

„Untersuchung der potenziellen Areal-grenze der Lärche sowie der klimatischen Grenzen der Buchen- und Fichtenverjüngung an ausgewählten Standorten“

Ein Bericht aus dem Projekt „Adaptierte Ökogramme“
im Forschungsprogramm „Wald und Klimawandel“

Report**Author(s):**

Huber, Barbara; Gubelmann, Päivi; Frehner, Monika

Publication date:

2016-01

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-b-000341125>

Rights / license:

In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

„Untersuchung der potenziellen Arealgrenze der Lärche sowie der klimatischen Grenzen der Buchen- und Fichtenverjüngung an ausgewählten Standorten“

Ein Bericht aus dem Projekt „Adaptierte Ökogramme“ im Forschungsprogramm „Wald und Klimawandel“

Barbara Huber, Päivi Gubelmann, Monika Frehner

Fachliche Unterstützung durch Ludwig Z'graggen



ABENIS AG
INGENIEURE + PLANER



Monika Frehner
Sargans



Januar 2016

Autoren

Barbara Huber¹, Päivi Gubelmann¹, Monika Frehner²

¹ Abenis AG Chur, Quaderstrasse 7, 7000 Chur

² Forstingenieurbüro, Sixerstrasse 9, 7320 Sargans

Ein Projekt-Schlussbericht aus dem Forschungsprogramm „Wald und Klimawandel“ von BAFU und WSL

(www.wsl.ch/wald_klima)

Projektlaufzeit: 1.12.2014 bis 31.5.2015.

Zitierung

Huber, B., Gubelmann, P., Frehner, M., 2016. Untersuchung der potenziellen Arealgrenze der Lärche sowie der klimatischen Grenzen der Buchen- und Fichtenverjüngung an ausgewählten Standorten. Januar 2016. Ein Bericht aus dem Projekt „Adaptierte Ökogramme“ im Forschungsprogramm „Wald und Klimawandel“. Chur, Abenis AG. 28 Seiten.

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

Dank

Wir möchten uns bei Ludwig Z'graggen bedanken, durch seine grosse Mithilfe bei der Entwicklung und Erarbeitung der klimatologischen Grundlagen konnte die Grundlage für die Auswertungen gelegt werden. Ludwig Z'graggen trug zudem durch sein fundiertes Wissen bezüglich Standortkunde und klimatologischen Zusammenhängen wesentlich zum Gelingen des Teilprojektes bei. Wir sind ihm zu grossem Dank verpflichtet.

Wir möchten uns beim BAFU/WSL-Forschungsprogramm „Wald und Klimawandel“ bedanken für die Finanzierung des Projektes. Ausserdem bedanken wir uns beim LFI-Team für den Erhalt der LFI-Daten und bei den Kantonen für das zur Verfügung stellen der kantonalen Grundlagen.

©Abenis AG, Chur, 2016

Inhalt

Zusammenfassung.....	1
1 Einleitung	2
2 Methode.....	2
3 Resultate	3
3.1 Untersuchung potenzieller Arealgrenzen der Lärche an ausgewählten Standorten ..	3
3.1.1 Lärchenverbreitung Surselva, GR	6
3.1.2 Lärchenverbreitung Meiental UR, Göschenertal UR und Haslital, BE.....	7
3.1.3 Lärchenverbreitung Calfeisental, SG	9
3.1.4 Lärchenverbreitung Vispental, VS.....	10
3.1.5 Zusammenfassung.....	12
3.2 Untersuchung der klimatischen Grenzen der Buchenverjüngung an ausgewählten Standorten	13
3.2.1 Klimatische Grenze Buchen-Verjüngung Eingangs Domleschg, GR	13
3.2.2 Vergleich Buchenvorkommen Churer Rheintal, Domleschg und Safiental, GR. 16	
3.2.3 Klimatische Grenze Buchen-Verjüngung Eingangs Schanfigg, GR und Ansteigen der Buchenverjüngung in höhere Lagen im Churer Rheintal	17
3.2.4 Klimatische Grenze Buchen-Verjüngung Misox, GR	19
3.2.5 Klimatische und edaphische Grenze der Buche bei Silenen, UR	20
3.3 Untersuchung der klimatischen Grenze der Fichtenverjüngung im Kanton Tessin (Grenze 5a mit Fichte/5a mit Fichten-Vorposten).....	21
4 Schlussfolgerungen und Diskussion	26
5 Projektlauf	26
6 Ausblick	26
7 Literatur.....	27

Zusammenfassung

Beim vorliegenden Projektteil „**Untersuchung der potenziellen Arealgrenze der Lärche sowie der klimatischen Grenzen der Buchen- und Fichtenverjüngung an ausgewählten Standorten**“ aus dem Projekt „Adaptierte Ökogramme“ wurden mit Hilfe von deskriptiver Statistik Erklärungen für die Grenzen der Lärchenausbreitung gesucht für die Verbesserung des Potentialmodells von N. E. Zimmermann. Ebenfalls wurden für das Projekt ForReg (Zimmermann et al. 2014) die klimatischen Grenzen der Buchen- (Domleschg, Misox, Schanfigg GR und Silenen UR) und Fichtenverjüngung (Überprüfung folgender NaiS-Grenze im Tessin: 5a mit Fichte/5a mit Fichten-Vorposten) untersucht.

Für die Lärche zeigte sich, dass ein Zusammenhang mit der Lufttrockenheit, Strahlung, Schneedeckenhöhe, geologischen Schicht und dem Eintreten von Störungen besteht.

Für das Domleschg GR ist sehr wahrscheinlich, dass der Hauptgrund für den Ausfall der Buche vom Churer Rheintal her die zunehmende thermische Kontinentalität und zusätzlich der extremere Kaltluftsee (daraus resultiert höhere Spätfrostgefahr), die geringeren Niederschläge und ziemlich sicher der tagsüber häufiger auftretende Föhn (hohe Lufttrockenheit) darstellt. Im Misox GR konnte belegt werden, dass die Buche im Bereich einer jährlichen Föhnhäufigkeit von 15.5 bis 17 % (56 bis 62 Föhntage im Jahr) aufgrund der austrocknenden Wirkung ausfällt, unabhängig von den vorherrschenden edaphischen Verhältnissen.

Erklärungen, weshalb im Tessin in der Standortsregion 5a (mit Fichtenvorposten) nur wenige Fichten vorkommen im Gegensatz zu 5a (mit Fichten), konnten nicht abschliessend gefunden werden. Die Standortsregion 5a (mit Fichtenvorposten) gehört zu den hyperinsubrischen Gebieten mit enorm hohen Schneemengen und schwerem Nassschnee, wo aufgrund des fehlenden Föhneinflusses der Schnee lange liegen bleibt. Es wird vermutet, dass einerseits dies in Kombination mit pathogenen Pilzen und andererseits das Vorkommen von Orthogneisen, welches die Bildung von Alpenrosengürteln fördert (Träger von Fichtennadelblasenrost) das Aufkommen von jungen Fichten gefährdet / erschwert.

1 Einleitung

Projektziele und Fragestellung

Beim vorliegenden **Projektteil „Untersuchung der potenziellen Arealgrenze der Lärche sowie der klimatischen Grenzen der Buchen- und Fichtenverjüngung an ausgewählten Standorten“** aus dem Projekt „Adaptierte Ökogramme“ werden Erklärungen für die Grenzen der Lärchenausbreitung gesucht für die Verbesserung des Potentialmodells von N. E. Zimmermann. Ebenfalls werden für das Projekt ForReg (Zimmermann et al. 2014) die klimatischen Grenzen der Buchen- (Domleschg, Misox, Schanfigg GR und Silenen UR) und Fichtenverjüngung (Überprüfung folgender NaiS-Grenze im Tessin: 5a mit Fichte/5a mit Fichten-Vorposten) untersucht.

2 Methode

Die nachfolgenden Auswertungen wurden mit sogenannter „deskriptiver Statistik“ ausgeführt, dabei wurde den Phänomenen, welche beobachtet wurden (Hypothesen, Lage der Höhenstufen, Lage der Arealgrenzen), Werte zugeordnet (Mittelwerte, Standardabweichung, Variabilität, regionale Unterschiede, regionale Charakteristika, etc.). Da meist v.a. die lokalklimatischen Faktoren entscheidend sind und bspw. der Föhneinfluss nur generell gezeigt werden kann, aber nicht in dieser Feinheit, wurde mit Hilfe dieser optischen Vergleiche gearbeitet. Anfangs war geplant, mit LFI-Daten von Lärche, Fichte und Buche Auswertungen zu machen, da die Datenlage in den zu untersuchenden Gebieten aber sehr gering war, wurden die Auswertungen mit Hilfe von Betriebsplandaten (Kanton Graubünden), Waldstandortskarten / Höhenstufenkarten und Waldtypenkarten und aufgrund von Lokalkenntnissen von Ludwig Z'graggen vorwiegend gutachtlich gemacht.

3 Resultate

3.1 Untersuchung potenzieller Arealgrenzen der Lärche an ausgewählten Standorten

Allgemeines

Es soll das natürliche potenzielle Verbreitungsgebiet der Lärche (*L. decidua*) untersucht werden und nicht die Klimahüllen, welche abbilden, in welchen Regionen die Lärche mit Unterstützung des Menschen noch aufkommen kann (auch ausserhalb ihres natürlichen Areals). Die Lärche ist eine Zentraleuropäische Baumart. Ihre aktuelle Verbreitung im Schweizer Alpenraum entspricht dabei nicht ihrer natürlichen Häufigkeit: Die Lärche vermochte ihr Areal um das fünf- bis zwanzigfache auszuweiten (Trachsel 2014). Dies wird auf Kahlschläge und Wiederbewaldung der Alpweiden zurückgeführt (Mayer 1977). Die Lärche wurde im Vergleich zur Arve durch Waldweidenutzungen begünstigt (Furrer 1955).

Die Lärche ist eine typische Lichtbaumart, im natürlichen Areal werden daher Freiflächen, z.B. nach Lawinen- und Murgängen, Waldbränden oder intensiver Beweidung rasch besiedelt. Genügend Licht und Rohboden zum Keimen erhält die Lärche in steilen Lagen, häufig tritt sie an Hängen mit 30 bis 40° Neigung auf (Brändli 1998; zit. in Trachsel 2014). Nach Burga & Perret (1998) kann die Lärche wegen ihren hohen Lichtansprüchen auch von Zwergsträuchern, wie z.B. der Alpenrose oder Heidelbeere, verdrängt werden.

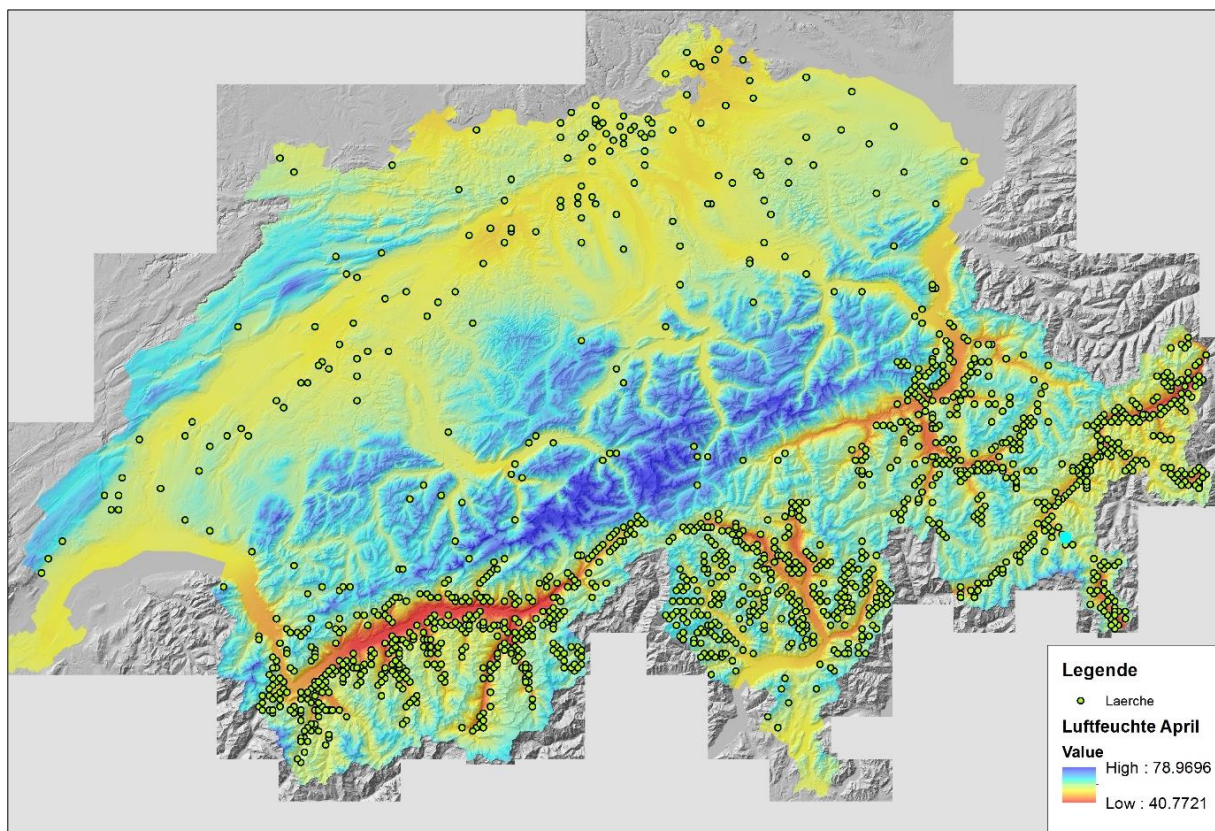
Die Lärche kann in der Initialphase stark vertreten sein, im Schlusswald ist die Lärche aus Lichtmangel meist nicht mehr konkurrenzfähig. Nach Mayer (1977) weist die Lärche eine große ökologische Amplitude auf und kann unter hochsubalpinem, kaltfeuchtem Waldgrenzenklima, feuchtwarmem Randalpenklima, trockenwarmem Weinbergklima und inneralpinem, trockenkontinentalem „Waldsteppenklimate“ gedeihen. Die Lärche ist eine Baumart des kontinental geprägten Klimas. Die Lärche entfällt bei zunehmender Ozeanität aufgrund eingeschränkter Transpiration. Wenn die Luftfeuchtigkeit hoch ist, kann sich zwischen der Lärchennadel und der umgebenden Luft nur ein geringes Dampfdruckgefälle entwickeln, die Verdunstung ist deshalb sehr gering. Bei starker Einstrahlung kann dies gewissermassen kompensiert werden, da eine hohe Sonneneinstrahlung die Nadeltemperatur erhöht. Mit einer höheren Nadeltemperatur steigt der Sättigungsdampfdruck auf der Nadeloberfläche an, was das Dampfdruckgefälle zur umgebenden Luft erhöht, weil diese ja kühler ist und deshalb einen geringeren Dampfdruck aufweisen muss als der Sättigungsdampfdruck über der Nadeloberfläche. Wichtige Grundvoraussetzungen (nach ETH 2002; zit. in Trachsel 2014) für das Auftreten der Lärche sind geringe relative Luftfeuchtigkeit (< 75 %), wenige Nebeltage (< 20 Nebeltage pro Jahr) und nach Englisch et al. (2011) eine hohe Anzahl von Strahlungstagen (>100), siehe oben.

Größere Schwankungen zwischen Winter- und Sommertemperatur um mehr als 20°C kennzeichnen dort oftmals das Klima lärchenreicher Wälder (Tschermak 1935; zit. in Schütt 2006). Der Wasserbedarf ist nach Lyr et al. (1992) höher als z.B. bei der Buche und der Fichte. Im Alpenraum kann man die Lärche aber auch auf sehr trockenen Standorten antreffen, wie Vorkommen z.B. im Wallis mit nur 500 mm Jahresniederschlag zeigen. Voraussetzung ist aber wahrscheinlich, dass der Wurzelraum genügend Wasserspeichervermögen aufweist, so dass die Lärche überhaupt verdunsten kann. Auf sehr durchlässigen Böden wird die Lärche durch Föhrenarten ersetzt, so durch die Berg- und Engadinerföhre auf Dolomit im Engadin, oder in tieferen Lagen durch die Waldföhre, so an Kalkfelshängen in inneralpinen Tälern.

Optimalgebiete der Lärche in der Schweiz:

1. Insubrisches Klima, geringe Luftfeuchtigkeit*, aber hohe Niederschläge (da Lärche eine hohe Verdunstungsrate besitzt und genügend Wasserzufuhr benötigt [Englisch et al. 2011]) – die Böden sind gut Wasser versorgt.
2. Inneralpine Gebiete, auch geringe Luftfeuchte, dort aber auf Störungen angewiesen, da sonst Arve oder Fichte die konkurrenzschwache Lärche verdrängen. Dies weil sich meist trockene Humusauflagen bilden, auf welchen sich die Lärche nicht mehr verjüngen kann. Wenn allerdings oft Störungen auftreten (z.B. Erosion), so kann sich die Lärche lange halten. In Gebieten, wo die Fichte auch in hochmontaner Lage infolge Frosttrocknis ausfällt wie in den Vispertälern und die Arve offensichtlich wegen der zu warmen Lage fehlt (Grund unbekannt, aber die Arve steigt kaum je in die hochmontane Stufe ab), bildet die Lärche reine Wälder aus. Es gelingt ihr dort, sich immer wieder zu verjüngen. Ob dies dort auch auf Streuauflagen möglich ist, wurde bisher kaum untersucht.

* die Lärche scheut luftfeuchte Lagen, der Grund ist ev. der Lärchenkrebs (*Lachnellula willkommii*). Nach Butin (1989) werden bestimmte Lärchenherkünfte weniger häufig vom Lärchenkrebspilz befallen und klimatische Bedingungen haben einen grossen Einfluss auf das Auftreten der Krankheit. So ist z.B. stagnierende Luftfeuchtigkeit, namentlich im Herbst für eine Erkrankung eine der wesentlichen Voraussetzungen. Nach Schütt (2006) fördern auch häufige Fröste den Befall. Nach Kölling et al. (ohne Jahr) steigern warme Winter den Pilzbefall (Krebs).



Kartenausschnitt 1: Relative Luftfeuchte im April und LFI-Flächen mit Lärchenvorkommen.

Starke Schneefälle mit grossen Schneemengen (z.B. bei insubrischem Klima häufig) schwächen die Konkurrenzkraft der Fichte aufgrund des Befalls derselben durch Rostpilze (v.a. Fichtennadel-Blasenrost, *Chrysomyxa rhododendri*; Wirtswechsel zwischen Fichte und Alpenrose [*Rh. ferrugineum* und *Rh. hirsutum*]). Nach Nierhaus-Wunderwald 2000 kann in Gegenden mit ausgedehnten Alpenrosenbeständen das Aufkommen der Fichte deutlich beeinträchtigt werden. Die Lärche hat länger eine Chance, sich zu halten. Dies ist der Fall in den inneren Nordalpen, vor allem, wo harte Granite oder Orthogneise auftreten, welche die Alpenrose zusätzlich stark begünstigen, so z.B. im Meiental, auf der Göschenalp, im Hasli- und Gadmental, dann aber auch in den westlichen Tessinertälern, wo ebenfalls harte Orthogneise üppige Alpenrosenbestände bedingen, ganz besonders im Bavonatal, im Centovalli und im Verzascatal. Auch im Val Medel in der Surselva dürfte der harte Granodiorit die Alpenrose fördern, was der Lärche förderlich ist (siehe Kartenausschnitt Nr. 2).

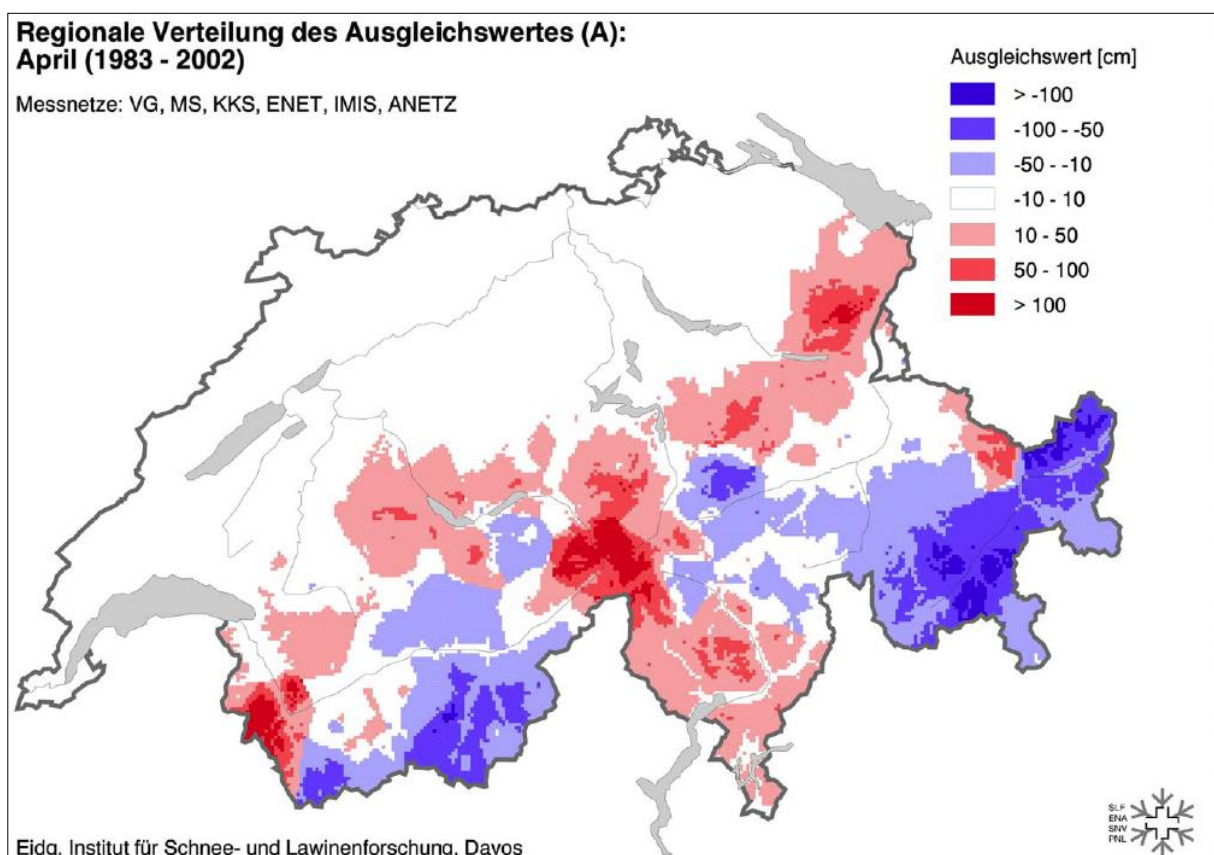


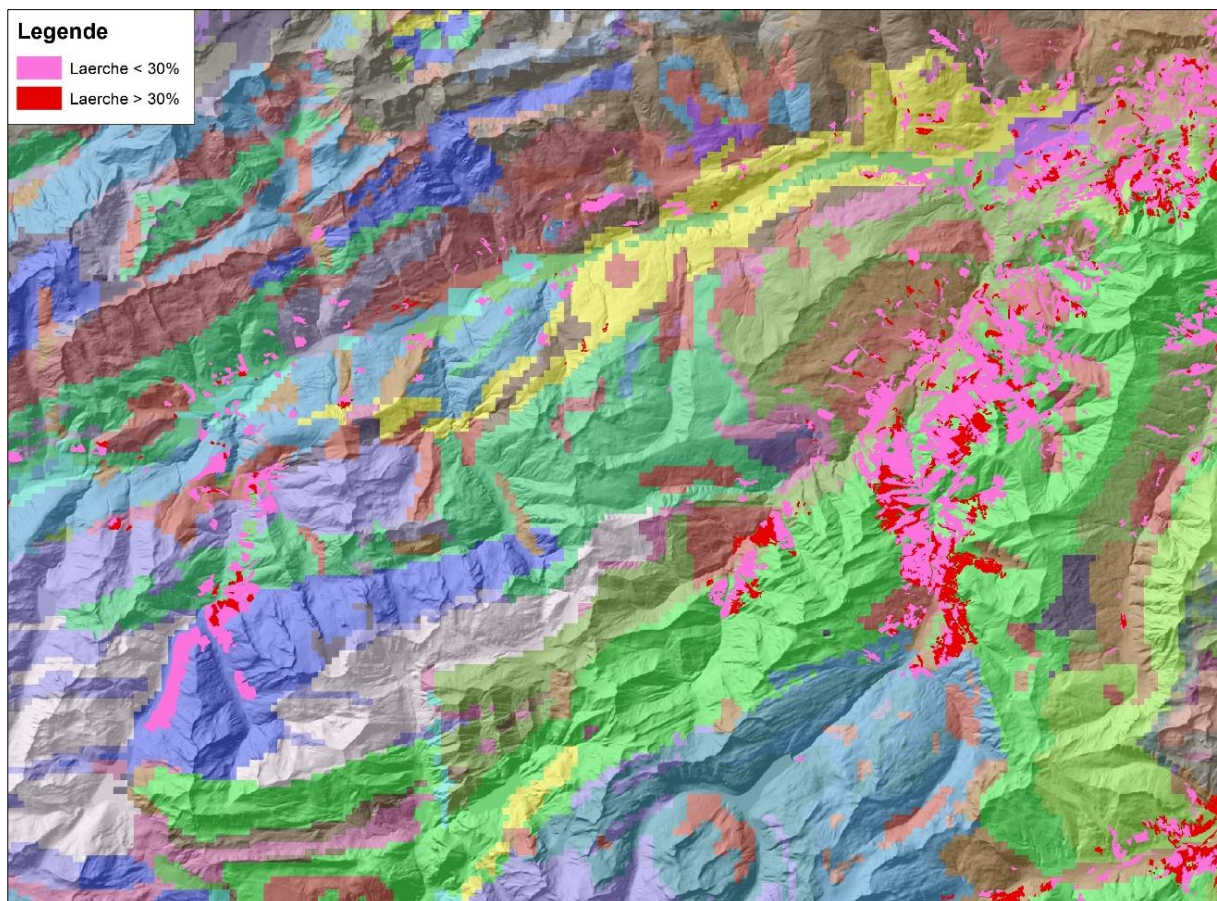
Abb. 1: Regionalklimatologische Unterschiede in der Schneehöhenverteilung im April (Abweichung vom gesamtschweizerischen Mittel) (nach Auer, 2003).

Nach Englisch et al. (2011) wächst die Lärche weitgehend unabhängig vom Gestein und Bodentyp, die Ansprüche an Nährstoff- und Basenversorgung sind gering. Das Gestein ist aber wesentlich im Hinblick auf die Stabilität des Untergrundes und der Bodenfeuchte. Je instabiler der Untergrund, desto mehr offene Stellen und steilere Hänge weist das Gebiet auf. Aber auch steile Kalkfelswände, sofern nicht zu trocken, oder harte kristalline Gesteine, besonders wo die Alpenrose fehlt, sind Lärchen begünstigend. Auf wenig felsigen Gebieten (mit zusätzlich geringer Rutschungsneigung) und flachen Höhenlagen wird die Fichte gefördert.

3.1.1 Lärchenverbreitung Surselva, GR

Im Haupttal der Surselva überwiegen in der subalpinen Stufe, dem Hauptverbreitungsgebiet der Lärche, wenig geneigte Hänge mit wenig Erosion und wenig Lawinenwirkung – die Fichte verdrängt hier die Lärche. Im Haupttal kommt v.a. Verrucano vor, ein stabiles Gestein, welches wenig „Bewegung“ aufweist – dies führt zu wenigen Störungen auf sanften Böden – dadurch kann die Fichte die Lärche verdrängen, obwohl die geologische Unterlage eigentlich für die Lärche günstig wäre (siehe Kartenausschnitt Nr. 2, gelbe Flächen).

Auch in der Surselva hat die Fichte Mühe in Gebieten mit hohen Schneemengen (trifft v.a. auf die Täler zu, welche vom Haupttal Richtung Süden zum Alpenkamm führen; hier macht sich der insubrische Einfluss vom Tessin bemerkbar, Südlagen führen zu den Hauptniederschlägen, besonders im Winterhalbjahr). Im Val Medel mit reichem Lärchenvorkommen dominieren Gneise, die Hänge sind steiler und Lawinen kommen häufig vor. Dies führt zu mehr offenen Flächen (Licht) und initialerem Boden, was wiederum die Lärche fördert. Zuhinterst im Val Medel dominiert Granodiorit (hartes, festes Gestein). Dieses Gestein wird bevorzugt üppig von der Alpenrose besiedelt. Hier ist der Fichtenanteil geringer oder fehlt gänzlich wegen dem Rostpilz. Arve und Lärche können sich behaupten.



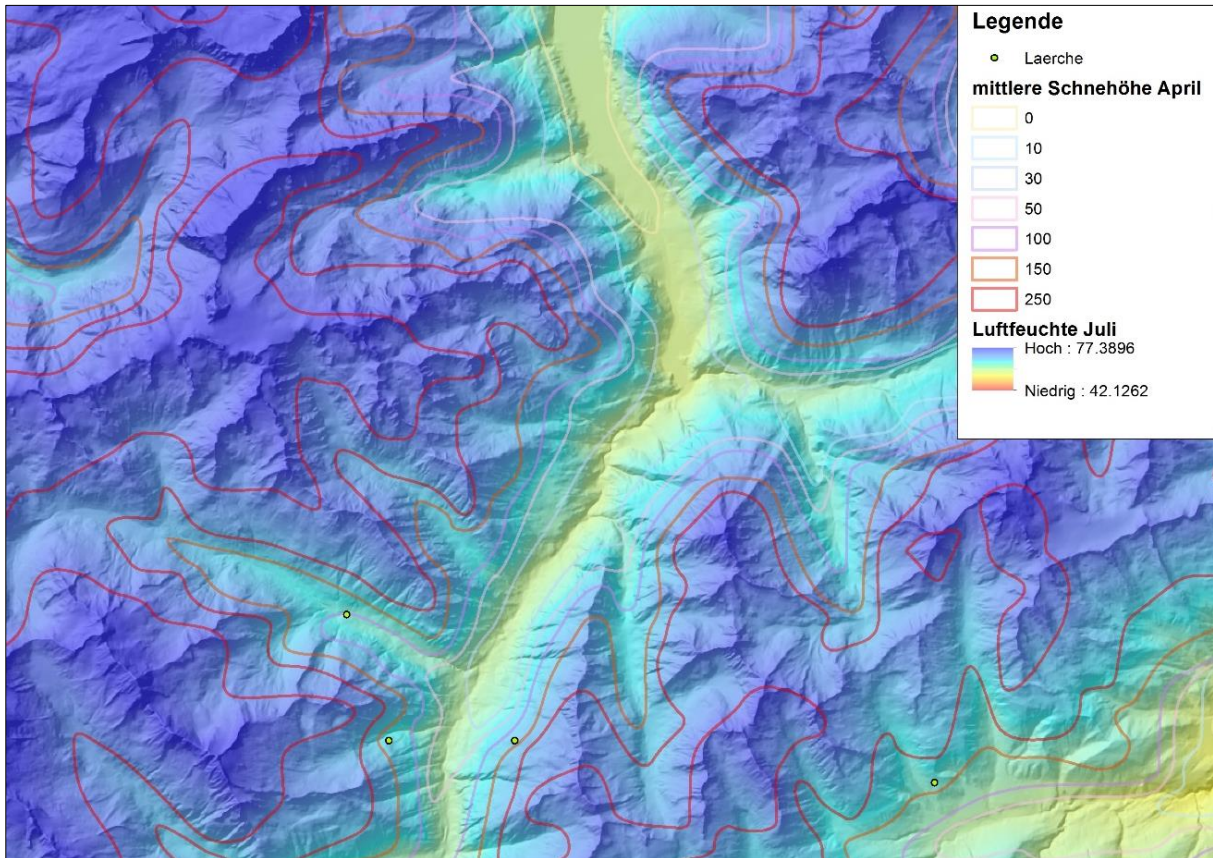
Kartenausschnitt 2: Geologische Verhältnisse in der Surselva und Lärchenvorkommen. Legende Geologie: Val Medel: dunkles violett = Granit; dunkles grün = Gneise; helles violett = Glimmerschiefer; Valsertal: helles grün = Bündnerschiefer; braun (hell) = Blöcke/Gerölle; braun (dunkler) = Moränenmaterial; blau-grau = Serizit-Chlorit-Schiefer, Gneis; Haupttal: Gelb = Verrucano.

Nach Zuber (2010) kommen in der Surselva die Lärchen zusätzlich auf helvetischen Kalken (und Dolomit) sowie auf kalkreichen Bündnerschiefern vor.

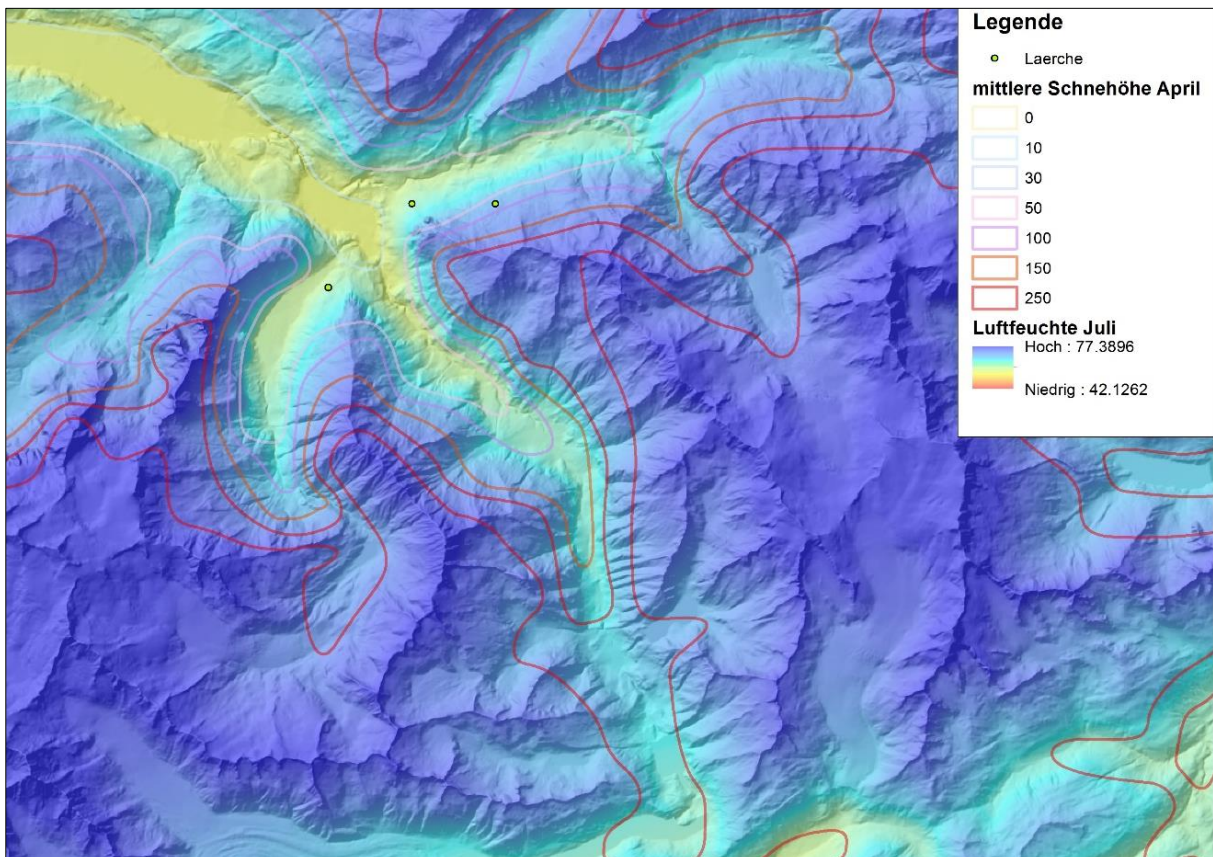
3.1.2 Lärchenverbreitung Meiental UR, Göschenertal UR und Haslital, BE

In den drei Tälern hat die Fichte infolge sehr grosser Schneemengen und später Ausaperungszeit (Mai, teilweise Juni) an den Nordhängen Mühe und macht der Lärche Platz. So kommen an den Nordhängen Dauerstadien mit Lärchen vor, da die Fichte wegen den bereits genannten Gründen und ausgedehnten Alpenrosenvorkommen (Fichtennadel-Blasenrost) eingeschränkt ist / ausfällt. Im Meiental unterhalb 1500 Meter gibt es aufgrund des Fehlens der Fichte auch Tannenbestände, obwohl dort die Tanne nur noch im Nebenareal ist. Die Sommermonate sind gerade noch lufttrocken genug, dass die Lärche überleben kann. Das Meiental und das Göschenertal sind etwas kontinentaler als der übrige Kanton. Der grösste Teil der Region liegt im basenarmen Aaregranit, nur das obere Meiental erstreckt sich durch den Erstfeldergneis. An den Südhängen, welche früher ausapern, fehlt die Lärche fast vollständig. Die Fichte ist hier konkurrenzkräftig genug, um die Lärche vollständig auszuschalten, die Lärche kann sich nicht einmal im Pionierstadium gegen die Fichte durchsetzen.

Auf extrem flachgründigen Böden der Südhänge, besonders auf Aaregranit, wo die Bäume fast nur noch in Spalten wurzeln, fällt die Fichte wegen der Bodentrockenheit (Flachwurzler, kann nicht tief in Spalten vordringen) und wahrscheinlich auch der Nährstoffarmut ganz aus. Hier kann sich die Lärche aber auch nicht halten. Auch ihr sind die Böden höchstwahrscheinlich zu arm und auch zu trocken. Der Aaregranit bildet nämlich ein grusig-sandiger Boden aus, welcher nur wenig Wasser und Nährstoffe speichern kann. Ausserdem sind die Spalten im Aaregranit sehr wasserdurchlässig, was auf Gneisen kaum der Fall ist (mündliche Mitteilung Christian Gisler, Neat-Geologe). Die Spaltenböden im Granit sind daher trocken und nährstoffarm. Das ausserordentlich üppige Auftreten des Heidekrautes (*Calluna vulgaris*) zeugt davon. Es bilden sich infolgedessen grosse Bestände mit Wald- und vor allem Bergföhre (aufrechte Form und Legföhre) aus. Sogar auf Nordhängen hat die Lärche auf Aaregranit (Meiental, Haupttal der Reuss, Haslital oberhalb Guttannen) Mühe, sie muss auch grosse Flächen der Bergföhre überlassen. Offensichtlich ist auch dort die grosse Nährstoffarmut für das Vorkommen der Bergföhre verantwortlich (Schmid 1923, eigene Beobachtungen von L. Z'graggen). Immerhin ist auch aus Deutschland bekannt, dass die Lärche auf extrem nährstoffarmen Böden ausfällt. Ein Ausfallen der Lärche in den übrigen Schweizer Alpen auf Kristallin infolge edaphischer Trockenheit und/oder Nährstoffarmut ist nur sehr selten anzutreffen. Einerseits verarmen die inneralpinen Kristallinvorkommen nicht so stark, weil die Jahresniederschläge geringer sind. Die südalpinen Kristallinvorkommen, welche sehr flachgründig sind (zumeist Orthogneise), sind weniger durchlässig als der Aaregranit, weil sie ein feineres Verwitterungsprodukt bilden (infolge Rekristallisation der Mineralien zerfallen sie zu Sand und Schluff, nicht zu Grus). Im Weiteren sind die Spalten infolge des höheren Metamorphosegrades deutlich weniger durchlässig. Ausserdem baut sich die Streu infolge der höheren Strahlung und den höheren Mittagstemperaturen besser ab. Dies sind alles Gründe, weshalb sich die Bergföhre auf der Alpensüdseite und inneralpin selbst auf hartem Kristallingestein nur auf kleinen Flächen dauernd halten kann.



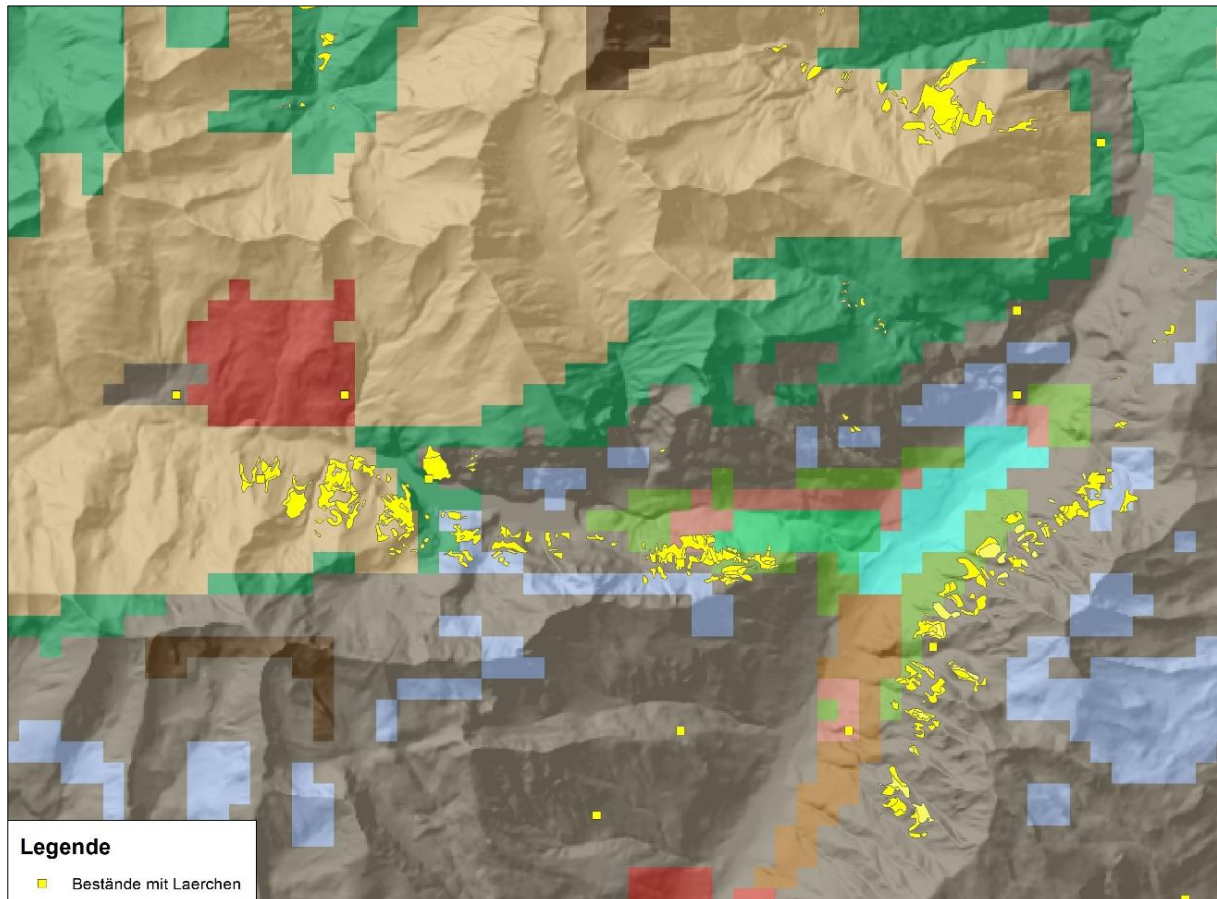
Kartenausschnitt 3: Meiental: Relative Luftfeuchte im Juli, mittlere Schneehöhe im April (HADES) und LFI-Flächen mit Lärchenvorkommen.



Kartenausschnitt 4: Haslital: Relative Luftfeuchte im Juli, mittlere Schneehöhe im April (HADES) und LFI-Flächen mit Lärchenvorkommen.

3.1.3 Lärchenverbreitung Calfeisental, SG

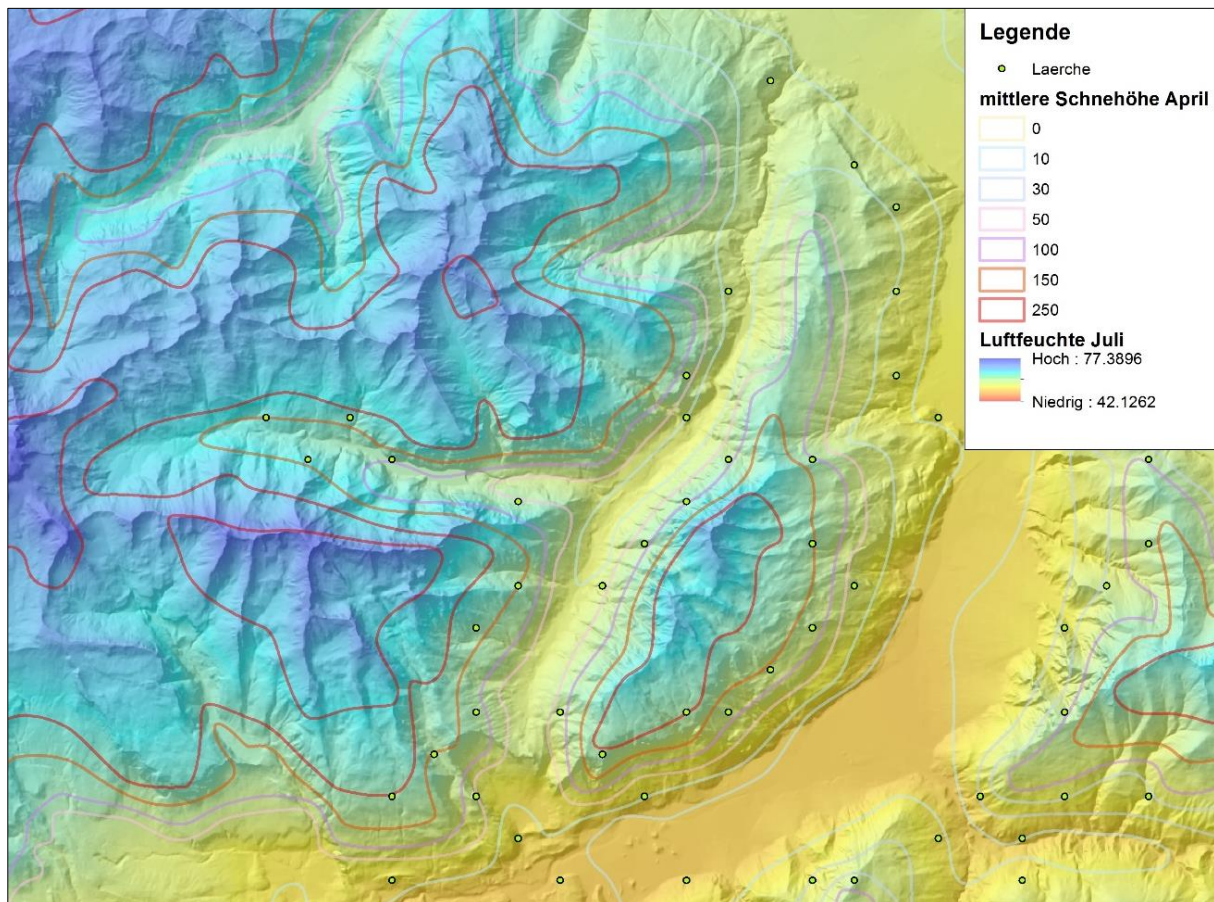
Anja Trachsel untersuchte in ihrer Bachelorarbeit die Verteilung von Arve und Lärche im Calfeisental und an der Westflanke des Calandas. Nach Trachsel (2014) fehlt die Lärche im hinteren Teil des Calfeisentals. Gegen Osten ist sie mit zunehmender Häufigkeit vorhanden. Am östlich von Vättis gelegenen Calanda dominiert die Lärche alle höher gelegenen Standorte. Ausgeprägte Bestände finden sich zwar vor allem auf den kalkigen Böden am Calanda, doch stehen 43 % der Lärchenaltbäume auf Wildflysch (Trachsel 2014).



Kartenausschnitt 5: Bestände mit Lärchenvorkommen und geologische Unterlage im Calfeisental. Legende Geologie: dunkelgrau = Kalkstein allg.; dunkelgrün = Kalkgestein mit bedeutenden Mergellagen; hellgrün = Gneis feldspatreich; hellbraun = Flysch, sandsteinreich; lila = Kieselkalk; olivgrün = Bündnerschiefer/Kalksandsteine; rot = Moränenmaterial; hellrotbraun = Dolomit; braun = Blöcke/Geröll (Bergsturzmaterial); türkis = Murgang/Bachablagerungen.

Die Gegebenheiten im Untersuchungsgebiet von A. Trachsel bestätigen damit die Angaben von Mayer (1977), wonach Lärchen im Hauptareal nicht an eine spezifische Geologie gebunden sind. Somit wirken im Calfeisental andere Faktoren limitierend.

A. Trachsel vermutete, dass davon ausgegangen werden kann, dass die zunehmende Luftfeuchtigkeit die Transpiration der Lärche soweit behindert, dass jene im westlichen, ozeanischsten Teil des Tals schlussendlich wegfällt.



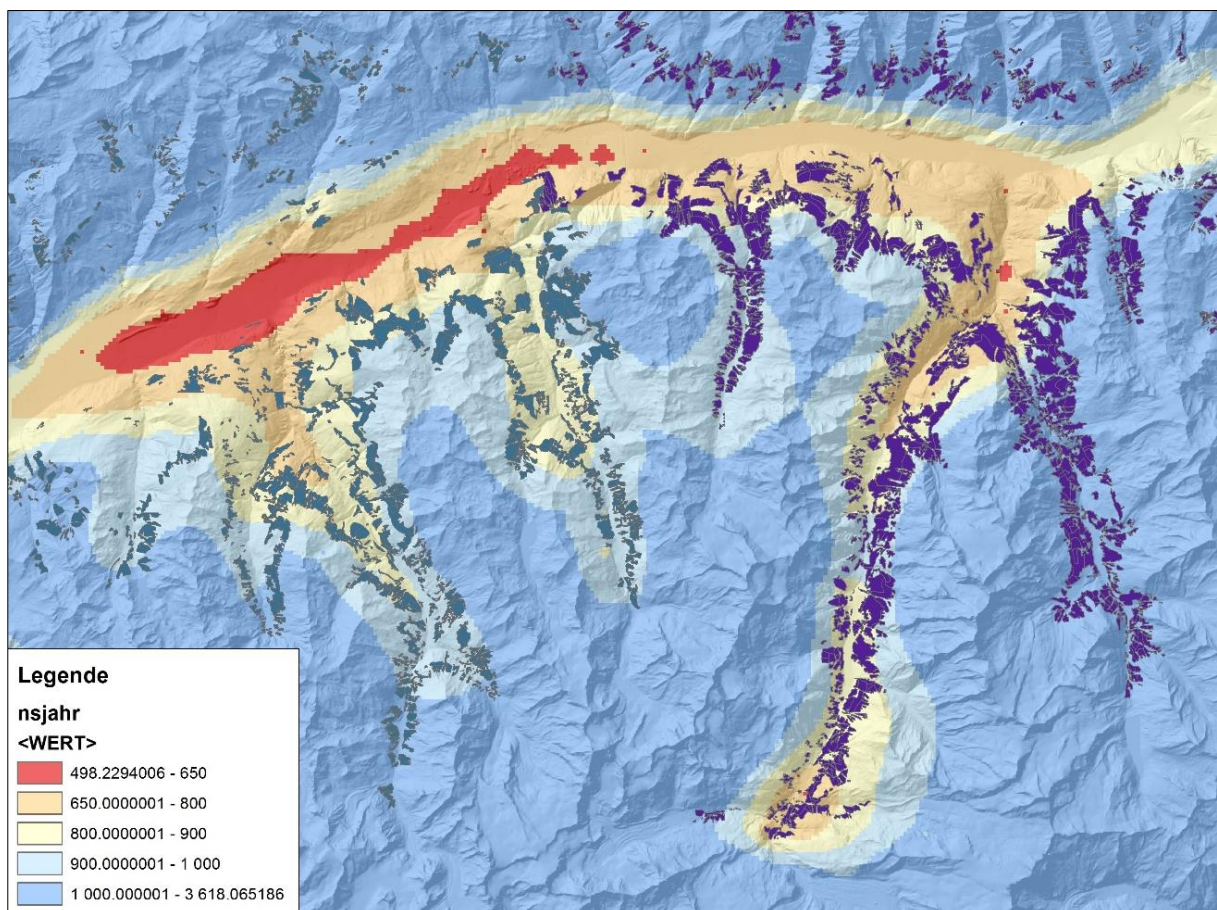
Kartenausschnitt 6: Relative Luftfeuchte im Juli, mittlere Schneehöhe im April (HADES) und LFI-Flächen mit Lärchenvorkommen im Calfeisental.

Im Gegensatz zum nördlich gelegenen Mülitobel oder dem Calanda weist das Calfeisental viel grössere Schneemengen auch noch im April auf (besonders an den Nordflanken), was die Lärche fördert. Die Luftfeuchte ist aber höher als im übrigen Taminatal, was die Lärche eher behindern würde. Allerdings ist sie nur zuhinterst im Tal so hoch, dass die Lärche ganz ausfällt. Im übrigen Tal ist es noch lufttrocken genug für die Lärche, zusammen mit den grossen Schneemengen und den Nordhängen, welche sehr steil sind und oft Lawenniedergänge aufweisen, führt dies zu grossen Lärchenreichtum. Nach A. Trachsel wurden auf den Fichtenflächen im Gegensatz zu Lärchenstandorten kaum Alpenrosen (Wirtspflanzen von Fichtennadel-Blasenrost) und Heidelbeeren vorgefunden.

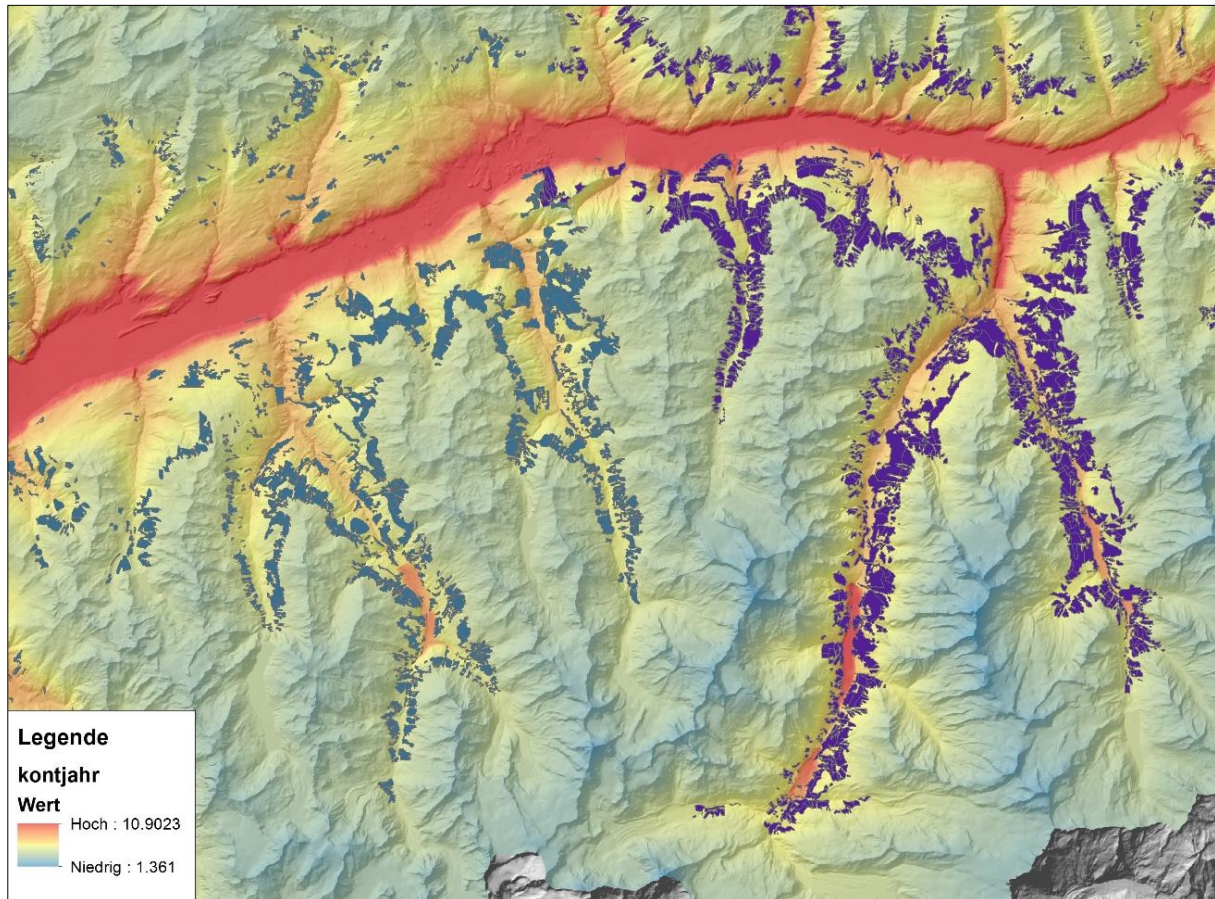
3.1.4 Lärchenverbreitung Vispental, VS

Ist die Frosttrocknis auch in der hochmontanen Stufe sehr hoch wie z.B. in den Vispertälern (aufgrund der hohen thermischen Kontinentalität, der geringen relativen Luftfeuchtigkeit tagsüber und weil die Regenwolken vom umliegenden hohen Bergkranz zurückgehalten werden und bspw. im Januar in Staldenried im Mittel nur 35 mm Niederschlag [Schnee; nach Schüepp et al. 1978] fallen), kann die Fichte Mühe bekommen oder fällt aus, so dass reine Lärchenbestände in der hochmontanen Stufe entstehen, obwohl die Vispertäler zu den trockensten Gebieten der Schweiz gehören (nach Schüepp et al. 1978: bei Staldenried 532 mm/J). Für die Tanne ist das Gebiet zu kontinental. Die Para- und Orthogneise haben offensichtlich noch genug Wasserspeichungsvermögen, dass die Lärche überleben kann, und eher selten Föhrenwälder ausgebildet werden. Zumindest im Mattertal ist dies offensichtlich, hat es doch bei Randa, welches eher mehr Niederschlag erhält, aber thermisch kontinentaler ist, fast nur

Lärchen und keine Föhren und wegen der Frostrocknis auch kaum Fichten. Demgegenüber kommt in St. Niklaus, weiter talauswärts die Fichte noch üppig vor, obwohl die Geologie eine ähnliche ist, und die Niederschläge geringer sind. Die Föhre fehlt auch in St. Niklaus weitgehend. Dass sich die Fichte, welche ja zudem noch ein Flachwurzler ist, in St. Niklaus auch auf harten Orthogneisböden gegen die Föhre durchsetzen kann, spricht dafür, dass die Böden im Mattertal ein eher hohes Wasserspeichungsvermögen aufweisen. Somit dürfte also die Lärche infolge des recht guten Wasserspeichungsvermögens zumindest im hinteren Mattertal überall überleben können. Die Fichte würde auch überleben, sie überlebt ja im noch trockeneren vorderen Mattertal. Der Grund, weshalb die Fichte im hinteren Mattertal ausfällt, dürfte höchstwahrscheinlich in der Frostrocknis liegen. So bildet sich um Randa oft ein nächtlicher Kaltluftsee, was in St. Niklaus weniger der Fall ist. Auch ist die tägliche Erwärmung stärker, was die Luftfeuchtigkeit speziell auch an klaren Wintertagen mehr erniedrigt als vorne im Tal. Damit wird die Transpiration der Nadelbäume tagsüber stärker, was die Gefahr der Frostrocknis erhöht. Ähnliches gilt für das Saastal. Allerdings hat es dort im vorderen Talabschnitt viele Waldföhren und weniger Fichten.



Kartenausschnitt 7: Mittlerer Jahresniederschlag und Waldbestände mit Lärchenvorkommen im Wallis. Legende: graue und violette Flächen = Bestände mit Lärchenvorkommen (Quelle: Carte de végétation forestière du Valais, Kt. VS).



Kartenausschnitt 8: Mittlere thermische Kontinentalität im Jahr und Waldbestände mit Lärchenvorkommen im Wallis. Legende: graue und violette Flächen = Bestände mit Lärchenvorkommen (Quelle: Werlen, 1994: Carte de végétation forestière du Valais, Kt. VS).

3.1.5 Zusammenfassung

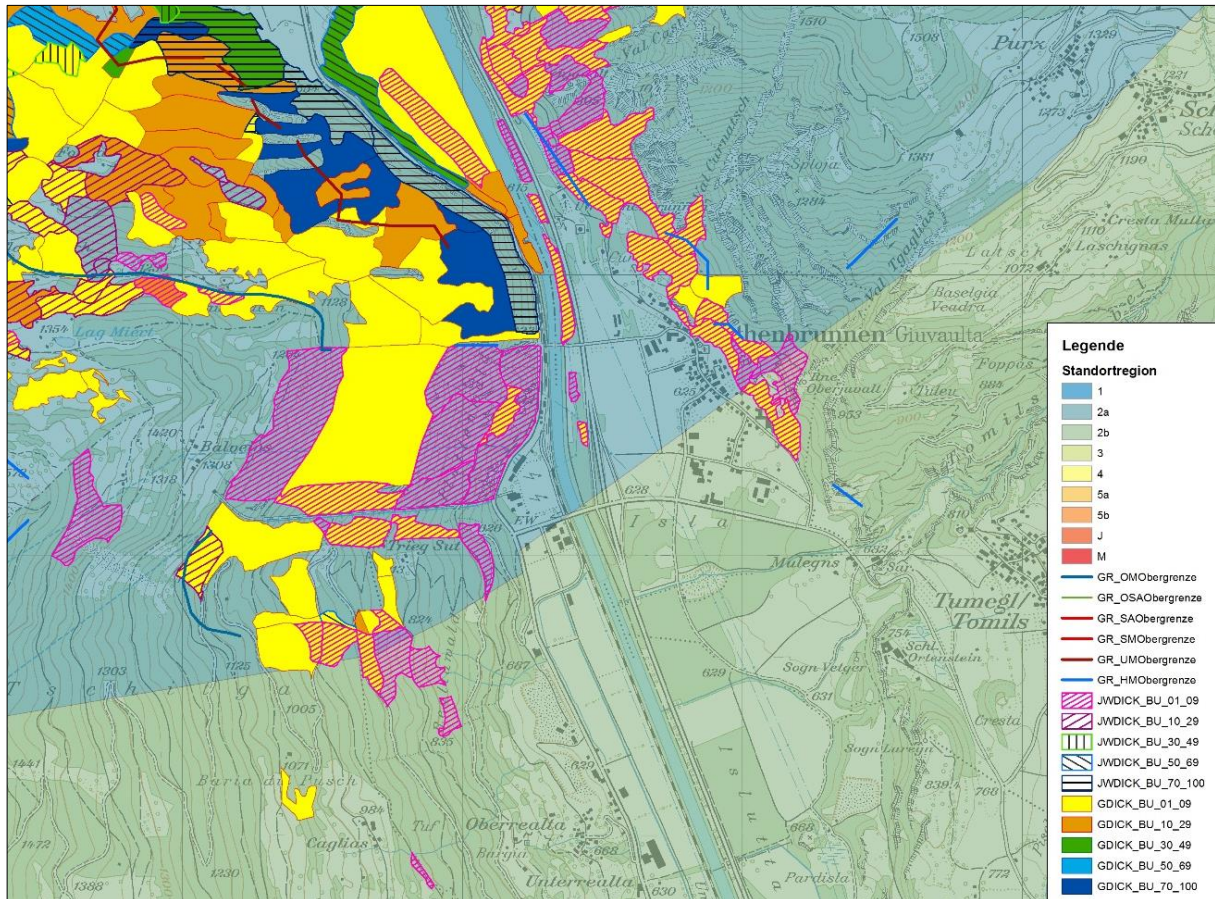
In leicht bis mässig lufttrockenen Lagen (zum Bsp. Meiental, Göscheneralp, evt. auch westliches Tessin) kommt bei hoher Schneedecke die Lärche vermehrt vor (oft infolge Alpenrosenbeständen, besonders auf Graniten und Orthogneisen). Bei geringer Schneedecke dominiert häufig die Fichte. In sehr lufttrockenen Lagen (Engadin, Wallis, zum Teil auch Bündner Südtäler, Leventina, Bleniotal) ist die Lärche reichlich im Waldbild sowohl in der subalpinen und hochmontanen Stufe vertreten. Sie ist dort in hochmontaner und subalpiner Lage Pionier, wird aber später vielerorts durch Fichte (hochmontan) oder Arve (subalpin) abgelöst. Treten Störungen oft auf, so bildet die Lärche Dauerstadien, Voraussetzung ist allerdings, dass der Boden genügend Wasser speichern kann. Ist dies nicht der Fall, so bilden Föhrenarten die Dauerstadien aus. In äusserst lufttrockenen und strahlungsreichen Lagen fällt die Fichte wegen Frostrocknis auch in der hochmontanen Stufe praktisch vollständig aus, wodurch die Lärche reine Bestände bilden kann. Voraussetzung dürfte aber auch hier sein, dass der Boden genügend Wasser speichern kann. In ozeanischen, schneereichen Gebieten, die zugleich luftfeucht sind, z.B. in weiten Teilen der Voralpen, fällt die Lärche aus, sie ist bei hoher Luftfeuchte und häufiger Bewölkung nicht konkurrenzfähig. Hier kann oft der Bergahorn die Fichte ersetzen, v.a. wenn die geologische Unterlage kalkhaltig ist.

3.2 Untersuchung der klimatischen Grenzen der Buchenverjüngung an ausgewählten Standorten

3.2.1 Klimatische Grenze Buchen-Verjüngung Eingangs Domleschg, GR

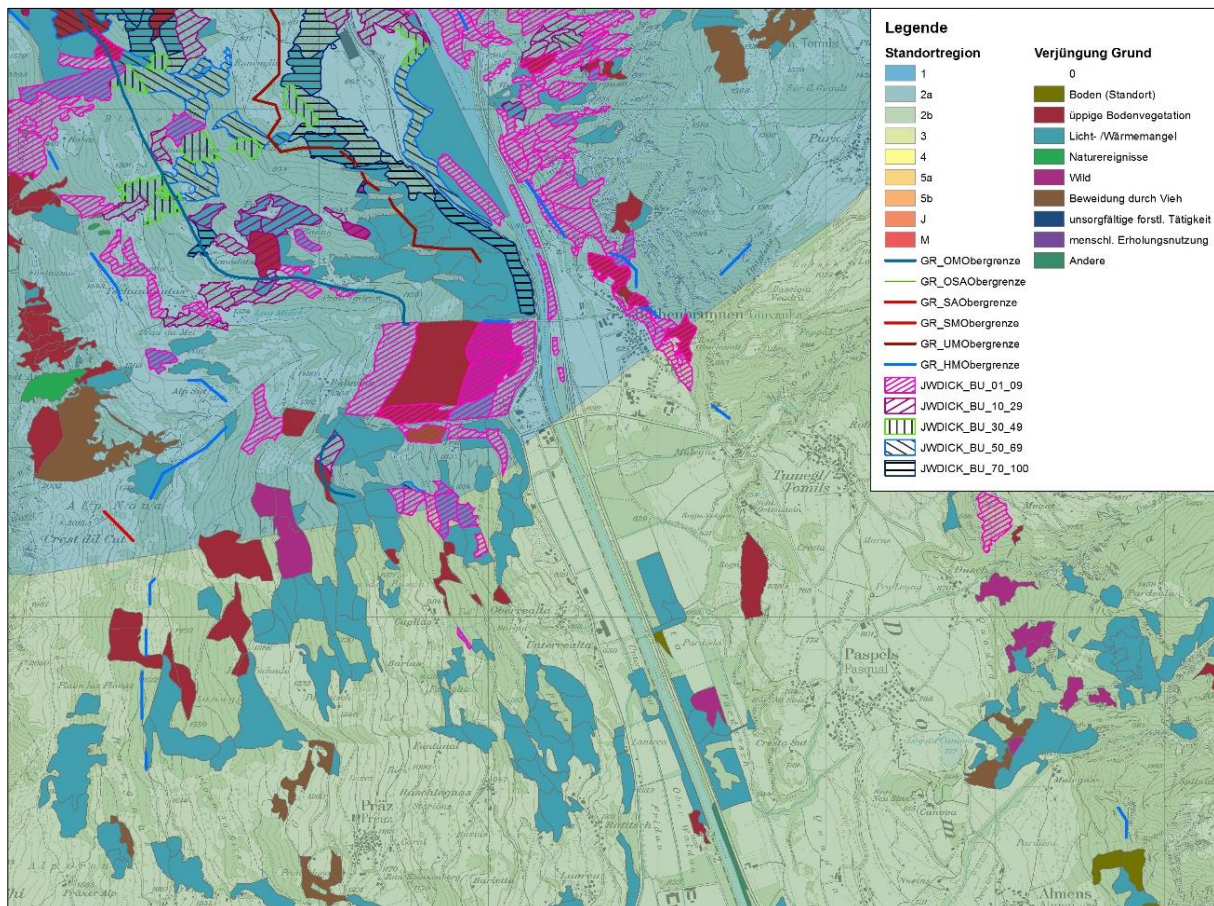
Hauptgrund für den Ausfall der Buche vom Churer Rheintal Richtung Domleschg ist die zunehmende Kontinentalität (erneut offener breiter Talboden hinter einer schluchtartigen Verengung). Die thermische Kontinentalität ist oberhalb/weiter taleinwärts einer Schluchtstrecke praktisch immer thermisch kontinentaler als unterhalb/weiter talauswärts einer Schluchtstrecke. Das heisst oberhalb/weiter taleinwärts der Schlucht ist es tagsüber wärmer und nachts kälter. Ausserdem weist das Domleschg den extremeren Kaltluftsee (daraus resultiert höhere Spätfrostgefahr), die geringeren Niederschläge und ziemlich sicher tagsüber häufiger auftretende Föhn als das Churer Becken auf. Das Domleschg gehört nach Urfer et al. (1979) zur Trockeninsel Mittelbündens (geringere Wolkenbildung und Niederschläge; ca. 1°C höhere Sommerwärme aber tiefere Winterkälte als im Churer Rheintal). Ob noch anthropogene Einflüsse für das Fehlen der Buche mitverantwortlich sind, kann nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Nach H.-U. Frey (mündl. Mitt.) entstanden im Gebiet Rhäzüns - Rothenbrunnen zudem viele Buchenbestände aus Stockausschlägen.

Je weniger Niederschlag eintritt, desto mehr Humusaufgabe entsteht und desto grösser ist die Gefahr von oberflächlicher Austrocknung, welche wiederum den Verjüngungserfolg bei der Buche schmälert. Das Ausfallen der Buche im Altbestand und der Verjüngung ist gut im folgenden Kartenausschnitt Nr. 9 ersichtlich. Auffallend ist, dass die Buchenverjüngung nicht weiter ins Talinnere vordringt als die Altbestände trotz einer Erwärmung um 1.7°C in den letzten 150 Jahren (Perroud et al. 2013, zit. in Wohlgemuth et al. 2013).



Kartenausschnitt 9: Standortregionen nach NaiS, Höhenstufengrenzen Kt. GR und Bestände mit Buchenvorkommen aus Bestandeskartierungen Eingangs Domleschg. Legende: JWDICK_BU = Jungwuchs bis Dickungsstufe Buche; GDICK_BU = Buchenvorkommen ab BHD > 8 cm.

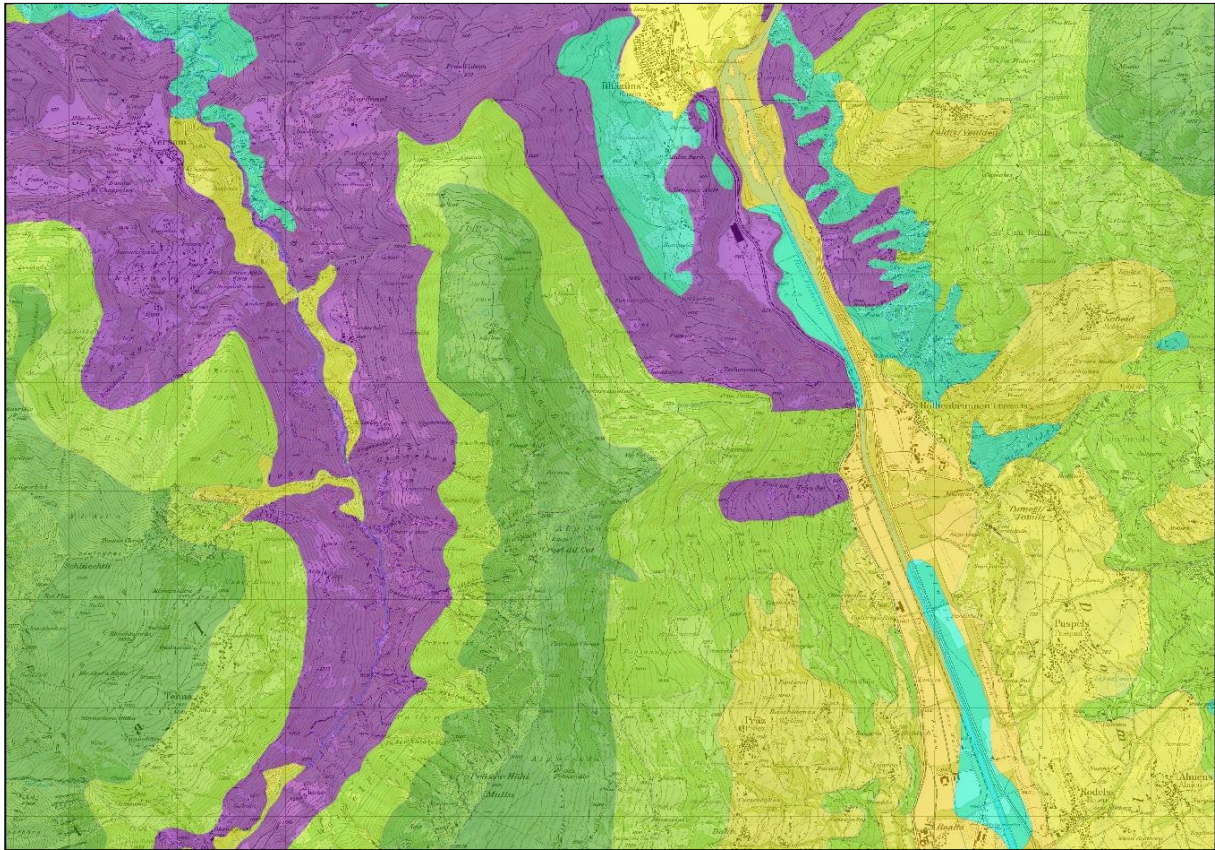
Nachfolgend werden zusätzlich die Gründe für ungenügende Verjüngung, welche bei den Bestandeskartierungen im Feld erhoben wurden, aufgezeigt. Dazu ist zu erwähnen, dass der meistgenannte Grund „Licht- und Wärmemangel“ standörtliche und/oder waldbauliche Gründe betreffen kann (Anmerkung: Dieser Grund wurde jeweils für die am Standort vorkommende Baumart beurteilt, also v.a. für die Föhrenverjüngung, welche viel mehr Licht benötigt als Buchenverjüngung, somit ist dieser Grund für die Buchenverjüngung wenig ausschlaggebend).



Kartenausschnitt 10: Standortsregionen nach NaiS, Höhenstufengrenzen Kt. GR, Bestände mit Buchenverjüngung aus Bestandeskartierungen und Angaben zu verjüngungshemmenden Faktoren Eingangs Domleschg. Legende: JWDICK_BU = Jungwuchs bis Dickungsstufe Buche. GR_OMObergrenze = Obergrenze der obermontanen Stufe (dito SM = submontan, UM = untemontan, HM = hochmontan, SA = subalpin und OSA = obersubalpin).

In grossen Bestandesöffnungen hat die Buche zusätzlich Mühe, da die ausgleichende Wirkung des Altbestandes fehlt, die Frost- (grössere Unterschiede zwischen Tagesminima- und Tagesmaximatemperatur) und die Austrocknungsgefahr zunimmt und die Luftfeuchtigkeit geringer ist, was der Buche nicht behagt (Lendzion & Leuschner 2008). Ebenfalls wird die Vergrasung der Offenflächen infolge vermehrter Strahlung gefördert. Im Domleschg kommen Buchenreliktstandorte nur noch oberhalb Realta, Eingangs Nollaschlucht und Eingangs Viamala bei Thuzis vor (aufgrund Schluchteffekt, sogenannte „Ozeanitätsinseln“).

Auf dem folgenden Kartenausschnitt Nr. 11 ist gut ersichtlich, dass die Buche nur noch in Föhn geschützten Lagen (Nordflanken) und in der Schlucht zwischen Rothenbrunnen und Rhäzüns vermehrt vorkommt (in Schluchten begünstigt ein hohes Temperaturminima und ein tiefes Temperaturmaxima die Buche, auch ist in Schluchten eine höhere Luftfeuchte typisch, was ebenfalls die Buche fördert). Die Föhren stocken auf den Föhnprallhängen und den Felsnasen (stark austrocknende Standorte). Lärchen kommen v.a. in den Runsen vor (gutes Wasserspeichervermögen, aber noch lufttrocken genug) und die Fichten vor allem an den Hängen südlich von Rothenbrunnen. Bereits im Wallis zeigte sich beim Projekt Huber et al. (2012), dass eine hohe Einstrahlung nicht buchenfördernd ist. In sehr kontinentalen Gebieten verhindert eine hohe Einstrahlung das Aufkommen der Buche; und Eichen und Föhren kommen stattdessen vor.

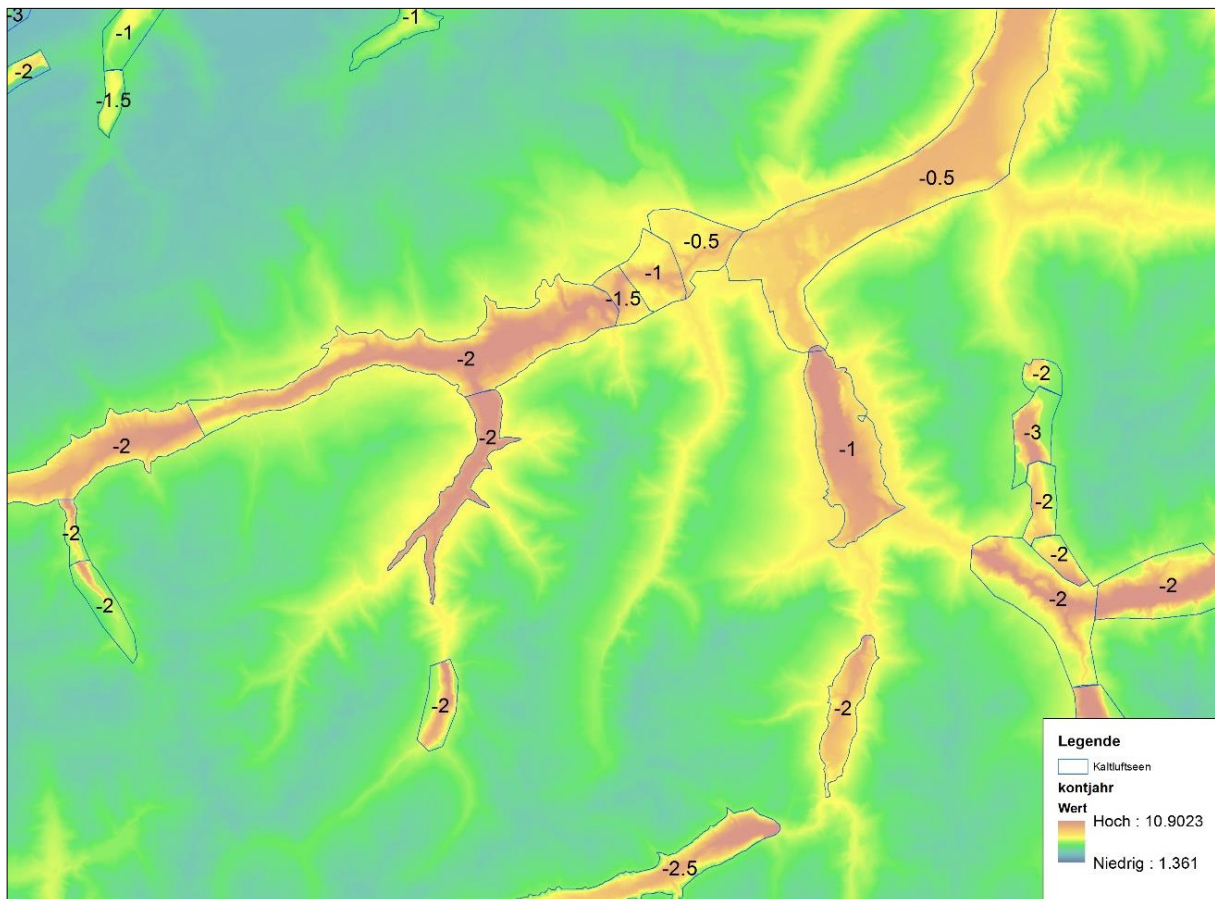


Kartenausschnitt 11: Waldtypen Eingangs Domleschg. Legende: violett = Bestände mit Buchen (Buchenwälder, Tannen-Buchenwälder), blau = Föhrenbestände (inkl. föhrenreichen Laubmischwäldern), gelb = Laubwaldbestände ohne Buche, hellgrün = hochmontane Gebirgsnadelwälder, dunkelgrün = subalpine Gebirgsnadelwälder.

3.2.2 Vergleich Buchenvorkommen Churer Rheintal, Domleschg und Safiental, GR

Im Vergleich zum Domleschg weist Chur eine ebenso hohe Föhnhäufigkeit (wobei der Föhn im Domleschg tagsüber häufiger vorkommt und somit wesentlicher ist für die Pflanzen) und Strahlung auf, aber die Kontinentalität ist dort geringer. Das Domleschg weist einen extremeren Kaltluftsee auf als das Churer Rheintal, was in tieferen Lagen die Kontinentalität zusätzlich erhöht.

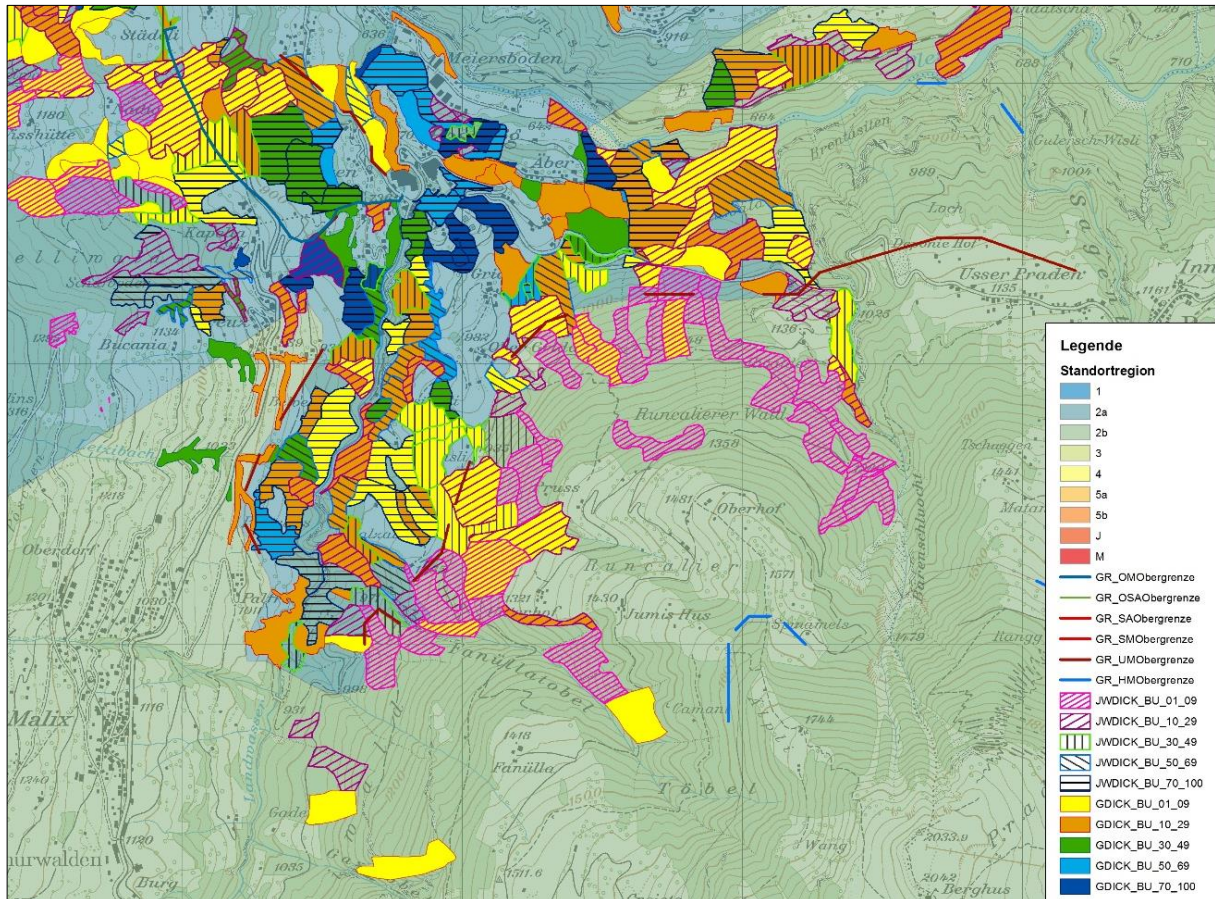
Im angrenzenden Safiental vermag die Buche weiter ins Talinnere vorzudringen. Dies aufgrund der V-Form des Tals und der damit geringeren Kontinentalität (siehe folgenden Kartenausschnitt Nr. 12).



Kartenausschnitt 12: Mittlere jährliche thermische Kontinentalität und Kaltluftseen mit Minimatemperaturen im April im Churer Rheintal.

3.2.3 Klimatische Grenze Buchen-Verjüngung Eingangs Schanfigg, GR und Ansteigen der Buchenverjüngung in höhere Lagen im Churer Rheintal

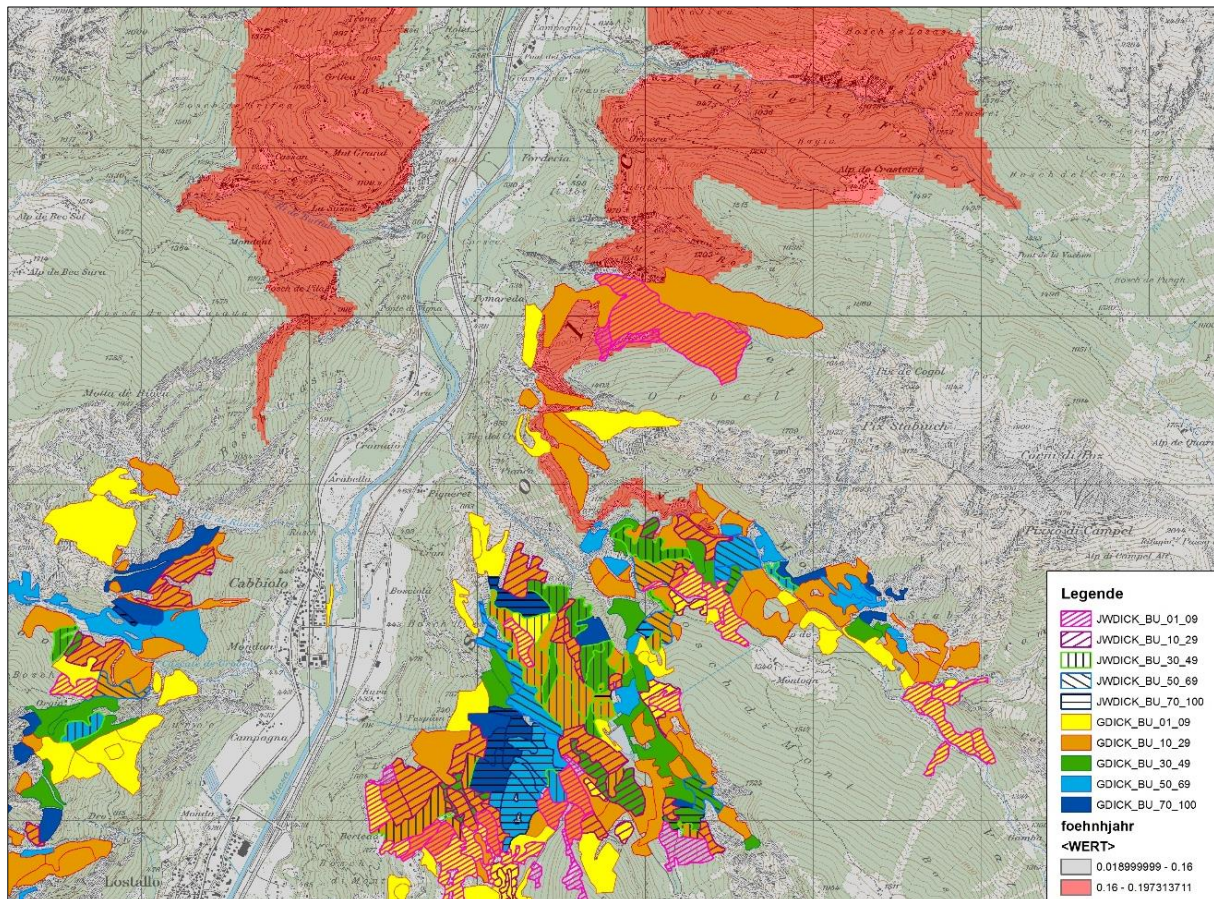
Beim folgenden Kartenausschnitt Nr. 13 ist ersichtlich, dass die Buchenverjüngung bei der Buchenarealgrenze Eingangs Schanfigg bereits weiter ins Talinnere vordringt als die Buchenaltbestände – dies könnte ein Indiz auf eine bereits eintretende Veränderung der Arealgrenzen aufgrund des Klimawandels sein. **Trotz Anstieg der mittleren Jahrestemperaturen in den letzten 150 Jahren in der Schweiz um 1.7°C (Perroud et al. 2013, zit. in Wohlgemuth et al. 2013) bleibt am selben Standort die thermische Kontinentalität in etwa gleich, aber die Gefahr von Spätfrösten nimmt wegen dem höheren Temperaturniveau ab. Deshalb kann die Buche weiter ins Talinnere wandern und weiter in die Höhe steigen, dies besonders bei tiefgründigen Böden. Da in grösserer Höhe auch die Niederschlagsmengen grösser sind und die Luftfeuchtigkeit eher höher ist, findet die Buche noch zusätzlich bessere Bedingungen vor.** Ein Effekt des Anstiegs der Buchenverjüngung in höhere Lagen konnte anhand des Kartenmaterials nicht nachgewiesen werden, aber bspw. am Hang bei Brambrüesch ist im Feld sehr eindrücklich ersichtlich, dass die Buchenverjüngung die Fichtenwälder in der hochmontanen Stufe bereits mehrere Dutzend Höhenmeter unterwandert.



Kartenausschnitt 13: Standortregionen nach NaiS, Höhentufengrenzen Kt. GR und Bestände mit Buchenvorkommen aus Bestandeskartierungen Eingangs Schanfigg. Legende: JWDICK_BU = Jungwuchs bis Dickungsstufe Buche; GDICK_BU = Buchenvorkommen ab BHD > 8 cm. GR_OMObergrenze = Obergrenze der obermontanen Stufe (dito SM = submontan, UM = untemontan, HM = hochmontan, SA = subalpin und OSA = ober-subalpin).

3.2.4 Klimatische Grenze Buchen-Verjüngung Misox, GR

Im Misox fällt die Buche im Bereich einer jährlichen Föhnhäufigkeit von 15.5 bis 17 % (56 bis 62 Föhntage im Jahr) aus. Buchenbestände in Gebieten mit über 16 % Föhnhäufigkeit im Jahr kommen v.a. noch an Nordhängen vor. Bei der Buchenarealgrenze im Misox ist der Einfluss der edaphischen Verhältnisse unwesentlich, da der Föhneinfluss mit seiner austrocknenden Wirkung so stark ist, dass dieser sehr wahrscheinlich zum Ausfall der Buche führt. Bei den Gründen für fehlende Verjüngung werden nördlich der Buchenarealgrenze v.a. der Wildeinfluss und in geringerem Masse „Licht- / Wärmemangel“ angegeben.

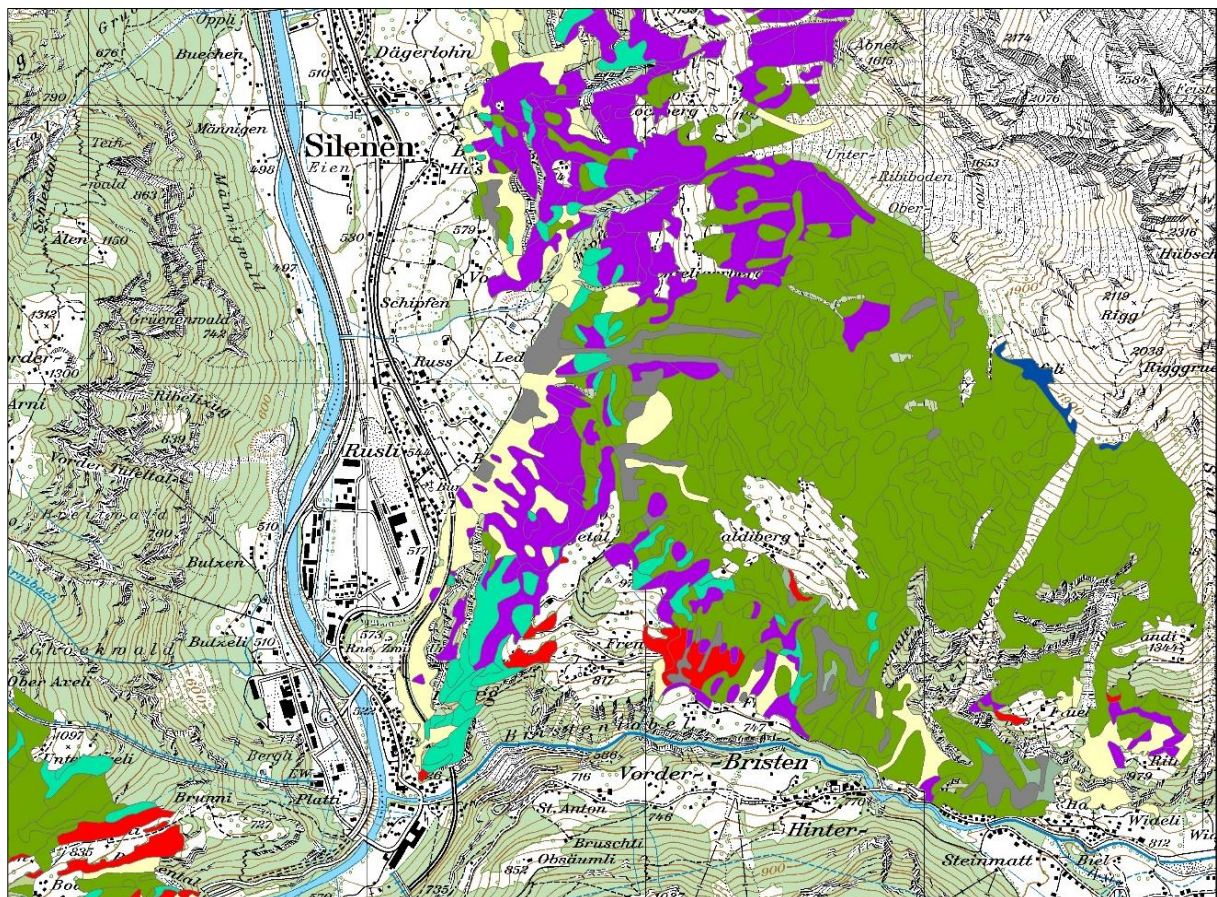


Kartenausschnitt 14: Bestände mit Buchenvorkommen im Misox (aus Bestandeskartierungen). Legende: JWDICK_BU = Jungwuchs bis Dickenstufe Buche; GDICK_BU = Buchenvorkommen ab BHD > 8 cm.

Auffällig ist, dass die Buchenverjüngung schon südlicher ausfällt als die Altbestände. Dies deutet eher auf einen Rückzug der Buche hin. Eine Erwärmung führt dazu, dass der Buchengürtel sich in höhere Lagen verschiebt. In den jetzigen Lagen mit Buchen werden sich wahrscheinlich Eichen, Kastanien oder auch Linden ausbreiten, weil ja die Buche im Misox, wie auch in der Riviera, in tiefsten Lagen Mühe bekundet. Die hohen Temperaturen verbunden mit der durch den Nordföhn oft hervorgerufenen Lufttrockenheit fördern die collinen Baumarten Eiche, Linde und Kastanie. Der Buche ist ein schmaler Gürtel zwischen etwa 700 bis 1100 Meter beschieden. Verschiebt sich nun der Buchengürtel in grössere Höhenlagen, weil unten Eiche, Linde und Kastanie nachstossen, so gerät dieser Buchengürtel in eine Zone mit grösserer Föhnhäufigkeit (in den Klimakarten kaum darstellbar), was die Buche stärker behindert.

3.2.5 Klimatische und edaphische Grenze der Buche bei Silenen, UR

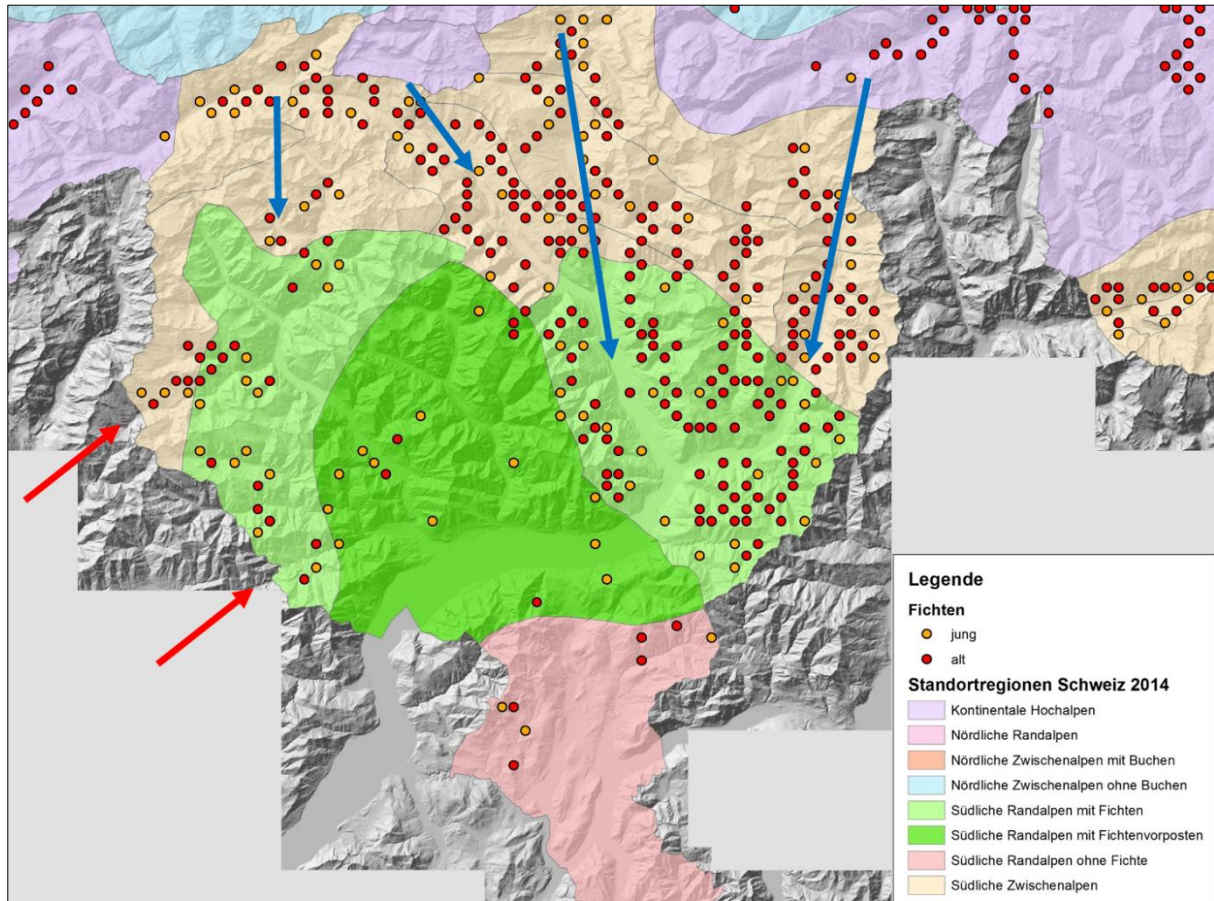
Bei Silenen führt die Flachgründigkeit der Standorte an den Föhn-Prallhängen weitgehend zum Ausfall der Buche. Die Buchen kommen hauptsächlich noch auf tiefgründigen Böden vor, dies in Einzelfällen auch dann, wenn sie föhnexponiert sind. Auf den föhnnausgesetzten Stellen stocken auf flachgründigen, trockenen Böden Föhrenwälder. Das Gebiet weist eine jährliche Föhnhäufigkeit auf von ca. 8 % bis knapp 10 %, das bedeutet 29 bis 36 Tage Föhn pro Jahr. Eine solche Föhnhäufigkeit ermöglicht noch Buchenwälder, allerdings müssen die Böden ein gutes Wasserspeichungsvermögen aufweisen. Würde der Föhneinfluss wegfallen, so würde die Buche (und auch Fichte und Weisstanne) die Waldföhre auf die flachgründigsten, felsigsten Stellen verdrängen (Gletscherschliff-Felsen), wo der nackte Fels oft zutage tritt und kaum mehr von Wald die Rede sein kann. Mit dem häufigen Föhneinfluss kommt die Föhre aber auch an weniger flachgründigen Böden vor, wo sie sich ohne Föhneinfluss wahrscheinlich nicht halten könnte. Durch die sauren, nährstoffarmen Böden bilden sich nämlich Rohhumusauflagen, welche der Föhn zeitweise stark austrocknet, was eine Verjüngung der Buche stark behindert.



Kartenausschnitt 15: Waldtypen bei Silenen, Uri. Legende: violett = Bestände mit Buchen (Buchenwälder, Tannen-Buchenwälder), türkis = Föhrenwälder, hellgelb = Lindenwälder, rot = Eichenwälder, grün = Gebirgsnadelwälder (v.a. Fichte), blau = Bergföhrenwald, grau = Offenflächen (Fels, Rufen, Schutthalden).

3.3 Untersuchung der klimatischen Grenze der Fichtenverjüngung im Kanton Tessin (Grenze 5a mit Fichte/5a mit Fichten-Vorposten)

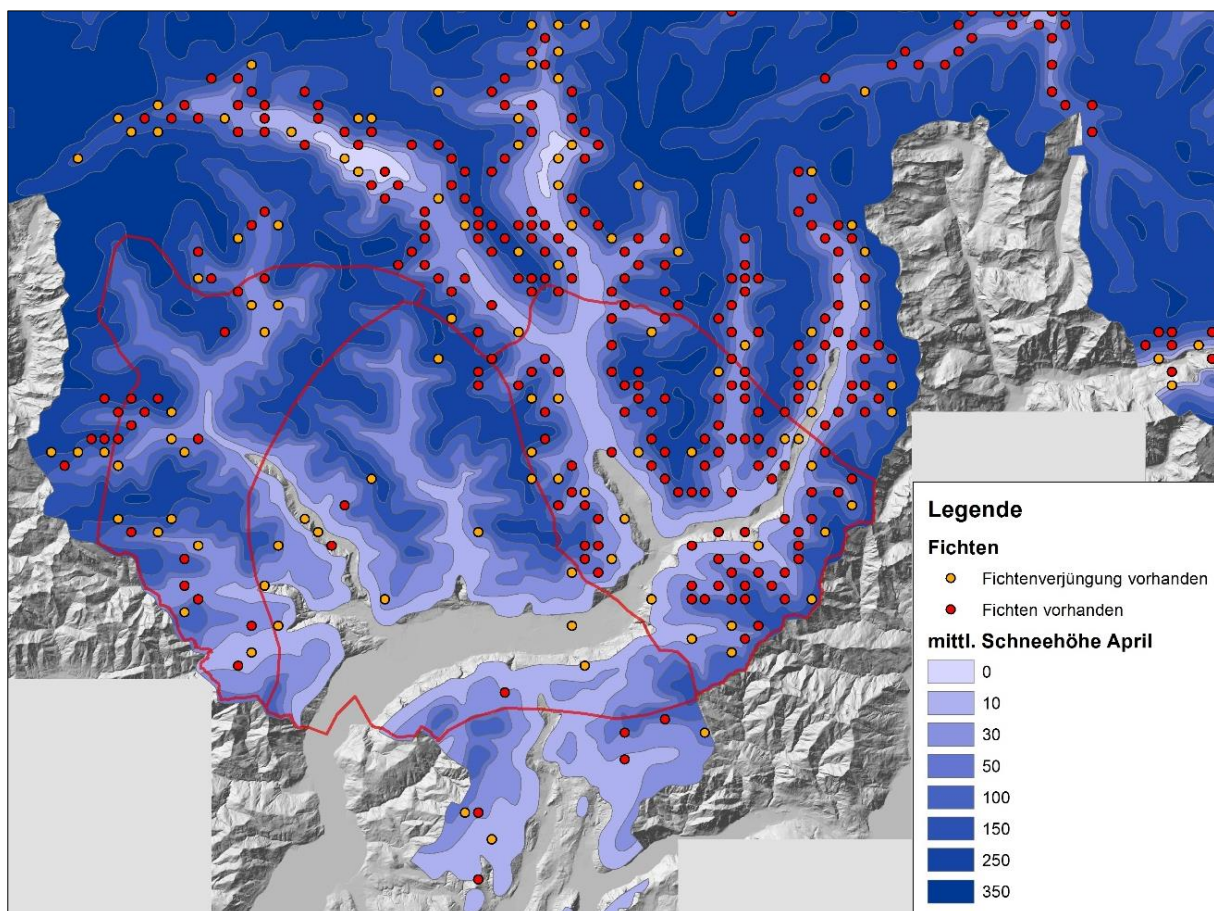
Im Tessin kommen in der Standortsregion 5a (mit Fichtenvorposten) nur wenig Fichten vor im Gegensatz zu 5a (mit Fichten) (siehe folgenden Kartenausschnitt Nr. 16).



Kartenausschnitt 16: Standortsregionenkarte nach NaiS mit LFI-Flächen, welche im Jungwuchs (jung) und/oder Altbestand (alt) Fichten aufweisen. Zusätzlich Abbildung der Einwanderung von Fichtentypen. Legende: rote Pfeile = Einwanderung der Fichte aus Südwesten (Westalpen-Typus vom Piemont). Blaue Pfeile = Leventiner-Fichte, Nordost-Typ.

Die Standortsregion 5a (mit Fichtenvorposten) gehört zu den hyperinsubrischen Gebieten mit enorm hohen Schneemengen und schwerem Nassschnee (bei Südstaulagen fallen grosse Schneemengen, welche meist bis in grosse Höhe aus Nassschnee bestehen) (siehe Abb. 1 bei Kap. 3.1), Arve und Fichte haben deshalb Mühe oder gehen ein. Dies fördert wiederum die Verbreitung von Lärche und Tanne, weil die Konkurrenz wegfällt und weil ihnen Rostpilze nichts anhaben. Nach Beobachtungen von Gabriele Carraro und Ludwig Z'graggen ist die Fichte im Gebiet ausschliesslich in der Jugendphase gefährdet, v.a. bei einer Grösse von 0 bis 3 cm Höhe (bis ev. 30 cm). Hingegen kommen gepflanzte Fichten sehr gut auf (und sind manchmal der Tanne sogar überlegen), aber auch in solchen Beständen wird kaum eine natürliche Verjüngung beobachtet. Sie vermuten, dass mikroklimatisch im Bereich von 0 und 10 cm einschneidende Einflüsse bestehen. Die Klima-Messungen sind aber meistens nur in 2 m Höhe verfügbar. Es wird vermutet, dass pathogene Pilze ausschlaggebend sind, welche sich unter langanhaltenden Nassschnee-Bedingungen mit gleichzeitig milden Temperaturen entwickeln.

Die Fichte hat in der subalpinen Stufe zusätzlich Probleme auf Orthogneisen. Diese Standorte neigen zur Bildung von Alpenrosengürteln aufgrund des felsigen Standortes; von den Alpenrosen wird angenommen, dass sie das Aufkommen von jungen Fichten aufgrund des Fichtenadelblasenrosts erschweren können (nach Nierhaus-Wunderwald 2000 können, wenn Epidemien wiederholt während mehrerer Jahre auftreten, vor allem geschwächte Jungfichten beeinträchtigt werden). Die Fichte verjüngt sich nur noch an sonnigen, steinigen, konvexen Lagen wo der Schnee abrutscht, oder auf Blockschutt mit einem gewissen Erfolg.



Kartenausschnitt 17: Mittlere Schneehöhe im April mit LFI-Flächen, welche im Jungwuchs und/oder im Altbestand Fichten aufweisen.

Anhand der LFI-Daten wurden die **LFI-Flächen mit Fichtenvorkommen innerhalb der Standortsregion 5a (mit Fichtenvorposten; siehe Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. und Tab. 2)** überprüft, ob einer der folgenden Standortfaktoren vorhanden ist, welcher das Aufkommen der Fichte ermöglicht / begünstigt:

- Blockschutt
- Steillagen wo der Schnee nicht liegenbleibt
- Südexposition

Dabei konnte festgestellt werden, dass es sich auf den LFI-Flächen allermeist um einzelne Fichten handelte. Kein einziger Fichtenbestand konnte innerhalb 5a (mit Fichtenvorposten) gefunden werden.

Weitere Einflüsse bezüglich dem geringen Fichtenvorkommen in 5a mit Fichtenvorposten könnten nach G. Carraro und L. Z'graggen ausserdem der geringe Föhnwind (Schnee bleibt

länger liegen), die relativ tiefe thermische Kontinentalität und die z.T. hohen Niederschläge sein.

In der **Standortsregion 5a (mit Fichten)** bestehen ebenfalls deutliche Unterschiede beim Vorkommen von Fichten. Es wird vermutet, dass diese Unterschiede aufgrund von unterschiedlichen Fichtentypen bestehen. Viele Fichten weist bspw. das **Valle di Bosco** auf. G. Carraro und L. Z'graggen vermuten, dass dort ein anderer Fichtentyp (Westalpen-Typus vom Piemont) aus Südwesten eingewandert ist, welcher hohe Schneemengen besser erträgt.

Auch im **Centovalli** und **Onsernonetal**, wo gegen Westen hin die Kontinentalität etwas zunimmt, scheint die Fichte besser aufzukommen und die vorkommenden Ökotypen der Kammfichten wachsen gut. Diese Fichten sind vielleicht in den Tieflagen besser geeignet als die Blenio- und Leventina-Rassen, die von Nordosten eingewandert sind (Burga et al., 1998) und eher auf subalpinen Standorten gut wachsen können.

Wenige Fichten weist das **Bavonatal** und das **Verzascatal** auf. Dies wegen verhältnismässig hohen Schneemengen bis im April (siehe Kartenausschnitt Nr. 17). So treten grössere Schneemengen auf als bspw. in der fichtenreichen Leventina. Ein weiterer Grund für das Fehlen der Fichte im Val Bavona könnte aber auch die fehlende Einwanderung der Fichte sein. Im **Val Lavizarra** erfolgte die Einwanderung der Fichte wahrscheinlich aus Norden.

Ob ev. für die jungen Fichten das gleiche zutrifft wie bei den von Tranquillini (1959, zit. in Lyr 2006) beschriebenen Arven, ist ungewiss. So konnten die jungen Arven, welche gänzlich eingeschneit waren, unter der Schneedecke nicht assimilieren, die Atmung ging aber bei Temperaturen um 0°C weiter und während dieser Zeit verloren die jungen Bäume an Nadelrockgewicht durch Winteratmung (insgesamt 7 % der Jahresnettophotosynthese) – dies führte beim Arvenjungwuchs zu einer Schwächung der jungen Bäume.

Die **Grenze 5a (mit Fichtenvorposten) / 5b (ohne Fichte)** weist nach G. Carraro keine echten klimatischen Unterschiede auf, die Trennung wurde vielmehr für die Förster gemacht, da mit wenigen Ausnahmen in 5b (Sottoceneri) menschenbedingt praktisch keine Nadelwälder mehr vorkommen.

Tab. 1: Angaben zu den LFI-Flächen mit Fichtenvorkommen innerhalb der Standortsregion 5a (mit Fichtenvorposten). (Fehlende Daten bei 12 Stichproben, diese wurden nicht aufgeführt).

x-Koord.	y-Koord.	Nr. Nais-LFI	Ge-meinde	H.ü.M.	Exposition (Neugrad)	Neigung (%)	Block-schutt?	Geologie (Orthogneis?)	Vorkommen Alpenrosen?	langsame Schneebewegung/Lawinen	Baumarten Oberschicht	Baumarten Jungwald	Bestandesbe-schreibung
5a mit Fichten-Vorposten													
707	134	138175	Frasco	1751	150	69	ja	Mesokrate Biotit-Plagioklasgneise, mit Glimmerschiefer und quarzreichen Gneisen wechsellagernd	20%	ja/nein	Lä	Lä, einzelne Fi	Lärchen-Altbestand, viel Alpenrose
702	125	145252	Maggia	1555	280	97	teils	Helle Zweiglimmer-Oligoklasgneise, Mikroclin führend, mittelkörnig, plattig, mit grossen Glimmerplättchen (Verzascagneis)	45%	ja/ja	Bi 5, Lä 4, Ta 1	Bi, Fi, Ta, Lb	einwachsend
714	125	145276	Lodrino	2032	127	81	nein	Gneiss mesocratico a biotite: gneiss di Cocco (275 Ma). Gneiss granitico leucocratico: gneiss di Ruscada (240-250 Ma)	5%	ja/ja	AV	Alnus, einzelne Fi	Gebüschwald
697	122	147356	Maggia	469	390	81	Geröll	Glimmerschiefer, allgemein	nein	ja/nein	LH	einzelne Fi	
695	120	148790	Isorno	1516	106	75		Gneiss mesocratici, tabulari a biotite, oligoclasio, a grana fine, listati a zonati (Gneiss di Lodano) o sottilmente lenticolari (Gneiss di Vergeletto)	5%	ja/ja	Bu 85, La 15	keine Fi!	Buchen-Altbestand mit Lä
699	120	148798	Maggia	442	40	74	ja	Gneiss a biotite, feldspato alcalino e oligoclasio, eterogeneo a tessitura nodosa-venosa a carattere migmatitico (Gneiss di Mergoscia, "gneiss d'iniezione")	nein	nein/nein	Fi 45, Dougl 30, Querc.rob. 5, Cast. 10, Bi 10	Fi, Hasel	ziemlich sicher Aufforstung
703	116	151607	Locarno	1047	348	58	ja	Zweiglimmergneis, Detriti di falda, colluvione	10%	nein/nein	Bu 3, Lä 4, Bi 2	Ta, Fi	
717	118	150253	Sementina	1313	122	55	nein	k.A.	nein	ja/?	Bu/Lä	keine Fi sichtbar	Bu-Altbestand
695	114	152930	Centovalli	643	187	62	Felsband	Zweiglimmergneis	nein	nein/nein	Ei 20, Es 3, Kas 67 Rbo 10	ev. einzelne Fi	LH-Bestand
717	114	152974	Gudo	207	0	0	nein	Alluvialböden (im allg.), vorwiegend Schotter	nein	nein/nein	Auenwald	ev. einzelne Fi	

Tab. 2: Angaben zu den LFI-Flächen mit Fichtenvorkommen innerhalb der Standortsregion 5b (ohne Fichte). (Fehlende Daten bei 12 Stichproben, diese wurden nicht aufgeführt).

x-Koord.	y-Koord.	Nr. Nais-LFI	Ge-meinde	H.ü.M.	Exposition (Neugrad)	Neigung (%)	Block-schutt?	Geologie (Orthogneis?)	Vorkommen Alpenrosen?	langsame Schneebewegung/Lawinen	Baumarten Oberschicht	Baumarten Jungwald	Bestandesbe-schreibung
5b													
724	107	157046	Valcolla	1384	68	80	Geröll	Phyllonite und Tonschiefer	nein	ja/nein	Fi 35, Bu 60, Salix 5		Bu-Bestand mit einz. Fi
721	104	158377	Capriasca	664	190	138	Schlucht	Serizit-Chlorit-Schiefer, Gnei	nein	nein/nein	Fi 5, LH 95	LH	Bu/Kas-Niederwald
711	98	160788	Aranno	683	322	52	nein	Biotitgneis, Hornfels	nein	nein/nein	LH	eine Fi, LH	LH
710	95	161951	Curio	580	90	49	wenig Geröll	Kalkmarmor, Kalksilikate	nein	nein/nein	Fi 5, Lä 5, Bu, 50, Kas 25, Bi 15	LH	LH-Bestand
725	80	165065	Breggia	946	250	46	nein	Bündnerschiefer, Kalksandstein	nein	nein/nein	Fi 25, Ta 5, Ei 15, Ah 15, Es 15, Kas 15, Li 10	LH	LH-Bestand

4 Schlussfolgerungen und Diskussion

Je kleinräumiger Ausbreitungsgrenzen von Baumarten untersucht werden, je bessere Resultate entstehen.

Je dominierender eine Baumart ist (Buche), je einfacher wird es, klimatische und edaphische Grenzen zu finden. Bei der Lärche spielen weitere Faktoren wie die Konkurrenz von anderen Baumarten und das Vorkommen von Forstpathogenen eine mitentscheidende Rolle.

Bei der Fichte im Tessin zeigt sich, dass bei Arealgrenzen nicht nur das Makroklima entscheidend ist, sondern dass auch im mikroklimatischen Bereich von 0 und 10 cm einschneidende Einflüsse bestehen können, und dass die Provenienzen der Baumart ebenfalls eine wesentliche Rolle spielen können.

Es zeigte sich, dass die LFI-Layer für diese Fragestellungen nicht so geeignet sind, da für regionale Verbreitungsanalysen zu wenig Flächen vorhanden sind. Ebenfalls zeigte sich, dass z.B. bei LFI-Flächen mit Fichtenvorkommen im Tessin meist nur einzelne Jungfichten vorhanden waren oder Einzelbäume, so können ebenfalls falsche Schlüsse entstehen.

Uns ist bewusst, dass Baumartenmischungen anders reagieren als Reinbestände, und dass neben den Klimaeinflüssen noch andere Faktoren wie die Beschränkung der natürlichen Ausbreitung der Baumarten, die Konkurrenzsituation (zwischen Baumarten, aber auch zwischen Baumarten und Strauchschicht, Konkurrenzvegetation und Problempflanzen), die Bestandesdichte, die Bodenqualität, das Bestandesinnenklima, etc. einen wichtigen Einfluss haben (Michiels 2008, Falk et al. 2011). Auch ist uns bewusst, dass die Verteilung der Klimaereignisse wesentlich ist (z.B. Starkregen und Trockenperioden) und dass z.T. klimatische Einflüsse nicht in allen Lebensphasen gleich begrenzend wirken.

Unser Projekt benutzt zudem nicht Klimaparameter, die zur Mortalität der Baumarten führen (z.B. Angaben zu Baumarten in Choat et al. 2012), sondern solche, die für ein reduziertes Wachstum verantwortlich sind und somit die Konkurrenzstärke vermindern, so dass sich die Mischungsverhältnisse der Hauptbaumarten verschieben. Dies wiederum führt zur Bildung der Höhenstufen und trägt zu Arealgrenzen bei.

5 Projektablauf

Das Projekt lief planmässig ab. Die Abgabefrist musste verlängert werden.

6 Ausblick

Die Resultate sollen mit den Ergebnissen von Potenzialmodellen von N. E. Zimmermann verglichen werden und Inputs für das Projekt ForReg (Zimmermann et al. 2014) liefern.

7 Literatur

- Abegg, M., Brändli, U.-B., Cioldi, F., Fischer, C., Herold-Bonardi, A., Huber M., Keller, M., Meile, R., Rösler, E., Speich, S., Traub, B., Vidondo, B., 2014. Viertes Schweizerisches Landesforstinventar. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt WSL.
- Brändli, U.-B., 1998. Die häufigsten Waldbäume der Schweiz: Ergebnisse aus dem Landesforstinventar 1983-85 - Verbreitung, Standort und Häufigkeit von 30 Baumarten (2. Aufl.). Birmensdorf: Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft.
- Burga, C.A. & Perret, R., 1998. Vegetation und Klima in der Schweiz seit dem jüngeren Eiszeitalter. Ott Verlag, Thun.
- Butin, H., 1989. Krankheiten der Wald- und Parkbäume. Diagnose – Biologie – Bekämpfung. 2. Aufl., Stuttgart/New York, Thieme. 216 S.
- Choat, B., Jansen, S., Brodribb, T.J., Cochard, H., Delzon, S., Bhaskar, R., Bucci, S.J., Feild, T.F., Gleason, S.M., Hacke, U.G., Jacobsen, A.L., Lens, F., Maherali, H., Martínez-Vilalta, J., Mayr, S., Mencuccini, M., Mitchell, P.J., Nardini, A., Pittermann, J., Pratt, R.B., Sperry, J.S., Westoby, M., Wright, I.J. & Zanne, A. E., 2012. Global convergence in the vulnerability of forests to drought. *Nature*, Volume: 491: 752–755.
- Englisch, M., Starlinger, F. & Lin, H., 2011. Die Lärche – ein Baum für alle Fälle? BFW-Praxisinformation 25, 3-4.
- ETH, 2002. Mitteleuropäische Waldbaumarten: Artbeschreibung und Ökologie unter besonderer Berücksichtigung der Schweiz (Reprint der Ausgabe 1995). Skript der Professur für Waldbau und der Professur für Forstschutz & Dendrologie ETHZ.
- Falk, W. & Mellert, K.H., 2011. Species distribution models as a tool for forest management planning under climate change: risk evaluation of *Abies alba* in Bavaria. *Journal of Vegetation Science* 22(4): 621-634.
- Furrer, E., 1955. Probleme um den Rückgang der Arve (*Pinus cembra*) in den Schweizer Alpen. *Mitteilungen der schweizerischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen* 31 (3): 669-703.
- Huber, B., Zischg, A., Frehner, M., Carraro, G. & Burnand, J., 2015. Mit welchen Klimaparametern kann man Grenzen plausibel erklären, die in NaiS (Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald) verwendet werden, um Ökogramme auszuwählen? Chur, 149 S.
- Kölling, S., Falk, W. & Bachmann-Gigl, U., ohne Jahr. Die Europäische Lärche im Klimawandel. Vortragsunterlagen. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft.
- Lenzion, J. & Leuschner, C. 2008. Growth of European beech (*Fagus sylvatica* L.) saplings is limited by elevated atmospheric vapour pressure deficits. *Forest Ecology and Management* 08.
- Lyr, H., Fiedler, H.J. & Tranquillini, W., 1992. Physiologie und Ökologie der Gehölze. Fischer, Cornell University.
- Mayer, H., 1977. Waldbau auf soziologisch-ökologischer Grundlage. Stuttgart/New York: Gustav Fischer Verlag.
- Michiels, H.G., 2008. Wald und Klima. Dynamisierte Einstufung der Baumarteneignung als Grundlage für die waldbauliche Planung. pp. 48-51.

Nierhaus-Wunderwald, D., 2000. Rostpilze an Fichten. Merkblatt für die Praxis, Nr. 32. WSL, Birmensdorf.

Schmid, E., 1923. Vegetationsstudien in den Urner Reusstälern. Brügel.

Schüepp, M., Bouet, M., Bider, M. & Urfer, C., 1978. Regionale Klimabeschreibungen. 1. Teil, Gesamtübersicht, Westschweiz, Wallis, Jura und Juranordfuss sowie Mittelland. Schweizerische Meteorologische Zentralanstalt, Zürich.

Schütt, P., Weisgerber, H., Lang, U.M., Roloff, A. & Stimm, B., 2006. Enzyklopädie der Holzgewächse - Handbuch und Atlas der Dendrologie. Landsberg/Lech: Ecomed.

Trachsel, A., 2014. Betrachtung ausgewählter Standortsfaktoren zur Charakterisierung der Verteilung von Arve und Lärche im Calfeisental und an der Westflanke des Calandas. Bachelorarbeit, ETH Zürich.

Urfer, Ch., Gensler, G., Ambrosetti, F. & Zenone, E., 1979. Regionale Klimabeschreibungen. 2. Teil, Alpennordhang, Graubünden und Alpensüdseite. Schweizerische Meteorologische Zentralanstalt, Zürich.

Werlen, C., 1994. Carte de végétation forestière du Valais. Sion.

Wohlgemuth, T., Arend, M., Bigler, C., Dobbertin, M., Frank, D., Matter, C., Moser, B., Schneider Mathis, D., Wasem, U., Wermelinger, B., Zingg, R., Rigling, A. (Red.), 2013. Kurz- und langfristige Auswirkungen des Klimas auf die Wälder im Churer Rheintal. Schlussbericht Projekt Bündner Wald im Klimawandel. Eidg. Forschungsanst. Wald Schnee Landsch. & Amt für Wald und Naturgefahren, Kt. Graubünden. 81 S.

Zimmermann, N.E., Wohlgemuth, T., Normand, S., Thürig, E., Schwyzer, A., Ginzler, C. 2014. Forreg - Forest regeneration in Switzerland. Project proposal. Research Programme Forests and Climate Change. Birmensdorf, Swiss Federal Institute of Forest, Snow and Landscape Research WSL, 7 p.

Zuber, R., 2010. Einwanderung der Lärche. Woher kam sie? Bündner Wald 1/2010. Graubünden Wald, Amt für Wald und Naturgefahren Graubünden und SELVA.