ist dies vor allem in Waldgesellschaft 60* zur Verhinderung von Schneeverfrachtungen wertvoll. Weiter wird erwähnt, dass Moderholz die Verjüngung von Fichte und Tanne auf allen Standortstypen fördert (Frehner, M., Wasser, B. und Schwitter, R. 2005). In einigen Wäldern und auf einigen Standortstypen ist dies sogar die einzige Möglichkeit, die Bestände auf die Naturverjüngung vorzubereiten. Moderholz erhöht die Verjüngungsgunst auf und neben dem Stamm (Stöckli 1995). Entscheidend ist die Stärke des Stammes und eine möglichst vollständige Auflage des Stammes auf dem Boden. Auch hohe Stämme können die Funktion des Moderholzes übernehmen und gleichzeitig die Rauigkeit erhöhen.

2.9 Standortveränderung aufgrund Klimawandel

Seit der Referenzperiode von 1960 bis 1990 hat die durchschnittliche jährliche Temperatur in der Schweiz um etwa 2°C zugenommen. Dies führt zu einer Höhenverschiebung von etwa 250 Höhenmetern. Bei einem erwarteten Anstieg von 3,1 bis 4,3°C wird dies voraussichtlich zu einer Höhenverschiebung der Vegetationszonen um etwa 500 bis 700 Höhenmeter führen. Folglich werden einige Baumarten ihre ökologischen Grenzen erreichen, was bereits teilweise der Fall ist (Fichte im Mittelland, Buche und Tanne im Jura etc.).

Die Untersuchungsfläche befindet sich gemäss der Höhenstufenmodellierung von 1975 an der Grenze zwischen der obermontanen und hochmontanen Höhenstufe (Abb. 8). Aufgrund der Vegetation und Lage ist die Fläche der hochmontanen Höhenstufe zuzuordnen (Standort 60*Ta sogar subalpin). Im Falle eines mäßig trockenen Klimaszenarios wird die Untersuchungsfläche im Jahr 2085 der untermontanen Höhenstufe zugeordnet. Bei einer Berechnung mit dem trockenem Klimaszenario liegt sie 2085 sogar in der submontanen Stufe. Das entspricht einem Sprung von einer, resp. zwei Höhenstufen!

Dies führt zu bedeutenden Standortveränderungen. Tabelle 4 zeigt die Auswirkungen der Verschiebung der Höhenstufen auf die zukünftige Waldgesellschaft. Für jede heutige und zukünftige Waldgesellschaft der Untersuchungsfläche wurde die dominante Naturwaldbaumart (fett markiert) sowie wichtige beigemischte Naturwaldbaumarten ermittelt (Tree-App 2021). Die aktuellen Waldgesellschaften werden von Fichte und Tanne dominiert. Im Zuge des Klimawandels ändert sich dies erheblich, da Buche und Bergahorn in Zukunft die Hauptbaumarten darstellen werden. Bei einem starken Klimawandel könnten sogar wärmeliebende Baumarten wie Stieleiche, Traubeneiche, Sommerlinde oder Kirsche in Betracht gezogen werden. Die Untersuchungsfläche entwickelt sich von einem Fichtenwald hin zu einem natürlicherweise reinen Laubwald, Nadelbäume können weiterhin beigemischt auftreten. Im Sinne der Klimaadaptation ist die Untersuchungsfläche bereits sehr adaptiert, im Gegensatz zu den umliegenden Beständen.

Waldgesellschaft	Hochstauden-Tannen-Fichtenwald mit Alpenmilchlattich	Blockschutt-Nadelwälder	Buntreitgras-Fichtenwald
Klima heute	50f: Ta, Fi , BAh, Vogelbeere	48: Ta, Fi	60*Ta: Fi , Ta, BAh, Mehlsbeere, Vogelbeere
Mässiger Klimawandel	8s: Bu , Ta, BAh, Es	22: BAh , Es, SLi, BUI	12a: Bu , Ta, BAh, Es, BUI
Starker Klimawandel	7s: Bu , SAh, BAh, Es, SEi	22: BAh , Es, SLi, BUI	9a: Bu , SAh, BAh, Es, Ki, TEi

Tabelle 4: Waldgesellschaften heute und in Zukunft, differenziert nach der dominanten Naturwaldbaumarten (fett markiert) und weiteren wichtigen beigemischten Naturwaldbaumarten.

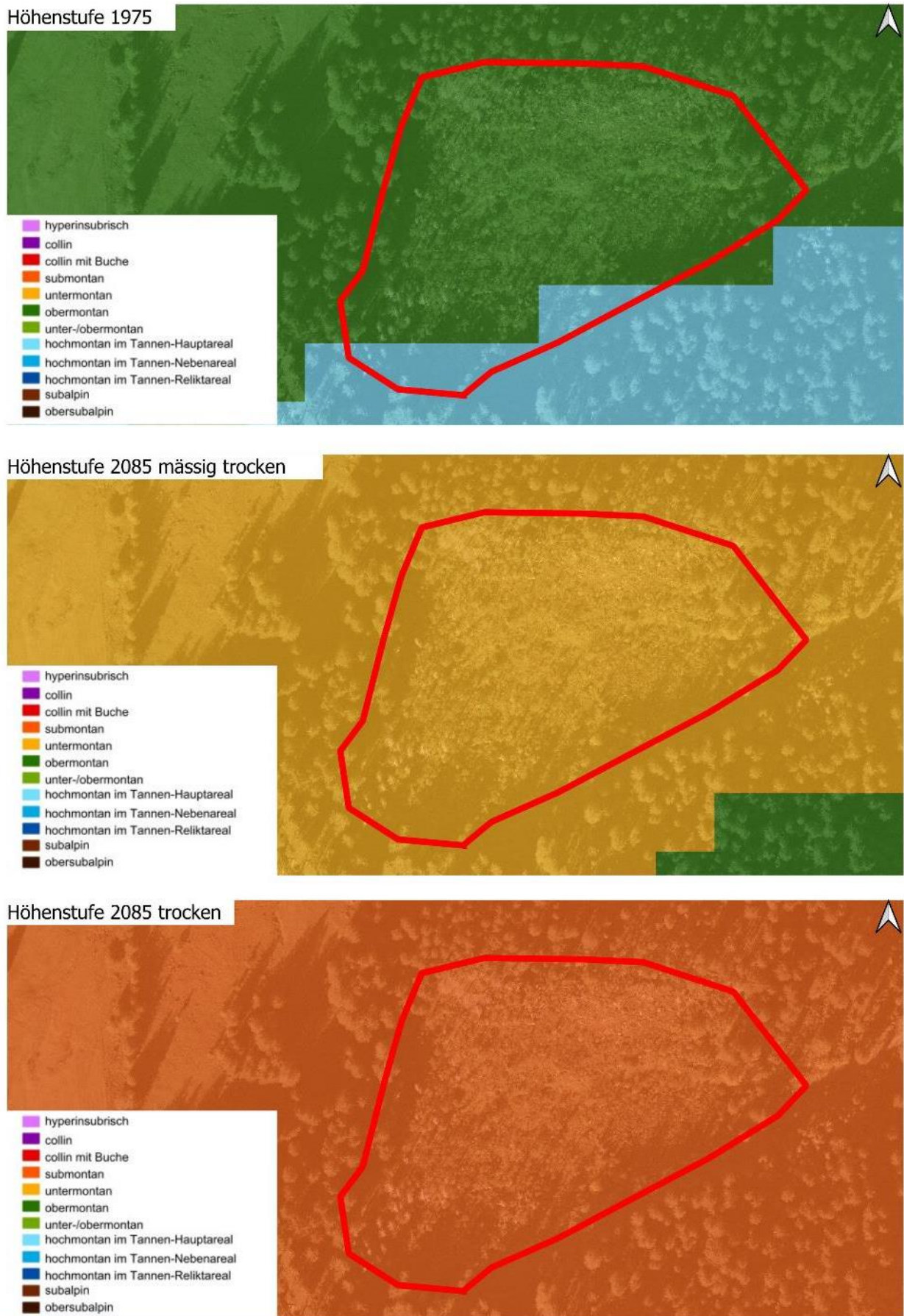


Abbildung 8: Die Untersuchungsfläche und die verschiedenen modellierten Höhenstufen (Quelle: swisstopo Datenstand 2021).



Abbildung 9: Vielfältiger Bestand mit vielen Zukunftsbaumarten.

2.10 Schutzwaldbewirtschaftung

Bei der Herleitung des Handlungsbedarfs und der wirksamen und verhältnismässigen Massnahmen im Schutzwald ist der Klimawandel zu berücksichtigen. Deshalb ist nicht nur das aktuelle Anforderungsprofil massgebend (aktueller Standorttyp und Naturgefahr), sondern auch dasjenige der Zukunft (Standorttyp Zukunft, Naturgefahr Zukunft).

Im nachfolgenden Kapitel wird das Anforderungsprofil für den besonderen Hochwasserschutzwald bezüglich des Kriteriums Baumartenmischung näher betrachtet. Nebst der Mischung spielen aber auch die vertikale und horizontale Struktur, Stabilitätsträger sowie die Verjüngung eine Rolle. Der Kanton Luzern verwendet für die Schutzwaldpflege ein eigenes kantonales NaiS-Formular. Wichtige Unterschiede sind beispielsweise das Verwenden von Standortgruppen (vergleichbar zum alten NaiS-Profil «Wildbach, Hochwasser») sowie das Verwenden der Naturgefahr «Hochwasser, Einzugsgebiet» (ebenfalls vergleichbar mit dem alten NaiS-Profil «Wildbach, Hochwasser»).

Obermontane Stufe (IST-Zustand)	
Standortgruppe «4 Tannen und Fichten- Tannenwälder», Naturgefahr «Hochwasser, Einzugsgebiet»	
Minimalprofil	Idealprofil
Ta 40 – 90%	Ta 50 - 70%
Fi 10 - 60%	Fi 30 - 40%
Vb Samenbäume	Vb Samenbäume
In basenreichen Ausbildungen: B'Ah, W'Er, ev. Es: Samenbäume – 20%.	In basenreichen Ausbildungen: B'Ah, W'Er, ev. Es 5%

Tabelle 5: Anforderungen Baumartenmischung obermontane Stufe (Quelle: NaiS-Formular Kanton Luzern, eigene Darstellung).

Obenstehende Tabelle zeigt einen Auszug der verschiedenen Anforderungsprofile, welche die Baumartenmischung betreffen. Die heutigen Waldgesellschaften lassen sich gemäss Luzerner Methodik der Standortsgruppe 4 zuordnen. Ein starker Klimawandel bewirkt einen Wechsel in die Standortsgruppe 1b. Die Untersuchungsfläche erfüllt die Anforderungen gemäss Tabelle 5 lediglich in Bezug auf die Vogelbeere. Das Minimalprofil fordert einen Nadelholzanteil von 50 – 100%, das Idealprofil sogar 80-100% (aus heutiger Sicht weniger «ideal»). Dies ist auf der Untersuchungsfläche ohne Pflanzung nicht möglich. In Anbetracht des Klimawandels ist klar, dass das aktuell gültige Anforderungsprofil (mit Berücksichtigung des heutigen Standorts) nicht mehr zielführend ist.

Submontane Stufe (starker Klimawandel)	
Standortsgruppe «1b saure bis basenreiche Bu-Wälder der sub- und untermontanen Stufe» Naturgefahr «Hochwasser, Einzugsgebiet»	
Minimalprofil	Idealprofil
Laubbäume 60 - 100% Bu 50 - 100% Ta Samenbäume - 40% Fi 0 - 30%	Laubbäume 80 - 90% Bu 60 - 80% Ta 10 - 20%

Tabelle 6: Anforderungen Baumartenmischung submontaner Stufe bei einem starken Klimawandelszenario (Quelle: NaiS-Formular Kanton Luzern, eigene Darstellung).

Im zukünftigen Minimalprofil erfüllt der Bestand der Untersuchungsfläche den Laubholzanteil, ebenso den Fichtenanteil. Der geforderte Buchenanteil kann heute bei weitem noch nicht erfüllt werden; bei konsequenter Belassung der Buche (welche sich selber durchsetzen kann) geht die Entwicklung in diese Richtung. Falls hingegen der Bergahorn und weitere Laubhölzer auch akzeptiert werden (was vernünftig ist), kann das Minimalprofil gut erreicht werden. Der geforderte Tannenanteil kann im Minimalprofil (theoretisch, später im besten Fall) knapp erreicht werden – mit einer vorhandenen Tanne. Allerdings kann hinterfragt werden, ob in der submontanen Stufe die Tanne zwingend vorkommen muss.

2.11 Fragestellungen bezüglich Schutzwaldpflege und Adaptation

Die folgenden Fragen könnte sich der Forstdienst bzw. Staatswaldbetrieb bezüglich der Untersuchungsfläche stellen. Ebenso soll dieses Kapitel zu fachlichen Diskussionen anregen:

- Das Beispiel zeigt, wie wichtig der Einbezug des zukünftigen Standorts auch für Jungwaldpflege ist.
- Inwiefern ist Moderholz notwendig in solchen Beständen? Die Verjüngung auf der Untersuchungsfläche stellte sich rasch und mehrheitlich neben dem Moderholz ein. Ist hier bereits der Klimawandel sichtbar, oder wird dem Moderholz eine zu hohe Bedeutung beigemessen?
- Im besonderen Hochwasserschutzwald Kanton Luzern gibt es keine Vorgabe bezüglich maximaler Öffnungsgrösse. Es ist der dauernde, minimale Deckungsgrad von 50% über das gesamte Einzugsgebiet gefordert. Falls die Entwicklung von Hochstauden keine Verjüngungshemmung erwarten lassen, sind aktive Holzschläge in der Art des Fallbeispiels möglich (Felder 2024, schriftliche Mitteilung). Selbstverständlich braucht es dafür gute Beobachtung und lokale Erfahrung.
- In anderen Kantonen würde der betrachtete Wald (falls überhaupt als Schutzwald ausgeschieden) unter die Kategorie «gerinnerelevanter Schutzwald» fallen. Damit bestünden gemäss NaiS-Anforderungsprofil gewisse Einschränkungen bezüglich Lückengrösse, welche eine weni-

ger erfolgreiche und langsamere Adaptation erwarten lassen. Anstelle des hier erfolgten, substanziellen Baumartenwechsels würde sich in kleinen Lücken vor allem wieder die Fichte verjüngen, wie aus Beobachtungen im gleichen Gebiet abgeleitet werden kann.

- Ist dies, angesichts des rasanten Klimawandels und der grossen Bedeutung von Schutzwäldern in der Schweiz, noch zielführend? Oder werden dadurch Bestände erhalten/ gefördert, welche uns in einigen Jahrzehnten zusammenbrechen und keine Schutzwirkung mehr liefern? Müssen wir uns getrauen, in Zukunft auch in Schutzwäldern situativ grössere und stärkere Eingriffe zu tätigen (mit Risikoabwägung)? Die Lückengrösse in NaiS wird durch die Naturgefahr bestimmt. Aktuell sind für Rutschungen sowie in Gerinneschutzwäldern Einschränkungen bezüglich der Lückengrösse definiert (wobei diese auch überschritten werden dürfen, sofern dies aus verjüngungsökologischer Sicht notwendig ist und sofern die geforderte Lückenlänge in Falllinie nicht überschritten wird). Diese Anforderungsprofile werden aktuell überprüft. Wie das Fallbeispiel zeigt, bestehen in diesen Fällen im Schutzwald bezüglich Adaptation an den Klimawandel Herausforderungen: Grössere Öffnungen sind aufgrund der reduzierten Schutzwirkung unerwünscht, waldbaulich aber zur Verjüngung vieler wichtiger (Laub)-Baumarten erforderlich. Wie kann damit umgegangen werden? Können diese Einschränkungen bzgl. Öffnungsgrösse das Aufkommen von in Zukunft wichtigen Baumarten verhindern und sogar nicht-angepasste Bestände fördern, die später möglicherweise ausfallen? Oder lässt sich mit einem angepassten waldbaulichen Vorgehen der Handlungsspielraum so ausnützen, dass Verjüngung aufkommen kann? Was wäre ein zielführendes waldbauliches Vorgehen, damit trotz eingeschränkter Öffnungsgrösse Zukunftsbaumarten gefördert werden könnten (z.B. Erweiterung der Öffnungen nach einigen Jahren; Anlegen von Schlitzen entlang des Hanges usw.)? Was ist in Fällen zu tun, wo ohne grössere Lücken keine Verjüngung aufkommen kann? Wie könnte eine diesbezügliche Risikoabwägung und mögliche Massnahmen aussehen?
- Die Einbringung von Laubholz durch die Aufforstung vor 90 Jahren war aus Sicht einer Adaptation nicht oder nur sehr wenig erfolgreich. Heute wandern die gewünschten Laubbäume selbst ein dank dem markanten Störungsereignis und trotz des aktuell hohen Wilddrucks. Müssen wir daraus folgern, nicht zu früh mit Pflanzungen zu intervenieren, sondern zu warten, bis die natürlichen Prozesse -unterstützt durch die Klimaerwärmung und durch einen angepassten Waldbau- einen naturnahen, kostengünstigen adaptiven Waldbau ermöglichen?

2.12 Empfehlung zur Jungwaldpflege

Die wichtigste Baumart in diesem Bestand für die Zukunft ist die Buche. Diese ist bereits in geringen Anteilen (2 Prozent) vorhanden. Weil die Buche nur einzeln vorkommt, fehlt ihr die Erziehung (Qualifizierung, Astreinigung). Es besteht deshalb die Gefahr, dass die Buche aufgrund schlechter Qualität in der Jungwaldpflege entfernt wird. Eine spätere Buchengeneration kann problemlos gute Qualität erreichen, wenn die Buchenverjüngung genügend dicht sein wird. Vom Verzweigungstyp her handelt es sich um wipfelschäftige, gut veranlagte Buchen. Im Schutzwald steht sowieso die Qualität nicht an erster Stelle.



Abbildung 10: Ein Eingriff ist für diesen vitalen Bergahorn noch nicht dringend.

Eine «klassische» Jungwaldpflege, wie sie bis vor Kurzem in der Forstwartausbildung noch gelehrt wurde, birgt einige Gefahren für die Klimawandel-optimierte Entwicklung dieses Bestandes, deshalb erfolgt hier zuerst eine Aufzählung, was **nicht** gemacht werden sollte:

- Keine negative Auslese aufgrund der Baumarten (Pionierbaumarten!) oder der Qualität; speziell wichtig im Falle der astigen Buchen (keine Entnahme von Protzen!).
- Keine flächige Pflege, kein Arbeiten im Halbandabstand, keine beiläufigen Massnahmen. Dies ist unnötig und teuer, aber auch kontraproduktiv durch Homogenisierung und Zurücksetzung des Bestandes.
- Keine zu starke Förderung der Fichte, weil diese oftmals nur mitherrschend oder beherrscht ist. Dies würde den Bestand zurücksetzen und im Extremfall die Adaptation ausbremsen. Unter der Vogelbeere kann sich die Fichte genügend entwickeln. Die Vogelbeere führt zu einer guten natürlichen Strukturierung des Bestandes. Dies erhöht langfristig die Stabilität und senkt die Pflegekosten.

Damit kann festgehalten werden, dass ein Eingriff nach «altem Muster» mehr schaden als nützen würde. Speziell die Behandlung der Buche ist delikat aus Sicht des Klimawandels. Ein Eingriff ist im Moment noch nicht dringend. Es gibt mehr als genug herrschende Bergahorne und Vogelbeeren. Die Auslese von Z-Bäumen kann problemlos in ca. 5 bis 10 Jahren gemacht werden. Bis dann ist der Bestand noch besser differenziert und die Bergahorne sind bereits qualifiziert (Astreinigung unterstes Stammstück).

Falls man jetzt eingegriffen will, stellt sich die Frage, was überhaupt sinnvollerweise gemacht werden könnte:

- Situative Förderung von Mehlbeere, Birke, Aspe und Salweide, weil sie lokal selten sind. Z-Bäume dieser Baumarten sind wichtige Samenbäume für die Zukunft.
- Optionale Förderung von Buchen, welche (noch) nicht in der Oberschicht sind. Die herrschenden Buchen können sich hingegen selbst gegen Vogelbeere und Bergahorn durchsetzen. Falls zu stark gepflegt wird, werden sie noch grobstämmiger und dadurch steigt die Gefahr eines späteren Aushiebs.
- Optionale Förderung einiger Fichten; Achtung nur die stärksten Fichten fördern und nur wenige (bei 60 Z-Bäumen/ha und 20% Fichtenanteil wären dies 12 Fichten pro Hektare oder knapp 20 auf der ganzen Fläche). Aus Sicht Hochwasser-Schutzwald ist das aber nicht nötig.

Nicht zu unterschätzen ist auch die Nassschneegefahr in dieser Höhenlage. Bei zu starker Freistellung von Z-Bäumen steigt die Gefahr von Nassschnees Schäden. Insbesondere die Buche könnte gefährdet sein; sie ist auf eine genügende kollektive Stabilität angewiesen. Somit ergäbe sich ein (optionaler) heutiger Eingriff, welcher sehr punktuell auf einige Baumarten bzw. «Vitalitätszustände» abgestimmt ist.

Eine erste systematische Z-Baum-Durchforstung auf der ganzen Fläche wäre in 5 bis 10 Jahren sinnvoll. Dann sollte die Buche (im Endabstand) eine möglichst hohe Priorität geniessen. Für Vogelbeere genügend einige Samenbäume, sie wird ja weiterhin im Füllbestand stark vertreten sein. Die Zielsetzung für die Z-Bäume könnte z.B. sein: 40% Buche, 50% Bergahorn, 10% übrige Laubhölzer (Mehlbeere, Birke, Aspe, Vogelbeere, Salweide). Ein Teil Bergahorn kann auch durch Fichte ersetzt werden, z.B. 20%. Die Fachstelle für Gebirgswaldpflege empfiehlt maximal 60 Z-Bäume in Gebirgs- und Schutzwäldern, damit später im starken Baumholz keine geschlossenen und damit wieder homogenen Bestände entstehen. In einem Pflegeauftrag würde das Ziel, umgesetzt auf die 1.8 ha grosse Fläche, wie folgt lauten: Total

ca. 100 bis maximal 110 Z-Bäume, davon ca. 40 Buchen, 50 Bergahorne, einzelne Exemplare von Pionierbaumarten, wenige Mehlbeeren. Die räumliche Verteilung nach Baumarten ist egal, d.h. die Bäume sind dort zu wählen, wo die vitalsten Exemplare stehen. Angesichts des insgesamt sehr tiefen Laubholzanteils kann gut auf die Förderung von Fichten verzichtet werden, wenn man den gesamten Stäfeli-Wald grossräumig anschaut. **Sehr wichtig ist, dass die Bedeutung der Buche als zukünftige dominierende Naturwaldart auch bei späteren Eingriffen allen Beteiligten, insbesondere den ausführenden Forstwarten, bekannt ist.**



Abbildung 11: Sehr vitale Vogelbeere - ein möglicher (späterer) Z-Baum. Im Moment besteht noch kein Handlungsbedarf.



Abbildung 12: Buche (links) und Vogelbeere (rechts) nebeneinander im Bestand. Die Buche weist eine schöne gerade Stammachse auf.

3 Schlussfolgerung

Die Störungsresilienz und Anpassungsfähigkeit des Waldökosystems sind im Fallbeispiel Stäfeliwäng trotz der schwierigen Ausgangslage beeindruckend. Das Fallbeispiel wirft aber auch Fragen auf, welche nicht abschliessend beantwortet werden können. So gibt es waldbauliche Herausforderungen: Zur Verjüngung vieler Laubbaumarten sind oft grössere Öffnungen nötig, welche aber aufgrund der Anforderungsprofile Naturgefahr teilweise unterwünscht sind. Die Vereinbarkeit einer raschen Adaptations- und Verjüngungsfähigkeit und den NaiS-Vorgaben ist also nicht in jedem Fall gegeben bzw. herausfordernd. Diese Fragestellungen und Themen müssen fachlich diskutiert werden, das Fallbeispiel soll dafür als Auslöser dienen.

«Waldbau ist ein endloser Lernprozess, basierend auf Beobachtungen und Erfahrungen» (Karl Schwarz, Förster, 2014).

4 Danksagung

Für die grosszügige Unterstützung mit Auskünften, Unterlagen und gemeinsamen Begehungen danken wir herzlichst dem Staatsforstbetrieb Luzern. Insbesondere Ruedi Helfenstein (Betriebsleiter Staatsforstbetrieb Luzern) und Bruno Duss (Vorarbeiter beim Staatsforstbetrieb Luzern).



Abbildung 13: Drohnenaufnahme Stäfeliwäng (Teilansicht) im Frühling 2024 kurz vor der Ausaperung

5 Literaturverzeichnis

- Baumann H, 2014. Potential Privatwald. Sophie und Karl Binding Stiftung, Basel.
- Brang, P., Küchli, C., Schwitter, R., Bugmann, H., und Ammann, P., 2016. Waldbauliche Strategien im Klimawandel. 2016. In: Pluess R, Augustin S, Brang P (Hrsg.). Wald im Klimawandel. Grundlagen für Adaptationsstrategien. Haupt Verlag, Bern.
- Dienststelle Landwirtschaft und Wald lawa, 2021. Waldbaukommentar. Waldbau und Beschreibung der natürlichen Standortstypen im Kanton Luzern. Überarbeitete Fassung 2021.
- Dienststelle Landwirtschaft und Wald lawa, 2022. Waldentwicklungsplan (WEP) Kanton Luzern. Erlassen durch den Regierungsrat, 6. Dezember 2022.
- Duss B, 2023. Interview vom 06.07.2023.
- Felder, U., 2024: Schriftliche Rückmeldung vom 17.04.2024.
- Frehner, M., Wasser, B. und Schwitter, R., 2005. Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion. Vollzug Umwelt. Bundesamt für Umwelt BAFU.
- Kanton Luzern, 2023. Geoportal Kanton Luzern. Abgerufen am 02.10.2023, <https://geoportal.lu.ch/Karten>
- Stöckli B, 1995. Moderholz für die Naturverjüngung im Bergwald. Anleitung zum Moderanbau. Merkblatt für die Praxis 26.
- Tree-App, 2021. 3. Auflage von 2021. Abgerufen am 03.10.2023, <https://www.tree-app.ch/>