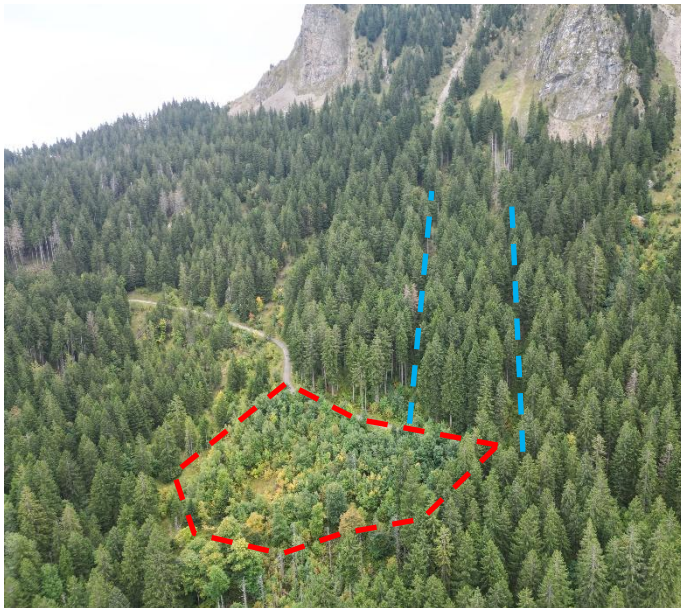


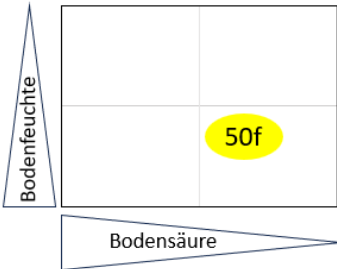
# Dokumentation der Anpassung an den Klimawandel

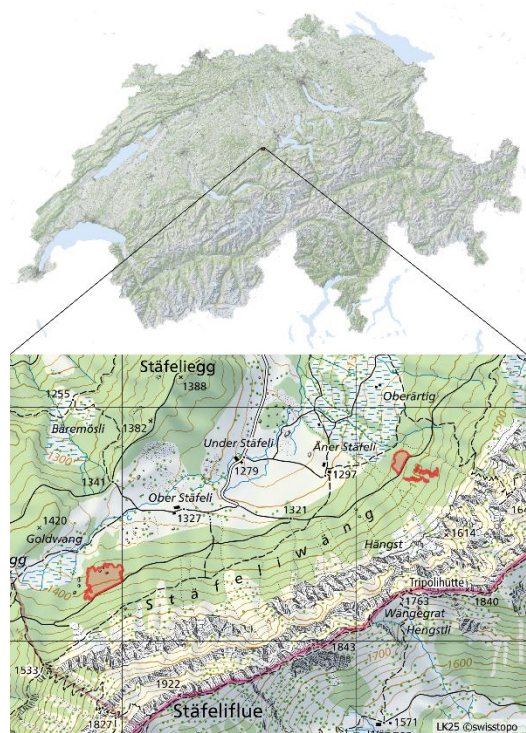
November 2025



Das Fallbeispiel Stäfeliwäng II vergleicht den Zustand der Bestandesentwicklung rund 20 Jahre nach Verjüngungseinleitung bei Lückengrössen von 0.02 bis 1.58 ha. Grössere Lücken enthalten mehr Baumarten inkl. Zukunftsbaumarten, die Verjüngung ist stabiler und ihre Entwicklung deutlich weiter fortgeschritten. Dadurch ergibt sich eine erfolgreichere und schnellere Adaptation und ein früheres Erreichen der Schutzwirksamkeit.

Abbildung 1: Käferlücke II von 2005 (rot) und die beiden Seillinien (blau), entlang denen 2008 die fünf kleinen Lücken geöffnet wurden.

Ort	Stäfeliwäng, Schwarzenberg LU
Höhe	1'350 – 1'440 m ü. M.
Geologie	Quartärer Hangschutt (stabil)
Boden	Braunerde
Waldstandort	
<i>(hochmontan)</i>	
50f, 50f(18)	
Grösste Lücke:	
50f, 60*, 48	
	
Verjüngungsart	Naturverjüngung
Verjüngungsform	Lücken durch Borkenkäfer 2004/2005 und Seillinien 2008
Fläche	0.02 bis 1.58 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	1'776mm	1'839mm	-92 bis +20mm	-118 bis +74mm
Temperaturmittel	4.9°	6.0°	+0.7° bis +1.9°	+3.3° bis +5.2

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>3</b>
1.1	Herausforderung Klimawandel .....	3
1.2	Anpassungsvorgänge .....	3
<b>2</b>	<b>Fallbeispiel Stäfeliwäng II Lückengrösse, Schwarzenberg (LU) .....</b>	<b>4</b>
2.1	Zielsetzung und Ausgangslage .....	4
2.2	Ausgangsbestände – Verweis auf Fallbeispiel Stäfeliwäng I .....	4
2.3	Untersuchungsflächen «Stäfeliwäng II», Schwarzenberg (LU) .....	4
<b>3</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>6</b>
3.1	Abnahme der Lückengrösse durch Reaktion der Randbäume .....	6
3.2	Verjüngungsdeckungsgrad und Anzahl Baumarten .....	7
3.3	Entwicklungszustand.....	9
3.4	Stabilität und Reaktionsfähigkeit .....	10
3.5	Geschwindigkeit der Adaptation und Erreichen der Schutzwirksamkeit .....	11
3.6	Diskussion und Folgerungen .....	11
<b>4</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>14</b>

## Impressum

Autoren: Peter Ammann und Silas Gigon

Projekt: «Fallbeispiele Anpassung Klimawandel»

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

Auftragnehmer: Bildungszentrum Wald Lyss, Fachstelle Waldbau

Projektleitung: Dr. Peter Ammann

# 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. 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

Durch den Klimawandel wird bis 2085 eine Höhenverschiebung von 500 bis 700m prognostiziert. Die verbleibende Zeit beträgt in Gebirgswäldern ein Bruchteil einer normalen Umtriebszeit. Waldbauliche Massnahmen müssen deshalb zwingend eine erfolgreiche und rasche Adaptation ermöglichen. Zudem sollte das Kosten-Nutzen-Verhältnis möglichst gut sein, weil die vorhandenen Mittel beschränkt sind.

Die Verjüngungsphase ist die Schlüsselsituation für die Adaptation. Planmässige Verjüngungen in Gebirgswäldern laufen oftmals langsam und kleinflächig ab und die bisher dominante Hauptbaumart wird wieder bevorteilt. Dagegen führen rasche und grösserflächige 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.

Im Schutzwald kann die gezielte und bewusste Adaptation eine besondere Herausforderung darstellen, da aufgrund der Anforderungsprofile NaiS (Frehner et al. 2005/09, in Revision) je nach Naturgefahr und Standortstyp gewisse Vorgaben z.B. bezüglich der Grösse und Anordnung von Lücken bestehen.

## 2 Fallbeispiel Stäfeliwäng II Lückengrösse, Schwarzenberg (LU)

### 2.1 Zielsetzung und Ausgangslage

Das vorliegende Fallbeispiel untersucht den Zustand der Verjüngung in sieben unterschiedlich grossen Lücken, 17 bis 21 Jahre nach der Verjüngungseinleitung. Die Ausgangsbestände waren dicht und dunkel, die Lückenränder stabil. Dadurch kann von einem wesentlichen Einfluss der Lückengrösse auf die Entwicklung der jeweiligen Verjüngungen ausgegangen werden. Von Interesse sind der Verjüngungsdeckungsgrad, die Anzahl Baumarten, darunter Zukunftsbaumarten, deren Entwicklung (BHD, Höhe, waldbauliche Brauchbarkeit) und damit die Anpassungsgeschwindigkeit. Letztere ist im Schutzwald wichtig für die Schutzwirksamkeit und damit für die Möglichkeit zur Erweiterung von Lücken.

### 2.2 Ausgangsbestände – Verweis auf Fallbeispiel Stäfeliwäng I

Die sieben Untersuchungsflächen befinden sich im Gebiet «Stäfeliwäng» im Staatswald Luzern. Es handelt sich um klassische Aufforstungsbestände im «besonderen Hochwasserschutzwald». Das Fallbeispiel Stäfeliwäng I (2023/2024) beschreibt die grösste Verjüngungsfläche des Gebiets (1.58 ha), entstanden durch Borkenkäferbefall in den Jahren 2003–2006 (für die altersabhängige Darstellung wird das Jahr 2004 verwendet). Die Angaben des Staatsforstbetriebs Luzern (Wirtschaftsplan Rümli I, 1952–1971) zu Entstehung, Behandlung und Schutzfunktion gelten auch für die weiteren sechs Verjüngungslücken, die rund 1.5 km weiter östlich liegen und nachfolgend als Stäfeliwäng II bezeichnet werden. Auch bezüglich Samenbäumen ist die Situation vergleichbar. Die Samenbäume wurden im Stäfeliwäng II nicht im Detail erhoben. Zwei Bergahorne, welche vermutlich wichtige Samenbäume sind, stehen oberhalb von Lücke 3 (Abb. 2).



Abbildung 2: Wichtige Bergahorn-Samenbäume.

### 2.3 Untersuchungsflächen «Stäfeliwäng II», Schwarzenberg (LU)

Stäfeliwäng II umfasst insgesamt sechs neu aufgenommene Verjüngungsflächen, darunter eine grössere Lücke von 0.43 ha, die 2005 durch Borkenkäferbefall entstand, sowie fünf kleinere Lücken von 0.02 bis 0.13 ha, die 2008 im Rahmen regulärer Holzschläge mit zwei Seillinien zur Verjüngungseinleitung angelegt wurden. Höhenlage und Exposition entsprechen weitgehend den Bedingungen in Stäfeliwäng I, während die Hangneigung mit 35–45 % etwas steiler ausfällt als in Stäfeliwäng I, wo sie bei etwa 30 % liegt. Stäfeliwäng I liegt auf einer Bergsturzmasse mit teilweise Rohboden und grösseren Blöcken, während die Lücken von Stäfeliwäng II auf dem Standorttyp 50f (Hochstauden-Ta-Fi-Wald mit Alpenmilchlatte) auf weiterentwickelten, homogen strukturierten Böden wachsen. Die detaillierte Charakterisierung der Flächen findet sich in Tab. 1, die Lage ist in Abb. 3 dargestellt.

Tabelle 1: Charakterisierung der sieben Lücken (Entstehung, Topografie).

Bezeichnung	Käferlücke I	Käferlücke II	Lücke 1 Seillinie	Lücke 2 Seillinie	Lücke 3 Seillinie	Lücke 4 Seillinie	Lücke 5 Seillinie
Meereshöhe (m)	1400	1370	1390	1420	1410	1400	1390
Exposition	NNW	WNW	WNW	WNW	WNW	WNW	WNW
Hangneigung (%)	30	35	35	45	40	35	35
Jahr der Entstehung	2004	2005	2008	2008	2008	2008	2008
Fläche 2008 (Aren)	158.27	43.17	3.00	12.67	1.98	2.57	4.76



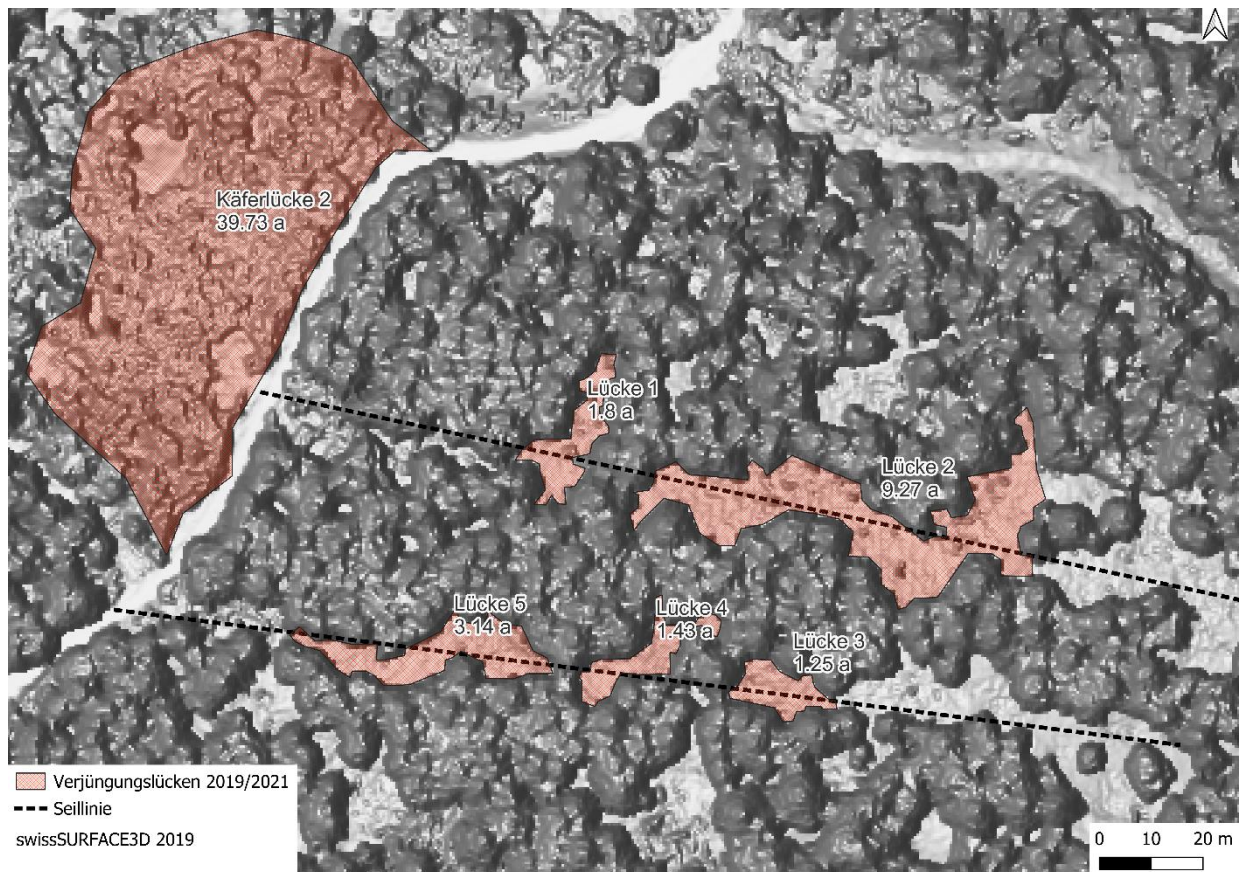


Abbildung 3: Die 6 neu aufgenommenen Lücken mit den beiden Seillinien; Flächengrösse 2019/2021.

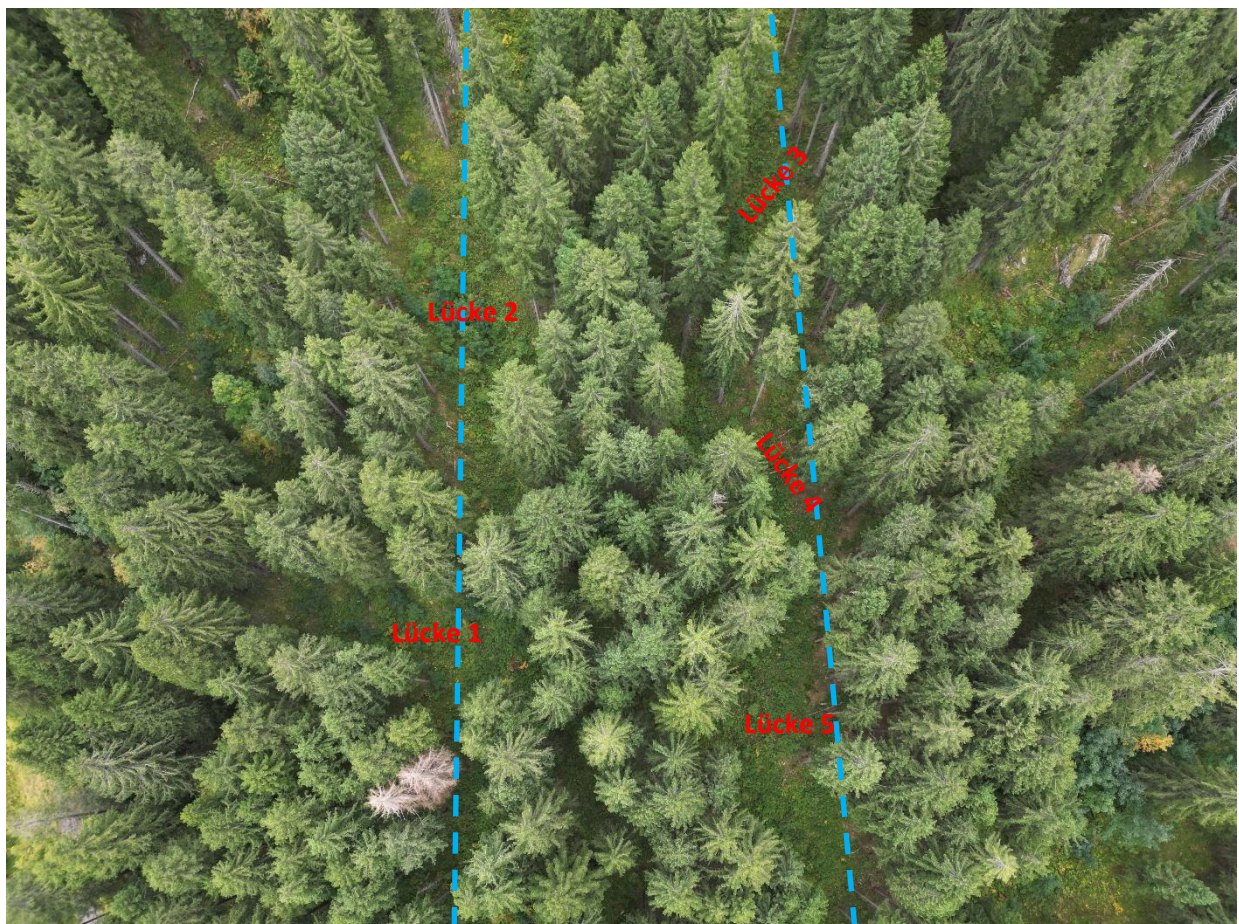


Abbildung 4: Die beiden Seillinien (blau) mit den 5 kleinen, 2008 planmässig angelegten Lücken aus der Luft. Drohnenaufnahme 2025; der oberste Teil von Lücke 2 ist nicht mehr sichtbar.



### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Abnahme der Lückengrösse durch Reaktion der Randbäume

Die Lückengrösse ist nicht statisch. Durch die Reaktion der umgebenden Fichten (seitliches Kronenwachstum, Höhenwachstum) werden die Lücken kleiner, die Lichtverfügbarkeit nimmt langsam ab. Dieser Einfluss ist vor allem bei kleinen Lücken relevant.

Für die Bestimmung der Lückengrösse standen als aktuellste Grundlagen ein Luftbild 2021 sowie ein digitales Oberflächenmodell (aus LiDAR 2019) zur Verfügung. Die auf Basis dieser beiden Grundlagen hergeleiteten Flächengrössen werden als «Fläche 2020» bezeichnet. Sie wurden im GIS nachgezeichnet und die Flächengrösse bestimmt. Das seitliche Wachstum der Kronen der umgebenden Randbäume wird mit 10cm pro Jahr angenommen. Dies ergibt für die ursprünglichen, grösseren Lücken einen Buffer von +1.2m (12 Jahre vorher). Für den aktuellen Zustand im Jahr 2025 wurde mit einem Buffer von -0.5m (5 Jahre danach) gerechnet; die Flächen sind seit der Aufnahme der Fernerkundungsdaten nochmals etwas kleiner geworden. Die Entwicklung der Flächengrössen ist in Tab. 2 und Abb. 6 dargestellt. Das gewählte Vorgehen wurde in den Beständen mit einer gutachtlichen Einschätzung der jährlichen Triebblänge der Hauptäste bzw. des Wachstums der letzten 17 Jahre verifiziert. Ebenfalls erfolgte eine Überprüfung auf Basis eines Vergleichs digitales Oberflächenmodell 2012/Luftbild 2011 mit dem Zustand 2019/2021.

Tabelle 2: Flächenveränderung durch seitliche Kronenreaktion der Randbäume um die Lücken.

Bezeichnung	Käferlücke I	Käferlücke II	Lücke 1 Seillinie	Lücke 2 Seillinie	Lücke 3 Seillinie	Lücke 4 Seillinie	Lücke 5 Seillinie
Fläche (Aren) 2008 bei der Entstehung	158.27	43.17	3.00	12.67	1.98	2.57	4.76
Fläche (Aren) 2020 aus Fernerkundung	148.69	39.73	1.80	9.27	1.25	1.43	3.14
Fläche (Aren) 2025 aktuell	144.72	38.33	1.33	7.88	0.98	0.98	2.50
Flächenreduktion (%) 2008 bis 2025	9%	11%	56%	38%	51%	62%	47%

Die Flächengrössen und damit die Lichtverfügbarkeit haben nicht unwesentlich abgenommen. Die prozentuale Abnahme zeigt, dass der Effekt besonders ausgeprägt ist bei kleinen und noch zusätzlich bei schmalen Flächen (Schlitzen, vgl. Abb. 3 bis 6). Bei den beiden grossen Flächen spielt die Kronenreaktion keine Rolle, weil hier das Licht nicht mehr limitierend ist. Hier waren auch die Ränder nicht stabil (weitere Zwangsnutzungen); die Flächenveränderung wurde aber trotzdem mit der gleichen Methodik berechnet zwecks Vergleichbarkeit.

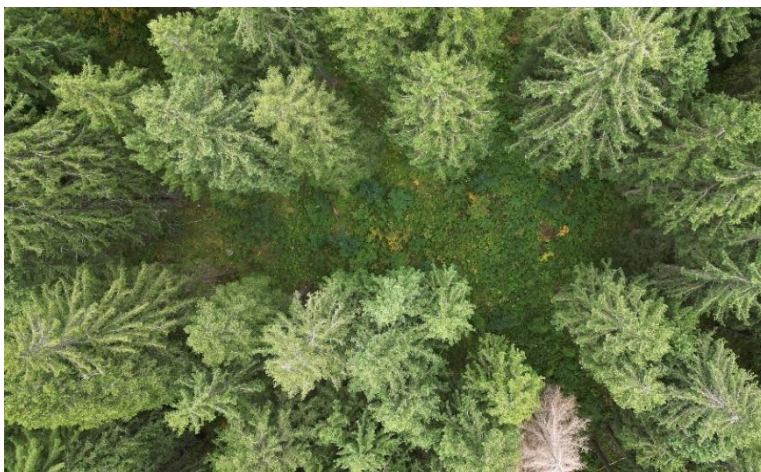


Abbildung 5: Lücke 1 von oben.

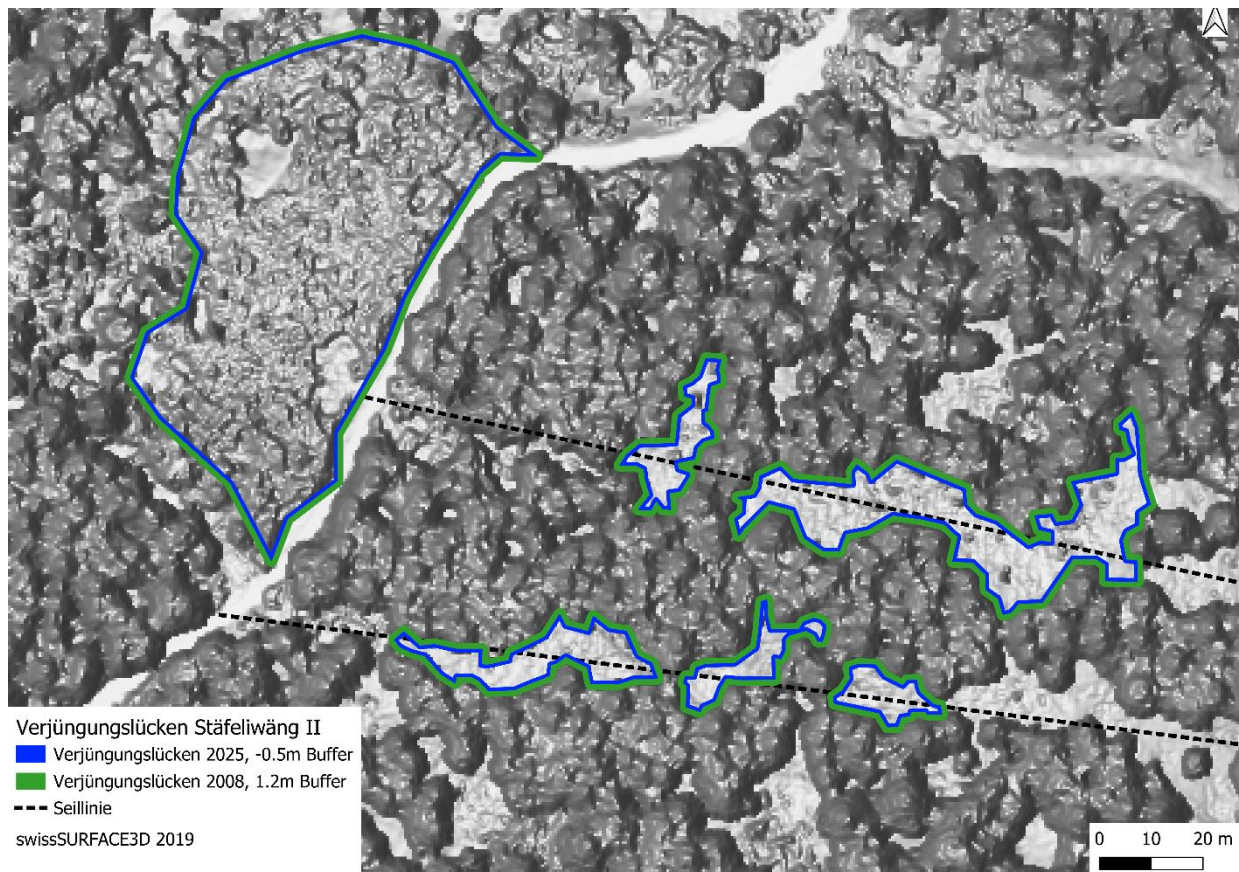


Abbildung 6: Die fünf kleinen Verjüngungslücken aus LiDAR 2019/Luftbild 2021, ursprüngliche Grösse 2008 +1.2m Buffer (grün), aktuelle Grösse 2025 -0.5m Buffer (blau).

### 3.2 Verjüngungsdeckungsgrad und Anzahl Baumarten

Der geschätzte Verjüngungsdeckungsgrad in den 5 kleinen Lücken beträgt 10 bis 50% (vgl. Abb. 7 und Tab. 3). Somit sind 50 bis 90% dieser Flächen nicht verjüngt. Speziell bei den sehr kleinen Lücken ist dies eine wesentliche Einschränkung, es bleibt dann nicht mehr viel Verjüngung. In der mittleren und grossen Lücke sind 90% verjüngt. Kleine Blössen oder im Stäfeliwäng I ein Maschinenweg sind keine Einschränkung, sondern eher eine Strukturierung mit positiver Wirkung.

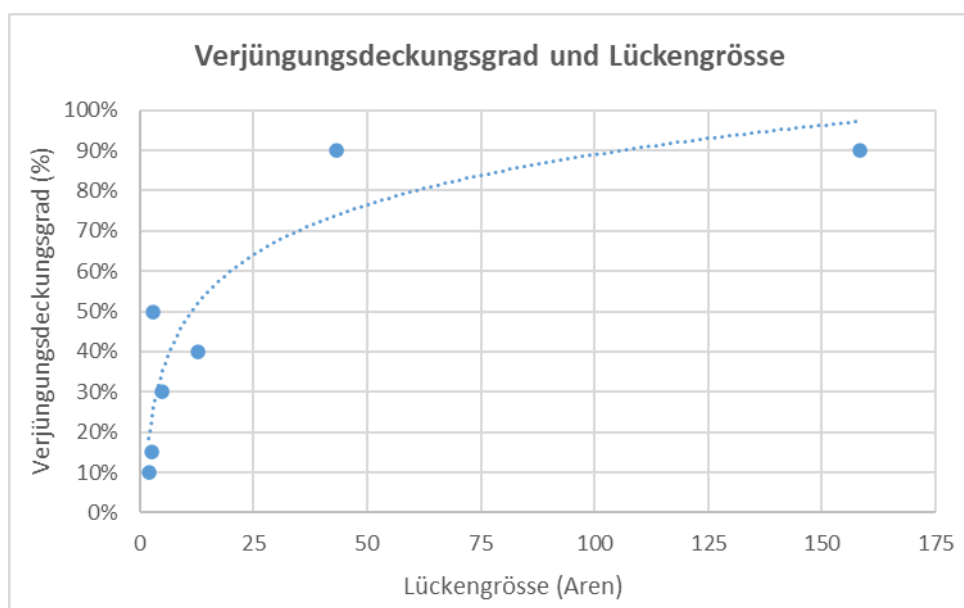


Abbildung 7: Verjüngungsdeckungsgrad in Abhängigkeit der Lückengrösse.

Die beiden grossen Lücken enthalten neun bzw. zehn Baumarten. Die kleinen Lücken enthalten nur zwei bis vier Baumarten. Bergahorn und Vogelbeere kommen auf allen Flächen vor. Bei starkem Klimawandel und zukünftigem Standortstyp 7s sind alle vorkommenden Baumarten Zukunftsbaumarten. Buche wäre dann Hauptbaumart, Bergahorn und Kirsche sind ebenfalls sehr wichtig auf dem feuchten Buchenwald-Standort. Im Falle von Fichte und Tanne sind Ausfälle möglich (nur als «weitere Baumarten» empfohlen). Eine höhere Baumartenvielfalt als zwei Baumarten ist aber in jedem Fall sehr zu empfehlen. Eine weitere Frage ist die waldbauliche Brauchbarkeit und Reaktionsfähigkeit der Verjüngung in den kleinen Lücken.

Sehr wichtig ist die Anwesenheit der zukünftigen Hauptbaumart Buche, welche (mit geringem Anteil) in vier der sieben Lücken vorkommt, darunter auch in zwei der kleinen Lücken. Hingegen kommen Kirsche, Mehlbeere, Aspe, Birke sowie Tanne nur in den beiden grossen Lücke vor. Insgesamt sind alle Lücken, unabhängig ihrer Grösse, stark von Bergahorn und Vogelbeere dominiert, mit zusammen 65 bis 100% Anteil. In der Käferlücke II hat 2024 ein Pflegeeingriff stattgefunden; die Z-Baum-Durchforstung im Endabstand ohne Eingriff im Füllbestand hat die Baumartenverteilung nicht markant verändert. Alle anderen Flächen sind unbehandelt.

Tabelle 3: Verjüngungsdeckungsgrad, Anzahl Baumarten und Baumartenanteile in den sieben Lücken.

Bezeichnung	Käferlücke I	Käferlücke II	Lücke 1 Seillinie	Lücke 2 Seillinie	Lücke 3 Seillinie	Lücke 4 Seillinie	Lücke 5 Seillinie
Fläche 2008 (Aren)	158.27	43.17	3.00	12.67	1.98	2.57	4.76
Verj.deckungsgrad	90%	90%	50%	40%	10%	15%	30%
<b>Anzahl Baumarten</b>	<b>10</b>	<b>9</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>4</b>
Bergahorn	35%	55%	70%	60%	70%	30%	35%
Buche	2%	1%	4%				2%
Vogelbeere	50%	10%	25%	30%	30%	70%	60%
Salweide	4%	23%	1%	9%			3%
Kirsche		2%					
Mehlbeere	2%	2%					
Aspe	2%	1%					
Birke	1%						
Esche	0%						
Fichte	4%	4%		1%			
Tanne	0%	2%					

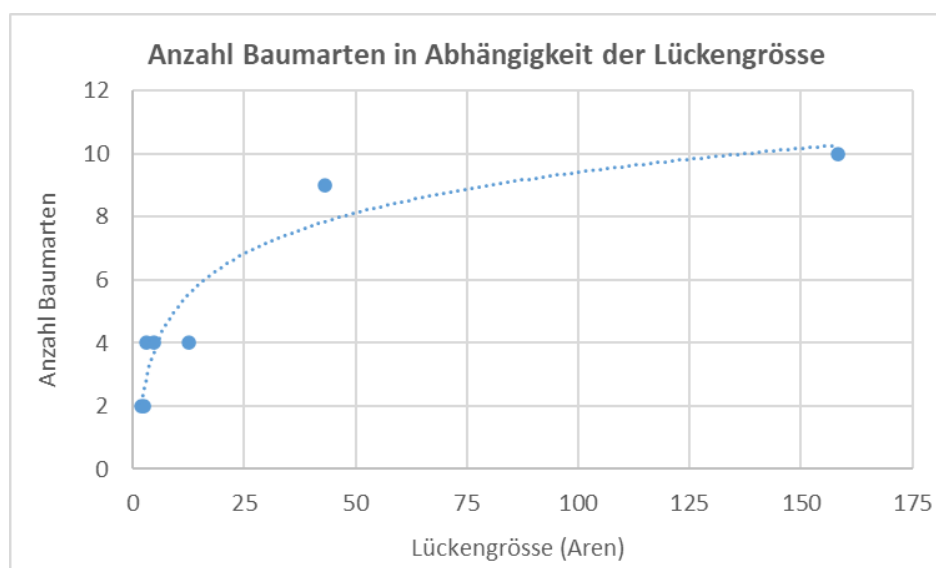


Abb. 8 zeigt die Anzahl der vorhandenen Baumarten in Abhängigkeit der Lückengrösse. Bereits die zu Beginn 43 Aren grosse Käferlücke II weist eine sehr gute Vielfalt auf.

Abbildung 8: Anzahl vorkommende Baumarten in Abhängigkeit der Lückengrösse.



### 3.3 Entwicklungszustand

In Tab. 4 ist der maximale BHD der häufigsten Baumarten dargestellt. Dieser wurde auf Zentimeter genau kluppiert. Die Unterschiede sind erheblich. Auf den beiden grossen Flächen erreicht Bergahorn einen maximalen BHD von 18.5cm und Vogelbeere 10.5 bzw. 13.5cm. Auf den kleinen Flächen werden vom Bergahorn dagegen erst maximale BHD von 1.5 bis 4.0cm, auf der 13 Aren grossen Lücke 2 immerhin 6.5cm erreicht. Vogelbeere ist deutlich dünner bzw. erreicht in einigen Kleinlücken noch gar nicht die Kluppierungshöhe von 1.3m. Bei der Höhenentwicklung zeigt sich dasselbe Bild: Baumhöhen bis 12m (Bergahorn) in den beiden grossen Lücken, 2.5 bis 5m in den kleinen Lücken. Zu beachten ist, dass es sich bei allen Angaben um Maximalwerte handelt; d.h. auf grossen Teilen der kleinen Lücken sind die Bäume weniger dick und hoch oder die Verjüngung fehlt (Verjüngungsdeckungsgrad). Der Entwicklungszustand wird so nur an wenigen Bäumen gemessen und insgesamt für die kleinen Lücken überschätzt.

Tabelle 4: Maximaler BHD für Bergahorn, Buche, Vogelbeere und Salweide (falls vorhanden) pro Lücke. Leer = Baumart nicht vorhanden. 0 = Kluppierungshöhe von 1.3m noch nicht erreicht.

Bezeichnung	Käferlücke I	Käferlücke II	Lücke 1 Seillinie	Lücke 2 Seillinie	Lücke 3 Seillinie	Lücke 4 Seillinie	Lücke 5 Seillinie
Fläche (Aren) 2020	158.27	43.17	3.00	12.67	1.98	2.57	4.76
<b>Maximaler BHD (cm)</b>							
Bergahorn	18.5	18.5	4.0	6.5	2.5	1.5	1.5
Buche	4.5	11.5	2.5				1.5
Vogelbeere	10.5	13.5	3.5	2.5	0	0	1.5
Salweide	14.5	20.5		6.5			
<b>Maximale Höhe (m)</b>							
Bergahorn	12	12	4	5	3	2.5	2.5
Buche	4	8	3				2
Vogelbeere	7	7	3	2	1	1	3
Salweide	8			5			

Auch bezüglich Bestandesentwicklung (BHD, Baumhöhe) gibt es somit von der mittleren zur grossen Lücke keine weitere Verbesserung. Hier ist es sogar eher umgekehrt: Salweide und Vogelbeere sind dicker auf der 43 Aren grossen Käferlücke II). Dabei dürften aber auch die Standortsunterschiede mit etwas anspruchsvolleren Bedingungen in der sehr grossen Käferlücke I (Blockschutt) eine Rolle spielen.

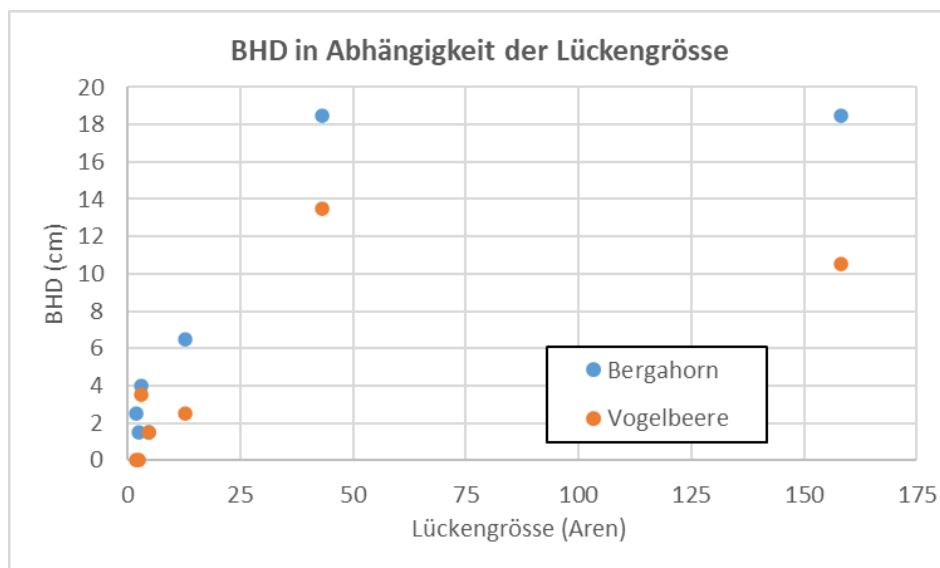


Abbildung 9: Maximaler BHD von Bergahorn und Vogelbeere in Abhängigkeit der Lückengrösse.

In Abb. 9 ist der maximale BHD für Bergahorn und Vogelbeere in Abhängigkeit der Lückengrösse dargestellt. Dabei ist das unterschiedliche Alter noch nicht berücksichtigt; die Verjüngung in den kleinen Lücken hatte drei bzw. vier Jahre weniger Zeit zur Verfügung.

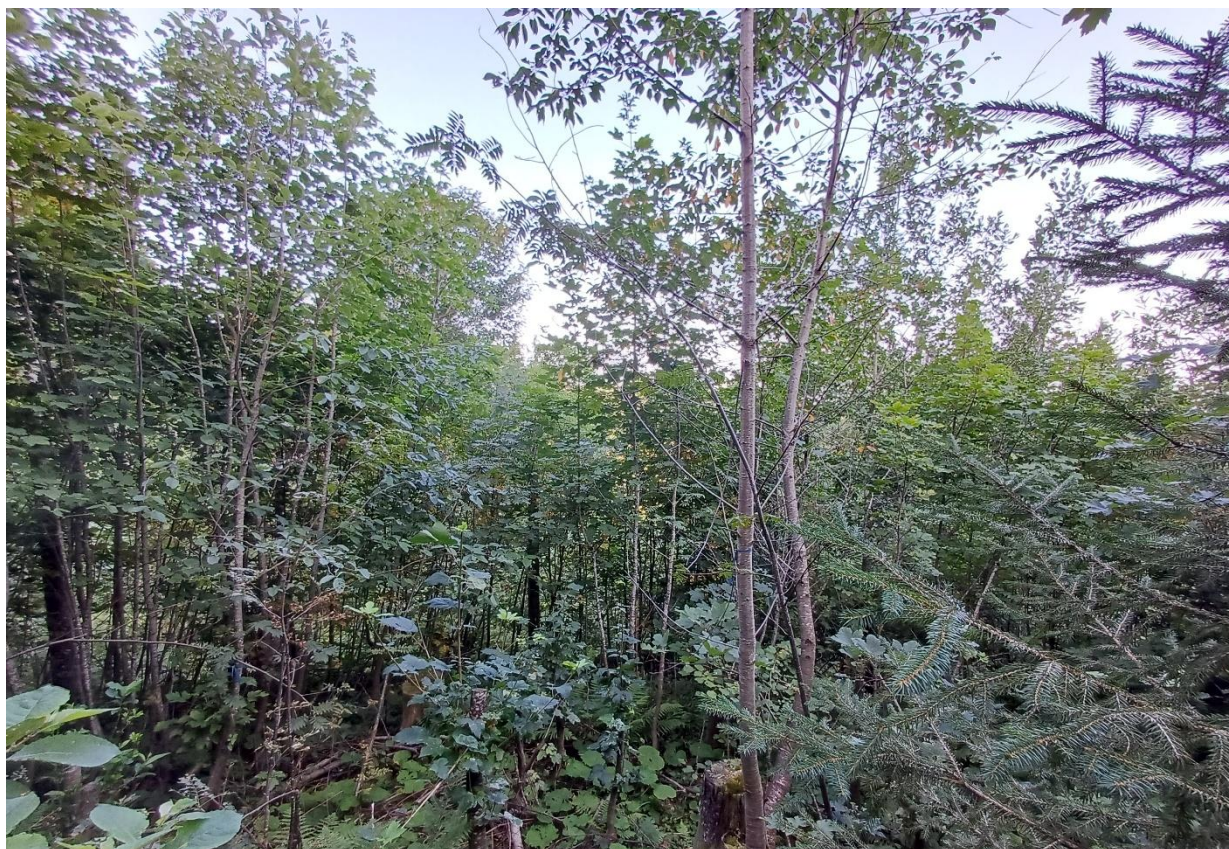


Abbildung 10: Ausschnitt der 43 Aren grossen Käferlücke II mit stabiler und artenreicher Verjüngung inkl. Zukunftsbaumarten wie Kirsche.

### 3.4 Stabilität und Reaktionsfähigkeit

In den kleinen Lücken ist die Verjüngung deutlich schlanker, ausgedrückt im h/d-Wert (Schlankheitsgrad). Während die dominierenden Bäume in den beiden grossen Lücken h/d-Werte von 50 bis 65 aufweisen, sind es in den kleineren Lücken Werte von 100 bis sogar 200 (Tab. 5). Bei den dünnen Bäumen sind die h/d-Werte nur eine Grössenordnung, weil die Bäume stufenweise kluppiert (1-cm-Stufen) und nicht millimetergenau gemessen wurden. Trotzdem sind die Unterschiede frappant. Interessant ist die grösste der kleinen Lücken (Lücke 2), hier gibt es stabilere Bäume – allerdings betrifft dies nur zwei kleine Verjüngungskegel. Auf dem Grossteil der Fläche sind die Bäume hingegen deutlich schlanker, niedriger und dünner. Zudem fehlt auf rund 60 % der Lücke die Verjüngung noch ganz (vgl. Abb. 12).

Tabelle 5: Schlankheitsgrad von Bergahorn, Buche, Vogelbeere und Salweide pro Lücke.

Bezeichnung	Käferlücke I	Käferlücke II	Lücke 1 Seillinie	Lücke 2 Seillinie	Lücke 3 Seillinie	Lücke 4 Seillinie	Lücke 5 Seillinie
Fläche (Aren) 2020	158.27	43.17	3.00	12.67	1.98	2.57	4.76
<b>Schlankheitsgrad (h/d-Wert)</b>							
Bergahorn	63	63	100	71	100	125	125
Buche	80	67	100				100
Vogelbeere	64	50	75	67	200	200	150
Salweide	53			71			

Bei den beiden grossen Lücken besteht kein Zweifel, dass die Verjüngung aller Baumarten voll entwicklungsfähig ist. In den kleinen Lücken scheint der Bergahorn als Halbschattenbaumart reaktionsfähig zu sein, allerdings gibt es bereits viele Bäume mit plagiotropem Wuchs. Für die Lichtbaumarten Vogelbeere und Salweide sind Zweifel berechtigt, diese sind oft deutlich dünner und kleiner als die Bergahorne und vermutlich nach 17 Jahren unter Schirm nicht mehr normal reaktionsfähig. Zu beachten ist dabei auch die abnehmende Lichtverfügbarkeit durch die Kronenreaktion der umgebenden Altbäume. Bei den beiden grossen Lücken spielt dieser Effekt keine Rolle. Die wenigen Buchen, welche auch auf zwei der kleinen Lücken wachsen, zeigen sich unbeeindruckt von der geringen Lichtverfügbarkeit; sie wachsen lotrecht und wipfelschäftig und sind vermutlich problemlos entwicklungsfähig.

### 3.5 Geschwindigkeit der Adaptation und Erreichen der Schutzwirksamkeit

In Abbildung 11 ist der maximale BHD von Bergahorn (als auf allen Flächen verbreitet vorhandene Zukunftsbaumart) in Abhängigkeit von Alter und Lückengrösse dargestellt. Dabei werden drei Lückengrössen unterschieden (2-5 Aren, 13 Aren, 40 Aren und grösser). Die grossen Lücken erreichen bereits 10 Jahre nach der Verjüngungseinleitung den BHD von 8 cm, welcher als schutzwirksam angenommen wird (hergeleitet für Steinschlag, kleine Steine). Die mittlere Lücke von 13 Aren benötigt dafür 20 Jahre. Bei den kleinen Lücken würde es -lineare Entwicklung vorausgesetzt- 40 Jahre dauern, es ist jedoch davon auszugehen, dass die Verjüngung verkümmert bzw. über diesen langen Zeitraum nicht mehr entwicklungsfähig sein wird. Dazu nimmt die Lichtverfügbarkeit in den Lücken ja weiterhin ab aufgrund Höhenwachstum und lateraler Kronenentwicklung.

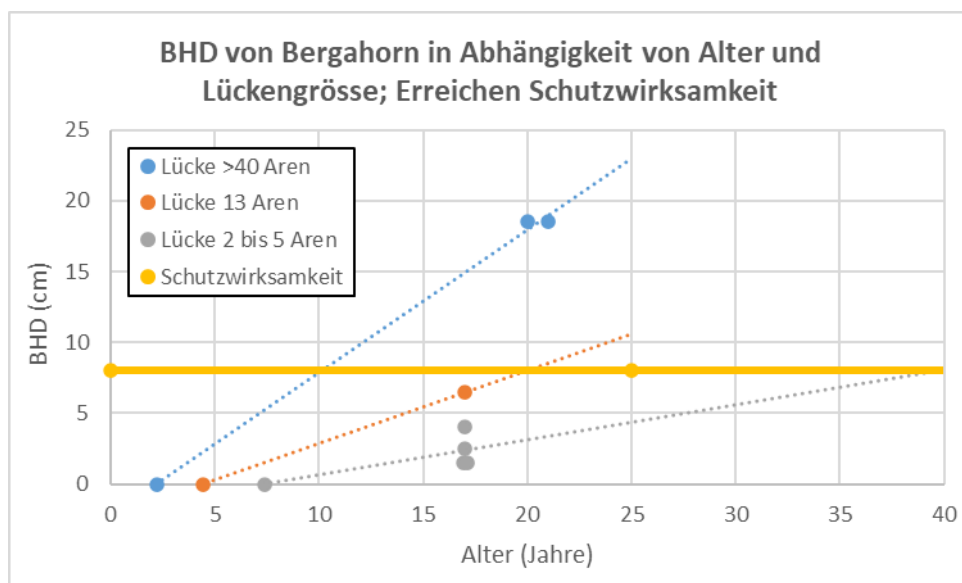


Abbildung 11: Maximaler BHD von Bergahorn in Abhängigkeit von Alter und Lückengrösse; Erreichen der Schutzwirksamkeit (Annahme: BHD 8cm).

### 3.6 Diskussion und Folgerungen

Der Vergleich der sieben Lücken bei gleicher Ausgangslage, ähnlichem Alter und weitgehend vergleichbaren Standortsbedingungen zeigt Folgendes:

- Erstaunlicherweise hat sich die Fichte, trotz immensem Samenangebot, in den kleinen Lücken so gut wie nicht verjüngt. In den grossen Lücken ist sie vorhanden, jedoch nur mit geringen Anteilen von jeweils 4%. Damit kann die Hypothese im Fallbeispiel Stäfeliwäng (2024), dass kleine Lücken bzw. ein sehr feiner Waldbau unter den hier vorhandenen Verhältnissen eine nächste Fichtengeneration begünstigt, nicht bestätigt werden.



- Die grossen Lücken sind zu 90% bestockt. Bei den kleinen Lücken sind es 10-50%. Bei Lücke 3 mit zwei Aren und einem Verjüngungsdeckungsgrad von 10% bleiben nur noch wenige Bäume. Bereits kleinere Einflüsse durch Schneedruck oder Verbiss würden hier ausreichen, sodass die Verjüngung als gescheitert betrachtet werden müsste. Ein Neubeginn würde 17 Jahre Zeit kosten und die ursprüngliche, günstige Ausgangslage ohne Konkurrenzvegetation geht verloren.
- Die Baumartenvielfalt ist bei grossen Lücken markant höher. Damit sind diese deutlich adaptiver, denn die Baumartenvielfalt ist das erste und wohl wichtigste Adaptationsprinzip (Brang et al. 2016).
- In den kleinen Lücken sind Lichtbaumarten gar nicht vorhanden, oder (nach 17 Jahren) vermutlich nicht mehr reaktionsfähig (Vogelbeere, Salweide).
- In den grossen Lücken verläuft die Entwicklung sehr rasch (Höhenwachstum, BHD). In den kleinen Lücken ist sie viermal langsamer bzw. ungewiss (Reaktionsfähigkeit). Damit kann mit grossen Lücken der Wald deutlich schneller vom fast reinen Fichtenbestand zum vielfältigen Laubmischwald angepasst werden. Dies ist angesichts des extrem raschen Klimawandels äusserst wichtig und ein entscheidender Vorteil.
- Geht man von Erreichen der Schutzwirksamkeit bei BHD 8 cm aus, dann könnten grosse Lücken bereits nach 10 Jahren erweitert werden, und dies in der hochmontanen Höhenstufe. Dies ermöglicht ein maximales Adaptionstempo und hohe Effizienz.
- Die Vorteile der grossen Lücken zeigen sich in unserem Beispiel bereits ab 43 Aren deutlich. Fünf Aren oder noch weniger sind klar zu klein, 13 Aren (wobei der schmale Schlitz bezüglich Licht nachteilig wirkt) sind ebenfalls noch zu klein. 1.58 Hektaren sind nicht besser als 43 Aren. Wo genau unter den vorliegenden Verhältnissen der Schwellenwert liegt für eine rasche Adaptation, kann der vorliegende Datensatz mangels weiterer Flächen im Bereich 15-40 Aren nicht beantworten.



Abbildung 12: Die 13 Aren grosse, längliche Lücke 2. Das Bild zeigt, dass die Verjüngung nicht flächendeckend vorkommt und nur in der Mitte der breitesten Stellen besser entwickelt ist.

### Praktische Folgerungen für die Adaptation:

- Grosse Flächen sind um ein Mehrfaches adaptiver. Dies betrifft den Verjüngungsdeckungsgrad, die Anzahl Baumarten und Zukunftsbaumarten, sowie das Adaptationstempo / Erreichen der Schutzwirksamkeit.
- Mit den ganz kleinen Lücken konnte zwar die Verjüngung eingeleitet werden. Zur Vermeidung von negativen Effekten (Verlust von Baumartenvielfalt und Reaktionsfähigkeit, geringer Verjüngungsdeckungsgrad, vermutlich erhöhter Wildeinfluss) bzw. zur Erhaltung einer hohen Adaptivität müssten sie aber bereits nach wenigen Jahren erweitert werden. Dies ist im Seilkrangelände nicht realistisch bzw. würde zu unverhältnismässig hohen Kosten führen.
- Der waldbauliche Handlungsspielraum gemäss NaiS sollte möglichst umfassend genutzt werden, solange die Zielerreichung gewährleistet bleibt.
- Falls es vom Risiko her vertretbar ist, können auch grössere Verjüngungsflächen realisiert werden. Der Luzerner „besondere Hochwasserschutzwald“ ist ein gutes Beispiel dafür (keine Einschränkung bezüglich Flächengrösse, jedoch bezüglich Deckungsgrad innerhalb des Einzugsgebiets eines Gewässers).
- Grössere Flächen sind auch bezüglich Kosten und Holzernteschäden deutlich vorteilhafter.
- Mit Erweiterungen (Femelschlag, Saumschlag) bzw. benachbarten Verjüngungspixeln (Gebirgspflenterung) können die gezeigten Vorteile bezüglich Licht / Adaptation auch mit kleineren Räumungen genutzt werden. Die neuen Flächen (Erweiterungen, Umrändelungen) profitieren dabei vom Licht der gesamten Fläche, falls die zeitliche Differenz der Verjüngungsschläge nicht zu gross ist.
- Die Auswirkungen des Klimawandels scheinen bereits deutlich spürbar zu sein. Obschon als hochmontaner Standort kartiert (im unteren Teil 50f(18), d.h. Übergang zu obermontan), deutet die aktuelle Situation und Entwicklung im Fallbeispiel Stäfeliwäng II eher auf obermontane Standortverhältnisse. Diese kontinuierliche Dynamik der Klimaerwärmung, welche sich waldbaulich auswirkt (z.B. Abschwächung typisch „hochmontaner Themen“ wie Konkurrenz durch Hochstauden, Wärmebedarf der Verjüngung), ist entsprechend zu berücksichtigen.

Viele Forschungsarbeiten im Bereich Gebirgswald befassen sich damit, Fichte (oder weitere Baumarten) zu verjüngen. Die Lückengrösse wurde optimiert zwischen «so klein wie möglich» (Schutzwirkung, Austrocknung, Verunkrautung) und «zu klein» (zu wenig Licht und Wärme), sie bewegte sich dabei oft im Bereich von wenigen Aren. Zeit, Baumartenvielfalt oder Adaptation spielte dabei eine untergeordnete Rolle (exemplarisch dafür die Dissertation BRANG 1995). Man ging von einem stabilen Ökosystem mit hohen Umtriebszeiten aus, bei welchem die Verjüngung viele Jahrzehnte dauern darf.

Mit dem Klimawandel haben sich die Fragestellungen fundamental geändert. Eine offensivere Verjüngungstätigkeit auch im Gebirgs- und Schutzwald ist notwendig. Beispiele wie Stäfeliwäng I und II, aber auch viele weitere Sturm- oder Borkenkäferflächen weisen dabei die Richtung. In der praktischen Umsetzung gilt es, eine Risikoabwägung zwischen Schutzfunktion und Adaptation zu machen. Ein zu zögerliches Vorgehen vergrössert das Risiko, dass zukünftige Klimaextreme unkontrolliert grosse Verjüngungsflächen schaffen und die Sicherung der Waldleistungen übermässig gefährden.

Nicht überall ist die Ausgangslage so gut wie im Fallbeispiel Stäfeliwäng II mit dunklen Ausgangsbeständen ohne Verunkrautung und Vorverjüngung. Mit bewusstem Waldbau können solche Situationen optimal für die Adaptation genutzt werden. Bei weniger günstiger Ausgangslage ist das waldbauliche Vorgehen anzupassen. Dazu braucht es nach wie vor viel lokales Erfahrungswissen und gute waldbauliche Beobachtungsgabe.





*Abbildung 13: BHD-Messung an einer Buche in Lücke 5.*

#### 4 Literaturverzeichnis

- 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.
- 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.
- Gigon, S., und Ammann, P., 2024: Fallbeispiel Anpassung Klimawandel Stäfeliwäng, Schwarzenberg LU. Im Auftrag des BAFU.
- Kanton Luzern, 2023. Geoportal Kanton Luzern. Abgerufen am 02.10.2025, <https://geoportal.lu.ch/Karten>.