

# Dokumentation der Anpassung an den Klimawandel: Fallbeispiel Staatswald Habsburg

WALD+BAUm, Peter Ammann, Tüelenweg 2, 5727 Oberkulm



*Abbildung 1: Skurriler Biotopbaum auf der unbehandelten Lothar-Sturmfläche Habsburg. Links der Bildmitte ist eine Eiche erkennbar (gelbes Bändeli), deren BHD beträgt 26.9cm.*

Im Auftrag für: Fachstelle Waldbau, Bildungszentrum Wald Lyss

21.12.2020

Gemäss Vertrag BAFU-FWB Nr. 00.5052.PZ / R123-1153 betreffend Integration von Erkenntnissen aus dem Forschungsprogramm Wald und Klimawandel in die waldbauliche Weiterbildung. Vertragspunkt Nr. 4: „Dokumentation von naturnahen und natürlichen Anpassungsvorgängen an drei Fallbeispielen. Konkretisierung, wie die natürlichen Anpassungsmechanismen durch waldbauliche Eingriffe unterstützt, respektive beeinträchtigt werden können. Publikation der Fallbeispiele auf dem Internet ([www.waldbau-sylviculture.ch](http://www.waldbau-sylviculture.ch))“.

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>3</b>
1.1	Herausforderung Klimawandel.....	3
1.2	Anpassungsvorgänge.....	3
<b>2</b>	<b>Fallbeispiel «Habsburg» (AG) .....</b>	<b>3</b>
2.1	Zielsetzung.....	3
2.2	Untersuchungsfläche «Habsburg, Galgehübel» (AG).....	4
2.3	Lage und Standortbedingungen.....	5
2.4	Aufnahmeverfahren .....	5
<b>3</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>7</b>
3.1	Anzahl und Verteilung der Zukunftsbäume .....	7
3.2	Anzahl Zukunftsbäume nach Baumart und Eingriffszeitpunkt.....	9
3.3	Förderungswürdige Zukunftsbäume pro Hektare nach Baumart und Eingriffszeitpunkt.....	10
3.4	Einfluss der Bestandesstruktur.....	12
3.5	Auswirkungen eines fehlenden Waldmanagements.....	15
<b>4</b>	<b>Schlussfolgerungen .....</b>	<b>17</b>
<b>5</b>	<b>Dank .....</b>	<b>18</b>
<b>6</b>	<b>Literatur.....</b>	<b>18</b>

# 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. Auch neue Krankheiten treten auf wie z.B. die Eschenwelke.

Die Wälder sollten so bewirtschaftet werden, dass die geforderten Waldleistungen weiterhin erbracht werden können bzw. die Wälder ein zwar reduziertes, aber hinreichendes Niveau an Waldleistungen erbringen können. Generell sollen die Störungsresistenz, Störungsresilienz und Anpassungsfähigkeit erhöht werden. Dazu wurden 5 konkrete Adaptationsprinzipien formuliert (BRANG et al. 2016): **Erhöhung der Baumartenvielfalt, Erhöhung der Strukturvielfalt, Erhöhung der genetischen Vielfalt, Erhöhung der Störungsresistenz der Einzelbäume und Reduktion der Umtriebszeit und des Zieldurchmessers.** Dazu wird das bekannte waldbauliche Instrumentarium wie Verjüngung, Jungwaldpflege, Durchforstung usw. eingesetzt.

## 1.2 Anpassungsvorgänge

Naturnähe ist im Aargauischen Waldgesetz definiert durch die Begriffe «Naturverjüngung», «Standortgerechtigkeit» und «natürliche Abläufe». Nicht nur die «normale» Waldbewirtschaftung, sondern auch die Anpassung der Wälder an den Klimawandel sollte möglichst naturnah passieren. Dieses Prinzip steht für tiefe Kosten und Risiken. Auch wenn sich grundsätzlich die Wälder langfristig selbständig anpassen können und sich in Richtung eines neuen (im Detail noch unbekanntem) Gleichgewichtszustandes einpendeln werden, erfordert die genannte Erhaltung der Waldleistungen aufgrund der sehr raschen Klimaerwärmung im Allgemeinen ein Management der Waldanpassung.

Schlüsselsituation ist die Waldverjüngung und die danach folgende Phase der Jungwaldpflege. Hier kann die Baumartenzusammensetzung gesteuert werden. Es entscheidet sich auch, ob eine Baumart überhaupt vorkommt.

Während planmässige Verjüngungen oft langsam ablaufen und die bisher dominanten Hauptbaumarten (meist konkurrenzstarke und schattenertragende Baumarten) wieder bevorteilen, führen rasche und grossflächige Verjüngungen zu günstigen Voraussetzungen für wesentliche Veränderungen. Diese werden bewusst geschaffen durch kurze Verjüngungszeiträume (Schirmhieb) und/oder verhältnismässig grosse Verjüngungsflächen (Femelhieb, Saumhieb). Oder aber sie sind eine Folge von Störungen – die Natur sorgt also gleich selber für die optimalen Bedingungen für rasche Anpassung.

# 2 Fallbeispiel «Habsburg» (AG)

## 2.1 Zielsetzung

Die grosse Lotharsturmfläche im Staatswald Habsburg bietet grundsätzlich gute Bedingungen für eine Anpassung an den Klimawandel, denn die Verjüngung erfolgte schlagartig auf grosser Fläche, welche teilweise noch nicht vorverjüngt war. Somit waren die Chancen für Lichtbaumarten und damit für

Baumartenvielfalt intakt. Speziell ist hier, dass keinerlei Pflegeeingriffe erfolgten. Konnten sich trotzdem Zukunftsbaumarten durchsetzen in den 21 Jahren seit Sturm Lothar? Was wäre möglich gewesen mit früheren Eingriffen? Dies sind die beiden Kernfragen.

Das vorliegende Fallbeispiel soll natürlich ablaufende Anpassungsvorgänge 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. Handlungsanleitungen für ein adaptives Waldmanagement sollen konkretisiert werden.

## 2.2 Untersuchungsfläche «Habsburg, Galgehübel» (AG)

Der betreffende Wald in der Nähe der Stadt Brugg gehört dem Staat Aargau und liegt auf Gemeindegebiet Hausen AG. Die Gegend ist geschichtsträchtig; in naher Umgebung stehen die Überreste des römischen Heerlagers Vindonissa, die mittelalterliche Stadt Brugg mit ihrer uralten Aarebrücke, die Stammburg der Habsburger, sowie das 1308 gestiftete Kloster Königsfelden, mit der für ihre Glasfenster bekannten Kirche. Auf dem «Galgehübel» befand sich der Richtplatz des Eigenamtes (Amt Königsfelden). Hier erfolgte am 17. Juli 1806 letztmals eine Hinrichtung: Die 36jährige Barbara Obrist hatte ihren Gatten vergiftet.



Nach dem Sturm Lothar, welcher am 26.12.1999 die Landschaft schlagartig veränderte (Abb. 2) entschied die Leitung des Staatswaldes, die rund 30 Hektaren grosse Sturmfläche Habsburg unbehandelt zu belassen und als Forschungsfläche auszuscheiden. Das Sturmholz wurde nicht geräumt, und auf jegliche Pflegeeingriffe wurde verzichtet. Die Sturmfläche war sehr unzugänglich, mit mehreren Hundert Kubikmetern liegendem Holz pro Hektare.

Abbildung 2: Blick über die Sturmfläche Habsburg im Oktober 2001, 2 Jahre nach dem Sturm (Foto U. Wasem).

Mit Ausnahme einer vor Lothar gepflanzten Fichtengruppe (vgl. Kap. 3.4) stammt die gesamte Bestockung aus Naturverjüngung. Nach dem Sturm Lothar erfolgten keinerlei Massnahmen. Die betroffenen Waldstrassen wurden nur teilweise geräumt. Eine Waldstrasse wurde aufgegeben und ist heute nicht mehr als solche zu erkennen. Um die Fläche zugänglich und erlebbar zu machen, wurde ein Fussweg ausgehauen. Dieser führte (anfänglich) unter Baumstämmen hindurch und über solche hinüber, sowie um Wurzelstöcke herum. Dieser wilde Zickzackweg ist bei der Bevölkerung sehr beliebt und bekam Namen wie «Indianerpfad» oder «Ho-Chi-Minh-Pfad».

Im Jahr 2013 wurde die Fläche in ein reguläres Waldreservat mit 50jährigem Nutzungsverzicht gegen finanzielle Abgeltung überführt. Der Vertrag gilt bis im Jahr 2063. Damit wurde der Fortbestand dieses grossen Freiluftlabors gesichert, mit interessanten Möglichkeiten, die natürliche Walddynamik zu studieren.



Die Sturmfläche Habsburg wurde bisher für folgende Studien verwendet (die Aufzählung ist eventuell nicht vollständig):

- Wohlgemuth, T., & Kramer, K. 2015: Waldverjüngung und Totholz in Sturmflächen 10 Jahre nach Lothar und 20 Jahre nach Vivian. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 166(3), 135-146.
- Näf, Ph., 2014: Natürliche Wiederbewaldung nach grossflächigem Windwurfereignis.
- Ammann, P., 2020: Ammann, P., 2020: Wachstumspotential der Birke im Schweizer Mittelland. [www.waldbau-sylviculture.ch](http://www.waldbau-sylviculture.ch)
- Vogel, E., 2021: Wachstum und Waldleistung von Pionierbaumarten auf Sturmflächen (in Vorbereitung).

Die Sturmfläche kann grob in die drei «Bestandestypen der Wiederbewaldung von Sturmflächen» unterteilt werden, welche in AMMANN (2020) beschrieben wurden. Auf dieser Typisierung baut auch die Bachelorarbeit von VOGEL (2021) auf.

- Bestandestyp 1: Dichte Naturverjüngung mit Schattenbaumarten, meist nach vorhandener Vorverjüngung.
- Bestandestyp 2: Partien ohne Vorverjüngung, auf denen sich Pionier- und Lichtbaumarten etablieren konnten.
- Bestandestyp 3: Flächen, welche schon vor dem Sturm durch Adlerfarn und Brombeere besiedelt waren (Verjüngungsblockade). Lückig, mit wenigen Bäumen, oft qualitativ schlechte Vorwüchse (Biotopbäume).

Aufgrund des liegenden Holzes, der Wurzelstöcke und dazugehörigen Löcher, der dichten Naturverjüngung (Typ 1) und der starken Verunkrautung durch Brombeere und Adlerfarn (Typ 2 und 3) war die Lotharfläche während längerer Zeit sehr unzugänglich. In den letzten Jahren hat sich die Begehbarkeit und Übersichtlichkeit markant verbessert. Und heute, ziemlich genau 21 Jahre nach dem Sturm, ist die Begehung wieder recht gut möglich. Trotzdem war es von Vorteil, die Aufnahmen im Winterzustand und nach dem herbstlichen Zusammenfallen der Adlerfarn-Fluren zu machen (Dezember 2020).

### **2.3 Lage und Standortbedingungen**

Die hier untersuchte Teilfläche von 4.1325 Hektaren Grösse liegt in einer Höhenlage von 420 bis 430 m über Meer und hat eine flache Lage. Es handelt sich grossflächig um die Pflanzengesellschaft 7aa, den typischen Waldmeister-Buchenwald, artenarme Ausprägung. Der Boden ist frisch und geringfügig saurer als der «mittlere» Standort 7a (typischer Waldmeister-Buchenwald). Somit befinden wir uns im Buchen-Optimum. Weil es nicht extrem sauer ist, sind die Bedingungen auch für Edellaubbäume wie Bergahorn oder Kirsche gut. Die waldbaulichen Möglichkeiten sind hier durchaus gross, allerdings (normalerweise) nur mit Pflegeeingriffen. Die Chance, dass sich z.B. Eiche, Douglasie, Föhre oder Lärche natürlich, d.h. ganz ohne Pflege durchsetzen können, sind hier eher gering. Auf noch saureren Standorten wie 7c (7\*) und zusätzlich leicht trockeneren Standorten wie 1 oder 6a wäre dies eher der Fall.

### **2.4 Aufnahmeverfahren**

Der Bestand wurde im GIS in 20m breite Streifen unterteilt. Diese wurden parallel zu den liegenden Stämmen gelegt (Ost-West-Richtung; Westwind-Sturm Lothar), so dass möglichst wenig Stämme überstiegen werden mussten. Mit einem Feldgerät und einem genauen GPS (mit Referenzsignal) wurden die virtuellen Streifen begangen und Zukunftsbaumarten aufgenommen und kluppiert. Gemessene Bäume wurden gebändelt, damit sie von weitem erkennbar waren. Dies erleichterte die Aufnahme des nachfolgenden Streifens.

### Baumarten:

- Folgende 8 Zukunftsbaumarten wurden aufgenommen: Eiche, Hagebuche, Kirsche, Waldföhre, Lärche, Douglasie, Weymouthsföhre, Thuja. Bei Lärche ist der Status Zukunftsbaumart unklar.
- Hagebuche wurde nur auf dem 1. Streifen aufgenommen, weil sich herausstellte, dass diese Baumart recht häufig war.
- Nicht aufgenommen wurden die Hauptbaumarten Buche, Fichte, Bergahorn. Diese sind häufig, insbesondere die Buche erreicht bereits sehr hohe Anteile. Es handelt sich auch nicht um Zukunftsbaumarten (bei Bergahorn ist die Situation unklar).
- Ebenfalls nicht aufgenommen wurden die Pionierbaumarten Birke, Aspe, Salweide und Vogelbeere. Vor allem die Birke ist verbreitet vorhanden und erreicht interessante Dimensionen und teilweise hohe Anteile (Typ 2; AMMANN 2020 und VOGEL 2021).
- Bäume, welche bereits vor dem Sturm vorhanden waren (ehemaliger Nebenbestand), wurden nicht aufgenommen. Im südwestlichen Teil der aufgenommenen Fläche entlang der Hauptstrasse gibt es einen fast reinen Hagebuchenbestand, welcher aber aus ehemaligem Nebenbestand hervorgegangen ist.
- Es wurden alle Bäume von Zukunftsbaumarten aufgenommen, unabhängig von ihrer Schaftqualität. Vor allem Douglasien und Föhren stehen auffällig oft auf Stöcken, oft auf sehr lückigen Flächen mit Adlerfarn-Fluren. Oft sind diese Bäume krumm bzw. säbelwüchsig. Für die Holzproduktion sind sie mässig geeignet, aber als Samenbäume schon. Es stellt sich die Frage, ob diese Bäume langfristig stabil und vital bleiben werden. Aus dem Gebirgswald sind erfolgreiche Verjüngungen auf Moderholz bekannt. Die so entstehenden Stelzenbäume sind dort durchaus langfristig stabil.

### Räumliche Verteilung

- Bestimmung der Baumpositionen mittels GPS
- Visuelle Darstellung und Verteilungsmuster

### BHD:

- Messung von 2 Durchmessern auf Brusthöhe, im rechten Winkel zueinander
- Mittelwert der beiden Messungen

### Pflegezustand / Eingriffsdringlichkeit:

- Die Pflegedringlichkeit wurde gutachtlich bewertet für 6 verschiedene Zeitpunkte (vor 10 Jahren, vor 5 Jahren, jetzt, in 10, 20 oder 50 Jahren)
- Es wurden nur Bäume aufgenommen, welche vor 10 Jahren noch förderungswürdig gewesen waren (gemäss heutiger Beurteilung). Zur Objektivierung der Auswahl wurde ein BHD von 10.0cm als Grenzwert verwendet.
- Die Baumartenansprüche (Baumart, Entwicklungsdynamik, Konkurrenzfähigkeit, Reaktionsfähigkeit) des betreffenden Baumes und seiner Umgebung (Abstände, räumliche Situation) wurden bei der Einschätzung mit einbezogen.

Zeitpunkt	Jahr	Umschreibung Eingriffsdringlichkeit
-10	2011	Baum hätte spätestens vor 10 Jahren erstmals gefördert werden müssen
-5	2016	Baum hätte vor 5 Jahren gefördert werden müssen
0	2021	Ein Ersteingriff jetzt ist erfolgversprechend, Baum ist entwicklungsfähig.
+10	2031	Es genügt, wenn der Baum in 10 Jahren erstmals freigestellt wird
+20	2041	Baum kann sich noch 20 Jahre behaupten und ist dann immer noch förderungswürdig
+50	2071	Baum wird auch in 50 Jahren noch herrschend sein bzw. einen dauernden Platz in der Oberschicht einnehmen

Tabelle 1: Klassierung der Eingriffsdringlichkeiten.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Anzahl und Verteilung der Zukunftsbäume

Es wurden total 126 Bäume erfasst. Häufigste Zukunftsbaumart war die Hagebuche, gefolgt von Eiche, und Kirsche. Es wurden zwar nur 13 Hagebuchen aufgenommen, allerdings auf viel kleinerer Fläche (nur 1 Streifen; 0.6167 ha von total 4.1325 ha).

Baumart	Anzahl Bäume	Mittlerer BHD (cm)	Anzahl pro Hektare
Hagebuche	13	16.2	21.1
Eiche	43	16.1	10.4
Kirsche	33	20.9	8.0
Douglasie	18	17.4	4.4
Föhre	10	19.9	2.4
Weymouthsföhre	4	23.5	1.0
Thuja	3	26.6	0.7
Lärche	2	31.8	0.5
<b>Alle</b>	<b>126</b>	<b>18.6</b>	<b>48.4</b>

Tabelle 2: Übersicht der gefundenen Zukunftsbäume.

Im Jahr 2011 (alle erfassten Bäume) wäre es somit möglich gewesen, mit entsprechender Pflege einen Bestand mit folgenden Hektarwerten zu erreichen: 21.1 Hagebuchen, 10.4 Eichen, 8.0 Kirschen, 4.4 Douglasien, 2.4 Föhren sowie ganz wenig Weymouthsföhre, Thuja und Douglasie. Bei konsequenter Pflege wäre es (theoretisch) möglich gewesen, knapp 50 Bäume von Zukunftsbaumarten pro Hektare zu bekommen.

Aufgrund der räumlichen Verteilung wären allerdings nicht alle Exemplare der Zukunftsbaumarten als Z-Bäume sinnvoll gewesen, weil die Abstände teilweise zu gering sind (vgl. Abb. 3). Auch wenn flexible Endabstände gemäss dem Prinzip «Vitalität vor Qualität vor Abstand» angewandt worden wären (AM-MANN 2014), sind Abstände von wenigen Metern zu klein. Dadurch fallen einige Bäume weg.

Andererseits wird die Anzahl Zukunftsbaumarten und -bäume erhöht durch Birken und Aspen. Weil speziell die Birken sehr häufig sind, wurde auf eine Aufnahme verzichtet. Auch Salweide und Vogelbeere sind vorhanden. Diese sind zwar wichtig für die Verjüngungsökologie und das Überleben von Lichtbaumarten, aber aufgrund ihrer Kurzlebigkeit und kleinen Statur sind sie nicht längerfristig Teil der Oberschicht.

Geht man davon aus, dass bei konsequenter Förderung ab 2011 rund 50 Z-Bäume von Zukunftsbaumarten pro Hektare in sinnvollen Abständen (inkl. Birke und Aspe!) möglich gewesen wären, kann von einem Anteil im Endbestand von rund 50% ausgegangen werden (die Hälfte von 100 Bäumen pro Hektare im Baumholz). Dies wäre eine sehr gute Ausgangslage für die Zukunft. Damit sind nicht nur viele Samenbäume vorhanden, sondern es werden auch Waldleistungen direkt abgedeckt, bzw. der Ausfall von Fichte und Buche könnte voraussichtlich durch einen solchen Bestand verkraftet werden, d.h. es wäre kein «Neustart» notwendig mit einer schlagartigen Verminderung der Waldleistungen.

**Es ist bemerkenswert, dass eine Anpassung in diesem Ausmass ausschliesslich durch Naturverjüngung und ohne Pflegeeingriffe in den ersten 11 Jahren möglich gewesen wäre.**

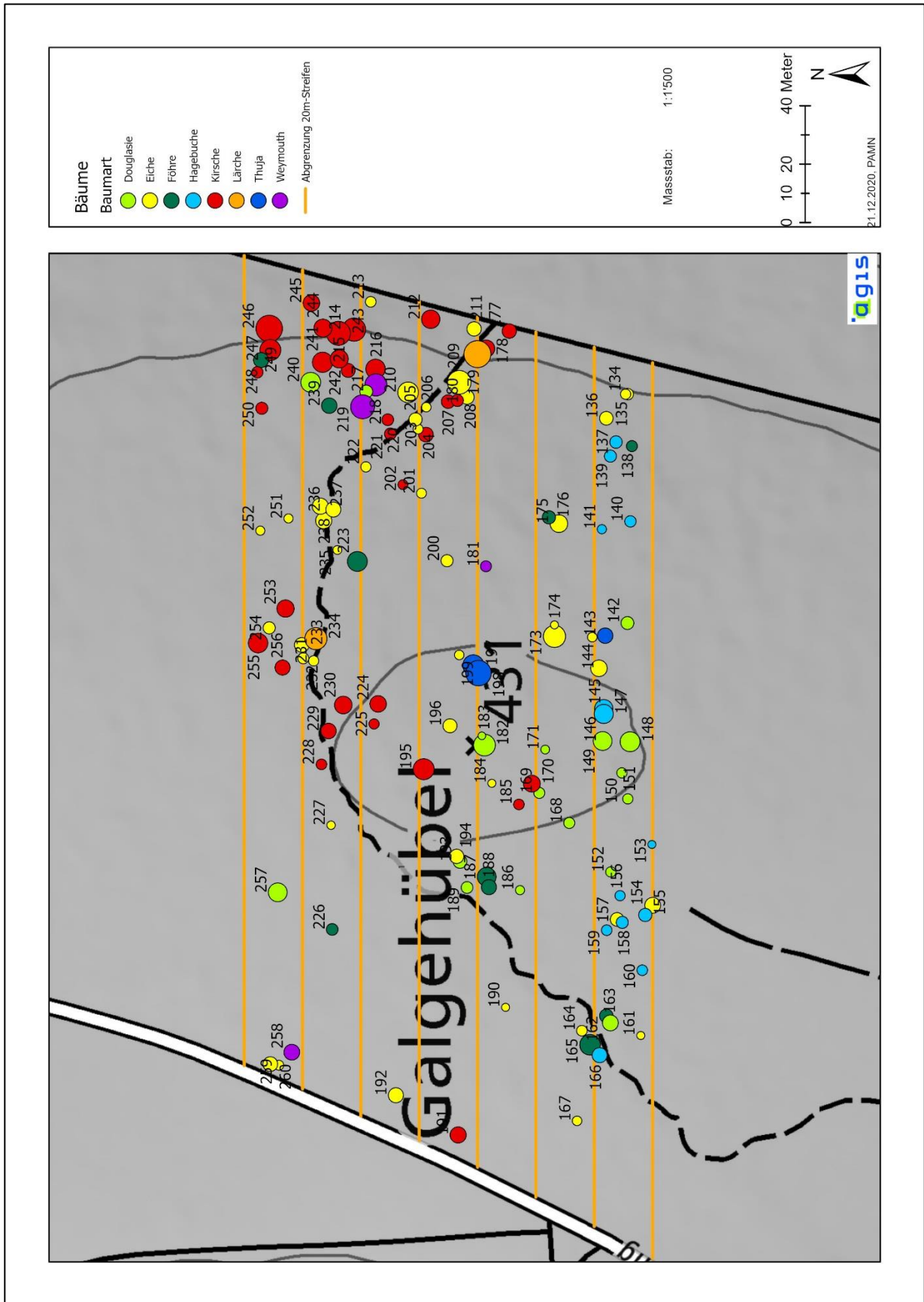


Abbildung 3: Untersuchungsperimeter mit 20m-Streifen und erfassten Zukunftsbäumen. Der BHD ist proportional dargestellt (um Faktor 25 vergrößert). Begrenzung westlich durch die Gemeindestrasse Windisch-Habsburg und östlich durch eine Waldstrasse. Quer durch die Sturmfläche führt der „Indianerpfad“. Hagebuche wurde nur im südlichsten Streifen erfasst.



### 3.2 Anzahl Zukunftsbäume nach Baumart und Eingriffszeitpunkt

Tabelle 3 zeigt die Anzahl und den mittleren BHD der Baumarten nach Pflegedringlichkeit. Bäume, welche vor 10 Jahren gerade noch förderungswürdig gewesen wären, sind heute meist recht dünn (mit-herrschend, beherrscht). Der Durchmesser der heute noch förderungswürdigen Bäume ist dicker, diese Bäume müssen mindestens herrschend sein. Bäume, welche sich langfristig selbständig behaupten könnten, sind nochmals deutlich dicker, denn dazu müssen sie klar vorherrschend sein.

Eingriff Jahr	-10 2011		-5 2016		0 2021		10 2031		20 2041		50 2071	
	n	BHD	n	BHD	n	BHD	n	BHD	n	BHD	n	BHD
Hagebuche			1	10.4	2	12.4	7	16.1	2	19.4	1	24.0
Eiche	16	12.1	10	15.0	10	18.2	4	22.3	2	25.8	1	28.5
Kirsche	18	18.3	12	23.5	3	26.7						
Douglasie	7	12.7	3	14.4	3	18.1	1	25.7	1	25.5	3	25.4
Föhre	4	17.0	2	17.4	1	19.5	2	24.9	1	26.6		
Weymouth	1	14.0					1	28.4	1	20.4	1	31.1
Thuja			1	19.8							2	30.0
Lärche							1	35.0			1	28.7
<b>Alle</b>	<b>46</b>	<b>15.1</b>	<b>29</b>	<b>18.6</b>	<b>19</b>	<b>19.0</b>	<b>16</b>	<b>21.0</b>	<b>7</b>	<b>23.2</b>	<b>9</b>	<b>27.6</b>

Tabelle 3: Anzahl Bäume und mittlerer BHD (cm) nach Eingriffszeitpunkt.

Unterschiede gibt es auch bezüglich Baumart: Bei der Schattenbaumart Hagebuche sind verhältnismässig dünne Bäume förderungswürdig aufgrund der guten Reaktionsfähigkeit. Bei ausgesprochenen Lichtbaumarten wie Kirsche und Lärche werden höhere soziale Stellungen und damit Durchmesser benötigt.

Die konkrete Konkurrenzsituation (benachbarte Baumarten, Abstände, Baumhöhen, Bestandeslücken) spielt eine grosse Rolle. Dies kann erläutert werden am Beispiel der beiden einzigen Lärchen: Eine Lärche mit BHD 35cm ist äusserst vital, aber direkt von herrschenden Buchen umgeben; Eingriffsbedarf spätestens in 20 Jahren. Die andere Lärche ist dünner (28.7cm), allerdings sind hier keine starken Buchen vorhanden; Eingriffsbedarf deshalb erst in 50 Jahren.

Gemäss Tab. 3 wären von den angesprochenen 126 Bäumen ohne Eingriffe in 50 Jahren noch 1 Hagebuche, 1 Eiche (!), 3 Douglasien, 1 Lärche, 2 Thujas sowie 1 Weymouthsföhre vorhanden. Kirschen und Föhren wären bis dann nicht mehr förderungswürdig.

Die erreichten maximalen Durchmesser nach 21 Jahren (und ohne Eingriffe!) sind bemerkenswert und Ausdruck der teilweise sehr hohen Vitalität. So gibt es eine Eiche mit 30.3cm, welche sich noch 20 Jahre lang selbständig behaupten könnte. Die einzige Eiche, welche sogar in 50 Jahren noch vorhanden wäre, ist zwar etwas dünner (28.5cm), aber sie hat keine konkurrenzstarken Nachbarn bzw. steht neben einer grossen Lücke mit genügend Abstand zu Buchen. Bei Kirsche beträgt der maximale Durchmesser sogar 34.3cm. Trotzdem wäre bei allen Kirschen ein Eingriff jetzt nötig oder bereits vor 5 oder 10 Jahren nötig gewesen.

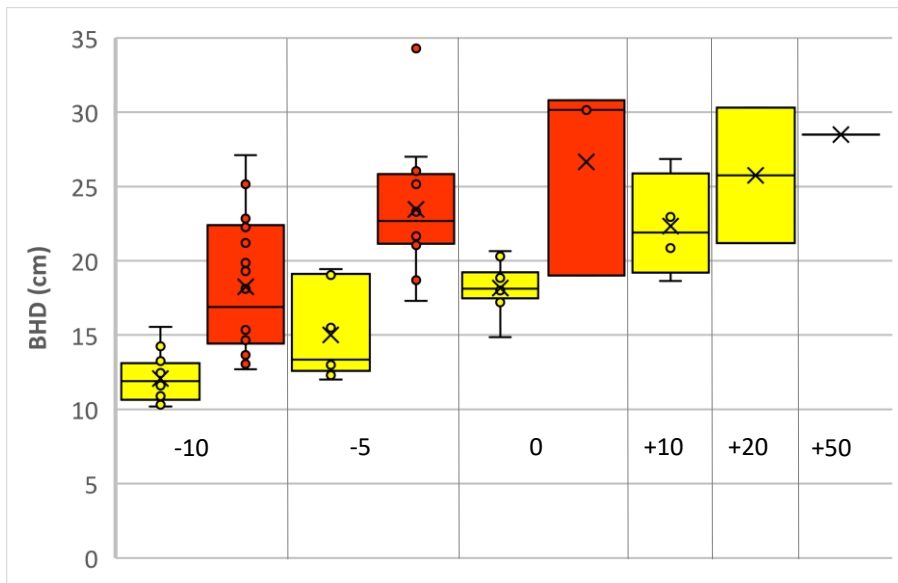


Abbildung 4: Durchmesser der Eichen (gelb, n=43) und Kirschen (rot, n=33) nach Eingriffsdringlichkeit.

Die Durchmesserverteilung der Eichen nach Eingriffsdringlichkeit (Abb. 4, gelbe Boxplots) zeigt schön den Zusammenhang des BHD (=Vitalität, soziale Stellung) zum natürlichen Durchsetzungsvermögen. Mit total 43 Eichen ist die Datenbasis leider gering; in den Klassen «+20» und «+50» sind nur zwei bzw. eine Eiche vorhanden. Die Eichen, welche heute gefördert werden müssten, sind zwischen 15 und 21cm dick, jene welche sich noch 20 Jahre behaupten können zwischen 21 und 30cm.

Im Vergleich zu den einigermaßen reaktionsfähigen Eichen wurden die reaktions- und konkurrenzschwachen Kirschen (rote Boxplots in Abb. 4) deutlich strenger beurteilt: Trotz höherer Durchmesser wäre für viele Bäume ein Eingriff bereits vor 10 oder 5 Jahren nötig gewesen. Keiner Kirsche wurde zugestanden, in 10 Jahren oder noch später immer noch förderungswürdig zu sein. Dabei wurden Kriterien der Holzproduktion angewandt: Viele der Kirschen hatten noch einen leichten Höhenvorsprung, waren aber von Buchen umgeben und Starkäste waren kurz vor dem Absterben. Solche Kirschen könnten zwar noch länger überleben (Samenbäume, Biotopbäume), aber die Durchmesserentwicklung wäre nicht optimal und die Gefahr von Fäule sehr gross.

### 3.3 Förderungswürdige Zukunftsbäume pro Hektare nach Baumart und Eingriffszeitpunkt

Eingriff	-10	-5	0	10	20	50
Jahr	2011	2016	2021	2031	2041	2071
Hagebuche	21.1	21.1	19.4	16.2	4.8	1.7
Eiche	10.4	6.5	4.1	1.7	0.7	0.2
Kirsche	8.0	3.6	0.7	0.0	0.0	0.0
Douglasie	4.4	2.7	1.9	1.2	1.0	0.7
Föhre	2.4	1.5	1.0	0.7	0.2	0.0
Weymouthsföhre	1.0	0.7	0.7	0.7	0.5	0.2
Thuja	0.7	0.7	0.5	0.5	0.5	0.5
Lärche	0.5	0.5	0.5	0.5	0.2	0.2
<b>Alle</b>	<b>48.4</b>	<b>37.3</b>	<b>28.8</b>	<b>21.5</b>	<b>8.0</b>	<b>3.6</b>

Tabelle 4: Anzahl pro Hektare förderungswürdiger Exemplare von Zukunftsbaumarten nach Eingriffszeitpunkt.

Tabelle 4 zeigt die aufsummierten Hektarwerte der förderungswürdigen Zukunftsbäume. Dies ergibt z.B. für Eiche folgende Aussage: Vor 10 Jahren wären noch 10.4 Eichen/ha förderungswürdig gewesen, vor 5 Jahre noch 6.5/ha. Heute werden noch 4.1 Eichen/ha als förderungswürdig beurteilt. In 10 Jahren werden es noch 1.7 sein, in 20 Jahren noch 0.7 und in 50 Jahren gibt es nur noch 0.2 Eichen pro Hektare. Dies zeigt die natürliche Durchsetzungskraft der Baumarten und lässt sich auch grafisch darstellen (Abb. 5):



Abbildung 5: Anzahl Zukunftsbäume pro Hektare, welche zu einem bestimmten Zeitpunkt noch förderungswürdig sind.

Vor allem die Anzahl förderungswürdige Kirschen nehmen sehr rasch ab. Obschon zu Beginn verhältnismässig zahlreich, sind bis in 10 Jahren keine (aus Sicht Holzproduktion) entwicklungsfähigen Exemplare mehr vorhanden. Eiche nimmt kontinuierlich ab, kann sich aber auf tiefem Niveau halten. Auch Douglasie nimmt ab, kann sich aber besser halten. Föhre geht bis in 50 Jahren vollständig verloren.

In Abb. 6 sind dieselben Daten logarithmisch dargestellt, damit die kleinen Werte besser sichtbar werden. Ebenfalls ist hier auch die Hagebuche integriert. Bemerkenswert sind die schattenertragenden und sehr vitalen Thujas, welche weitgehend erhalten bleiben und in 50 Jahren dritt wichtigste Zukunftsb Baumart sein würden. Auch Weymouthsföhre könnte sich einigermaßen halten. Weil nur sehr wenige Exemplare dieser Baumarten vorhanden sind, sind diese Aussagen mit grosser Vorsicht zu interpretieren. Dass von nur 2 vorhandenen Lärchen eine sogar noch in 50 Jahren förderungswürdig wäre, bedingt eine sehr spezielle Situation (Lücken, lokale Absenz der Buche). Selbstverständlich sind die hier gemachten Aussagen nicht allgemeingültig, sondern für das Fallbeispiel Habsburg zutreffend. Es spielt immer auch der Standort, die vorhandenen Samenbäume, die Verjüngungsökologie bzw. konkrete Situation eine Rolle. Trotzdem zeigen sich Tendenzen.

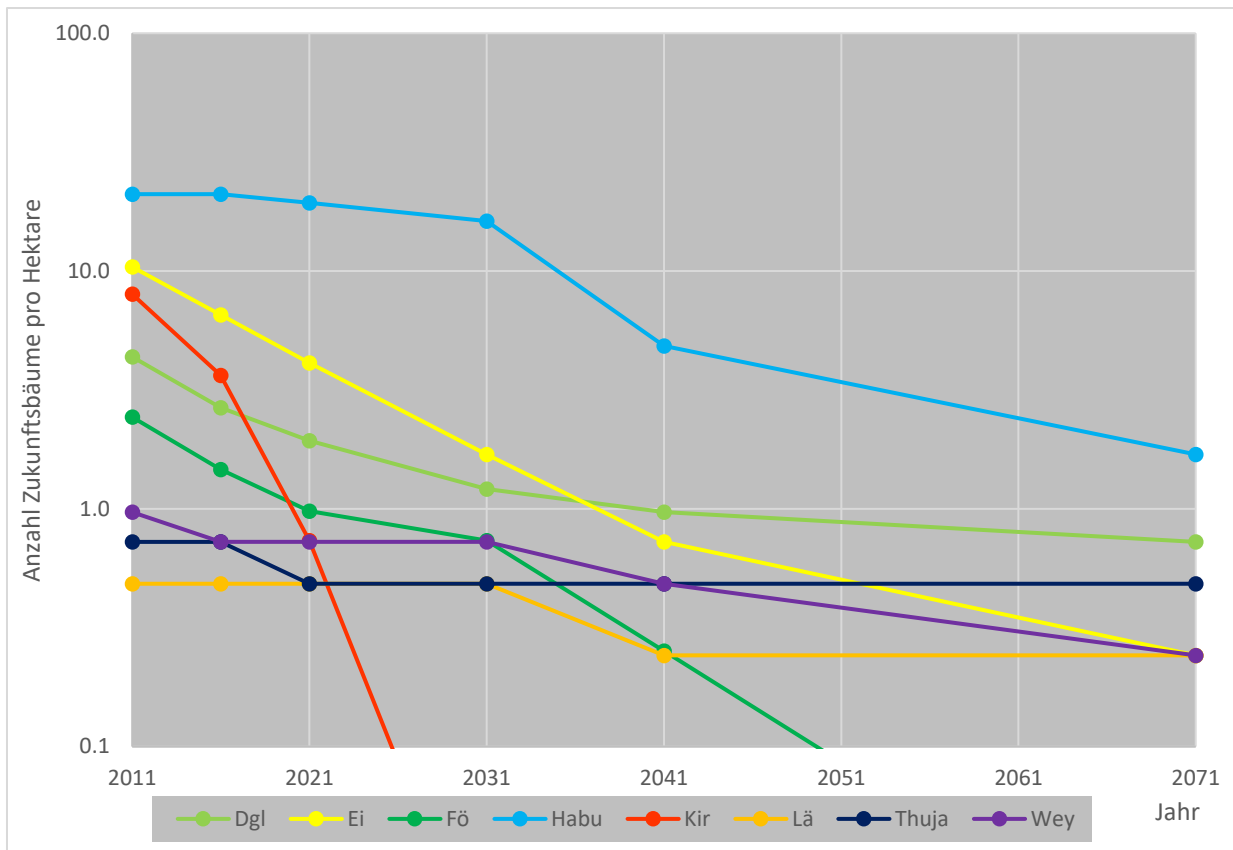


Abbildung 6: Logarithmische Darstellung der Anzahl Zukunftsbaume pro Hektare, welche zu einem bestimmten Zeitpunkt noch forderungswürdig sind.

Zu berücksichtigen ist auch bei diesen Auswertungen, dass aufgrund von geklumptem Vorkommen der Zukunftsbaumarten die effektive Anzahl etwas geringer ist. Dies ist aber vor allem für die frühen Eingriffszeitpunkte (Jahr) der Fall; je geringer die Anzahl vorkommender Bäume, desto geringer die Chance, dass 2 Bäume zu nahe beieinanderstehen.

### 3.4 Einfluss der Bestandesstruktur

Beim Begehen der Lothar-Sturmfläche Habsburg fällt immer wieder auf, dass die unterschiedlichen Bestandesstrukturen, charakterisiert durch die 3 Bestandestypen (Ammann 2020) eine Rolle spielen für das Vorkommen von Licht- und Zukunftsbaumarten. Die Bestandesstruktur ist dargestellt in Abb. 7: Die Vegetationshöhe aus LiDAR (Befliegung im April 2019) wurde zwischen 0 und 20m Bestandeshöhe in 2.5m-Klassen abgestuft. Lücken im Bestand (Vegetationshöhe unter 2.5m) sind schwarz dargestellt. Die Sturmfläche enthält immer noch relativ viele Lücken, welche aber kaum mehr breiter als 20m sind und zunehmend von der Seite her zugewachsen werden.

Die westlichen Partien entlang der Verbindungsstrasse hatten mehr Vorverjüngung; sie sind tendenziell dichter (mit Ausnahme eines Locher südlich der Eiche Nr. 190). Insbesondere eine Teilfläche zwischen den Bäumen 189, 190, 192 und 226 ist sehr dicht und homogen; dabei handelt es sich um ein Fichtenstangenholz, welches bereits vor Lothar verjüngt (und z.T. flächig gepflanzt) war. Mit dieser Ausgangslage einer Vorverjüngung bzw. Pflanzung von Schattenbaumarten finden sich nur wenig oder gar keine Zukunftsbaumarten. Es scheint, dass speziell Eiche und Douglasie, aber auch Föhre und Lärche von den lückigen Strukturen profitieren.

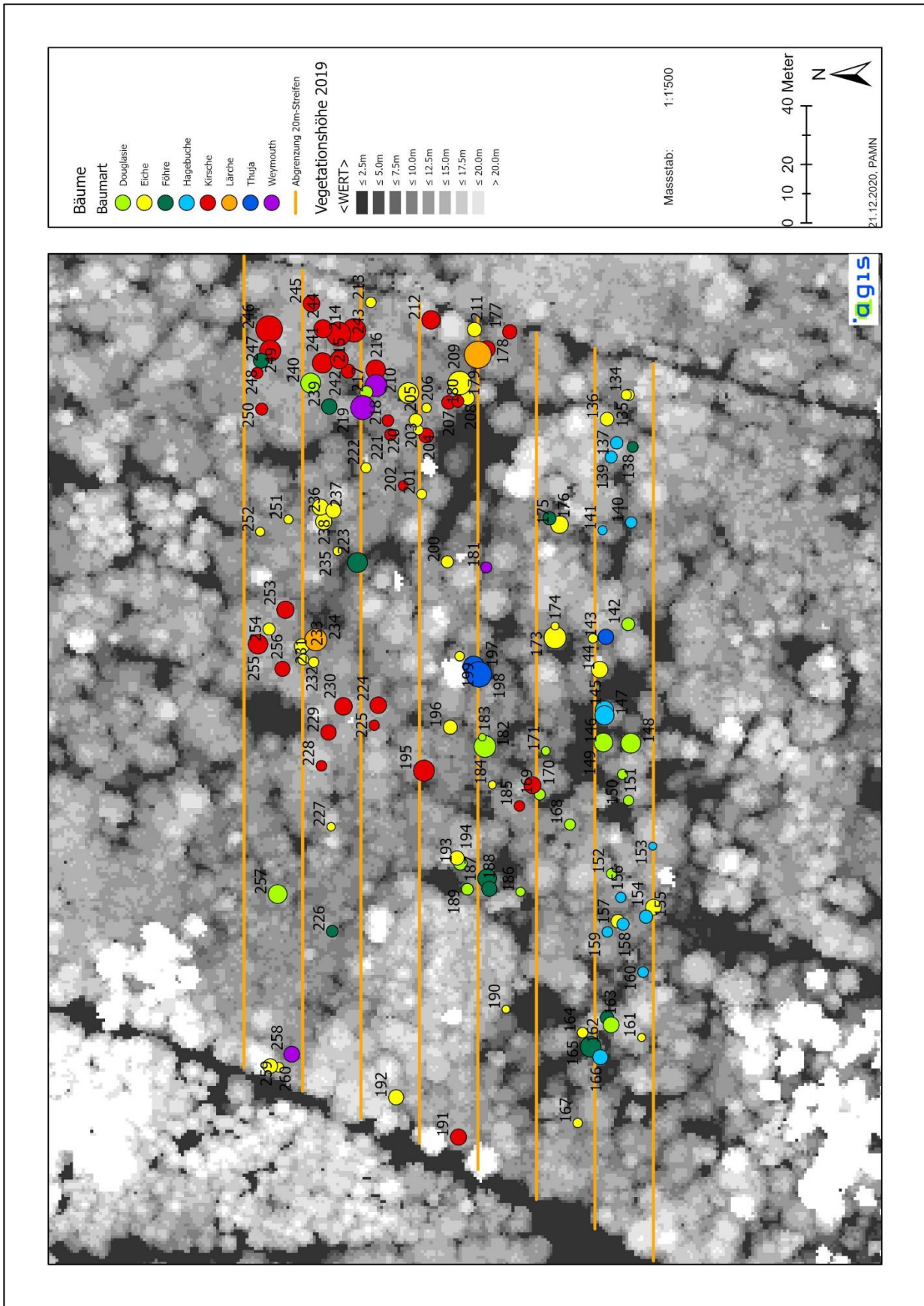


Abbildung 7: Exemplare von Zukunftsbaumarten und Bestandesstruktur (Vegetationshöhe, Stand April 2019).



VOGEL (2021, in Vorbereitung) hat auf der Sturmfläche Habsburg je 5 Stichproben pro Bestandestyp mit Vollerhebung aller vorkommenden Bäume aufgenommen. Die Stichproben haben einen Radius von 10m, was eine Fläche von 314.15m<sup>2</sup> ergibt. Somit wurden pro Bestandestyp 15.71 Aren und total 47.12 Aren aufgenommen. Eine Übersicht ergibt Tab. 5:

Bestandestyp	Stammzahlen				Grundflächen			
	N/ha	Bu %	Ei %	WLh %	G (m <sup>2</sup> /ha)	Bu %	Ei %	WLh %
1	3151	87.9	0.0	0.0	28.04	78.5	0.0	0.0
1	3629	81.6	0.0	1.8	36.63	74.4	0.0	5.0
1	3374	77.4	0.0	0.9	28.20	79.4	0.0	0.4
1	3183	89.0	1.0	2.0	32.05	83.1	2.4	3.8
1	5157	88.3	1.9	2.5	38.77	76.7	2.7	5.5
<b>Mittelwert Typ 1</b>	<b>3699</b>	<b>85.0</b>	<b>0.7</b>	<b>1.5</b>	<b>32.74</b>	<b>78.2</b>	<b>1.1</b>	<b>3.2</b>
2	2515	30.4	7.6	24.1	29.11	13.3	2.4	63.4
2	2865	26.7	0.0	44.4	22.25	13.1	0.0	39.1
2	2196	15.9	1.4	34.8	29.73	20.6	0.6	53.3
2	2292	27.8	0.0	54.2	35.89	13.0	0.0	73.8
2	2833	12.4	0.0	68.5	21.18	3.5	0.0	72.9
<b>Mittelwert Typ 2</b>	<b>2540</b>	<b>22.6</b>	<b>1.8</b>	<b>45.9</b>	<b>27.63</b>	<b>13.3</b>	<b>0.6</b>	<b>61.5</b>
3	764	8.3	4.2	50.0	17.46	25.1	1.3	52.8
3	1560	20.4	0.0	32.7	28.61	10.7	0.0	56.3
3	732	34.8	0.0	0.0	18.47	51.2	0.0	0.0
3	668	81.0	0.0	19.0	21.89	83.9	0.0	16.1
3	318	0.0	0.0	40.0	11.17	0.0	0.0	59.7
<b>Mittelwert Typ 3</b>	<b>809</b>	<b>29.1</b>	<b>0.8</b>	<b>29.1</b>	<b>19.52</b>	<b>36.1</b>	<b>0.2</b>	<b>36.4</b>
<b>Mittelwert Alle</b>	<b>2349</b>	<b>56.1</b>	<b>1.1</b>	<b>20.7</b>	<b>26.63</b>	<b>45.5</b>	<b>0.7</b>	<b>31.5</b>

Tabelle 5: Stammzahl und Grundfläche sowie die entsprechenden Buchen-, Eichen, und Weichlaubholz-Anteile für je 5 Stichprobenflächen der 3 Bestandestypen der Wiederbewaldung von Sturmflächen. WLH=Weichlaubhölzer.

Bestandestyp 1 (dichte Naturverjüngung mit Schattenbaumarten, meist nach vorhandener Vorverjüngung) zeichnet sich aus durch hohe Stammzahlen, einen sehr geringen Anteil Weichlaubhölzer, und hohe Grundflächen und Buchenanteile. Buche hat in dieser Situation bereits knapp 80 Prozent der Grundfläche erobert.

Auf den Stichproben von Bestandestyp 2 (Partien ohne Vorverjüngung, auf denen sich Pionier- und Lichtbaumarten etablieren konnten) sind die Stammzahlen etwas geringer. Ein auffälliger Unterschied ist der geringe Buchenanteil mit durchschnittlich nur 13 Prozent der Grundfläche. Dominierend sind hier nach wie vor die Pionierbaumarten mit einer Grundfläche von 62 Prozent.

Bestandestyp 3 schliesslich (Flächen, welche schon vor dem Sturm durch Adlerfarn und Brombeere besiedelt waren; Verjüngungsblockade) hatten deutlich tiefere Stammzahlen (809/ha). Auch die Grundflächen waren tiefer, aufgrund des demzufolge deutlich höheren Mittelstamms wären aber solche Wälder für eine rasche Energieholznutzung von Interesse. Anteil Buche und Weichlaubhölzer können sehr stark variieren; es gibt eine buchenfreie Stichprobe, aber auch eine ohne Weichlaubhölzer.

Der Schluss liegt nahe, dass sich die strukturellen Unterschiede mittel- bis langfristig auf das Vorhandensein bzw. die Überlebenswahrscheinlichkeit von Licht- und Zukunftsbaumarten auswirken bzw. bereits ausgewirkt haben. Die schwächere Präsenz der Buche in Typ 2 und meist auch Typ 3 bzw. die tieferen Stammzahlen in Typ 3 wirken sich vorteilhaft aus. Leider konnte dies mit den Daten von VOGEL für die Eiche nicht nachgewiesen werden aufgrund der geringen Eichenanteile. VOGEL hat auf den

47.12 Aren 12 Eichen gefunden, davon haben nur 3 einen BHD von 10 cm oder mehr (d.h. sie wären in die vorliegende Untersuchung eingeflossen). Die restlichen Eichen sind dünner als 10cm (Kluppschwelle 4cm) und damit schon seit längerer Zeit nicht mehr reaktionsfähig.

### **3.5 Auswirkungen eines fehlenden Waldmanagements**

Gegenüber der natürlichen Anpassung bzw. Entwicklung hätte ein Waldmanagement, welches gezielt auf die Förderung von Zukunftsbaumarten ausgerichtet gewesen wäre, folgende Vorteile:

#### **Anteile bzw. Deckungsgrade der Zukunftsbaumarten**

Auf diesen Punkt wurde schon ausführlich eingegangen: Je früher der Eingriff, desto höher könnte der Anteil an Z-Bäumen der Zukunftsbaumarten sein. Mit einer früheren und konsequenten Förderung könnten auch die Kronen und damit die Deckungsgrade der Zukunftsbaumarten bereits etwas höher sein, speziell bei denjenigen Bäumen, welche stark unter Druck sind und mit Eingriffen ab 2011 noch hätten gefördert werden können.

#### **Samenbäume**

Die vitalsten Eichen fruktifizieren bereits jetzt, d.h. im Alter von 21 Jahren. Die Anzahl Eichen wird aber ohne Eingriffe abnehmen, die Kronen der meisten Bäume werden eher klein bleiben. Für die genetische Diversität, Menge und Qualität der Samen wären möglichst viele, vitale und grosskronige Eichen von Vorteil. Dies gilt speziell für die schwersamige Eiche. Bei Pionierbaumarten mit leichten Samen, z.B. Birke oder Salweide, genügen auch bereits wenige Exemplare. Aber auch hier sind vitale und grosskronige Exemplare vorteilhaft.

Aktuell werden in den jungen Beständen der Sturmfläche Habsburg keine Samen benötigt. Von Samenbäumen können aber benachbarte Bestände profitieren. Sobald Fichten- oder Buchengruppen abzustarben beginnen, werden die Samenbäume auch auf der Untersuchungsfläche wieder relevant.

#### **Stabilität**

Bei einem plötzlichen Ausfall der Fichte und Buche (wie nach dem Trockenjahr 2018 andernorts beobachtet) hätten stark bedrängte, eher schlanke Eichen möglicherweise Probleme mit der Stabilität. Auch Klebastbildung ist nachteilig aus Sicht Qualität. Falls durch ein Management die Kronen genügend früh und kontinuierlich vergrössert werden können, sowie bei möglichst hohen Anteilen von Zukunftsbaumarten, sind die Risiken deutlich geringer.

#### **Qualität**

Ohne Eingriffe überleben nur die Vitalsten. Diese sind aber oft grobastig. Eine optimale Entwicklung geschieht zweiphasig durch Qualifizieren (Nachbarn, meist Buchen, sind willkommen solange der Zielbaum vital und herrschend bleiben kann) und danach Dimensionieren (wiederholte Förderung, nachdem die astfreie Schaftlänge erreicht ist). Zu Beginn wird genügend Dichte benötigt, danach nicht mehr bzw. es braucht umgekehrt viel Platz. Dies ist speziell in Kombination mit Buche schwierig, da diese permanent konkurrenzstark ist und grosse Endhöhen erreicht.

Anders ausgedrückt gibt es ohne Eingriffe zwei Möglichkeiten: Entweder bleibt ein Baum vital, ist aber tendenziell grobastig (Abb. 8), oder er genießt eine gute Erziehung, fällt aber danach der Konkurrenzstärke seiner Nachbarn (meist Buchen) zum Opfer. Dieses Dilemma ist umso stärker, als es sich bei vielen Zukunftsbaumarten um konkurrenzschwache Lichtbaumarten handelt. Bei Baumarten mit künstlicher Qualifizierung könnte dieses Dilemma gelöst werden durch Wertastung (Koniferen, Kirsche). Bei

Eiche ist die natürliche Qualifizierung auch bei Grobastigkeit immer noch sehr gut, und aufgrund der hohen Zieldurchmesser spielt der etwas dickere asthaltige Kern keine so grosse Rolle, oftmals bilden Eichen trotzdem eine schöne Achse aus, und es braucht einfach etwas mehr Geduld (Abb. 8).



Im Fallbeispiel Habsburg spielt die Qualität aufgrund des Nutzungsverzichts absolut keine Rolle. Bei bewirtschafteten Flächen kann aber die Qualität oder auch die Baumart selber zum Risikofaktor werden. Aus Sicht Klimawandel extrem wichtige Baumarten und Bäume laufen Gefahr, aufgrund schlechter Qualität oder vermeintlich «minderwertiger» Baumart entfernt oder zumindest nicht gefördert zu werden.

Natürliche Situationen mit guter Qualitätsentwicklung sind denkbar in Kombination mit Haselnuss (höhenlimitiert), Salweide (höhen- und alterslimitiert), ev. Hagebuche (geringere Endhöhe) sowie mit Birke (lichtdurchlässig, deshalb allerdings auch schlechterer Qualifizierer).

*Abbildung 8: Sehr vitale, aber grobastige Eiche in einer lückigen Partie (Typ 3) der Sturmfläche Habsburg.*

Bisher basieren unsere waldbaulichen Überlegungen im Schweizer Mittelland auf dem bekannten Konkurrenz-Gefüge der submontanen Stufe mit der Übermacht der Buche. Einen wesentlichen Einfluss auf die (unbehandelte) Entwicklung hat aber der Klimawandel selber und die entsprechenden Folgen. Wird die Buche langsam konkurrenzschwächer, oder führen Extremereignisse zu einem plötzlichen Ausfall von Buchen? Sind dabei alle Buchen betroffen, oder nur einzelne Bäume? Wie verhält sich die Konkurrenzkraft von jungen Buchen, diejenige von älteren Buchen (Lothar-Überlebende, Biotopbäume wie in Abb. 8)?

Ein graduelles oder auch stufenweises Nachlassen der Konkurrenzkraft der Buche bzw. eine Verschiebung der Konkurrenz-(Un-)Gleichgewichte würde die Chancen von Zukunftsbaumarten natürlicherweise erhöhen. Gemäss bisherigen Erfahrungen (Ajoie) können viele Buchen betroffen sein, aber nicht alle eines Bestandes. Teilweise sterben ganze Bäume, oft bleiben aber untere Kronenteile noch am Leben. Und es waren bisher vor allem ältere Bäume betroffen. Die weitere Entwicklung bleibt abzuwarten.

### **Positive Effekte**

Bestandeslücken (Brombeere, Adlerfarn) sind Voraussetzung für den langfristigen Erhalt der Zukunftsbaumarten ohne Eingriff. D.h. das fehlende Management hatte diesbezüglich auch Vorteile. Anders gesagt: Ein Auspflanzen von Lücken bzw. eine intensive Jungwuchspflege zur Erhöhung der Stammzah-

len würde den Bestand homogenisieren, die Konkurrenz erhöhen und dadurch die Chancen der Zukunftsbaumarten mindern. Ausser man würde bewusst Eichen etc. pflanzen – aber dann wäre auch der Aufwand sehr viel höher.

#### **4 Schlussfolgerungen**

Die natürliche Erneuerungskraft, Baumartenvielfalt und das Vorhandensein von Zukunftsbaumarten im jungen Lothar-Bestand Habsburg sind erstaunlich und beeindruckend, vor allem wenn man den sehr wüchsigen Standort und das vollständige Unterlassen von Massnahmen wie Pflanzung, Wildschutz und Jungwaldpflege berücksichtigt. Ein wesentlicher Erfolgsfaktor ist sicherlich die Lothar-Verjüngungsökologie (nicht zu viel Vorverjüngung, kurzer Verjüngungszeitraum, viel Licht).

Die tendenzielle Abnahme von vitalen und förderungswürdigen Exemplaren der Zukunftsbaumarten ist eindeutig und verläuft (bisher) stetig, aber auch mit baumartenspezifischen Unterschieden. Sie wird - falls die Buche stark und präsent bleibt- auch noch weitergehen. Trotzdem können sich unter den vorliegenden Verhältnissen auch ohne Management einzelne Exemplare bis ins starke Baumholz halten – diese wären dann besonders wertvoll als Samenbäume.

Aus Sicht Praxis ist die Sturmfläche Habsburg als eine Fläche der «verpassten Chancen» zu bezeichnen - man hätte mit sehr wenig Aufwand viel erreichen können bzw. könnte es immer noch. Dabei geht es nicht um Pflanzungen oder frühe Pflegeeingriffe, sondern auch mit einem Ersteingriff ab einem Alter von 10 bis 20 Jahren wäre viel möglich (gewesen). Einmal mehr bestätigt sich, dass eine gewisse Zeit der Selbstdifferenzierung auch für Lichtbaumarten vorteilhaft und kostensparend ist, falls die Ansprüche nicht zu hoch sind bzw. eine gewisse Naturopportunität besteht. Mit weniger, dafür umso vitaleren Exemplaren von Zukunftsbaumarten lässt sich der Aufwand mehrfach minimieren (späterer Eingriff, bessere Übersichtlichkeit, weniger Aufwand pro Z-Baum, geringeres Risiko). Selbst mit einem Eingriff zum jetzigen Zeitpunkt (Alter 21) wäre noch einiges möglich.

Aus Sicht der Forschung ist es auf jeden Fall richtig, wichtig und sehr interessant, dass die Sturmfläche Habsburg bis 2063 unbehandelt bleiben wird.

Die für diese Studie zur Verfügung stehenden Ressourcen waren limitiert. Für eine Erweiterung wären folgende Punkte von Interesse:

- Erweiterung der Fläche (ca. 12 ha am Stück unter ähnlichen Bedingungen wäre möglich) zur Verbesserung der Datengrundlagen
- Auf einzelnen Streifen nochmals Hagebuchen aufnehmen
- Sowie auf einzelnen Streifen Birken und ev. Aspen aufnehmen
- Weitere Zukunftsbaumarten (falls vorhanden) aufnehmen, z.B. Winterlinde, Spitzahorn, Feldahorn...?
- Vertiefung der GIS-Analyse (Berücksichtigung der Abstände, Darstellung Eingriffszeitpunkt, Bestandesstruktur)

Mit der vorliegenden Arbeit gibt es erstmals eine flächige Erfassung von Zukunftsbaumarten mit quantitativen Aussagen auf der Sturmfläche Habsburg. Damit bietet sich die weitere Beobachtung (Wiederholungsaufnahme) an.

## 5 Dank

Folgenden Personen und Institutionen sei für ihre Unterstützung bestens gedankt:

- Röbi Häfner als ehemaliger Staatswaldleiter Kanton Aargau für die Idee und den damaligen Entscheid, die Sturmfläche Habsburg als Forschungsfläche auszuscheiden.
- Paul Brogli (pensionierter Förster), Heinz Gehrig (pensionierter Forstwart) und Peter Schenkel (aktueller Förster) für Auskünfte zur Geschichte der Sturmfläche Habsburg.
- Andreas Freuler für die Unterstützung in GIS-Fragen.
- Elias Vogel für die Rohdaten seiner Bachelorarbeit.
- Last but not least dem Bundesamt für Umwelt (BAFU), namentlich Christian Küchli, Christoph Dürr und Pierre Alfter, für die Finanzierung dieser Arbeit.

## 6 Literatur

Ammann, P., 2020: Wachstumspotential der Birke im Schweizer Mittelland. [www.waldbau-sylviculture.ch](http://www.waldbau-sylviculture.ch)

Ammann, P., 2020: Waldbau auf Schadflächen – ökonomisch und ökologisch interessante Alternativen. Zürcher Wald 2/2020: 4-8.

Ammann P. 2014: Jungwaldpflege / Biologische Rationalisierung. Checkkarte. [http://waldbau-sylviculture.ch/publica/2014\\_FWB\\_Checkkarte\\_BR\\_d.pdf](http://waldbau-sylviculture.ch/publica/2014_FWB_Checkkarte_BR_d.pdf)

Brang, P., Küchli, C., Schwitter, R., Bugmann, H., und Ammann, P., 2016: Waldbauliche Strategien im Klimawandel. In: Pluess et al, 2016: Wald im Klimawandel. Grundlagen für Adaptationsstrategien. BAFU, WSL. Haupt Verlag.

Näf, Ph., 2014: Natürliche Wiederbewaldung nach grossflächigem Windwurfereignis

Vogel, E., 2021: Wachstum und Waldleistung von Pionierbaumarten auf Sturmflächen. Bachelorarbeit ETHZ, in Vorbereitung.

Wohlgemuth, T., & Kramer, K. 2015: Waldverjüngung und Totholz in Sturmflächen 10 Jahre nach Lothar und 20 Jahre nach Vivian. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 166(3), 135-146.