

Schlussbericht des Projektes «Adaptierte Ökogramme» im Forschungsprogramm «Wald und Klimawandel»

Report**Author(s):**

Frehner, Monika; Huber, Barbara; Gubelmann, Päivi; Zürcher-Gasser, Nora; Zimmermann, Niklaus E.; Braun, Sabine; Scherler, Martin; Zischg, Andreas; Burnand, Jacques; Carraro, Gabriele; Bugmann, Harald; Psomas, Achilleas

Publication date:

2019-04

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-b-000341108>

Rights / license:

In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

Schlussbericht des Projektes «Adaptierte Ökogramme» im
Forschungsprogramm «Wald und Klimawandel»

Teil 5: «Herleitung von Klima angepassten Baumartenempfehlungen für Schweizer Wälder»

Monika Frehner & Nora Zürcher-Gasser



Autoren

Monika Frehner¹, Nora Zürcher-Gasser²

¹ Forstingenieurbüro, Sixerstrasse 9, 7320 Sargans

² Gadola AG, Via Cahö 10, 7172 Rabius

Ein Projekt-Schlussbericht aus dem Forschungsprogramm «Wald und Klimawandel» von BAFU und WSL WSL (www.wsl.ch/wald_klima).

Projektlaufzeit: 1.10.2016 bis 31.5.2018.

Zitierung

Frehner, M. & Zürcher-Gasser, N. 2019. Schlussbericht des Projektes «Adaptierte Ökogramme» im Forschungsprogramm «Wald und Klimawandel», Teil 5: Herleitung von regional optimierten Baumartenempfehlungen. Sargans, Forstingenieurbüro Frehner und Rabius, Gadola AG. 24 Seiten.

Im pdf-Format zu beziehen über www.wsl.ch/wald_klima

Dank

Die Autoren danken für die finanzielle Unterstützung des Projektes «Adaptierte Ökogramme» durch das Forschungsprogramm «Wald und Klimawandel» des Bundesamtes für Umwelt BAFU und der Eidgenössischen Forschungsanstalt WSL.

©Forstingenieurbüro Frehner, Sargans, 2019

Inhalt

Zusammenfassung.....	1
Summary	3
1 Einleitung	4
2 Datengrundlagen und methodisches Vorgehen	4
2.1 Datengrundlagen	4
2.1.1 Vegetationshöhenstufen.....	4
2.1.2 Baumarten der NaiS-Standortstypen	4
2.2 Methodisches Vorgehen	7
2.2.1 Umgang mit Standort-Übergängen und Standort-Mosaiken	7
2.2.2 „Nicht analoge“ Standorte	8
2.3 Herleitung der Baumartenempfehlungen für künftige Klimate	13
3 Resultate	16
4 Projektablauf.....	16
5 Diskussion.....	16
6 Ausblick	18
7 Literatur.....	19
8 Anhang	23
8.1 Tabellen zur Herleitung der Baumartenempfehlungen.....	23
8.2 NaiS-Anforderungsprofile Standort: die wichtigsten Prinzipien ihrer Herleitung	23

Zusammenfassung

Ziel dieses Projektteils ist es, eine Methode zu entwickeln, um aus Vorarbeiten zum Einfluss des Klimawandels auf die Vegetationshöhenstufen und Baumartenareale Baumartenempfehlungen pro Standortstyp herzuleiten. Die Empfehlungen zielen darauf ab, dass die Baumarten in einem Standortstyp in der Periode 2070 – 2099 gut an zwei Klimazukünfte («mässig» = weniger trocken, «stark» = trockener, Frehner et al. 2018) angepasst sind. Dazu wurden zuerst pro NaiS-Standortstyp die möglichen Baumarten, d.h. jene, die gedeihen und sich natürlich vermehren können, aus bestehenden standortkundlichen Grundlagen auf Bundes- und Kantonsebene zusammengestellt und an einem Workshop auf Widersprüche und Fehler überprüft und angepasst. Zudem wurde die Herleitung der Baumartenempfehlungen, die in den NaiS-Anforderungsprofilen Standort (Frehner et al. 2005, Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald) dargestellt sind, dokumentiert. In der Periode 2070 - 2099 werden nicht überall in der Schweiz Standortbedingungen erwartet, die schon heute anderswo in der Schweiz vorkommen (nicht analoge Standorte). Für diese Standortbedingungen wurden neue Einheiten definiert und es wurden für letztere gutachtlich Baumartenempfehlungen hergeleitet, ohne weitere Beschreibung der übrigen Vegetation.

Die Baumartenempfehlungen unter Berücksichtigung des Klimawandels werden hergeleitet, indem man die Baumarten des heutigen Standortstyps und die Baumarten der Standortstypen, die in Zukunft bei Annahme der beiden Klimazukünfte erwartet werden, miteinander vergleicht. Daraus kann abgeleitet werden, welche Baumarten heute und in Zukunft geeignet sind, welche ihre Eignung verlieren und welche neu hinzukommen könnten. Dazu werden an einem konkreten Ort zuerst die Höhenstufe, welche das zu verwendende Ökogramm vorgibt, und innerhalb des Ökogramms der heutige NaiS-Standortstyp bestimmt. Danach wird an der Koordinate dieses Ortes die modellierte Höhenstufe für die Periode 2070 – 2099 für die weniger trockene und trockenere Klimazukunft bestimmt. Im «Ziel-Ökogramm» in der zukünftig geltenden Höhenstufe wird der zukünftige Standortstyp grundsätzlich dort im Ökogramm gewählt, wo der heute geltende Standortstyp im heutigen Ökogramm liegt. Befinden sich im Ziel-Ökogramm an der Stelle des ursprünglichen Standortstyps mehrere Standortstypen, soll der trockenere Standortstyp gewählt werden.

Im Projekt wurden zudem für die anlässlich der «Waldtests» 2016 und 2017 (Frehner et al. 2018, WSL Bericht 66) besuchten Wälder Baumartenempfehlungen für die zwei Klimazukünfte hergeleitet. Dies geschah im Weiteren auch für einen Vergleich mit Ergebnissen des Waldsukzessionsmodells ForClim (Zürcher-Gasser et al. 2016).

Summary

This part of the project aimed at developing a method to derive tree species recommendations based on earlier studies about the impact of climate change on altitudinal vegetation belts and tree species distribution. These recommendations should meet the requirement that tree species are climatically well adapted to the conditions on a site type in 2070 – 2099, assuming two projections of the future climate («moderate» = less dry, «strong» = drier, Frehner et al. 2018). First, potential tree species, i.e. those able to grow and to regenerate naturally, were compiled for each site type according to the NaiS classification from existing federal and cantonal guidelines on site-specific tree species selection. Then, a workshop was held to check the tree species lists for contradictions and to eliminate errors. Furthermore, it was documented how the recommended tree species listed in the NaiS target profiles for each site type (Frehner et al. 2005, Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald) were derived. For certain site types in Switzerland, the climate predicted for the period 2070 – 2099 can currently not be found elsewhere in Switzerland (no analogue sites). The respective conditions were described in new site types and the recommended tree species derived from expert knowledge, without describing the rest of the vegetation.

Tree species recommendations considering climate change are derived by comparing the tree species at the current site type and the species of the future site types under the two climate projections. This allows drawing conclusions about which tree species recommended today will still be well adapted in the future, which ones will become unsuitable and which ones will become suitable. For a given location, this requires first determining the correct ecogram, which depends on the altitudinal vegetation belt, and, within this ecogram, the current NaiS site type. Then, at the same coordinate, the modelled altitudinal vegetation belt in 2070 – 2099 is determined for the two projections of future climate. In the ‘target ecogram’ of the future altitudinal vegetation belt, the site type is usually chosen at the same position in the ecogram. If several site types exist at this position in the target ecogram, then the drier one should be chosen.

In addition, tree species recommendations were derived for both climate projections for the excursion sites visited during ‘Forest workshop’ conducted in 2016 and 2017 (Frehner et al. 2018, WSL report 66). This served also for a comparison with results of the forest succession model ForClim (Zürcher-Gasser et al. 2016).

1 Einleitung

Ziel dieses Projektteils ist es, eine Methode zu entwickeln, um aus Vorarbeiten zum Einfluss des Klimawandels auf Vegetationshöhenstufen und Baumartenareale (Gubelmann et al. 2019) Baumartenempfehlungen pro Standortstyp herzuleiten. Zudem sollten die Baumartenempfehlungen für die „Waldtests“ (Frehner et al. 2018) erarbeitet werden. Die Methode wurde inzwischen auch in Frehner et al. (2018) dargestellt.

Auf die für die Herleitung der Baumartenempfehlungen verwendeten Grundlagen und das angewendete Vorgehen wird im Kap. 2 eingegangen. Das Kap. 3 liefert eine Übersicht über die für die Objekte der Waldtests hergeleiteten Baumartenempfehlungen.

Eine weitere wichtige, im Kap. 2 nicht erwähnte Grundlage für die Umsetzung sind die NaiS-Anforderungsprofile für die Standortstypen (Frehner et al. 2005). Deren bisher nicht systematisch dokumentierte Herleitung wird im Anhang aufgezeigt.

2 Datengrundlagen und methodisches Vorgehen

2.1 Datengrundlagen

2.1.1 Vegetationshöhenstufen

Grundlage für diesen Teil sind die Karten der Schweiz mit modellierten Vegetationshöhenstufen inkl. Tannen- und Buchenareal für das heutige Klima und die beiden Klimazukünfte (RegCM3, CLM, Remund et al. 2016) aus Teil 1 des Projekts „Adaptierte Ökogramme“. Aus diesen kann für jeden Ort der Schweizer Waldfläche eine modellierte Höhenstufe nach dem heutigen Klima, nach der weniger trockenen (RegCM3) und der trockeneren Klimazukunft (CLM) abgelesen werden.

Die Auswertung dieser Karten (Teil 1, Kapitel 3.3.8) zeigt, dass nicht immer die ganze Höhenstufe, die wir heute vorfinden, bei Annahme der zwei Klimazukünfte jeweils wieder einer einzigen Höhenstufe zugeordnet wird. Zwar wird z.B. die Fläche der heutigen obermontanen Stufe 2070 – 2099 fast vollständig als submontan modelliert. Aber die Fläche der heutigen hochmontanen Stufe ist nach den Modellen 2070 – 2099 in den Vegetationshöhenstufen collin, submontan, untermontan und obermontan zu finden.

2.1.2 Baumarten der NaiS-Standortstypen

Eine wichtige Grundlage sind die möglichen¹ Baumarten pro NaiS-Standortstyp, die im BAFU-Projekt «Beziehung zwischen Pflanzen und NaiS-Standortstypen» hergeleitet wurden. Die pro NaiS-Standortstyp möglichen Baumarten wurden aufgrund der heute verwendeten kantonalen standortkundlichen Schlüssel und Baumartenempfehlungen zusammengestellt (Tab. 1). Zusätzliche Informationen stammten aus dem Landesforstinventar sowie, wo die genannten Quellen nicht aussagekräftig waren, aus einer gutachtlichen Zuteilung der Baumarten durch Standortexperten und -expertinnen. Aufgenommen wurden einheimische Baumarten, die unter den gegenwärtigen Klimabedingungen auf dem entsprechenden Standort gedeihen können. Eingeführte Baumarten sind nur teilweise aufgeführt.

Die Beurteilung erfolgte für die Baum- und die Strauchschicht separat. Grünerle, Alpen-Goldregen und Legföhre wurden bei starkem und üppigem Vorkommen bei der Baumschicht erwähnt, sonst in der Strauchschicht. Stechpalme und Lorbeer wurden in der Baumschicht erwähnt, falls sie baumförmig wachsen können, sonst in der Strauchschicht. Traubenkirsche ist immer in der Baumschicht erwähnt. Bei den Weiden wurde nur die Salweide systematisch erfasst; andere Weidenarten wurden nur erwähnt, wenn sie bei einem Standortstyp in einem kantonalen Schlüssel erwähnt wurden.

Die Zuteilung der Baumarten pro NaiS-Standortstyp wurde am 20. März 2018 am Workshop «Überprüfung Baumarten-Empfehlungen» diskutiert und angepasst. Die Ergebnisse dieses Workshops sind in diesem Bericht berücksichtigt. Im Anhang A sind die Baumarten pro NaiS-Standortstyp und mindestens eine Quelle dazu dokumentiert. Bei allen NaiS-Standortstypen, die am Workshop diskutiert wurden, ist in der Tabelle „Baumarten pro Standortstyp mit Quelle“ (Anhang) bei Quelle „WS“ (Tab. 2) angegeben.

Die möglichen Baumarten wurden eingeteilt in dominierende Baumarten, wichtige Naturwaldbaumarten und weitere Baumarten. In Tab. 1 sind die bei dieser Einteilung angewendeten Prinzipien angegeben. Als Basis für die Zuteilung wurde der Schlüssel des Kantons Aargau

¹ „Mögliche“ Baumart heisst, dass die Baumart auf einem Standortstyp gedeiht und sich natürlich verzüngen kann.

(Stocker et al. 2002) verwendet. Dieser deckt einen grossen Teil der Standorte im Mittelland und Jura ab, zudem sind bei den einzelnen Standortstypen im Vergleich zu anderen Schlüsseln viele Baumarten angegeben. Informationen aus den anderen Quellen wurden analog umgesetzt. Pionierbaumarten wurden immer als „weitere Baumarten“ eingeteilt, ausser sie spielen auf einem Standortstyp auch in späten Sukzessionsphasen eine wichtige Rolle. In der Datenbank, die zur Herstellung der Tabellen im Anhang verwendet wurde waren zu Beginn der Arbeiten alle Baumarten im Feld «leer» eingeteilt. Bei der Zuteilung wurden die Baumarten in die Kategorien dominierende Baumart (a), wichtige Naturwaldbaumart (b) oder weitere Baumart (c) eingeteilt, falls erwartet wird, dass die Baumart auf einem Standortstyp gedeiht. Teilweise wurden die Baumarten auch in die Kategorie Baumart, die kaum oder nicht vorkommt (ex) eingeteilt, vor allem bei Baumarten, die selten sind wurde die Baumart im Feld «leer» belassen, falls sie auf dem entsprechenden Standortstyp nicht erwartet wird. «Leer» und «ex» bedeuten beide, dass eine Baumart auf dem entsprechenden Standortstyp kaum oder nicht vorkommt.

Tab. 1: Prinzipien der Einteilung der Baumarten pro NaiS-Standortstyp.

	Abkürzung bei den Tabellen im Anhang	Angabe im Schlüssel des Kantons Aargau
Dominierende Baumart	a	In Fettschrift bei Baumschicht erwähnt
Wichtige Naturwaldbaumart	b	In Normalschrift bei Baumschicht erwähnt
Weitere Baumart	c	Empfohlene Baumarten, die nicht unter a oder b aufgeführt sind
Baumart, die kaum oder nicht vorkommt	Ex oder leer	

Baumarten, die nicht beim Naturwald² vermerkt sind, werden bei c eingetragen, mit Ausnahme der Südalpen, da dort der Naturwald deutlich weniger genau bekannt ist als auf der Alpennordseite. Dies betrifft z. B. Lärche, Kastanie und Douglasie in der submontanen Stufe des Mittellandes.

Mit den möglichen Baumarten und deren Einteilung in a, b und c wird das ökologische Potenzial der Baumarten für jeden Standortstyp angegeben. Für die konkrete Anwendung im Bestand ist eine fachgerechte waldbauliche Umsetzung notwendig. So soll z.B. bei Esche und Ulme berücksichtigt werden, dass sie derzeit stark unter Krankheiten leiden. Auch sind die Baumarten nicht immer im ganzen Areal eines Standortstyps gleichmässig verteilt: Der Schneeballblättrige Ahorn ist nur in der Westschweiz, die Esche in Tannen-Buchenwäldern nicht im obersten Bereich, die Buche in den Standortstypen 46 und 46* in der obermontanen Höhenstufe nur im Nebenbestand, hochmontan gar nicht vorhanden. Im Rahmen des BAFU-Projekts «NaiS-LFI, Zuordnung der LFI-Stichprobenpunkte zu Waldgesellschaften» wurden die NaiS-Standortstypen so weit ergänzt, dass alle LFI-Stichproben einem Standortstyp zugeordnet werden konnten. Falls nur wenige Baumarten in einem Standortstyp als c klassifiziert wurden, wurden keine separaten NaiS-Standortstypen definiert. Falls es Änderungen bei den dominanten Baumarten gibt oder bei den wichtigen Naturwaldbaumarten (a oder b), wurden neue NaiS-Standortstypen definiert, z. B. 50 Re im Reliktareal der Tanne.

² Naturwald nach NaiS (Frehner et al. 2005): Wald, der nur soweit beeinflusst ist, dass sich Baumartenmischung und Struktur innerhalb einer Generation in den ursprünglichen Zustand zurückentwickeln können.

Tab. 2: Quellen für die Baumartenwahl pro NaiS-Standortstyp.

Abkürzung	Quellenangabe
AG	Stocker R., Burger T., Elsener O., Liechi T., Portmann-Orlowski K. & Zantop S., 2002: Die Waldstandorte des Kantons Aargau. Finanzdepartement Kanton Aargau, Abt. Wald, Aarau.
BE/FR	Burger T., Stocker R., Danner E., Kaufmann G. & Lüscher P., 1996: Standortkundlicher Kartierungsschlüssel für die Wälder der Kantone Bern und Freiburg: Kommentare zu den Waldgesellschaften. Amt für Wald und Natur Bern, Kantonsforstamt Freiburg.
Béguin 1982	Béguin C. & Theurillat J.-P., 1982: Les forêts d'érables dans la région d'Aletsch (Valais, Suisse). <i>Saussurea</i> 13: 17-33.
BL	Burnand J. & Hasspacher B., 1999b: Waldstandorte beider Basel. Kommentar zur vegetationskundlichen Standortkartierung der Wälder. Verlag des Kantons Basel-Landschaft, Liestal.
GC	Einschätzung von Gabriele Carraro
GR	Frey H.-U., Bichsel M. & Preiswerk T., 1998 - 2004: Waldgesellschaften und Waldstandorte Graubündens. Teilregionen 1 - 8. Hrsg. Amt für Wald Graubünden, Chur, in 8 sep. Ringordnern.
HUF	Einschätzung von Hans-Ulrich Frey
JB	Einschätzung von Jacques Burnand
JU	Burnand J., Burger T., Stocker R., Danner E., Kaufmann G. & Lüscher P., 1998: Clé de détermination des stations forestières du Canton du Jura et du Jura bernois. Volume 1: Clé. Volume 2: Commentaires. Service des forêts Delémont, Division forestière Tavannes.
LFI	Arten, die nach LFI, Merkmal „Präsenz von Gehölzarten mit BHD > 12 cm auf 2 Aren-Kreis“ vorkommen.
LU	von Wyl B., Häfliger P. & Baggenstos M., 2014: Pflanzensoziologische Kartierung der Luzerner Wälder - Kommentar Waldbau. Kanton Luzern. 2. Auflage
MF	Einschätzung von Monika Frehner
NaiS	Frehner M., Burnand J., Carraro G., Frey H.-U. & Lüscher, P., 2009: Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion. Anhang 2A. BUWAL, Bern. Zudem seither erfolgte Ergänzungen dazu.
SEBA	Projekt Förderung seltener Baumarten: www.wm.ethz.ch/seba-genressourcen/seba.html
SG	Burnand J., Frehner M., Frey H.-U., Preiswerk T. & Lüscher P., 1999a: Projekt Waldstandortskartierung St.Gallen-Mittelland: Bericht zum Teilprojekt Kartierungsschlüssel und Beschreibung der Standorte - Katalog der Standortstypen. Kantonsforstamt St. Gallen, Polykopie. Frey H.U., 1995: Waldgesellschaften und Waldstandorte im St. Galler Berggebiet.
TG	Schmider P., Winter D. & Lüscher P., 2003: Wälder im Kanton Thurgau - Waldgesellschaften, Waldstandorte, Waldbau. Mitt. Natf. Ges. Thurgau Band 58.
TI	Carraro G., 2012: Le Tipologie forestali del Canton Ticino e le loro tendenze evolutive. Ticino Dipartimento del Territorio Divisione ambiente Sezione forestale cantonale.
UR	Frey H.-U. & Bichsel M., 2005: Waldgesellschaften und Waldstandorte des Kantons Uri. Amt für Forst und Jagd, Uri.
VD	Clot F., 2013: Observatoire de l'écosystème forestier. Canton de Vaud.
WS	Workshop Überprüfung Baumarten-Empfehlungen vom 20. 3. 2018 mit Peter Ammann und Pascal Junod, beide Fachstelle Waldbau BZW Lyss, Andreas Rudow, ETH Zürich, Hans-Ulrich Frey, Vättis, Thomas Burger, Sieber + Liechi GmbH Ennetbaden, Monika Frehner, Forstingenieurbüro Monika Frehner, Sargans, Geri Kaufmann und Manuela Schmutz, beide Kaufmann + Bader GmbH Solothurn.
ZH	Schmider P., Küper M., Tschander B. & Käser B., 1993: Die Waldstandorte im Kanton Zürich. Verlag der Fachvereine, Zürich.
ZG	Ziegler M., 2014: Waldgesellschaften des Kantons Zug. Kanton Zug, Direktion des Innern, Amt für Wald und Wild.

Eingeführte Arten können eine Chance oder ein Problem sein. In beiden Fällen ist es interessant zu wissen, ob sie auf einem Standort zu erwarten sind. Bei der Umsetzung in die Baumartenempfehlungen Klimawandel wird nur *Ailanthus* (Götterbaum) separat behandelt, da es zu diesem einen Leitfaden des BAFU gibt (Leuthardt et al. 2016). Bei den übrigen eingeführten Baumarten hat das BAFU nach einer internen Konsultation beschlossen, sie nicht speziell zu kennzeichnen, aber am Schluss der jeweiligen Baumartenlisten aufzuführen.

Pinus strobus wurde nicht aufgeführt. Nach Auskunft von Beat Forster (Waldschutz Schweiz, WSL) ist der Strobenblasenrost in Mitteleuropa weiterhin ein Problem. Der Anbau von Stroben kann deshalb nicht empfohlen werden. Die Douglasie und die Roteiche wurden auf der Alpen-nordseite in denjenigen Standortstypen erwähnt, in denen sie in einem kantonalen Schlüssel erwähnt wurden. Robinie und Götterbaum wurden auf Grund von Erfahrungen der Expertinnen und Experten eingetragen. Für die Alpensüdseite wurden diese Baumarten und weitere eingeführte Baumarten ebenfalls auf Grund von Experteneinschätzungen eingetragen.

2.2 Methodisches Vorgehen

2.2.1 Umgang mit Standort-Übergängen und Standort-Mosaiken

Da die Standorte ein Kontinuum darstellen, kann ein Waldstandort nicht immer einem Standortstyp zugeordnet werden. Bei den Kartierungen ist es deshalb üblich, Übergänge oder Mosaiken zu kartieren. Bei einem Mosaik X/Y sind die Standortstypen X und Y klar im Feld erkennbar, die Flächen sind aber so angeordnet, dass sie im für die Kartierung verwendeten Massstab nicht einzeln ausgeschieden werden konnten. Für die Herleitung von Baumarten für den Klimawandel werden jeweils beide Standortstypen separat betrachtet.

Bei der Angabe X(Y) stellt ein Waldstandort einen Übergang zwischen den Standortstypen X und Y dar, ist aber dem Standortstyp X ähnlicher. In diesem Fall werden die möglichen Baumarten gemäss den Regeln in Tab. 3 hergeleitet.

Tab. 3: Herleitung der möglichen Baumarten bei einem Übergang zwischen zwei NaiS-Standortstypen. Ex kann auch ein leeres Feld sein.

Standortstyp X	Standortstyp Y	Übergang X(Y)
a	a	a
a	b	a
a	c	b
a	ex	c
b	a	b
b	b	b
b	c	b
b	ex	c
c	a	b
c	b	c
c	c	c
c	ex	ex
ex	a	c
ex	b	c
ex	c	ex
ex	ex	ex

2.2.2 „Nicht analoge“ Standorte

Bei den Klimazukünften «mässig» sowie «stark» werden in den Jahren 2070 - 2099 in den unteren Lagen der Schweiz stellenweise Verhältnisse erwartet, für die es heute in der Schweiz keine Vorbilder gibt (sog. nicht analoge Standorte). Für diese Verhältnisse wurden gutachtlich Baumarten hergeleitet. Dabei wurden die Erkenntnisse aus dem Forschungsprogramm Wald und Klimawandel zu diesem Thema bis Anfangs Mai 2018 berücksichtigt, im Besonderen die im Folgenden genannten Unterlagen.

- Modellierungen von N. Zimmermann (WSL) für das Projekt Huber et al. (2017). Mit Hilfe dieser wurden Gebiete gesucht, die heute ein ähnliches Klima aufweisen, wie es im entsprechenden Gebiet der Schweiz 2070 – 2099 erwartet wird (Tab. 4).

Tab. 4: Gebiete, die heute gemäss Huber et al. (2017) das Klima aufweisen, das wir 2070 – 2099 in den entsprechenden Gebieten der Schweiz erwarten.

Gebiet in der Schweiz	Gebiet, in dem heute ein ähnliches Klima vorhanden ist, wie im entsprechenden Gebiet der Schweiz 2070 – 2099 erwartet wird.
Genf	Tiefe Lagen des Rhonetals in Südfrankreich. Poebene bis Mittelitalien.
Chiasso	Piemont bis Kroatien
Payerne und Basel	Westlich der Cevennen, Poebene bis Mittelitalien.
Sion	Inneres der iberischen Halbinsel
Scuol	Nordosten von Tschechien (Riesengebirge ohne Buche)
Collin Mittelland	Südfrankreich, tiefe Lagen des Rhonetals, Poebene bis Mittelitalien.
Collin Tessin	Piemont bis Kroatien
Collin VS/GR	Inneres der iberischen Halbinsel

- Die Karten von Portree (<http://www.wsl.ch/lud/portree/>) wurden für 2051 – 2080 betrachtet und es wurde überprüft, ob die Baumart in dieser Karte in den tiefen Lagen des Mittellandes, des Wallis oder des Tessins vorkommt.
- An Hand der Baumartenverbreitungen von Rudow (<http://www.balti.ethz.ch/tiki-index.php?page=eBot6>) und von Schütt et al. (2006) wurde beurteilt, ob die Baumart in den Gebieten vorkommt, die gemäss Tab. 4 heute ein ähnliches Klima aufweisen, wie wir es in Zukunft in den entsprechenden Gebieten der Schweiz erwarten. Die Ergebnisse sind in Tab. 5 dargestellt. Zur Verbreitung von Baumarten auf der Achse sauerbasisch wurde ebenfalls die Baumartenverbreitung von Rudow (<http://www.balti.ethz.ch/tiki-index.php?page=eBot6>) konsultiert.

Tab. 5: Verbreitung von Baumarten gegen Ende des Jahrhunderts nach der Baumartenverbreitung nach PorTree, Rudow und Schütt et al. (2006). In der letzten Spalte ist die Höhenstufe nach Rudow angegeben, ein «plus» heisst, dass die Baumart auch in der darüberliegenden Höhenstufe vorkommt, ein «minus», dass sie auch in der darunterliegenden Höhenstufe vorkommt. Kein Eintrag heisst, die Baumart wurde vom Autor nicht berücksichtigt. M = Mittelland. TI = Tessin, VS/GR = Wallis/Graubünden.

Baumname lateinisch	Portree			Schütt			Rudow			Höhenstufe
	M	TI	VS/GR	M	TI	VS/GR	M	TI	VS/GR	
Abies alba	nein	nein	nein	nein	teils	nein	ja	ja	nein	montan plus
Acer campestre	ja	ja	ja				ja	ja	ja	Collin ³ plus
Acer opalus				ja	teils	teils	ja	teils	teils	collin
Acer platanoides				teils	teils	teils	ja	ja	nein	collin plus
Acer pseudoplatanus	teils	teils	teils				teils	ja	teils	indifferent minus
Alnus glutinosa	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	collin plus
Alnus incana	teils	teils	ja	teils	teils	nein	teils	ja	nein	montan minus
Alnus viridis							nein	nein	nein	subalpin plus
Betula pendula	teils -	nein	teils +	ja	ja	ja	ja	teils	teils	indifferent minus
Carpinus betulus	teils +	nein	teils +	teils	ja	nein	ja	ja	nein	collin
Castanea sativa	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	
Celtis australis				teils	teils	teils				
Fagus sylvatica	nein	nein	nein	teils	teils	nein	ja	ja	nein	montan minus
Ficus carica				teils	ja	ja				
Fraxinus excelsior	teils +	teils +	teils +	ja	ja	teils	ja	ja	teils	collin plus
Fraxinus ornus	teils -	teils +	teils	nein	teils	nein	nein	ja	nein	collin
Ilex aquifolium				ja	ja	ja	ja	ja	ja	collin plus
Juglans regia							ja			collin
Juniperus communis				ja	ja	ja	ja	ja	ja	indifferent
Larix decidua	nein	nein	teils +	nein	nein	nein	nein	nein	nein	subalpin minus
Malus sylvestris				ja	ja	teils	ja	ja	ja	collin plus
Ostrya carpinifolia	nein	teils	wenig	nein	ja	nein	nein	ja	nein	collin plus
Picea abies	nein	nein	nein	nein	nein	nein	teils	teils	nein	subalpin minus
Pinus cembra	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	subalpin
Pinus mugo							nein	nein	nein	subalpin minus
Pinus nigra	teils	teils	teils +	nein	nein	teils				
Pinus sylvestris aggr.	ja	nein	ja	teils	nein	teils	ja	teils	teils	indifferent minus
Populus alba				ja	ja	ja	ja	ja	ja	collin
Populus nigra				ja	ja	ja	ja	ja	ja	collin plus
Populus tremula	ja	ja	ja	teils	ja	teils	ja	ja	teils	indifferent minus
Prunus avium	ja	ja	ja	teils	ja	teils	ja	ja	ja	collin plus
Prunus padus	wenig	nein	wenig	teils	ja	teils	ja	ja	teils	collin plus
Pyrus pyraeaster							ja	ja	nein	collin plus
Quercus petraea	ja	ja	ja	ja	ja	wenig	ja	ja	teils	collin plus
Quercus pubescens	teils	teils	teils	ja	ja	wenig	ja	ja	nein	collin
Quercus robur	ja	ja	ja	ja	ja	teils	ja	ja	teils	collin plus
Robinia pseudoacacia	ja	ja	ja				ja			collin

³ Bei Rudow im Original kollin. Kollin und collin haben die gleiche Bedeutung.

Baumname lateinisch	Portree			Schütt			Rudow			Höhenstufe
	M	TI	VS/GR	M	TI	VS/GR	M	TI	VS/GR	
Salix alba				ja	ja	ja	ja	ja	ja	collin
Salix caprea				ja	ja	ja	ja	ja	nein	indifferent minus
Salix daphnoides				nein	teils	nein				
Salix elaeagnos							ja	ja	ja	collin plus
Salix purpurea							ja	ja	ja	indifferent minus
Sorbus aria				teils	teils	teils	ja	ja	ja	indifferent minus
Sorbus aucuparia				teils	teils	teils	ja	ja	ja	indifferent minus
Sorbus domestica							ja	ja	ja	collin
Sorbus torminalis							ja	ja	ja	collin
Taxus baccata				nein	teils	nein	teils	ja	ja	collin plus
Tilia cordata				ja	ja	teils	ja	ja	teils -	collin plus
Tilia platyphyllos							ja	ja	teils	collin plus
Ulmus glabra	nein	nein	nein	teils	teils	nein	ja	ja	nein	montan minus
Ulmus laevis				teils	ja	teils				
Ulmus minor							ja	ja	ja	collin
Quercus ilex	wenig Genf	nein	wenig VS	wenig	wenig	teils +				
Laurus nobilis				teils	teils	nein				
Quercus suber				wenig	wenig	ja				
Coryllus avellana							ja	ja	ja	collin plus
Amelanchier ovalis							ja	ja	ja	indifferent minus

Für die Beschreibung von Standortstypen im Bereich der nicht analogen Standorte fehlen die Grundlagen. Deshalb werden an Stelle von Standortstypen Einheiten mit möglichen Baumarten beschrieben. Für das Abschätzen des Gedeihens einer Baumart innerhalb des Ökogrammes wurde pro Region das Ökogramm der tiefstgelegenen Höhenstufe gewählt, in dem die Standortstypen umfassend beschrieben sind, und an Stelle der heute vorkommenden Standortstypen wurde die Lage am entsprechenden Ort im Ökogramm mit der Nummer des entsprechenden Standortstyps plus dem Zusatz collin (Alpennordseite) sowie hyperinsubrisch oder mediterran (entspricht im Modell von Abenis (Gubelmann et al. 2019) «collin ohne Buche») bezeichnet. Dazu wurden die Ökogramme in Abb. 1 bis Abb. 3 verwendet, diese basieren auf den Ökogrammen in Frehner et al. (2009) und wurden im Projekt «Sensitive Standorte und Bestände» ergänzt. Das heisst, in der Einheit 7a collin sind jene Baumarten aufgeführt, die in der Mitte des Ökogrammes in der collinen Stufe von Mittelland und Jura erwartet werden. Dabei sind nur Baumarten aufgeführt; für eine vollständige Beschreibung des an diesem Ort im Ökogramm in der collinen Stufe erwarteten Standortstyps inkl. eines Namens fehlen heute die Grundlagen.

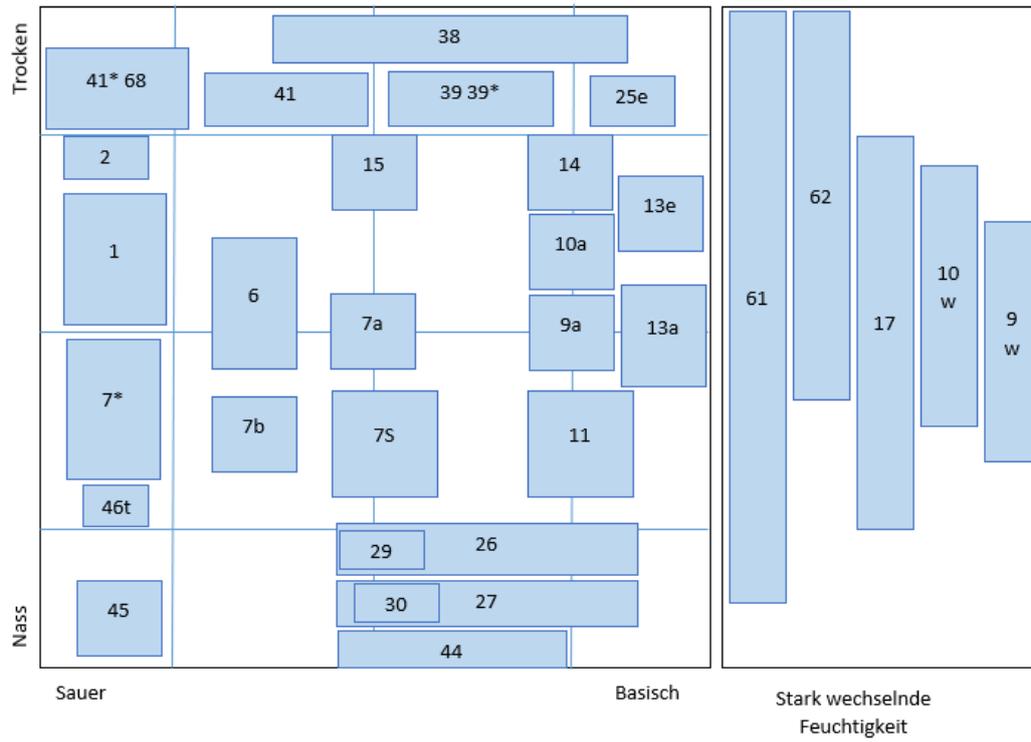


Abb. 1: Ökogramm Mittelland/Jura, Höhenstufe submontan.

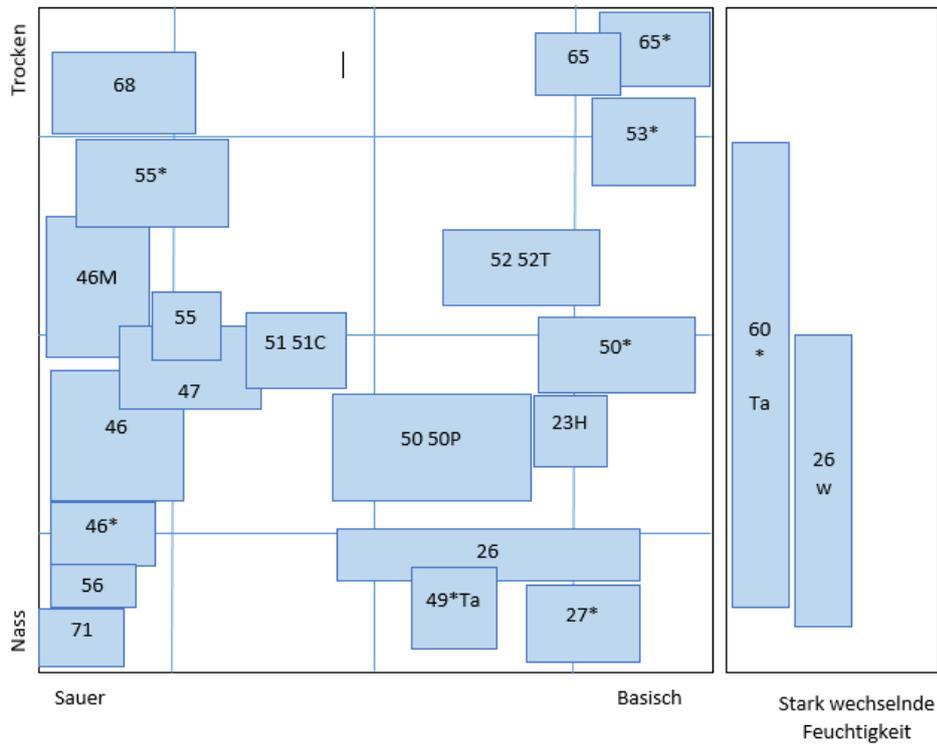


Abb. 2: Ökogramm Nördliche Zwischenalpen, Höhenstufe hochmontan.

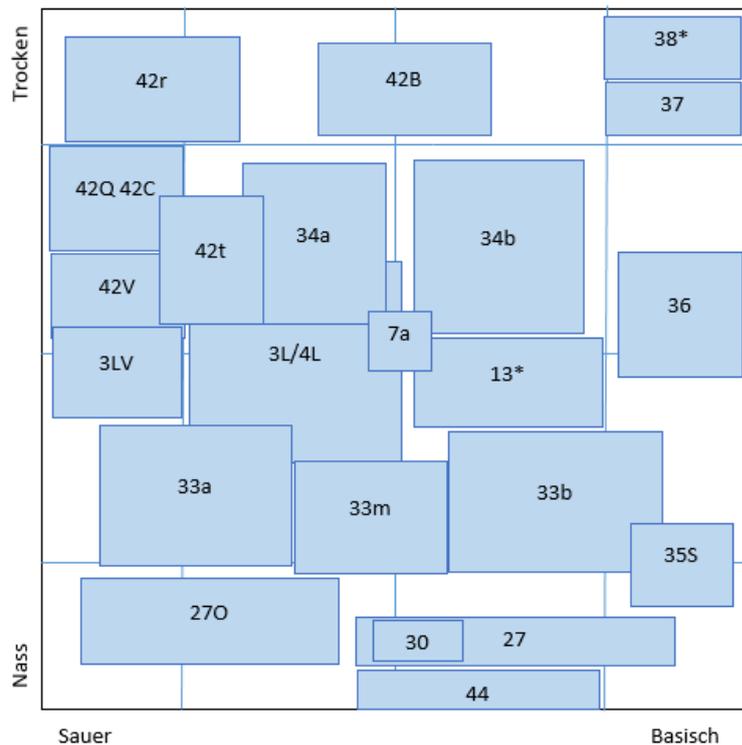


Abb. 3: Ökogramm Südliche Randalpen (Region 5), Höhenstufe collin.

Die Abschätzung des Gedeihens einer Baumart wurde mit Hilfe von lokalen Experten durchgeführt: Am 17. November 2016 beurteilten Pascal Junod, Jacques Burnand und Monika Frehner das Gedeihen der Baumarten in der collinen Stufe der Regionen Mittelland und Jura. Am 6. Februar 2017 beurteilten Roland Métral, Nicolas Bagnoud, Jacques Burnand und Monika Frehner das Gedeihen der Baumarten in der collinen Stufe der Nördlichen Zwischenalpen. Im Frühling 2018 beurteilte Gabriele Carraro mit Hilfe von Monika Frehner das Gedeihen der Baumarten in der hyperinsubrischen und mediterranen Stufe der Südlichen Randalpen. Die Beurteilung des Gedeihens der Baumarten in der collinen Stufe der Regionen Mittelland und Jura wurden im Mai 2018 mit den ersten Erkenntnissen einer Studienreise von Vertretern des Forschungsprogramms Wald und Klimawandel in die Toskana ergänzt.

In den Einheiten der collinen Stufe der Alpennordseite sowie der hyperinsubrischen und mediterranen Stufe der Alpensüdseite wurden primär diejenigen Baumarten aufgeführt, die heute schon in der Schweiz vorkommen. Schon heute eingeführte oder in Zukunft erwartete Baumarten sind unvollständig erfasst. Es ist möglich, dass weitere Baumarten einwandern. Bei invasiven Neophyten ist es möglich, dass sie ausgehend von Gartenanlagen in den Wald vordringen und sich vor allem während der Verjüngungsphase grossflächig ausbreiten. In den tiefen Lagen des Tessin kann dies beim Götterbaum und weiteren Arten schon gut beobachtet werden.

Das Vorkommen der Baumarten der Einheiten der collinen Stufe der Alpennordseite (X collin, z. B. 7a collin), der hyperinsubrischen Stufe (X hyp) und der mediterranen Stufe (X med) konnte weniger zuverlässig hergeleitet werden als das Vorkommen der Baumarten der NaiS-Standortstypen. Falls neue Erkenntnisse vorliegen, sollen die Vorkommen der Baumarten dieser Einheiten überarbeitet werden.

Die Baumarten, die in den Standortstypen der collinen Stufe der Regionen Mittelland/Jura und der Nördlichen Zwischenalpen sowie der hyperinsubrischen und mediterranen Stufe der Südlichen Randalpen möglich sind, sind in der Tabelle „Baumarten pro Standortstyp mit Quellen“ (Anhang) zu finden.

2.3 Herleitung der Baumartenempfehlungen für künftige Klimate

Die Baumartenempfehlungen werden hergeleitet, indem man die Baumarten des heutigen Standortstyps und die Baumarten der Standortstypen, die bei den beiden Klimazukünften erwartet werden, miteinander vergleicht. Daraus kann abgeleitet werden, welche Baumarten heute und in Zukunft geeignet sind, welche ihre Eignung verlieren und welche neu hinzukommen könnten.

Dazu werden an einem konkreten Ort zuerst die Höhenstufe und der heutige NaiS-Standortstyp (z.B. 8a) sowie die Lage dieses NaiS-Standortstyps im Ökogramm erhoben. Danach wird an der Koordinate dieses Ortes die modellierte Höhenstufe für die Periode 2070 – 2099 für die weniger trockene und die trockenere Klimazukunft bestimmt. Im «Ziel-Ökogramm» in der zukünftig geltenden Höhenstufe wird der zukünftige Standortstyp grundsätzlich dort im Ökogramm gewählt, wo der heute geltende Standortstyp im heutigen Ökogramm liegt. Befinden sich im Ziel-Ökogramm an der Stelle des ursprünglichen Standortstyps mehrere Standortstypen, soll der trockenere Standortstyp gewählt werden.

Bei den Einheiten der collinen Stufe der Alpennordseite (X collin), der hyperinsubrischen Stufe (X hyp) und der mediterranen Stufe (X med) werden die pro Einheit aufgeführten Baumarten verwendet, das Vorgehen ist grundsätzlich gleich wie bei den NaiS-Standortstypen.

Die Höhenstufe für die Periode 2070 – 2099 Klimawandel «mässig» und «stark» kann mit Hilfe der Höhenstufenmodelle von Abenis (Gubelmann et al. 2019) hergeleitet werden. Die Projektion vom heutigen Ökogramm in das Ziel-Ökogramm in der zukünftigen Höhenstufe kann mit Hilfe der Tabelle Projektionswege im Anhang hergeleitet werden. Diese Tabelle wurde im Rahmen des Projekts «Sensitive Standorte und Bestände» des Forschungsprogramms «Wald und Klimawandel» erarbeitet. Danach werden die Baumarten der heute und in Zukunft erwarteten Standortstypen/Einheiten aufgeführt (siehe Tab. 6). Bei Übergängen zwischen zwei Einheiten werden die Baumarten gemäss Tab. 3 hergeleitet. Danach wird jede Baumart einzeln nach dem Schema in Tab. 7 abgeklärt.

Tab. 6: Vorkommen von Baumarten im Standortstyp heute und im zukünftigen Standortstyp in der Periode 2070 – 2099 bei Klimawandel mässig und stark. Die Höhenstufen der zukünftigen Standortstypen/Einheiten werden mit dem Modell von Abenis (Gubelmann et al. 2019) hergeleitet, die zukünftigen Standortstypen/Einheiten mit Hilfe der Tabelle Projektionswege in Anhang C. Die Baumarten (a, b, c) werden der Tabelle im Anhang entnommen.

Standortstyp heute	Standortstyp 2070 – 2099 Klimawandel mässig	Standortstyp 2070 – 2099 Klimawandel stark
<i>Wichtige Naturwaldbaumarten</i>		
a = fett b= normal	a = fett b= normal	a = fett b= normal
<i>Weitere Baumarten</i>		
C	c	c

Baumarten, die heute möglich und in Zukunft wichtig sind, sollen gefördert werden, Baumarten, die heute möglich sind und in Zukunft erwartet werden, aber ohne Hilfe nur selten die Oberschicht erreichen, sollen mitgenommen werden. Baumarten, die heute möglich sind und in Zukunft nicht mehr aufgeführt sind, sollen reduziert werden, was vor allem für ihr Vorkommen in der Verjüngung gilt. Dieser Teil der Empfehlung kann ab sofort umgesetzt werden, wobei in einem ersten Schritt dafür zu sorgen ist, dass von den Baumarten, die gefördert werden sollen, genügend Samenbäume vorhanden sind. Falls das nicht mit Naturverjüngung möglich ist, sollen diese Baumarten gepflanzt werden. Baumarten, die heute nicht aufgeführt sind, aber in Zukunft wichtig sind, sollte begünstigt werden, sobald sie vorhanden sind. Bei Pflanzungen ist zuerst zu prüfen, ob das Klima schon geeignet ist.

Am Schluss kommen jeweils alle Baumarten, die beim Standortstyp heute oder bei Annahme einer Klimazukunft vorkommen, in einer der 7 Zeilen (heute mögliche Baumarten Fördern, mitnehmen, reduzieren, Achtung; In Zukunft zusätzlich mögliche Baumarten Fördern, mitnehmen, Achtung) genau einmal vor. Ein Beispiel ist in Tab. 7 dargestellt.

Tab. 7: Prinzipien zur Herleitung der Baumartenempfehlung Klimawandel «mässig» (die Prinzipien gelten analog auch für die Herleitung der Baumartenempfehlung Klimawandel «stark») und deren Anwendung an einem Beispiel. Die Baumarten (a, b, c) werden der Tabelle im Anhang entnommen. Baumarten in Fettschrift dominieren am entsprechenden Standortstyp im Naturwald. Bei der Baumartenempfehlung sind jene Baumarten blau markiert, die aufgrund des Klimawandels mässig und stark zum Fördern oder Mitnehmen empfohlen werden.

Heute mögliche Baumarten	
Fördern	Standortstyp Klimawandel mässig (7a in Beispiel) a und b, zudem Standortstyp heute (8a in Beispiel) a, b oder c
Mitnehmen	Standortstyp Klimawandel mässig (7a in Beispiel) c, zudem Standortstyp heute (8a in Beispiel) a, b oder c
Reduzieren	Standortstyp heute (8a in Beispiel) a, b oder c, zudem Standortstyp Klimawandel mässig (7a in Beispiel) weder a, b oder c
Achtung	Hier wird der Götterbaum eingefügt, falls er im Standortstyp Klimawandel mässig und im Standortstyp heute vorkommt.

In Zukunft zusätzlich mögliche Baumarten	
Fördern	Standortstyp Klimawandel mässig (7a in Beispiel) a und b, zudem Standortstyp heute (8a in Beispiel) weder a, b oder c
Mitnehmen	Standortstyp Klimawandel mässig (7a in Beispiel) c, zudem Standortstyp heute (8a in Beispiel) weder a, b oder c
Achtung	Hier wird der Götterbaum eingefügt, falls er im Standortstyp Klimawandel mässig vorkommt im Standortstyp heute aber nicht.

8a Mittelland		
Standortstyp heute	Standortstyp 2070 – 2099 Klimawandel mässig	Standortstyp 2070 – 2099 Klimawandel stark
Untermontan	Submontan	Collin
8a Typischer Waldhirschen-Buchenwald	7a Typischer Waldmeister-Buchenwald	7a collin
<i>Wichtige Naturwaldbaumarten</i>		
Buche Tanne, Bergahorn, Esche, Fichte	Buche Spitzahorn, Bergahorn, Esche, Traubeneiche, Stieleiche	Hagebuche, Kirschbaum, Traubeneiche, Winterlinde Spitzahorn, Esche, Waldföhre, Zerreiche, Robinie
<i>Weitere Baumarten</i>		
Spitzahorn, Birke, Kastanie, Stechpalme, Lärche, Waldföhre, Zitterpappel, Kirschbaum, Traubeneiche, Stieleiche, Salweide, Vogelbeere, Eibe, Winterlinde, Bergulme, Douglasie, Roteiche	Tanne, Feldahorn, Schwarzerle, Birke, Hagebuche, Kastanie, Stechpalme, Nussbaum, Lärche, Fichte, Waldföhre, Zitterpappel, Kirschbaum, Salweide, Vogelbeere, Eibe, Winterlinde, Bergulme, Götterbaum, Douglasie, Roteiche, Robinie	Tanne, Feldahorn, Schneeballblättriger Ahorn, Weisslerle, Birke, Kastanie, Buche, Blumenesche, Stechpalme, Nussbaum, Wildapfel, Hopfenbuche, Zitterpappel, Traubenkirsche, Wildbirne, Salweide, Mehlbeere, Vogelbeere, Speierling, Elsbeere, Eibe, Sommerlinde, Feldulme, Götterbaum, Douglasie, Steineiche
Oberhöhe 30 – 40 m	Oberhöhe 30 – 40 m	

Baumartenempfehlung Klimawandel mässig

Heute mögliche Baumarten	
Fördern	Spitzahorn, Bergahorn, Buche, Esche, Traubeneiche, Stieleiche
Mitnehmen	Tanne, Birke, Kastanie, Stechpalme, Lärche, Fichte, Waldföhre, Zitterpappel, Kirschbaum, Salweide, Vogelbeere, Eibe, Winterlinde, Bergulme, Douglasie, Roteiche
In Zukunft zusätzlich mögliche Baumarten	
Mitnehmen	Feldahorn, Schwarzerle, Hagebuche, Nussbaum, Robinie
Achtung	Götterbaum

Baumartenempfehlung Klimawandel stark

Heute mögliche Baumarten	
Fördern	Spitzahorn, Esche, Waldföhre, Kirschbaum, Traubeneiche, Winterlinde
Mitnehmen	Tanne, Birke, Kastanie, Buche, Stechpalme, Zitterpappel, Salweide, Vogelbeere, Eibe, Douglasie, Robinie
Reduzieren	Bergahorn, Lärche, Fichte, Stieleiche, Bergulme, Roteiche
In Zukunft zusätzlich mögliche Baumarten	
Fördern	Hagebuche, Zerreiche, Robinie
Mitnehmen	Feldahorn, Schneeballblättriger Ahorn, Weisserle, Blumenesche, Nussbaum, Wildapfel, Hopfenbuche, Traubenkirsche, Wildbirne, Mehlbeere, Speierling, Elsbeere, Sommerlinde, Feldulme, Steineiche
Achtung	Götterbaum

3 Resultate

In den Fichen⁴ im Anhang von Frehner et al. (2018) sind die Baumartenempfehlungen aller an den Waldtests beurteilten Waldbestände aufgeführt, ebenso die Baumartenempfehlungen, die für den Vergleich mit den Ergebnissen des Waldsukzessionsmodells ForClim (Zürcher-Gasser et al. 2016) erarbeitet wurden. Da die Baumartenempfehlungen innerhalb der letzten zwei Jahre ständig weiterentwickelt wurden, gibt es Differenzen zwischen den an den Waldtests präsentierten Baumartenempfehlungen und den in den Fichen dargestellten Baumartenempfehlungen.

4 Projektablauf

Das Projekt lief planmässig ab. Die Abgabefrist wurde verlängert.

5 Diskussion

Nach Williams und Jackson (2007) basieren unsere Vorstellungen, wie sich Ökosysteme in der Zukunft präsentieren, auf unseren Beobachtungen und der Kenntnis über die potenziellen Reaktionen der Baumarten. Je weiter wir uns von der Gegenwart entfernen, desto stärker könnten sich die Reaktionen der Ökosysteme von den heutigen Reaktionen unterscheiden. Die Dynamik von einzelnen Arten und die Zusammensetzung von zukünftigen Ökosystemen kann erklärt werden mit einem Nischen-basierten Ansatz. Jede Art hat eine eigene multidimensionale fundamentale Nische und reagiert individuell auf Veränderungen der Umwelt. Da heute nicht alle möglichen Kombinationen von Umwelteinflüssen realisiert sind, ist es möglich, dass Teile der fundamentalen Nische einer Art heute noch nicht existieren. Wenn die Klimaänderung zu einer neuen Kombination von Klimafaktoren führt, können sich Arten in jene Teile ihrer fundamentalen Nische ausbreiten, die heute noch nicht vorkommen. Dies kann dazu führen, dass sich die Artenkombinationen von Ökosystemen in Zukunft ändern, d.h. dass sich neue Waldgesellschaften bilden. Die Vorhersage der Reaktion von Arten auf die Klimaänderung ist daher problematisch, da teils Aussagen über Nischenbereiche nötig sind, die sich noch nicht oder nur selten beobachten lassen. Unsicherheiten der Entwicklung auf Artebene kumulieren sich bei Betrachtung von Artgemeinschaften, was die Prognose der Entwicklung von Ökosystemen in einem neuen Klima erschwert.

Die Herausforderungen, die William und Jackson (2007) beschreiben, können unterschiedlich angegangen werden. Ewald et al. (2011) haben im Projekt WINALP für die 12 häufigsten Baumarten im Bergwald der Nordalpen Habitateignungsmodelle berechnet und auf regionalisierte Klimaszenarien für das Jahr 2100 angewandt. Dabei wird die Wahrscheinlichkeit des Vorkommens einer Baumart mit den umfassenden Umweltdaten des Waldinformationssystems verschritten. Im Projekt «Karten für die Zukunft» der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft Beck et al. (2012) wurde ein flächendeckendes, digitales Standortinformationssystem (Bayerisches Standortinformationssystem «BaSIS») für die Bayerische Forstverwaltung -erarbeitet. Die digitalen BaSIS-Karten enthalten die Themen Substrat, Basen- und

⁴ In den Fichen von Frehner et al. 2018 wurde «Standortstyp» als «Standort» abgekürzt

Wasserhaushalt und darauf aufbauend die Baumarteneignung. Die Baumarteneignungskarten geben den gegenwärtigen Wissensstand über den Zusammenhang von Standort und Baumartenvorkommen aufgrund statistischer Berechnungen wieder. Da in der Schweiz räumlich hoch aufgelöste geologische/bodenkundliche Grundlagen in vielen Gebieten fehlen, können keine dem bayerischen Ansatz ähnliche Karten berechnet werden. Die in PorTree (Zimmermann et al. 2016) berechneten Nischenmodelle beruhen denn auch hauptsächlich auf Klimainformationen.

Um neben dem Klima weitere Standortfaktoren berücksichtigen zu können, wurde in diesem Projekt der Ökogrammansatz mit den so genannten Standortstypen verwendet. Unter dem «Standort» eines Baumbestandes verstehen wir nach Ott et al. (1997) die Gesamtheit aller Einflüsse, die auf die Bäume des Waldbestandes wirken (zum Beispiel Klima, Bodeneigenschaften, Lawinen, Steinschlag etc.). Der «Standort» integriert die verschiedenen Faktoren, die für die Ausprägung der Waldgesellschaft wichtig sind, und lässt daher Rückschlüsse auf die Konkurrenzsituation der Baumarten bei diesen Randbedingungen zu. Die Grundlagen zur Herleitung der Baumartenempfehlungen mit dem Ökogrammansatz werden in den Teilen 1 – 4 des Projekts «Adaptierte Ökogramme» diskutiert.

In dem hier verwendeten Ansatz werden die heute - gemäss Ökogramm - in einem bestimmten Standortstyp möglichen Baumarten mit den künftig möglichen Baumarten verglichen. Diese künftig möglichen Baumarten werden dem zukünftig erwarteten Standortstyp entnommen, der i.d.R. klimabedingt infolge der Höhenstufenverschiebung in einem anderen Ökogramm liegt als heute. Dies dürfte besonders für solche Fälle zu verlässlichen Einschätzungen der geeigneten Baumarten führen, bei denen das in Zukunft zu erwartende Klima schon heute in der Schweiz vorkommt.

Der Ansatz für die Herleitung der Baumartenempfehlungen wurde an 3 Workshops mit Experten sowie an den Waldtests (Frehner et al. 2018) diskutiert. An den Workshops vom 31. März 2014 und vom 26. Februar 2016 mit Experten aus Deutschland, Österreich und der Schweiz wurde der Ansatz der Herleitung von Baumartenempfehlungen mit Hilfe der Verschiebung der Höhenstufen und der Verwendung der Ökogramme diskutiert. Der Ansatz wurde als gut geeignet bezeichnet, um in Gebieten mit grossen Höhengradienten zu arbeiten; die Analogieschlüsse seien möglich und plausibel. Am 22. September 2016 fand ein Workshop zur Herleitung von Baumartenempfehlungen für sog. nicht analoge Standorte mit Experten aus Deutschland, Kroatien, Frankreich, Serbien und Österreich statt (Huber et al. 2017). Dabei wurden zwei Ansätze diskutiert, um das Problem der nicht analogen Standorte zu lösen: einerseits das in der Schweiz angewandte Verfahren zur Suche nach «analogen» Standorten in Europa auf der Grundlage von klimatischen Faktoren, die dem künftigen Klima entsprechen sollten (unter Berücksichtigung edaphischer Faktoren) und andererseits das in Bayern angewandte Verfahren der Klimahüllen für einzelne Baumarten.

Das von uns entwickelte Verfahren der Herleitung von Baumartenempfehlungen unter Klimawandel wurden an den Waldtests 2016 und 2017 mit Vertretern der Praxis in rund 30 Waldbeständen diskutiert (Frehner et al. 2018). Das Vorgehen wurde als zielführend beurteilt, da es einerseits Praktikern ausreichend Informationen für waldbauliche Entscheide zur Verfügung stellt, andererseits aber genug Spielraum für individuelle Schwerpunktsetzungen aufgrund von Lokalkenntnissen lässt. Die Anwendung der Empfehlungen verlangt erheblichen forstlichen Sachverstand, da der aktuelle Bestand und die Waldschutzsituation sowie gegebenenfalls das kleinräumige Lokalklima und lokale Erfahrungen mit bestimmten Baumarten berücksichtigt werden müssen.

Eine Herausforderung bleibt weiterhin der Umgang mit nicht analogen Standorten, für welche das heute vorhandene Wissen bezüglich Baumartenvorkommen z.T. ungenügend ist. Allfällige neue Erkenntnisse dazu sollten laufend in das Verfahren integriert werden.

6 Ausblick

Für das flächige Bereitstellen von Baumartenempfehlungen werden folgende Verfahren vorgeschlagen:

Falls schon NaiS-nahe Standortkartierungen vorhanden sind können diese in NaiS-Standortstypen umgerechnet werden. Danach kann mit Hilfe des Modells von Abenis, der Tabelle «Projektionswege» und den möglichen Baumarten pro NaiS-Standortstyp für jede in der Kartierung ausgeschiedene Fläche eine «Baumartenempfehlung Klimawandel» mit zwei Klimazukünften berechnet werden.

Für die Herleitung der «Baumartenempfehlung Klimawandel» an einem beliebigen Ort der Schweizer Waldfläche kann mit Hilfe des Modells von Abenis, der Tabelle «Projektionswege» und den möglichen Baumarten pro NaiS-Standortstyp ein Tool zur Baumartenwahl erstellt werden, das mit den Eingangsgrössen «geographische Koordinaten» und «heutiger NaiS-Standortstyp» eine Baumartenempfehlung Klimawandel ausgibt .

Die möglichen Baumarten pro Standortstyp entsprechen dem Stand des Wissens und der Erfahrungen von Mai 2018. Es wird empfohlen, regelmässig eine Zielanalyse durchzuführen, um weiteres Wissen und weitere Erfahrungen zu integrieren. Weitere Erkenntnisse zu den möglichen Baumarten der NaiS-Standortstypen könnten ab 2020 erarbeitet werden, indem die auf den LFI-Probeflächen vorkommenden Baumarten mit den NaiS-Standortstypen dieser Flächen verglichen werden. Zudem wären weitere Erkenntnisse zum möglichen Vorkommen von *Salix*-Arten und eingeführten Baumarten bei den NaiS-Standortstypen wichtig, ebenso weitere Erkenntnisse zu den möglichen Baumarten der Standortstypen der collinen Stufe der Alpennordseite, der hyperinsubrischen Stufe und der mediterranen Stufe der Südlichen Randalpen.

7 Literatur

- Annen B., Frey H-U., Lüscher P., Ott E., Schwitter R. & Zeller E., 1993: Dokumentation der 10. Arbeitstagung der Gruppe Gebirgswaldpflege GWG in Flüelen. www.gwg-gsm.ch, 21.6.2018.
- Beck J., Dietz E. & Falk W., 2012: Digitales Standortsinformationssystem für Bayern. LWF aktuell 87: 20-23.
- Béguin C. & Theurillat J.-P., 1982: Les forêts d'érables dans la région d'Aletsch (Valais, Suisse). *Saussurea* 13: 17-33.
- Bischof N., Lienert L., Ott E. & Zeller E., 1987: Dokumentation der 3. Arbeitstagung der Gruppe Gebirgswaldpflege in Ritzingen. Institut Wald- und Holzforschung ETH Zürich 1987. www.gwg-gsm.ch, 21.6.2018.
- Bischof N., Ott E., Zeller E. & Zuber R., 1989: Dokumentation der 5. Arbeitstagung der Gruppe Gebirgswaldpflege in Rabius. Institut Wald- und Holzforschung ETH Zürich 1989. www.gwg-gsm.ch, 21.6.2018.
- Bischof N., Frehner M., Frey H-U., Lüscher P., Ott E., Walcher J. & Zuber R., 1990: Dokumentation der 7. Arbeitstagung der Gruppe Gebirgswaldpflege GWG in Ramosch. www.gwg-gsm.ch, 21.6.2018.
- Bohn U., Neuhäusl R., unter Mitarbeit von Gollub G., Hettwer C., Neuhäuslová Z., Raus T., Schlüter H. & Weber H., 2000/2003: Karte der natürlichen Vegetation Europas / Map of the Natural Vegetation of Europe. Massstab / Scale 1:2'500'000. Münster (Landwirtschaftsverlag). https://www.bfn.de/0302_eu.html.
- Bühler U., 2005: Jungwaldentwicklung als Eingangsgrösse in die Jagdplanung: Erfahrungen aus dem Kanton Graubünden. *Forum für Wissen* 2005: 59-65.
- Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.), 2010a: Vollzugshilfe Wald und Wild. Das integrale Management von Reh, Gämse, Rothirsch und ihrem Lebensraum. Umwelt-Vollzug Nr. 1012. Bern. 24 S.
- Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.), 2010b: Wald und Wild – Grundlagen für die Praxis. Wissenschaftliche und methodische Grundlagen zum integralen Management von Reh, Gämse, Rothirsch und ihrem Lebensraum. Umwelt-Wissen Nr. 1013. Bern. 232 S.
- Burger T., Stocker R., Danner E., Kaufmann G. & Lüscher P., 1996: Standortkundlicher Kartierungsschlüssel für die Wälder der Kantone Bern und Freiburg: Kommentare zu den Waldgesellschaften. Amt für Wald und Natur Bern, Kantonsforstamt Freiburg.
- Burnand J., Burger T., Stocker R., Danner E., Kaufmann G. & Lüscher P., 1998: Clé de détermination des stations forestières du Canton du Jura et du Jura bernois. Volume 1: Clé. Volume 2: Commentaires. Service des forêts Delémont, Division forestière Tavannes.
- Burnand J., Frehner M., Frey H.-U., Preiswerk T. & Lüscher P., 1999a: Projekt Waldstandortskartierung St. Gallen-Mittelland: Bericht zum Teilprojekt Kartierungsschlüssel und Beschreibung der Standorte - Katalog der Standortstypen. Kantonsforstamt St. Gallen, Polykopie.
- Burnand J. & Hasspacher B., 1999b: Waldstandorte beider Basel. Kommentar zur vegetationskundlichen Standortskartierung der Wälder. Vlg. des Kantons Basel-Landschaft, Liestal. 266 S.

- Carraro G., 2012: Le Tipologie forestali del Canton Ticino e le loro tendenze evolutive. Ticino Dipartimento del Territorio Divisione ambiente Sezione forestale cantonale.
- Clot F., 2013: Observatoire de l'écosystème forestier. Canton de Vaud.
- Dobbertin M., Seifert H. & Schwyzer A., 2002: Standort und Bestandaufbau waren mitentscheidend für das Ausmass der Sturmschäden. Wald und Holz 1/02: 39-42.
- Ewald J., Kölling C. & Mellert K.-H., 2011: Die richtigen Baumarten für den Bergwald von morgen. AFZ-Der Wald 24: 23.
- Frehner M., Lüscher P., Ott E., Walcher J., Wasser B. & Zeller E., 1991: Dokumentation der 8. Arbeitstagung der Gruppe Gebirgswaldpflege GWG in Elm. www.gwg-gsm.ch, 21.6.2018.
- Frehner M., Wasser B. & Schwitter R., 2005: Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion, Vollzug Umwelt. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 564 S.
- Frehner M., Burnand J., Carraro G., Frey H. U. & Lüscher P., 2009: Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion. Anhang 2A. BUWAL, Bern. 180 S.
- Frehner M., Brang P., Kaufmann G. & Kuchli C., 2018: Standortkundliche Grundlagen für die Waldbewirtschaftung im Klimawandel. WSL Ber. 66: 43 S.
- Frey H.-U., Lüscher P., Ott E., Walcher J., Wasser B. & Zuffi D., 1989: Dokumentation der 6. Arbeitstagung der Schweizerischen Gebirgswaldpflegegruppe GWG in Moléson. www.gwg-gsm.ch, 21.6.2018.
- Frey H.-U., 1995: Waldgesellschaften und Waldstandorte im St. Galler Berggebiet. Veröff. Geobot. Inst. Eidgenöss. Tech. Hochsch., Stift. Rübel Zür. 126a, 280 S., 126b: Karten- und Tabellenband. 280 S.
- Frey H.-U., Bichsel M. & Preiswerk T., 1998 - 2004: Waldgesellschaften und Waldstandorte Graubündens. Teilregionen 1 - 8. Hrsg. Amt für Wald Graubünden, Chur, in 8 sep. Ringordnern.
- Frey H.-U. & Bichsel M., 2005: Waldgesellschaften und Waldstandorte des Kantons Uri. Amt für Forst und Jagd, Uri. 195 S.
- Gubelmann P., Huber B., Frehner M., Zischg A., Burnand J. & Carraro G., 2019: Schlussbericht des Projektes «Adaptierte Ökogramme» im Forschungsprogramm «Wald und Klimawandel», Teil 1: Quantifizierung und Verschiebung der Höhenstufengrenzen sowie des Tannen- und Buchenareals in der Schweiz mit zwei Klimazukünften. Chur, Abenis AG. 194 S.
- Hanewinkel M., Albrecht A. & Schmidt M., 2015: Können Windwurfschäden vermindert werden? Eine Analyse von Einflussgrössen. Schweiz Z Forstwes 166 (3): 118–128.
- Huber B. & Frehner M., 2013: Die Verbreitung und Entwicklung der Grünerlenbestände in der Ostschweiz. Schweiz Z Forstwes 164 (4): 87–94.
- Huber B., Frehner M., Zimmermann N. E., Gubelmann P. & Wüest R. O., 2017: Vorarbeiten für Baumartenempfehlungen von Standortstypen, die in der Schweiz heute noch nicht vorkommen. Ein Bericht aus dem Projekt «Adaptierte Ökogramme» im Forschungsprogramm «Wald und Klimawandel». Chur, Abenis AG. 49 S.

- Leuthardt F., Carraro G. & Schildknecht N., 2016: Leitfaden zum Umgang mit dem Götterbaum (*Ailanthus altissima*). BAFU. 17 S.
- Lischke H. & Löffler T.J., 2006: Intra-specific density dependence is required to maintain species diversity in spatio-temporal forest simulations with reproduction. *Ecological modelling* 198 (2006): 341-361.
- Lüscher P., Wasser B., Zürcher K., Germann P. & Forster F., 2000: Dokumentation der 15. Arbeitstagung der Schweizerischen Gebirgswaldpflegegruppe GWG in Gurnigel. www.gwg-gsm.ch, 21.6.2018.
- Moretti G., Schwitter R., Schütz C. & Käthner T., 2004: Dokumentation der 20. Arbeitstagung der Schweizerischen Gebirgswaldpflegegruppe GWG Morobbia/Calanca. www.gwg-gsm.ch, 21.6.2018.
- Ott E., Frehner M., Frey H. U. & Lüscher P., 1997: Gebirgsnadelwälder. Ein praxisorientierter Leitfaden für eine standortgerechte Waldbehandlung. Bern, Stuttgart, Wien: Haupt-Verlag. 287 S.
- Remund J., Rihm B. & Heuenin-Landl B., 2016: Klimadaten für die Waldmodellierung für das 20. und 21. Jahrhundert. Bern, Meteotest. 39 S.
- Schmider P., Küper M., Tschander B. & Käser B., 1993: Die Waldstandorte im Kanton Zürich. Verlag der Fachvereine, Zürich. 287 S.
- Schmider P., Winter D. & Lüscher P., 2003: Wälder im Kanton Thurgau - Waldgesellschaften, Waldstandorte, Waldbau. Mitt. Natf. Ges. Thurgau Band 58. 268 S.
- Schütt P., Weisgerber H., Schuck H. J., Lang U. M., Roloff A., Stimm B. & Aas G., 2006: Enzyklopädie der Holzgewächse. Handbuch und Atlas der Dendrologie. Ecomed Medizin, Verlagsgruppe Hüthig Jehle Rehm GmbH.
- Schwitter R., 1996: Dokumentation der 12. Arbeitstagung der Gruppe Gebirgswaldpflege GWG in der Rosenloui. www.gwg-gsm.ch, 21.6.2018.
- Schwitter R., 2002: Verjüngung und waldbauliche Behandlung der Waldföhre. Tagungsunterlagen. Fachstelle für Gebirgswaldpflege GWP, Maienfeld.
- Stocker R., Burger T., Elsener O., Liechti T., Portmann-Orlowski K. & Zantop S., 2002: Die Waldstandorte des Kantons Aargau. Finanzdepartement Kanton Aargau, Abt. Wald, Aarau. 226 S.
- Stroheker S., Martin S., Sieber T., Bugmann H. & Weiss M., 2014: Welche Faktoren bestimmen den Erfolg der Moderholzverjüngung im Fichtenurwald Scatlè? *Schweiz Z Forstwes* 165 (11): 339–347.
- von Wyl B., Häfliger P. & Baggenstos M., 2014: Pflanzensoziologische Kartierung der Luzerner Wälder - Kommentar Waldbau. Kanton Luzern. 2. Auflage. 239 S.
- Wermelinger B., Jakoby O., Stadelmann G. & Lischke H., 2015: Borkenkäfer im Klimawandel. Modellierung des künftigen Befallsrisikos durch den Buchdrucker (*Ips typographus*). Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf, 42 S.
- Williams J. W. & Jackson S. T., 2007: Novel climates, no-analog communities and ecological surprises. *Paleoecology Front Ecol Environ*. 5(9): 475-482. www.frontiersinecology.org.

Wohlgemuth T., Nussbaumer A., Burkart A., Moritzi M., Wasem U. & Moser B., 2016: Muster und treibende Kräfte der Samenproduktion bei Waldbäumen. Schweiz Z Forstwes 167 (6): 316–324.

Ziegler M., 2014: Waldgesellschaften des Kantons Zug. Kanton Zug, Direktion des Innern, Amt für Wald und Wild. 226 S.

Zürcher-Gasser, N. & Frehner, M., 2017: Schlussbericht des Projektes „Adaptierte Ökogramme“ im Forschungsprogramm „Wald und Klimawandel“, Teil 4: Vergleich der Projektergebnisse mit anderen Projekten aus dem Forschungsprogramm „Wald und Klimawandel“. März 2016. Rabius, Gadola AG. 12 S.

Internetquellen:

<http://www.balti.ethz.ch/tiki-index.php?page=eBot6> [Stand: Mai 2018]

<http://www.wsl.ch/lud/portree/> [Stand: Mai 2018]

SEBA Förderung seltener Baumarten <http://www.wm.ethz.ch/seba-genressourcen/seba.html> [Stand: Mai 2018]

8 Anhang

8.1 Tabellen zur Herleitung der Baumartenempfehlungen

Tabelle der möglichen Baumarten pro NaiS-Standortstyp und pro Einheit der collinen Stufe Mittelland/Jura und der Nördlichen Zwischenalpen sowie der hyperinsubrischen und mediterranen Stufe der Südlichen Randalpen mit Quellenangaben. Diese dient zur Herleitung der Baumartenempfehlungen.

Baumarten pro Standortstyp mit Quellen26032019.xlsx

Tabelle Projektionswege. Diese Tabelle wurde im Rahmen des Projekts "Sensitive Standorte und Bestände" im Forschungsprogramm «Wald und Klimawandel» erarbeitet und dient zur Herleitung der Baumartenempfehlungen.

Projektionswege11032019.xlsx

Die Tabellen sind auf www.wsl.ch/wald_klima verfügbar.

8.2 NaiS-Anforderungsprofile Standort: die wichtigsten Prinzipien ihrer Herleitung

Eine wichtige Grundlage für die Umsetzung sind die NaiS-Anforderungsprofile pro Standortstyp. Deshalb wurden die wichtigsten Quellen ihrer Herleitung dokumentiert. In Tabelle «Entstehung von NaiS-Anforderungsprofilen20052018» sind Quellen aufgeführt, bei denen betreffend Umsetzung ein direkter Bezug zu einzelnen NaiS-Standortstypen angegeben ist. Diese Tabelle ist auf www.wsl.ch/wald_klima verfügbar.

In Tab. 8 sind Quellen aufgeführt, die Hinweise zu den NaiS-Baumartenempfehlungen geben, ohne direkte Umsetzung auf einzelne Standorte.

Tab. 8: Quellen mit Hinweisen allgemeiner Art zu NaiS, die nicht nur für einzelne Standortstypen gelten.

Thema	Quelle
Wirkung von Schnee auf Jungwald	Bischof et al. 1987: GWG-Tagung 1986 (Ritzingen): Schneegleiten, -kriechen, Schneeschimmelpilze, Nassschneefälle --> günstige Stellen nutzen/schaffen für Verjüngung (um Stöcke, Wurzelteller, liegende Stämme, Erhöhungen etc.).
Waldföhrenverjüngung:	Schwitler 2002: Tagungsunterlagen „Verjüngung und waldbauliche Behandlung der Waldföhre“.
Waldwirkung/Anforderungsprofile bezüglich Naturgefahren	Lüscher 2000: Hochwasser/Wildbäche: GWG-Tagung 2000 Gurnigel: Diskussion/"Test" der Anforderungsprofile/Beurteilung der Waldwirkung/Beurteilung der Beeinflussbarkeit der Waldwirkung durch waldbauliche Eingriffe.
Wildeinfluss (Frehner et al. 2005, -Anhang 6)	GWG-Tagungen 1988 in Rabius (Bischof et al. 1989, 1989 in Moléson (Frey et al. 1989), 1990 in Ramosch (Bischof et al. 1990), 1991 in Elm (Frehner et al. 1991), 1993 in Flüelen (Annen et al. 1993), 1996 in der Rosenlauri (Schwittler 1996).
Rolle der Weisstanne	GWG-Tagungen 1988 in Rabius (Bischof et al. 1989), 1989 in Moléson (Frey et al. 1991) und 1993 in Flüelen (Annen et al. 1993).
Rolle der Vogelbeere	GWG-Tagung 1988 in Rabius (Bischof et al. 1989): Rolle der Vogelbeere als Vorwaldart auf Hochstaudenstandorten. GWG-Tagung 1990 in Ramosch (Bischof et al. 1990): Rolle der Vogelbeere als Vorwaldart. GWG-Tagung 1991 in Elm (Frehner et al. 1991): Rolle der Vogelbeere als Vorwaldart.

Thema	Quelle
Lückengrösse/Eingriffsstärke	GWG-Tagung 1990 in Ramosch (Bischof et al. 1990): Lückengrösse für verschiedene Baumarten (Fi, Lär). GWG-Tagung 1993 in Flüelen (Annen et al. 1993): Diffus auflichten vs. Lücken/Löcher/Schlitze, wieviel Licht braucht es für welche Baumarten. GWG-Tagung 2004 in Morobbia/Calanca (Moretti et al. 2004): minimal vs maximal nötige resp. mögliche Eingriffsstärke.
Holz liegen lassen	GWG-Tagung 1993 in Flüelen (Annen et al. 1993): Wirkung von liegendem Holz im Steinschlag-Schutzwald.

Zudem wurde in Tab. 9 eine Auswahl aus neuerer Literatur zusammengestellt mit Erkenntnissen, die für eine allfällige Überarbeitung der Anforderungsprofile verwendet werden können.

Tab. 9: Auswahl neuerer Literatur mit Erkenntnissen, die auf die Anforderungsprofile angewandt werden können.

Thema	Quelle
Wald-Wild	BAFU 2010a und 2010b: Vollzugshilfe/Praxishilfe Wald und Wild.
Vorkommen der Tanne in Alt-/Jungbestand	Bühler 2005: Erkenntnisse aus Kontrollzaunprojekt: Das Vorkommen der Tanne in der Verjüngung ist stark gekoppelt mit dem Vorkommen der Tanne im Altbestand ($p < 0.0001$, $r^2 = 0.314$, $n = 36$). Auf den 6 Flächen ohne Ta-Verjüngung beträgt der Anteil im Altbestand 4 mal 4%, 1 mal 10%, 1 mal 14%.
Reproduktion der Baumarten	Lischke und Löffler 2006: Angabe von baumartenspezifischen Reproduktions-Parametern (Blühreife, Anzahl Mastjahre, Verbreitungsdistanzen). Wohlgemuth et al. 2016: Angabe von baumartenspezifischen Reproduktions-Parametern (Verbreitungsart).
Sturmanfälligkeit	Hanewinkel et al 2015, Dobbertin et al. 2001: Studien zur Lothar Sturmanfälligkeit: Vom Wintersturm Lothar waren Fi/Ta mehr als doppelt so stark betroffen als Laubbäume, wobei die Fichte geringfügig stärker betroffen war als die Tanne.
Grünerle	Huber B. und Frehner M. 2013: Die Grünerle weist im Schutzwald Vorteile auf, bei zu grossen Deckungsgraden wirkt sie verjüngungshemmend.
Moderholz	Stroheker et al. 2014: Verjüngung am nordostexponierten Hang kommt fast ausschliesslich auf Moderholz vor. Schmalere Bereich zwischen zu wenig und zu viel Sonne für Moderholzverjüngung (wegen Austrocknung).