

Dienststelle für Wald und
Natur
November 2022

Studie zur Ermittlung der für
den Klimawandel
anfälligsten Bestände



STAT DE Fribourg
Direktion für Institutionen, Landwirtschaft und Forsten
STAAT FREIBURG
Direktion der Institutionen und der Land- und
Forstwirtschaft ILFD

Identifizierung der die am stärksten vom Klimawandel bedroht sind

1. Hintergrund und Ziele der Studie

In seinem [Aktionsplan zur Anpassung des Freiburger Waldes an den Klimawandel](#)¹ hat das SFN zehn dringende Massnahmen entwickelt, um die Leistungen des Waldes zu sichern. Eine dieser 10 dringenden Massnahmen besteht darin, gefährdete Bestände zu identifizieren und zu bestimmen, welche Massnahmen sie stabiler, widerstandsfähiger und resilienter machen. Diese wichtigen Arbeiten werden durch den kantonalen Klimaplan⁽²⁾ mit seiner Massnahme S 5.9 «Umwandlung ungeeigneter Bestände» finanziell unterstützt.

Die vorgeschlagene Studie wird als Hilfe für die Umsetzung der Massnahme S 5.9 des kantonalen Klimaplanes dienen. Die Sektion Wald und Naturgefahren des SFN befasst sich darin mit drei für den Freiburger Wald entscheidenden Fragen:

- Wie lassen sich die vom Klimawandel am stärksten betroffenen Waldgebiete identifizieren?
- Wie gross ist das Ausmass des Phänomens im Kanton?
- Wo sind Massnahmen vorrangig erforderlich?

Die Antworten auf diese Fragen liefern entscheidende Informationen für die Subventionsregelungen der nächsten Programmvereinbarung (2025–2028) und für die Ausarbeitung neuer forstwirtschaftlicher Empfehlungen. Für 2023 sieht der kantonale Klimaplan (PCC) Mittel für Massnahmen in gefährdeten Beständen vor. **Mit den Mitteln für die Massnahme S5.9 des KLP (150'000 CHF) können acht forstwirtschaftliche Pilotmassnahmen durchgeführt werden, zwei pro Forstkreis. Die Massnahmen werden dokumentiert und überwacht, um ihren Erfolg zu bewerten und ihre künftige Wiederholung in allen gefährdeten Beständen zu begleiten.** Ziel der Massnahmen ist es, die Widerstandsfähigkeit der empfindlichsten Bestände gegenüber Störungen zu erhöhen, ihr Resilienzpotezial und ihre Anpassungsfähigkeit zu steigern, um die Leistungen des Waldes für die Freiburger Bevölkerung zu gewährleisten.

2. Inwiefern kann es für uns nützlich sein, gefährdete Bestände zu identifizieren?

Als Ökosystem bildet der Wald einen Lebensraum, der gegenüber einer Vielzahl von Phänomenen und Organismen anfällig ist. Je nach seiner Anpassung an die Umgebungsbedingungen weist der Wald eine mehr oder weniger ausgeprägte Anfälligkeit auf.

Der Grad der Anfälligkeit unserer Wälder gegenüber den durch den Klimawandel verursachten Phänomenen ist eine wichtige Information für die Ausarbeitung der Fördermassnahmen für die nächste CP (2025-2028).

—

¹ Die Wälder sind durch den Klimawandel Belastungen ausgesetzt, die ihre für die Gesellschaft wesentlichen Funktionen gefährden. Der Staatsrat hat im April 2023 den Aktionsplan des SFN verabschiedet, der den Empfehlungen der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) folgt. Die fünf Leitprinzipien der WSL (Anhang 1) sind in zwölf strategische Ziele unterteilt. Diese Studie steht im Einklang mit den strategischen Zielen, die die Erhöhung der Baumartenvielfalt und die Erhöhung der strukturellen Vielfalt betreffen.

² Die Massnahme S 5.9 des kantonalen Klimaplanes sieht vor, *nicht standortgerechte Bestände umzuwandeln, um den Fortbestand der Freiburger Wälder angesichts des Klimawandels zu sichern*. Sie ist Teil des Massnahmenpakets des kantonalen Klimaplanes, das von den Abteilungen Natur und Landschaft sowie Wald und Naturgefahren des Amtes für Wald und Natur umgesetzt wird.

Es kann als Planungsgrundlage für die Waldbewirtschaftung dienen. Sobald dieser Grad der Anfälligkeit bekannt ist, lassen sich die Gesamtfläche und das Gesamtvolumen der potenziell betroffenen Gebiete ermitteln, der Umfang der für die Durchführung der forstwirtschaftlichen Maßnahmen erforderlichen Mittel abschätzen und **die Maßnahmen nach ihrer Priorität (öffentliches Interesse) ausrichten, um die Kontinuität der Waldfunktionen** (Biodiversität, Produktion, Schutz, Erholung) **zu gewährleisten**, wenn diese am stärksten bedroht sind.

3. Wie wirkt sich der Klimawandel auf unsere Wälder aus?

Der Klimawandel wirkt sich durch chronische Effekte (Anstieg der Durchschnittstemperaturen), aber auch durch Extremereignisse, deren Häufigkeit und Schwere zunehmen, auf das Gebiet aus. Die Vegetation ist klimatischen Unwägbarkeiten wie Stürmen, Dürren und Hitzewellen ausgesetzt. Dies sind die direkten, abiotischen Auswirkungen des Klimawandels auf die Wälder.

Auch Schädlinge und Infektionskrankheiten sind vom Klimawandel betroffen, insbesondere hinsichtlich ihres Vorkommens, ihrer Höhenlage und ihrer Fortpflanzung, wie beispielsweise der Borkenkäfer, der nun mehrere Fortpflanzungszyklen pro Jahr durchlaufen kann. Bäume, die durch Störungen geschwächt oder verletzt sind, sind noch anfälliger für Angriffe durch Krankheitserreger und Schädlinge wie den Borkenkäfer. Dies sind die indirekten, biotischen Auswirkungen des Klimawandels auf die Wälder.

Jeder Bestand ist anfällig für den Klimawandel und dessen direkte und indirekte Auswirkungen. Um unsere Bemühungen zu priorisieren und zu konzentrieren, sind jedoch Angaben zu ihrer Anfälligkeit für diese Störungen wünschenswert. Für jede Art oder Artengruppe gibt es einen optimalen ökologischen Kontext. Befindet sich eine Art in einem ökologischen Kontext, der nicht optimal ist, entwickelt sie sich weniger gut, unterliegt der Konkurrenz durch andere Arten und ist anfälliger für Krankheiten. Die Übereinstimmung der Arten mit einem günstigen ökologischen Kontext oder ihrem optimalen Standort ist ein guter Indikator für ihre Vitalität. **Unser Ansatz besteht daher darin, die Eignung der Populationen für ihren ökologischen Kontext im zukünftigen Klima zu charakterisieren.**

4. Wie lässt sich der Grad der Anfälligkeit in Abhängigkeit von Störungen bestimmen?

Um die anfälligsten Bestände zu identifizieren, haben wir zunächst die relevanten Daten aus *Forestmap 2.0*³ mit den vom WSL entwickelten Modellen zur Abschätzung der Verschiebung der Verbreitungsgebiete von Baumarten und Vegetationsstufen gekoppelt. Die so gewonnenen Daten sagen die ökologischen Rahmenbedingungen der Standorte in der Zukunft voraus und damit, ob eine Art für den Standort geeignet sein wird oder nicht.

Eine Diagnose der Anfälligkeit der Bestände ist dann auf der Grundlage der Daten von *Forestmap 2.0* und der Klimaprognosen des von der WSL entwickelten *Portree-Modells*⁴ möglich. Die Identifizierung der anfälligsten Bestände ermöglicht es, proaktive Maßnahmen dort zu ergreifen, wo Eingriffe vorrangig sind.

Zukünftige Eignung für den Standort Die zukünftige Eignung von Baumarten und Standorten kann einen Hinweis auf die Widerstandsfähigkeit und der Resilienz der Bestände gegenüber Störungen geben. Die zukünftige Eignung kann abgeleitet werden, indem die aktuellen Merkmale der Bestände mit der Verschiebung der Standorte oder mit der Position ihres zukünftigen klimatischen Kontextes

³ Forestmap 2 ist das GIS-Tool des SFN. Es umfasst die Karte der Bestände mit ihrer Typologie und die Karte der Eingriffe. Forestmap 2 ist für Forstbeamte bestimmt, die im Rahmen ihrer Tätigkeit die Informationen über die Bestände aktualisieren. Durch Besichtigungen vor Ort im Rahmen dieser Arbeit konnte die sehr gute Zuverlässigkeit der verfügbaren Informationen bestätigt werden.

⁴ Portree ist ein vom Team Forest Resources and Management der WSL entwickeltes Modell. Es bietet pixelbasierte Informationen im Maßstab 1 km x 1 km für 29 Baumarten. Es ist geplant, neue Modelle und Baumarten zu integrieren. (Anhang 8)

5. Welchen Störungen sind unsere Wälder ausgesetzt?

Es werden zwei Arten von Störungen unterschieden:

Abiotische Störungen:

- Dürre
- Hitzewellen
- Brände
- Lawinen
- Wind, Stürme, Hagel
- Überschwemmungen

Biologische Störungen:

- Borkenkäfer (Fichten)
- Chalarose (Eschen)
- Graphiose (Ulmen)
- Andere Krankheiten und Schädlinge

Im Kanton verzeichnete Störungen in den Jahren 2021 und 2022:

Die Jahre 2021 und 2022 zeigen eine besorgniserregende Entwicklung. Zusätzlich zu den massiven Befällen durch Borkenkäfer und Eichensterben waren die Freiburger Wälder, wie die meisten Schweizer Wälder, mit mehreren Extremereignissen konfrontiert:

Hitzewellen



Posieux, 24. August 2021, Buchenbaumkrone mit Anzeichen von Hitzeschäden

Wind, Stürme, Hagel



Hageleinschläge unter der Rinde einer Fichte nach den Hagelstürmen vom 20., 21. Juni und 11. Juli 2021 im Javroz-Tal.

Brände



Crésuz, Waldbrand vom 9. April 2021

Lawinen



Jaun, Lawine vom 13. Dezember 2021

Überschwemmungen



Überschwemmung, Wald von Chablais, 27. Juli 2021

6. Welche Daten sollen verwendet werden?

Die Zusammensetzung der Bestände in Forestmap 2.0

Die Überwachung der Bestände und ihrer Zusammensetzung wird in Forestmap 2.0 referenziert. Die Zusammensetzung der Bestände beschränkt sich dort auf die Anteile der Hauptbaumarten mit der Angabe AF für andere Laubbäume und AR für andere Nadelbäume⁵ (Anhang 7). Im Kanton bedecken acht Hauptbaumarten fast die gesamten Waldflächen: Fichte, Lärche, Tanne, Waldkiefer, Buche, Eiche, Ahorn und Esche. Fichten und Buchen stellen aufgrund ihrer Dominanz und der Bedrohungen die größte Herausforderung dar. (Anhang 5)

Laut IFN4 macht die Fichte 7'529'000 m³ oder 46,3 % des Holzvolumens der Wälder des Kantons und 8'097'000 Stämme oder 44,4 % der Gesamtstammzahl aus (IFN4 2020 Tabellen Nr. 806389, 869268, 836312 und 836255). Sie ist mit Abstand die am häufigsten vorkommende Nadelbaumart und die wichtigste Baumart. Die Buche macht ihrerseits 3'472'000 m³ aus, was 21,9 % des Holzvolumens in den Wäldern des Kantons entspricht, und 3'745'000 Stämme, was 20,6 % der Gesamtstammzahl entspricht (IFN4 2020 Tabellen Nr. 806389, 869268, 836312 und 836255). Sie ist die wichtigste Laubbaumart und die zweitwichtigste Baumart nach der Fichte.

Karte der Waldstandorte des Kantons⁶

Die Karte der Waldstandorte gibt Auskunft über die aktuellen phytosoziologischen Gesellschaften in Abhängigkeit vom Boden und der aktuellen Vegetationsstufe. Sie zeigt pro Standort eine standortgerechte Zusammensetzung der Bestände.

Entwicklungsstadien

Sie stehen in direktem Zusammenhang mit der Wirksamkeit der durchzuführenden waldbaulichen Massnahmen. Die Entwicklungsstadien, in denen ein Eingreifen optimal ist, entsprechen den jungen (1 und 2) und alten (5 und 6) Stadien. Das gestufte Stadium ist ebenfalls wichtig, da es diese jungen und alten Stadien umfasst. (Anhang 2)

1	0-10 cm BHD	Jungbestand / Unterholz	5	41-50 cm BHD	Mittlerer Hochwald
2	11–20 cm DHP	Niedrige Stangen	6	>50 cm DHP	Alter Hochwald
3	21-30 cm DHP	Hohe Stangen	7	Stufiger Bestand	Gestuft
4	31–40 cm DHP	Junger Hochwald			

Die Portree-Prognosen

Die *Portree-Prognosen* für die künftigen geeigneten Lebensräume der Arten im Zeitraum 2051-2080 ermöglichen eine Einschätzung der künftigen Bedingungen, die für die Arten (hier Fichte und Buche) günstig oder ungünstig sind. Wir halten dies angesichts der Wachstumsdauer der Wälder und der von diesem Modell vorgeschlagenen Zeitskala für die am besten geeignete Klimaprognose. Es sei darauf hingewiesen, dass das Risiko eines Borkenkäferbefalls bei Fichten in potenziell günstigen Gebieten weiterhin besteht, auch wenn es mit zunehmender Höhe abnimmt.

⁵ Die sogenannten sekundären Baumarten spielen eine wichtige Rolle in der von den kantonalen und eidgenössischen Behörden geförderten adaptiven Waldbewirtschaftung. Die Erhöhung der Baumartenvielfalt ist dabei einer der drei strategischen Schwerpunkte. Verbesserungen von Forestmap 2.0, um diese Baumarten wie die Hauptbaumarten zu behandeln, werden spätestens für die nächste Programmvereinbarung unerlässlich sein. Die Attribute «andere Nadelbäume» und «andere Laubbäume» entsprechen nicht mehr den aktuellen Anforderungen. Die Traubeneiche und die Stieleiche (sowie die Flaumeiche!), die unter «Eichen» zusammengefasst sind, sowie der Spitzahorn, der Bergahorn und der Feldahorn, die unter «Ahorn» zusammengefasst sind, erfordern ebenfalls eine besondere Berücksichtigung im GIS.

⁶ Die Karte der phytosoziologischen Assoziationen des Kantons Freiburg wurde 1996 von ARGE Kaufmann+Partner / Burger + Stocker, Solothurn/Lenzburg; WSL, Forstl. Bodenkunde Birmensdorf veröffentlicht. Sie wurde in die Webanwendung Treeapp integriert, wobei die Freiburger Nomenklatur an die des NaIS angepasst wurde.

Die WSL hat dieses Modell auf der Grundlage der Daten der Schweizer Waldinventare sowie bestimmter Teile der Waldinventare der Nachbarländer entwickelt, um die Baumarten auf dem aktuellen Gebiet zu lokalisieren (Anhang 8). Für jede Baumart wurden die aktuellen Verbreitungsgebiete anhand der folgenden Parameter analysiert:

- Gradtage,
- saisonale Temperaturen,
- Niederschläge im Winter und Sommer,
- Sonneneinstrahlung,
- Topografie,
- Höhe,
- die Exposition,
- Entfernung zu Gewässern.

Diese Parameter wurden durch die Kombination von fünf Klimaszenarien modelliert. Das Ergebnis ermöglicht die Modellierung der zukünftigen Verbreitungsgebiete der Baumarten für den Zeitraum von 2050 bis 2080. Ausserhalb der modellierten zukünftigen Verbreitungsgebiete sind die Baumarten für das zukünftige Klima ungeeignet. Dies setzt auch voraus, dass die Arten in diesen potenziell günstigen Gebieten besser angepasst sein werden (Zimmermann *et al.*, 2014).

NDVI-Karten der WSL und der HAFL⁷

Die HAFL und die WSL haben jeweils eine Methode zur Analyse der Sentinel-2-Karten entwickelt. Diese Infrarot-Satellitenkarten ermöglichen es, den Wasserstress der Vegetation zu interpretieren, indem sie mit den gleichen Zeiträumen der Vorjahre verglichen werden.

Die HAFL veröffentlicht diese Karten auf der Website [Waldmonitoring](#) unter dem Tool «Karten zur Vitalität». Die Karten zeigen den Stress über wählbare Zweimonatsperioden im Vergleich zu den drei Vorjahren.

Dank unserer Zusammenarbeit mit dem Team von WSL Forest Resources and Management können wir die Gebiete visualisieren, die 2022 im Vergleich zu den letzten sechs Jahren potenziell unter Wasserstress leiden werden. Diese Informationen sind sehr nützlich, da sie es ermöglichen, Wasserstress im gesamten Kanton mit einer Auflösung von etwa 10 Metern zu lokalisieren. (Anhang 4) Ihr aktuelles Modell vergleicht den Zeitraum vom 20. Juli bis zum 20. August 2022 mit den gleichen Zeiträumen der letzten sechs Jahre.

Treeapp⁸

Die vorhandenen Daten können in ArcGis weder für Flächenberechnungen noch für deren Identifizierung genutzt werden. Die Anwendung wurde entwickelt, um punktuelle Antworten zu geben und nicht, um Flächen zu extrahieren. (Anhang 6)

Cockpit Klimawandel (C3)

Alle Geodaten (Punkte und Flächen) wurden in einem neuen GIS-Projekt ArcGisPro übereinandergelegt. So stehen auf einer einzigen Karte möglichst viele Informationen über Bestände, Portree, Stationen, Schutzwälder und geolokalisierte TreeApp zur Verfügung. Diese Karte ist für alle Förster zugänglich und erleichtert die Identifizierung potenziell gefährdeter Bestände. (siehe Anhang 3)

⁷ Sentinel-2-Karten werden zur Berechnung des NDVI verwendet, d. h. des mittels Infrarot beobachteten Wasserstresses. Die HAFL veröffentlicht diese Karten und gibt auf [ihrer Website](#) weitere Informationen zur Methode. Die WSL entwickelt ebenfalls eine vergleichbare Methode, die jedoch noch nicht veröffentlicht ist. Das SFN arbeitet jedoch mit dem WSL-Team zusammen, um die Daten abzurufen.

⁸ Die Webanwendung Treeapp der WSL und des BAFU gibt Empfehlungen zu Waldbaumarten je nach Standort und Klimaszenario; seit Dezember 2021 integriert sie die Standortkarte des Kantons. Die vorhandenen Daten sind jedoch nicht die in ArcGis zur Berechnung von Flächen genutzt werden können, noch zu deren Identifizierung. Die Anwendung wurde entwickelt, um punktuelle Antworten zu geben und nicht, um Flächen zu extrahieren.

7. Identifizierung der Flächen unserer gefährdeten Bestände

Wir können die Daten der Bestände mit den Parametern der WSL-Modelle abgleichen, um problematische Bestände zu identifizieren, d. h. Bestände mit einem überwiegender Buchenanteil in einem Gebiet, das laut Portree für die Buche in Zukunft ungünstig ist, sowie Bestände mit einem überwiegender Fichtenanteil in Gebieten, die für die Fichte in Zukunft ungünstig sind.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick nach Entwicklungsstadium und Bezirk. Es wurde ein Schwellenwert von 50 % gewählt, der jedoch je nach Situation nach unten oder oben angepasst werden kann.

Bezirk	Entwicklungsstadium	Waldfläche ha	Gefährdete Flächen ha					% gefährdet
			HE>50 % in Portree-Zone unzureichend	EP>50 % in Gebiet Portree unzureichend	EP+HE>50 % in Gebiet Portree unzureichend	Gesamt volumen		
1	SD1	679	145	45	35	225	33	%
	SD2	843	56	68	40	164	19	%
	SD3	429	31	79	38	147	34	%
	SD4	1'130	171	354	151	675	60	%
	SD5	1'876	797	121	350	1'268	68	%
	SD6	1'433	514	112	294	920	64	%
	SD7	577	106	3	40	149	26	%
	Gesamt arrdt 1	6'977	1'820	781	948	3'549	51	% der Wälder des Bezirks 1
2	SD1	1'226	70	45	86	201	16	%
	SD2	1'026	70	117	82	268	26	%
	SD3	524	20	95	39	154	29	%
	SD4	1'401	226	182	124	532	38	%
	SD5	2'760	627	315	319	1'262	46	%
	SD6	1'312	168	109	110	386	29	%
	SD7	1'682	44	27	24	94	6	%
	Gesamt arrdt 2	10'000	1'225	889	783	2'898	29	% der Wälder des Bezirks 2
3	SD1	1'968	6	22	18	46	2	%
	SD2	1'150	9	41	14	63	6	%
	SD3	701	3	77	8	88	13	%
	SD4	2'347	70	206	50	326	14	%
	SD5	5'535	206	269	201	676	12	%
	SD6	2'905	98	249	118	465	16	%
	SD7	2'161	6	51	25	82	4	%
	Gesamt arrdt 3	16'793	398	916	433	1'747	10	% der Wälder des Bezirks 3
4	SD1	1'102	70	51	136	257	23	%
	SD2	1'153	70	126	105	300	26	%
	SD3	513	16	147	26	189	37	%
	SD4	1'827	159	520	96	775	42	%
	SD5	3'913	885	464	354	1'703	44	%
	SD6	1'771	265	306	194	765	43	%
	SD7	616	16	13	12	40	7	%
	Gesamt arrdt 4	10'961	1'481	1'627	922	4'030	37	% der Wälder des Bezirks 4
Gesamtkanton		44'731	4'923	4'214	3'086	12'223	27	% der Wälder des Kantons

Um Bestände zu identifizieren, die für eine Intervention im Rahmen der Massnahme S 5.9 des kantonalen Klimaplanes in Frage kommen, wurden folgende Auswahlkriterien definiert:

- Entwicklungsstadium junger Mittelwald 31–40 cm
- Bestand außerhalb von Schutzwäldern
- Bestandesschichtung > 50 % Fichte in benachteiligten Gebieten Portree < 0,33
- Bestandszusammensetzung > 50 % Buche in benachteiligten Gebieten Portree < 0,33
- Bestandszusammensetzung > 50 % Buche und Fichte in benachteiligten Gebieten Portree < 0,33

Übersichtstabelle der Flächen mit empfindlichen Beständen „Maßnahme S 5.9 des kantonalen Klimaplanes“

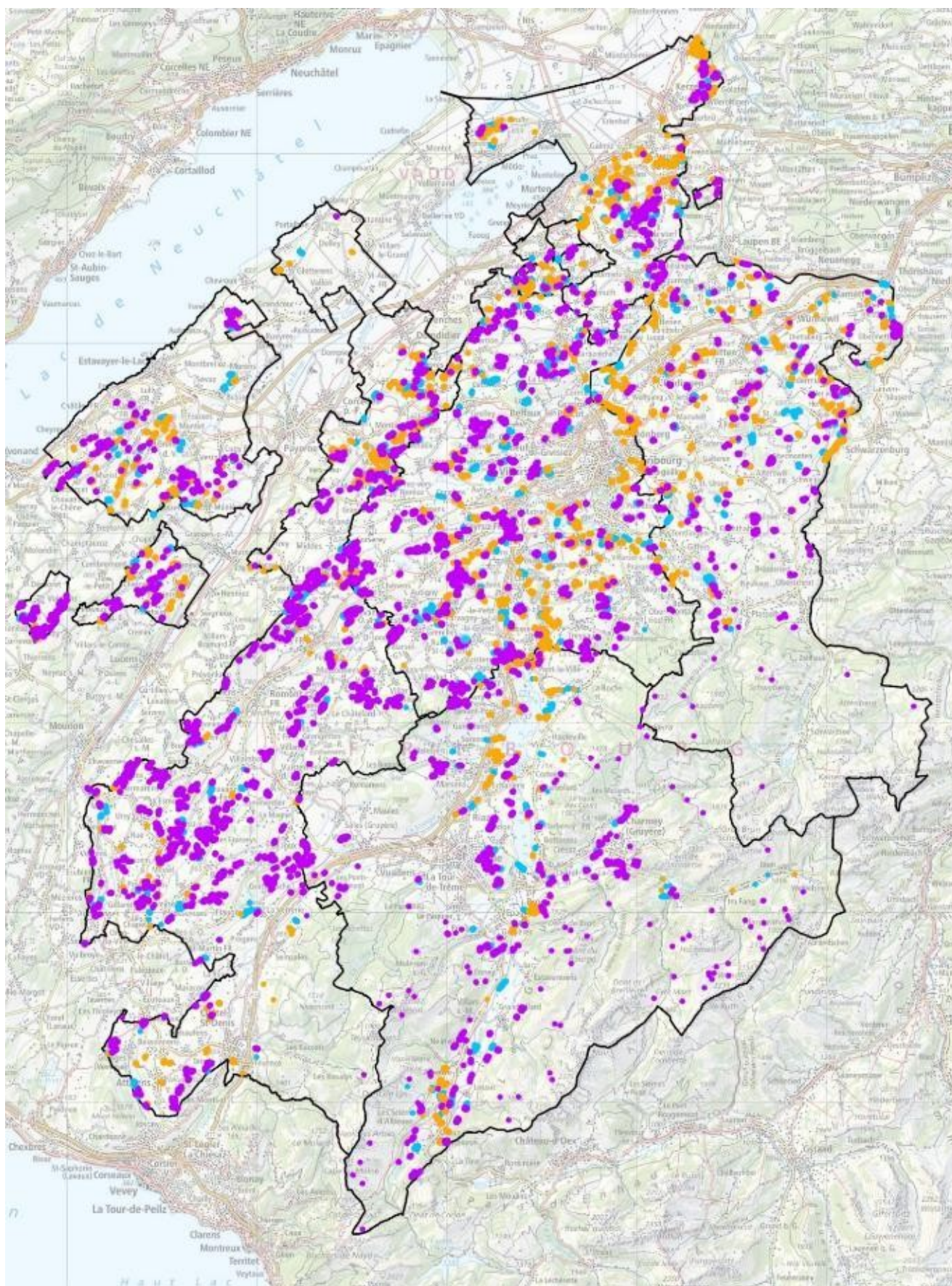
Art der Fläche	Arrdt	Zukünftige Vegetationsstufe	Baumart >50 %	Fläche ha
1colEP	1	Hügel	EP	256,6
1colHE	1	collinéen	HE	112,6
1colEPHE	1	collinéen	EP+HE	147,2
1submEP	1	submontagnard	EP	51
1submHE	1	submontagnard	HE	24,4
1submEPHE	1	submontagnard	EP+HE	18,9
Gesamt	9,3	% der Wälder des Bezirks 1		610,7
2colEP	2	collinéen	EP	102,8
2colHE	2	collinéen	HE	147,2
2colEPHE	2	collinéen	EP+HE	75,3
2submEP	2	submontagnard	EP	52,9
2submHE	2	submontagnard	HE	52,5
2submEPHE	2	submontagnard	EP+HE	37,8
Gesamt	4,9	% der Wälder des Arrondissements 2		468,5
3colEP	3	collinéen	EP	0
3colHE	3	collinéen	HE	0
3colEPHE	3	collinéen	EP+HE	0
3submEP	3	submontagnard	EP	136,2
3submHE	3	submontagnard	HE	37
3submEPHE	3	submontagnard	EP+HE	29,4
Gesamt	1,3	% der Wälder des Bezirks 3		202,6
4colEP	4	collinéen	EP	358,7
4colHE	4	collinéen	HE	119,6
4colEPHE	4	collinéen	EP+HE	78,1
4submEP	4	submontagnard	EP	113,4
4submHE	4	submontagnard	HE	8,9
4submEPHE	4	submontagnard	EP+HE	9,3
Gesamt	6,6	% der Wälder des Bezirks 4		688
Gesamt Kanton	4,6	% der Wälder des Kantons		1969,8

Karte der empfindlichen Bestände Schwellenwert von 50 %

>50 % Fichte

>50 % Buche

>50 % Fichte + Buche



Beispiele für empfindliche Bestände nach Höhenstufe und Bezirk Schwellenwert von 50 %

Hügelstufe

Bezirk 1

Fichte >50 %
Courtepin – Bois de l'Hôpital



Buche >50 % ppt
Chésalles – Bois de Monteynan



Fichte + Buche >50 %
Courtepin – Bois de l'Hôpital

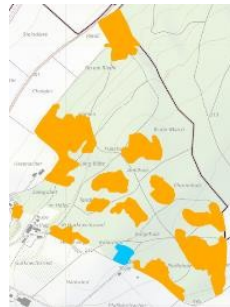


Bezirk 2

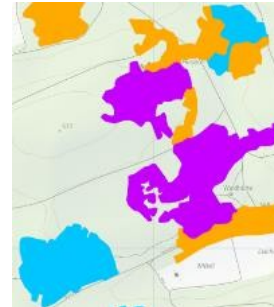
Fichte >50 %
Altavilla – Murtenholz



Buche >50
% Fräschels



Fichte + Buche >50 %
Altavilla – Murtenholz



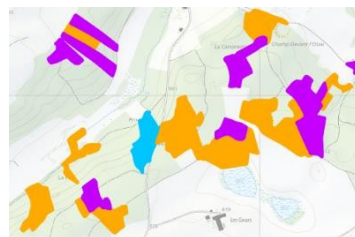
Bezirk 3 – nicht betroffen

Bezirk 4

Fichte >50 %
Chatonnaye



Buche >50
% Mannens



Fichte + Buche >50 %
Die Leiter – Wald von Grand Belmont



Submontane Stufe

Bezirk 1

Fichte >50 % Treyvaux
– Pratevy



Buche >50
% Ferpicloz

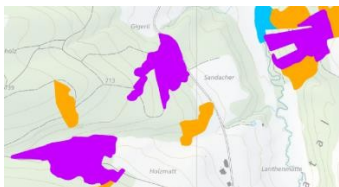


Fichte + Buche >50 %
Vuisternens en Ogoz



Bezirk 2

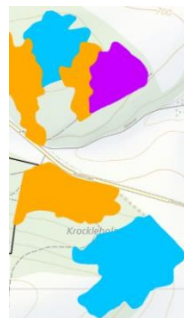
Fichte >50 %
Lanthern



Buche >50
% Tasberg

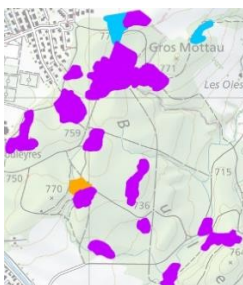


Fichte + Buche >50 %
Tasberg



Bezirk 3

Fichte >50 %
Lanthern



Buche >50
% Tasberg

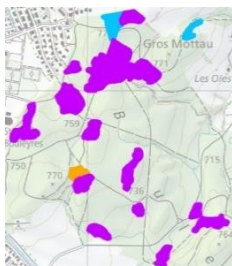


Fichte + Buche >50 %
Tasberg



Bezirk 4

Fichte >50 %
Bouloz



Buche >50
% Bouloz



Fichte + Buche >50 %
La Râpe



8. Vorausschauen statt reagieren

Der Kanton verfügt über Subventionsgründe, die die Kosten für Massnahmen zur Bekämpfung besonders gefährlicher Schädlinge decken. Diese Massnahme konzentriert die Aufmerksamkeit – und die finanziellen Mittel – auf die nachträglich entstandenen Schäden. Ein grosser Teil der Massnahmen zielt daher auf vom Borkenkäfer befallene Waldgebiete ab. Da der Borkenkäfer Bäume befällt, die durch ein Extremereignis oder eine physiologische Schwächung nach einer Hitzewelle oder Dürre geschwächt sind, wird seit vielen Jahren eine reaktive Vorgehensweise empfohlen. Um diesen Schäden vorzubeugen, müssen jedoch unsere Waldbestände stabilisiert werden.

Der Bund unternimmt Anstrengungen, aber wir stellen einen Mangel an Koordination und gewisse Interessenkonflikte innerhalb der Bundesinstitutionen fest. Um Schäden vorzubeugen, ist es daher sehr wünschenswert, dass auf kantonaler Ebene ein Frühwarnsystem eingesetzt werden kann.

Dies würde ein proaktiveres Vorgehen ermöglichen (BAFU Dürre 2022; Meusburger *et al.*, 2022). Da die Reaktionen der Bäume mit bloßem Auge nicht immer sofort erkennbar sind, liefert die Analyse der *Sentinel-Satellitendaten*, insbesondere anhand des normalisierten Differenzvegetationsindex (NDVI), Aufschluss über das Blattdefizit und analog dazu über die jährliche Trockenheit in den Wäldern (Anhang 4).

9. Literaturhinweise

Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz – Aktionsplan 2020–2025 (dem Staatsrat zur Genehmigung vorgelegt)

Allgaier Leuch *et al.*, WSL 59, 2017: [Link](#)

Barbara Allgaier Leuch, Kathrin Streit und Peter Brang 2017. Der Schweizer Wald im Klimawandel: Welche Entwicklungen sind zu erwarten? WSL 59, 2017

Allgaier Leuch *et al.*, WSL 59.1, 2017: [Link](#)

Allgaier Leuch, B.; Streit, K.; Brang, P., 2017: Naturnahe Waldwirtschaft im Zeichen des Klimawandels. WSL-Praxisblatt Nr. 59.1 Oktober 2017.

ARGE Kaufmann & Partner / Burger+Stocker Solothurn / Lenzburg, 1996. Schlüssel zur Kartierung der Waldstandorte in den Kantonen Bern und Freiburg: [Link](#)

Bonfils *et al.*, WSL 55, 2015: [Link](#)

Patrick Bonfils, Andreas Rigling, Urs-Beat Brändli, Peter Brang, Beat Forster, Roland Engesser, Felix Gugerli, Pascal Junod, Raphael Müller und Madeleine S. Günthardt-Goerg. Die Eiche im Klimawandel, Zukunftsperspektiven einer Baumart. WSL 55, 2015

Klimawandel: Die Tanne verdrängt die Fichte und die Buche WSL News 10.08.2017: [Link](#)

Ökologische Baumartenkarte UCLouvain 2020: [Link](#)

Frehner *et al.*, WSL 69, 2018: [Link](#)

Monika Frehner, Peter Brang, Geri Kaufmann, Christian Kuchli, 2018. Standortbasierte Grundlagen für die Waldbewirtschaftung angesichts des Klimawandels. WSL 69, 2018

Huovinen 2022: [Link](#)

Steigt die Waldgrenze mit dem Klimawandel? News WSL 31.05.2022

IFN4 2020 Tabelle Nr. 806389 Gesamtvolumen: [Link](#)

Abegg, M.; Brändli, U.-B.; Cioldi, F.; Fischer, C.; Herold, A.; Meile, R.; Rösler, E.; Speich, S.; Traub, B., 2020: Schweizerisches Landesforstinventar – Tabelle Nr. 806389. Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL

IFN4 2020 Tabelle Nr. 836255 Anzahl Stämme %: [Link](#)

Abegg, M.; Brändli, U.-B.; Cioldi, F.; Fischer, C.; Herold, A.; Meile, R.; Rösler, E.; Speich, S.; Traub, B., 2020: Schweizerisches Landesforstinventar – Tabelle Nr. 836255. Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL

IFN4 2020 Tabelle Nr. 836312 Gesamtzahl der Stämme: [Link](#)

Abegg, M.; Brändli, U.-B.; Cioldi, F.; Fischer, C.; Herold, A.; Meile, R.; Rösler, E.; Speich, S.; Traub, B., 2020: Schweizerisches Landesforstinventar – Tabelle Nr. 836312. Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL

IFN4 2020 Tabelle Nr. 869268 Gesamtvolumen %: [Link](#)

Abegg, M.; Brändli, U.-B.; Cioldi, F.; Fischer, C.; Herold, A.; Meile, R.; Rösler, E.; Speich, S.; Traub, B., 2020: Schweizerisches Landesforstinventar – Tabelle Nr. 869268. Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL

Lemaire *et al.*, 2014: [Link](#)

Jean Lemaire, Pascal Mathieu, 2014. Bioclimsol: ein Entscheidungshilfetooll für den Klimawandel. Forêt-entreprise Nr. 218, 2014.

Lévesque *et al.*, 2015: [Link](#)

Mathieu Lévesque, Andreas Rigling, Peter Brang, 2015. Reaktion einheimischer und exotischer Nadelbäume auf Trockenheit: eine dendroökologische Studie. Schweiz Z Forstwes 166 (2015) 6: 372–379

Meusburger *et al.*, 2022: [Link](#)

Meusburger, K.; Trotsiuk, V.; Schmidt-Walter, P.; Baltensweiler, A.; Brun, P.; Bernhard, F.; Gharun, M.; Habel, R.; Hagedorn, F.; Köchli, R.; Psomas, A.; Puhlmann, H.; Thimonier, A.; Waldner, P.; Zimmermann, S.; Walthert, L., 2022: Soil–plant interactions modulated water availability of Swiss forests during the 2015 and 2018 droughts. Global Change Biology, doi: 10.1111/gcb.16332

Monitoring des forêts protecteurs – Rapport explicatif, Méthode d'évaluation standardisée des forêts protectrices du Canton de Fribourg, 2020. Pierre Honsberger, aDue IT GmbH und Benoit Mazotti (dienstinternes Dokument)

Motion Fässler 2020: [Link](#)

Eine nachhaltige Pflege und Bewirtschaftung der Wälder gewährleisten.

Motion Hêche 2019: [Link](#)

Eine umfassende Strategie zur Anpassung des Waldes an den Klimawandel. BAFU Dürre

2022: [Link](#)

Medienmitteilung vom 18.05.2022: Dürre: Der Bundesrat will ein nationales Frühwarnsystem einführen

Kantonaler Aktionsplan zur Anpassung der Wälder an den Klimawandel: [Link](#)

Klimaplan des Kantons (PCC): Klimaplan des Kantons – Strategie und Massnahmenplan 2021–2026 – Staat Freiburg – Amt für Umwelt Sen – Mai 2021

Leitplan für die Freiburger Wälder – PDFF – Strategie Wald Freiburg 2025: [Link](#)

PDFF: Leitplan für die Freiburger Wälder – Strategie Wald Freiburg 2025 – Staat Freiburg – Amt für Wald und Wild SFF – September 2016

Pluess *et al.*, 2016: [Link](#)

Pluess, A.R.; Augustin, S.; Brang, P. (Hrsg.), 2016: Wald und Klimawandel. Elemente für Anpassungsstrategien. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern; Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf; Haupt, Bern, Stuttgart, Wien. 455 S.

Postulat Vara 2020: [Link](#)

Anpassung der Wälder an die Klimaerwärmung. Was ist mit der Biodiversität?

Waldbauliche Grundsätze, Neuenburg 2016: [Link](#)

Rigling *et al.*, WSL 57, 2016: [Link](#)

Daniel Rigling, Sandra Hilfiger, Corine Schöbel, Franz Meier, Roland Engesser, Christoph Scheidegger, Silvia Stofer, Beatrice Senn-Irlet und Valentin Queloz. Das Absterben der Eschensprossen Biologie, Symptome und Empfehlungen für die Bewirtschaftung. WSL 57, 2016

Rigling & Stähli 2020: [Link](#)

Andreas Rigling und Manfred Stähli. Erkenntnisse aus der Trockenheit 2018 für die zukünftige Waldentwicklung. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen (2020) 171 (5): 242–248

Rudow, A., 2013: Dendrologie. In: Baltisberger, M., Conradin, C., Frey, D., Rudow, A., 2013: eBot. Version 6 (2018). Pinus sylvestris Physiologisches Ökogramm ohne Einfluss der Konkurrenz. [Link](#)

SFN, Nachhaltige Bewirtschaftung der Freiburger Wälder, Bericht 2020

Zimmermann *et al.*, 2014: [Link](#)

Niklaus E. Zimmermann, Signe Normand und Achilleas Psomas mit wesentlichen Beiträgen von: Dirk R. Schmatz, Eliane Meier, Matthias Dobbertin, Peter B. Pearman, Esther Thürig, Janine Bolliger, Felix Kienast, 2014. PORTREE-Abschlussbericht Ein vom BAFU-WSL-Programm «Wälder und Klimawandel» in der Schweiz finanziertes Projekt. WSL 2014.









10. Anhänge

Anhang 1

Die WSL hat strategische Schwerpunkte und Leitprinzipien definiert, um die Ziele der Toleranz und Widerstandsfähigkeit gegenüber dem Klimawandel zu erreichen:

Strategische Schwerpunkte	Erhöhung der Widerstandsfähigkeit gegenüber Störungen		Erhöhung des Resilienzpotezials	Erhöhung der Anpassungsfähigkeit	
Leitprinzipien	A Erhöhung der Artenvielfalt	B Erhöhung der strukturellen Vielfalt	C Erhöhung der genetischen Vielfalt	D Erhöhung der Widerstandsfähigkeit einzelner Bäume gegenüber Störungen	E Reduzierung der Umdrehung oder des Zieldurchmessers für aktuelle gleichaltrige und empfindliche Bestände

Pluess et al., 2016 S. 348

Principes d'action	Phases d'intervention		
	Rajeunissement	Soins à la jeune forêt/petit jardinage	Éclaircies
Augmentation de la diversité des essences adaptées aux conditions futures			
Augmentation de la diversité structurelle			
Augmentation de la diversité génétique			
Augmentation de la stabilité individuelle des arbres			
Réduction de la révolution/du diamètre cible, resp. rajeunissement anticipé			

Auswirkungen forstlicher Massnahmen auf die Leitlinien (Allgaier Leuch et al., WSL 59.1, 2017)

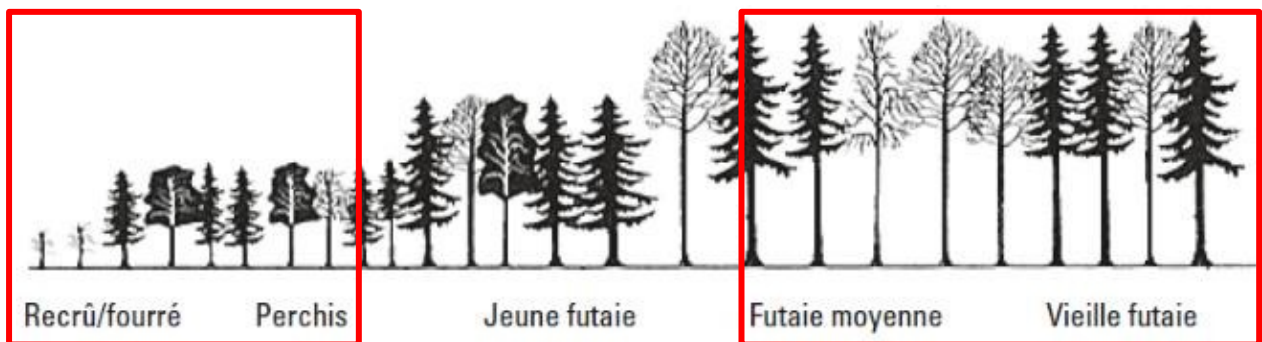
Anhang 2

Entwicklungsstadien

Die Entwicklungsstadien, die anhand von Durchmesserklassen definiert werden, geben Aufschluss über das Alter des Waldes oder dessen Schichtstruktur. Sie geben zwar keinen Hinweis auf die Anfälligkeit, doch bestimmte Stadien müssen besonders durch wirksame Massnahmen zur Anpassung der Bestände berücksichtigt werden: Mit geringem Aufwand lassen sich bedeutende Ergebnisse zur Verbesserung der Vielfalt, Struktur und Stabilität der Bestände erzielen.

Die ersten Stadien, in denen der Wald noch jung ist, sind wichtig, um die Vielfalt zu erhöhen und die Baumarten auszuwählen, die sich entwickeln sollen. Hier werden Pflegemaßnahmen für den jungen Wald durchgeführt.

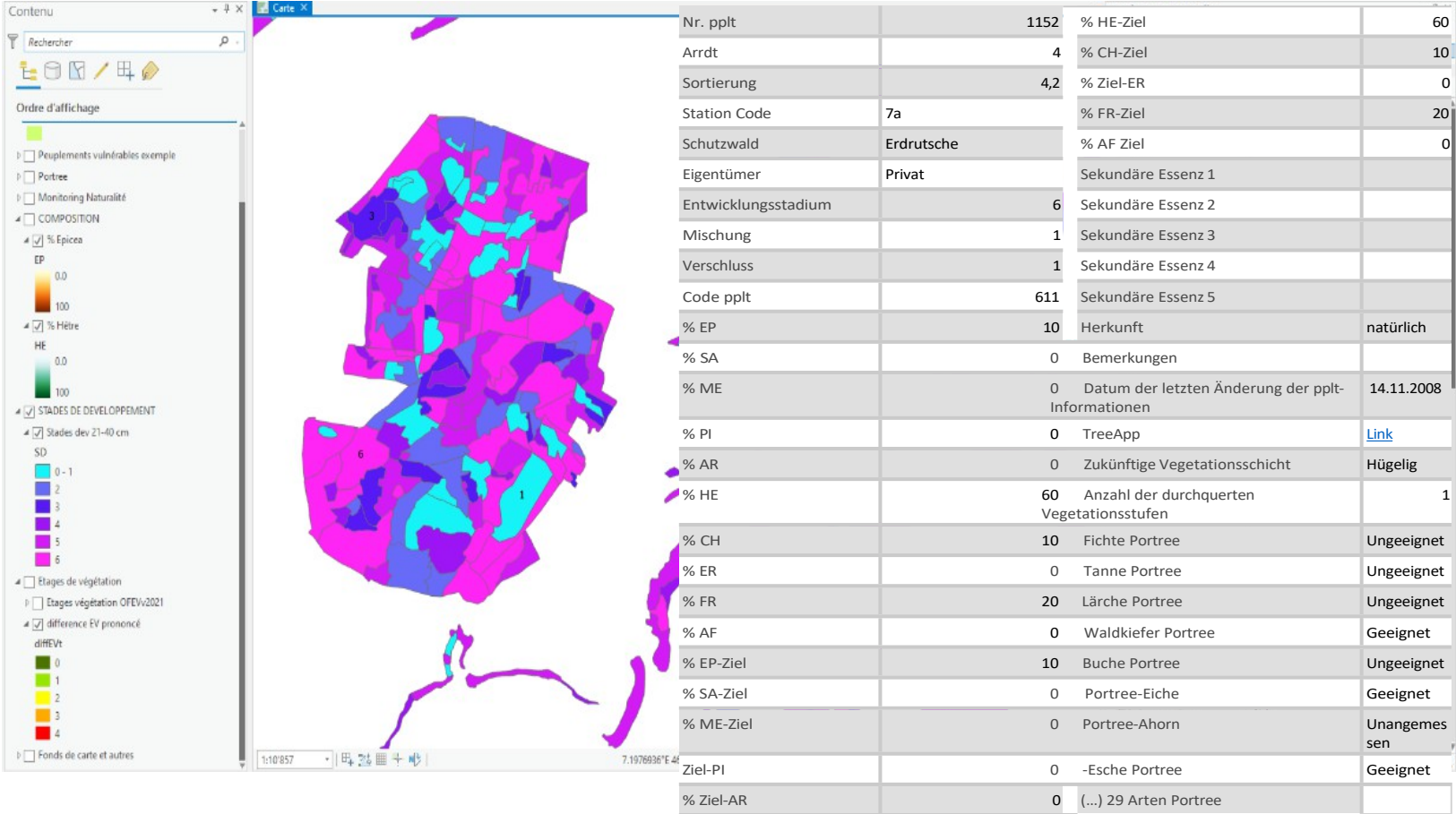
Auch die letzten Reifestadien sind besonders wichtig. Mit zunehmendem Alter der Bäume haben die verschiedenen Arten des Holzeinschlags dank der Auswahl von Samenbäumen einen großen positiven Einfluss auf die Ansiedlung von Zielarten, insbesondere Laub- und Pionierbaumarten, sowie auf die Strukturierung des Bestandes.



Die verschiedenen Stadien des Waldes. Um die Vielfalt zu erhöhen und den Bestand anzupassen, ist es sehr effektiv, einzugreifen, wenn der Bestand jung oder ausgewachsen ist (Pluess et al., 2016, S. 360).

Anhang 3

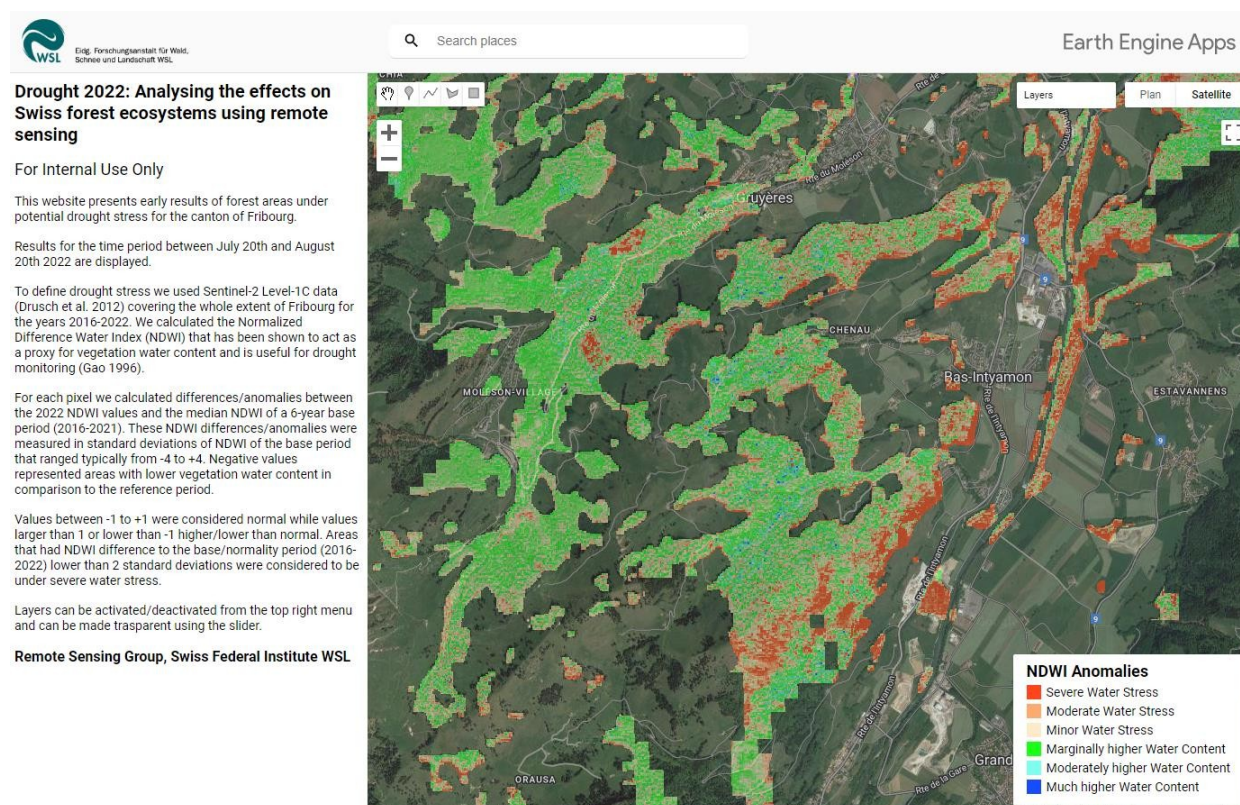
Das GIS-Tool „Klimawandel-Cockpit“ wird wie folgt dargestellt:



Anhang 4

Dank unserer Zusammenarbeit mit dem Team von WSL Forest Resources and Management können wir die Gebiete visualisieren, die 2022 im Vergleich zu den letzten sechs Jahren potenziell unter Wasserstress leiden werden. Diese Informationen sind sehr nützlich, da sie es ermöglichen, Wasserstress im gesamten Kanton mit einer Auflösung von etwa 10 Metern zu lokalisieren.

Ihr aktuelles Modell vergleicht den Zeitraum vom 20. Juli bis zum 20. August 2022 mit den gleichen Zeiträumen der letzten sechs Jahre.



Die NDVI-Karte zeigt den potenziellen Wasserstress im Kanton Freiburg.

Anhang 5

Die Buchen- und Fichtenwälder stellen die grössten Herausforderungen für die Anpassung der Freiburger Wälder dar. Hier sind zwei konkrete Beispiele für Wälder, die aufgrund der Trockenheit vom Waldsterben betroffen sind.

Buche

Der Wald von Villars-sur-Glâne weist bestimmte Bestände auf, die zu 80 % aus Buchen bestehen, und zwar in einem Gebiet, das laut Portree für diese Baumart als ungeeignet gilt. Sie weisen starkes Absterben, Kronenabwurf und sogar Mortalität auf, wie auf dem Foto unten zu sehen ist.



Verwelken von Buchen aufgrund von Trockenheit, Wald von Villars-sur-Glâne, Belle-Croix, 2022.

Fichte

Die Wälder von Charmey weisen bestimmte Bestände auf, die zu 100 % aus Fichten bestehen und einen hohen Anteil am gesamten Waldbestand ausmachen. In einem Gebiet, das laut Portree für diese Baumart als ungeeignet gilt, weisen sie ein starkes Absterben oder sogar Mortalität auf, wie auf dem Foto unten zu sehen ist.



Absterben von Fichten aufgrund von Trockenheit, Wald von Charmey, La Tzintre, 2022.

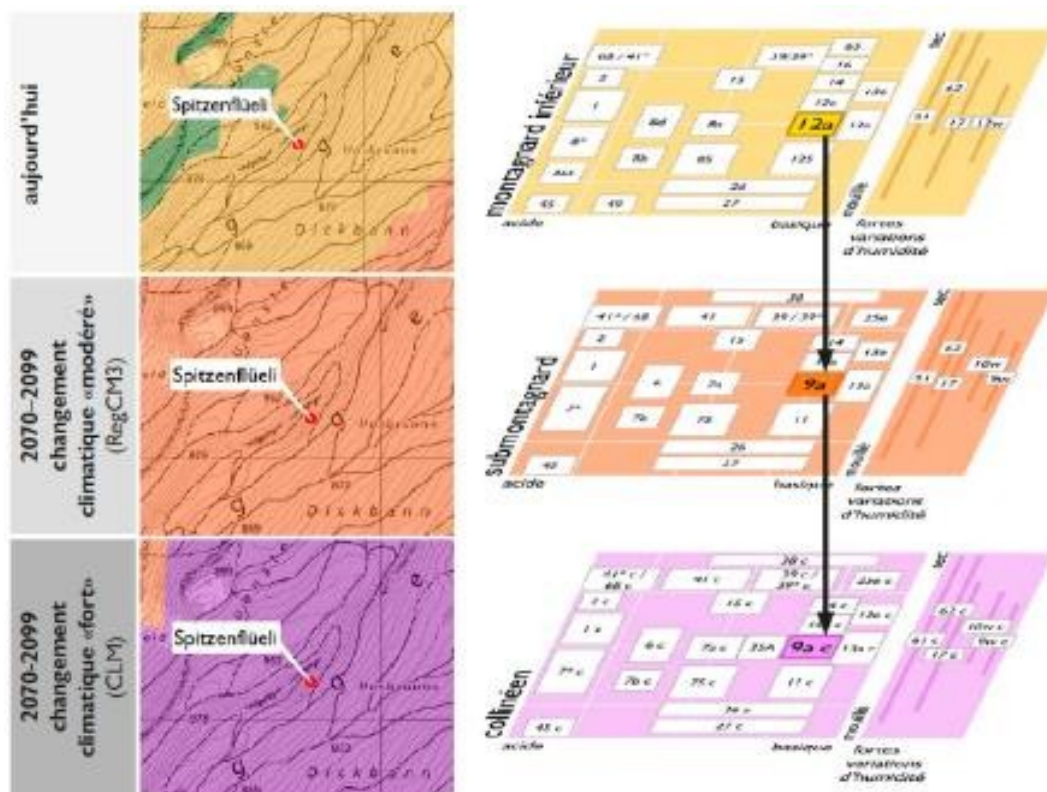
Anhang 6

Die Verschiebung der Vegetationsstufen und TreeApp

Die Vegetationsstufen definieren die klimatischen Bedingungen auf bestimmten Flächen des Territoriums.

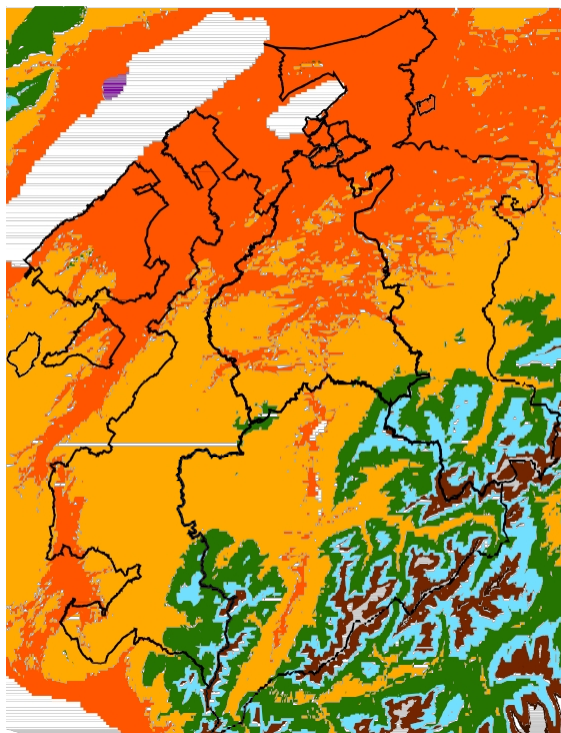
Die WSL hat die aktuellen Vegetationsstufen und ihre Prognose für die Zukunft modelliert. Die Waldstandorte sind diesen Stufen untergeordnet, und die Verschiebung der Stufen lässt Rückschlüsse auf den entsprechenden zukünftigen Standort zu.

Diese Projektion ermöglicht es, die Diskrepanz zwischen den aktuellen und zukünftigen ökologischen Gegebenheiten zu visualisieren. Das Ausmaß dieser Diskrepanz kann als Risiko einer Unangemessenheit der zukünftigen Station angesehen werden. Man kann sich das wie einen Klimaflug vorstellen, der verschiedene Stockwerke durchläuft.

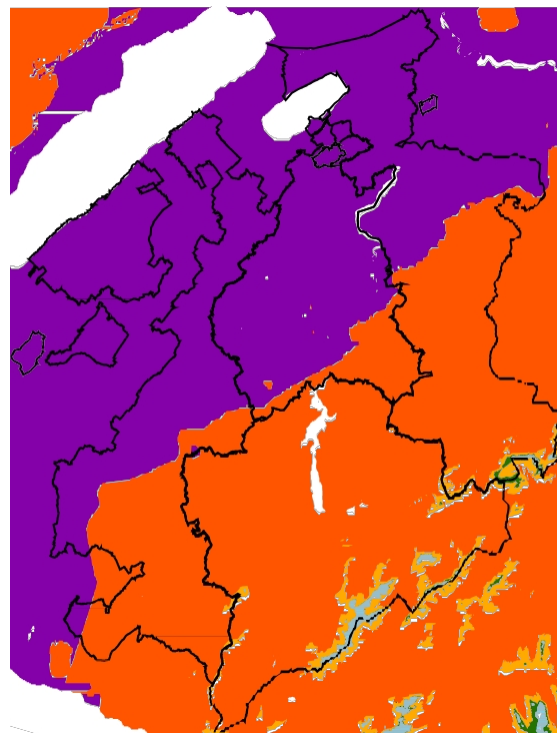


Beispiel für die Bestimmung ähnlicher Standorttypen: Hier wird der Standort 12a um zwei Stockwerke nach oben verschoben und wird zu einem 9a (Frehner et al., WSL 69, 2018).

Im ausgeprägten Klimaszenario werden 98 % der Bestände des Kantons in der submontanen oder kollinen Stufe liegen. Die kolline Stufe, die im Kanton noch nicht vorhanden ist, bedeckt einen Grossteil des Mittellandes und stellt die grösste Gefahr für Absterben aufgrund von Trockenheit und Hitze dar.



Ausdehnung der Vegetationsstufen im Jahr 1995



Ausdehnung der Vegetationsstufen im Jahr 2085 gemäss dem ausgeprägten Klimaszenario der WSL

schwarz Forstbezirke des Kantons Freiburg Hügelsstufe
 z: violett: submontane Stufe
 orange: Höhenstufen oberhalb der submontanen Stufe
 andere Farben:

Das Tool [Tree-app](#) nutzt dieses Modell. Es ordnet zukünftige Standorte entsprechend der Verschiebung der Vegetationsstufen zu und hilft dem Förster, die richtigen Entscheidungen für die optimale Zusammensetzung des zukünftigen Standorts zu treffen.

Dieses Tool steht Förstern zur Verfügung, um sie bei der Auswahl der Zielbaumarten zu unterstützen. Es ermöglicht, Massnahmen auf Waldflächen, die hinsichtlich ihrer Zusammensetzung gefährdet sind, gezielt durchzuführen.

Anhang 7

Überblick über die Situation für die wichtigsten Baumarten

Nadelbäume

Fichte

Die Fichte ist im Kanton sehr verbreitet. Aufgrund ihres guten Wachstums und ihres hohen Holzwertes

wurde die Fichte im letzten Jahrhundert sehr häufig angepflanzt, sodass sie leider manchmal in Reinbeständen vorkommt. Sie ist besonders anfällig für großflächige Befälle durch einen Schädling, den Borkenkäfer, und dichte Bestände sind anfällig für Windbruch und Stürme. Diese Baumart ist in der gesamten Schweiz einem hohen Klimarisiko ausgesetzt. Es wird mit einem starken Absterben aufgrund von Trockenheit im Mittelland gerechnet, und es könnte auch zu Problemen bei der Verjüngung kommen (Pluess et al., 2016, S. 133, S. 176, S. 177, 251).

Lärche

Die Lärche ist eine typische Bergbaumart, kommt aber auch in der Ebene vor, wo sie angepflanzt wurde. Sie ist zwar etwas weniger trockenheitsempfindlich als die Fichte, aber im Mittelland dennoch stark gefährdet, und ihre Höhenverbreitung verschiebt sich nach oben (Huovinen, 2022). Ihr Verbreitungsgebiet dürfte sich somit im Mittelland verkleinern und in den Voralpen vergrößern (Pluess et al., 2016, S. 219, und Lévesque et al., 2015).

Tanne

Die Tanne ist zwar etwas trockenheitstoleranter als die Fichte, dennoch ist sie im Mittelland durch Hitze und Trockenheit gefährdet. Die Studien zu ihrer Anpassungsfähigkeit und Widerstandsfähigkeit gegenüber künftigen klimatischen Bedingungen kommen jedoch zu unterschiedlichen Ergebnissen (Klimawandel: Die Tanne verdrängt Fichte und Buche WSL News 10.08.2017. und Allgaier Leuch et al., WSL 59, 2017).

Kiefer

Als Pionierbaumart siedelt sich die Waldkiefer an Waldrändern und in großen, lichtdurchfluteten Lichtungen an. Sie ist relativ trockenheitstolerant, wächst auf verschiedenen Bodenarten und kann in vielen Fällen gefördert werden, insbesondere an extremen Standorten, wo sie wenig Konkurrenz hat (Rudow A., 2013). In den Voralpen dürften die für diese Baumart günstigen Gebiete zunehmen (Pluess et al., 2016, S. 282).

Andere Nadelbäume

Die Vielfalt der anderen Nadelbäume ist je nach den spezifischen Merkmalen der einzelnen Baumarten im Allgemeinen vorteilhaft.

Laubbäume

Buche

Die Buche, die wichtigste Laubbaumart im Mittelland, ist besonders durch Trockenheit (Pluess et al., 2016, S. 35, 176, 219), aber auch durch Spätfrost (Pluess et al., 2016, S. 32) bedroht. Milde Winter führen nämlich dazu, dass sie früher austreibt, und Spätfroste können dann die jungen Blätter des Jahres schädigen.

Wie bei der Fichte ist bis zum Ende des Jahrhunderts mit Problemen bei der Verjüngung auf dem Plateau zu rechnen (Pluess et al., 2016, S. 77, 119). Im Jahr 2019 kam es im Jura zu einem sehr starken Baumsterben, und mit einer ähnlichen Situation ist auch in unserem Kanton zu rechnen.

Eichen

Eichen, insbesondere die Traubeneiche, sind hinsichtlich der ökologischen Bedingungen sehr anpassungsfähig. Sie haben eine interessante ökologische Amplitude in Bezug auf Böden und Temperaturen und sind angesichts der zukünftigen klimatischen Bedingungen bemerkenswerte Baumarten. Es wird erwartet, dass sich ihr günstiges Verbreitungsgebiet erheblich ausdehnen wird (Bonfils et al., 2015).

Ahorn

Ahornbäume sind hinsichtlich ihrer Toleranz gegenüber zukünftigen Bedingungen im Mittelland, aber auch in den Voralpen für die Diversifizierung interessant. Der Bergahorn wurde in der Forstwirtschaft stark gefördert, ist jedoch relativ weniger trockenheitstolerant. Sein Verbreitungsgebiet dürfte sich verringern (Pluess et al., 2016, S. 219).

Der Spitzahorn und der Feldahorn sind widerstandsfähiger gegen Trockenheit und klimatische Bedingungen im Allgemeinen und haben ein tiefes Wurzelwerk, was ihnen Stabilität verleiht und ihre Anpassung an die Umgebung fördert (ökologische Datei der Baumarten UCLouvain 2020).

Esche

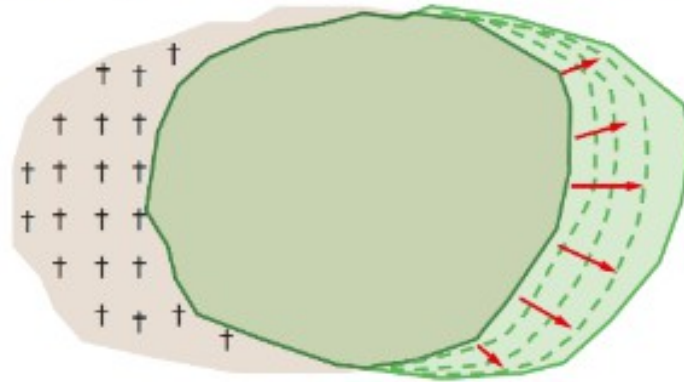
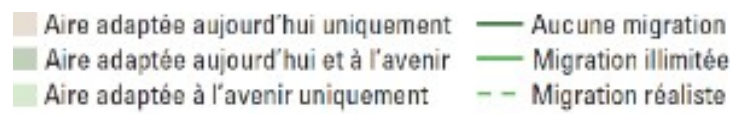
Die Esche ist stark von der Eschenwelke bedroht. Auch wenn ihr Verhalten und die Förderung der Artenvielfalt durch diese Baumart interessant sind, muss wie bei anderen Laubbäumen die Bedrohung durch die Eschenwelke berücksichtigt werden. Es ist nicht angebracht, sie als Zielart zu betrachten, aber gesunde oder wenig befallene Exemplare können erhalten oder sogar gefördert werden, da sie ihre möglichen Resistenz- oder Toleranzeigenschaften an ihre Nachkommen weitergeben könnten (Rigling et al., WSL 57, 2016). Darüber hinaus gilt diese Art als feuerempfindlich (Pluess et al., 2016, S. 233).

Andere Laubbäume

Andere Laubbäume sind im Mittelland wie auch in den Voralpen hinsichtlich ihrer Vielfalt sehr interessant, je nach den spezifischen Merkmalen der einzelnen Baumarten.

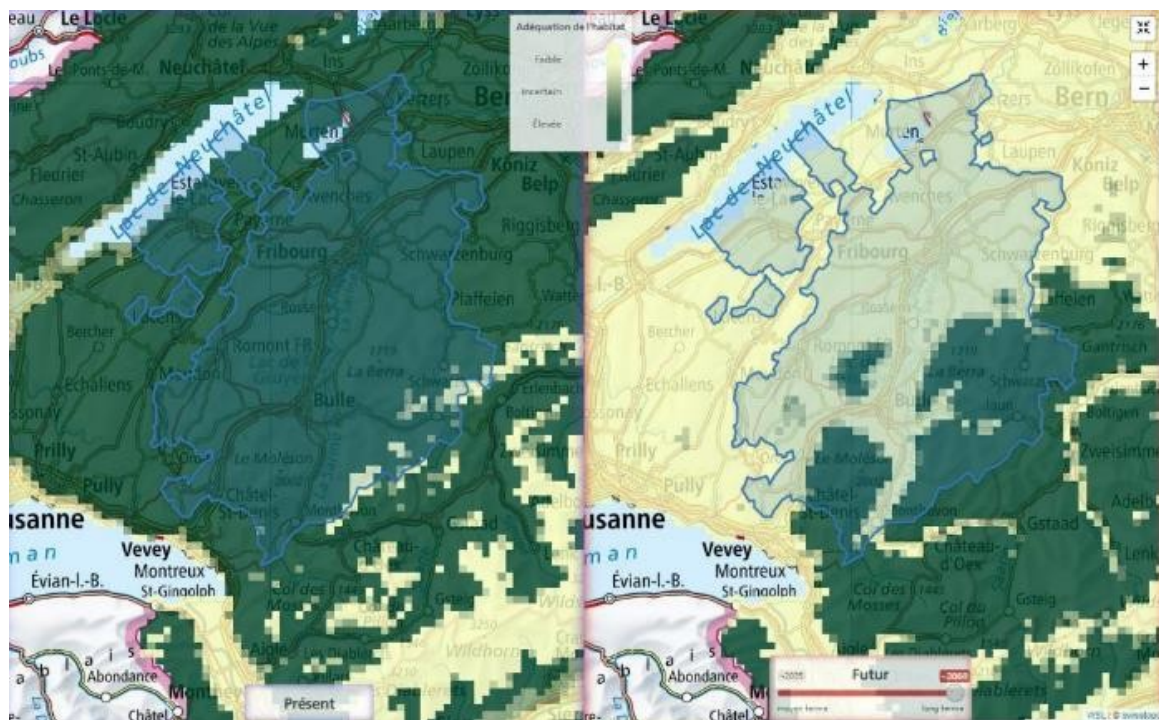
Anhang 8

Portree



Schematische Darstellung der Verschiebung des potenziellen Verbreitungsgebiets gemäß statistischer Modellierung. In der Regel werden drei Zonen unterschieden, die die Eignung des Lebensraums heute oder in Zukunft widerspiegeln. Pluess et al., 2016, S. 209.

Auf der Website *Forte Future* der WSL können die *Portree-Karten* dieser Gebiete eingesehen werden.



Forte

Future – Beispiel für eine Projektion des potenziell günstigen Verbreitungsgebiets der Fichte.

Wir verfügen über diese *Portree-GIS-Ebenen* für den Zeitraum 2051–2080, die von der WSL in den nächsten zwei Jahren aktualisiert werden.