

# Adaptierte standortkundliche Grundlagen

Ergebnisse aus dem Projekt «Adaptierte Ökogramme»

Monika Frehner, Barbara Huber, Ludwig Zraggen, Andreas Zischg, Päivi van Wijnkoop, Sabine Braun, Martin Scherler, Gabriele Carraro, Jacques Burnand



## Kriterien für Abgrenzung der Höhenstufen auf wüchsigen Standorten

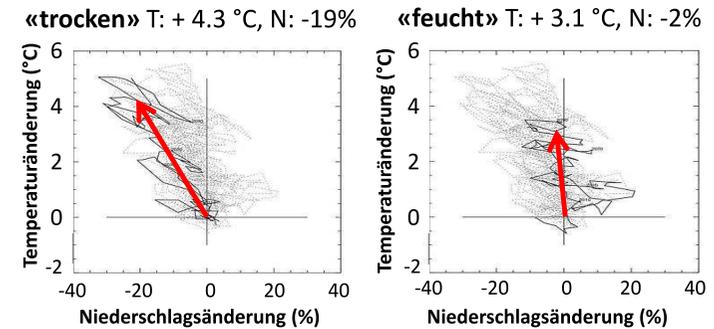
	<b>Obersubalpin</b> Obersubalpin dominieren Arve und Lärche Subalpin dominiert Fichte, evt. Lärche und einzelne Tannen
	<b>Subalpin</b> Subalpin Rotten oder schmale, lange Kronen, abholzige Stämme Hochmontan geschlossenen Bestände, Kronen meist nicht bis zum Boden, vollholzige Stämme
	<b>Hochmontan</b> Hochmontan keine Buche in Baumschicht Obermontan Buche in Baumschicht
	<b>Obermontan</b> Obermontan Tanne und Fichte werden 5 – 10 m höher als Buche Untermontan Buche wird ähnlich hoch wie Tanne und Fichte
	<b>Untermontan</b> Untermontan Buche dominiert stark Submontan Buche dominiert weniger stark, wärmeliebende Baumarten wie Kirsche und Eiche im Bestand
	<b>Submontan</b> Submontan Buche vital Collin Buche beschränkt vital, nur noch in Schattenlagen, wärmeliebende Baumarten wie Eiche und Kastanie nehmen zu
	<b>Collin</b>

3

## 2 mögliche Klimazukünfte für Periode 2070-2099

- Klimaszenarien gründen auf Emissionsszenarien (A1B, A2, ...) gem. IPCC 4
- 2 regionale Klimamodelle für das «mittlere» A1B-Szenario bilden den Fächer aller möglichen «Klimazukünfte» etwa ab

Verlauf von Temperatur und Niederschlag, Apr-Sep, 2001-2099 vs. 1981-2000 für Schweiz



Modellherkunft:  
«trocken»: CLM  
«feucht»: RegCM3



4

# Ausmass der Klimaänderung und Waldstandorte

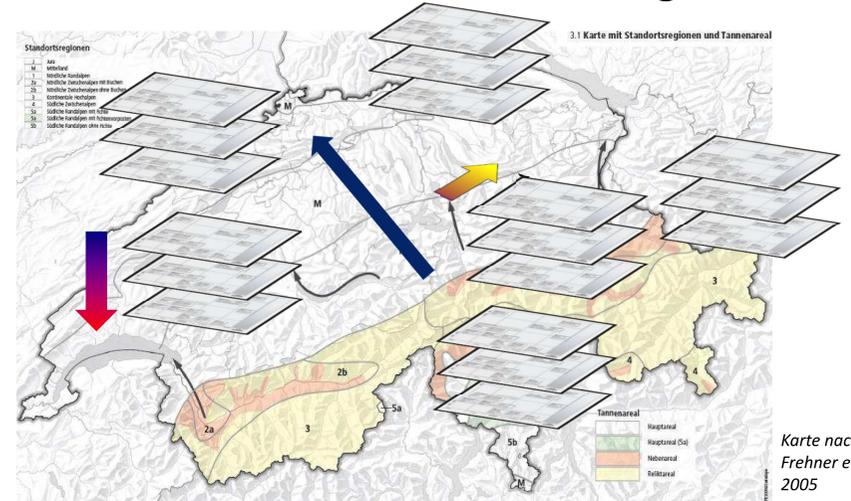
3,1-4,3 °C entsprechen 500-700 Höhenmeter



m ü.M.  
1400

900

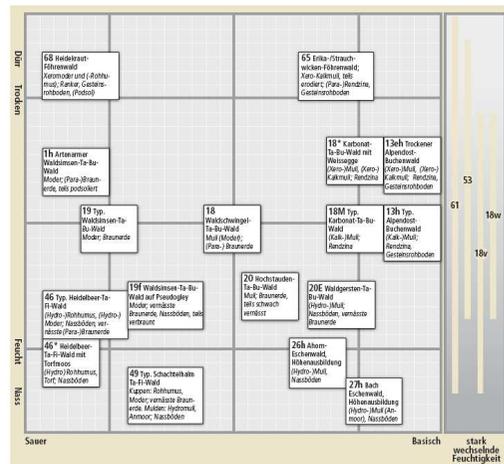
# Welche Klima-Information steckt in Ökogrammen?



Karte nach Frehner et al. 2005

# In jeder Standortsregion pro Höhenstufe ein Ökogramm

Ökogramm Nördliche Randalpen (Region 1) obermontan



**Topografie**  
Enger Zusammenhang mit Achse Nass – Trocken  
Südexponiert, Kuppenlage eher trocken  
Nordexponiert, Mulde eher feucht

**Boden**  
Zusammenhang mit Achse Sauer – Basisch (z. B. auf kalkhaltigen Böden basische Standorte)  
Zusammenhang mit Achse Nass – Trocken, stark tonhaltige Böden eher nass, sehr durchlässige Böden eher trocken

**Klima**  
Bei viel Niederschlag eher feuchter, bei wenig Niederschlag eher trocken

# Grundidee adaptierte Ökogramme

Quantitative klimatische Beschreibung der Lage von Standortregionen, Höhenstufen und Standorttypen in Ökogrammen



Szenarien, wie sich Standortregionen, Höhenstufen und Standorttypen bei einer bestimmten Klimaänderung verändern



Ableitung angepasster Empfehlungen für Baumarten und Waldbau



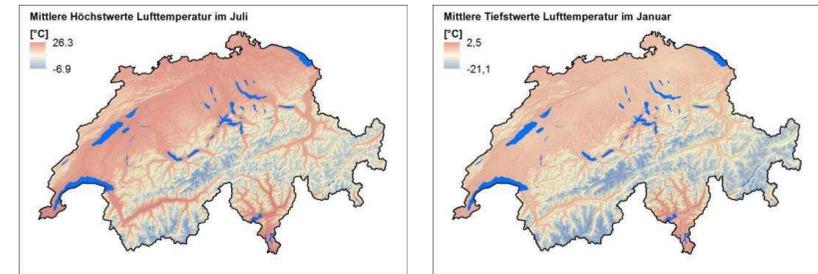
## Neue Klimakarten für Periode 1960-1991

- Lufttemperatur (inkl. Einfluss Exposition, Kaltluftseen, Gletscherflächen)
- Thermische Kontinentalität
- Relative Luftfeuchtigkeit
- Globalstrahlung
- Verdunstung
- Nord- und Südföhn (Föhnhäufigkeit, Lufttemperatur, relative Luftfeuchte und potenzielle Evapotranspiration bei Föhn)
- Verfeinerte Niederschlagskarten
- Mittlerer letzter Frosttag und frostfreie Vegetationsperiode



9

## Lufttemperatur



Mittlere Höchstwerte Lufttemperatur Juli  
(Periode 1961-1990) auf 25 x 25 m

Mittlere Tiefstwerte Lufttemperatur Januar  
(Periode 1961-1990) auf 25 x 25 m



10

## Vorgehen

2 verschiedene Ansätze:

**Höhenstufengrenzen** mit Regressionsgleichungen

**Areale** mit Expertensystem Ansatz



11

## Areale: Buche, Tanne, colline Stufe Nordschweiz

- Ziel: Arealgrenzen in Tälern
- Mehrere Klimafaktoren berücksichtigt
- Methode: Fuzzylogik (Expertensystem-Ansatz)
- «Fuzzy» = unscharf, verwischt → geeignet zum Modellieren von unscharfen Aussagen
  
- Beispiel Tanne: Faktor Kontinentalität



12

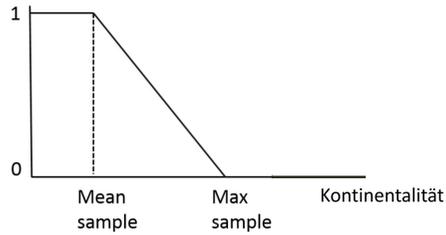
# Tannenarealhauptareal 1

Tannen Hauptareal = grün  
Tannen Neben-/Reliktareal = rot

«Je kleiner die Kontinentalität,  
desto besser für die Tanne»



Stichprobe:  
Hauptareal  
(1000-1500 m ü. M.)

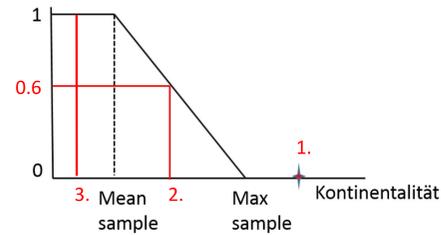


Mean oder kleiner = 1 → gut für TA  
Maximum oder grösser = 0 → schlecht für TA

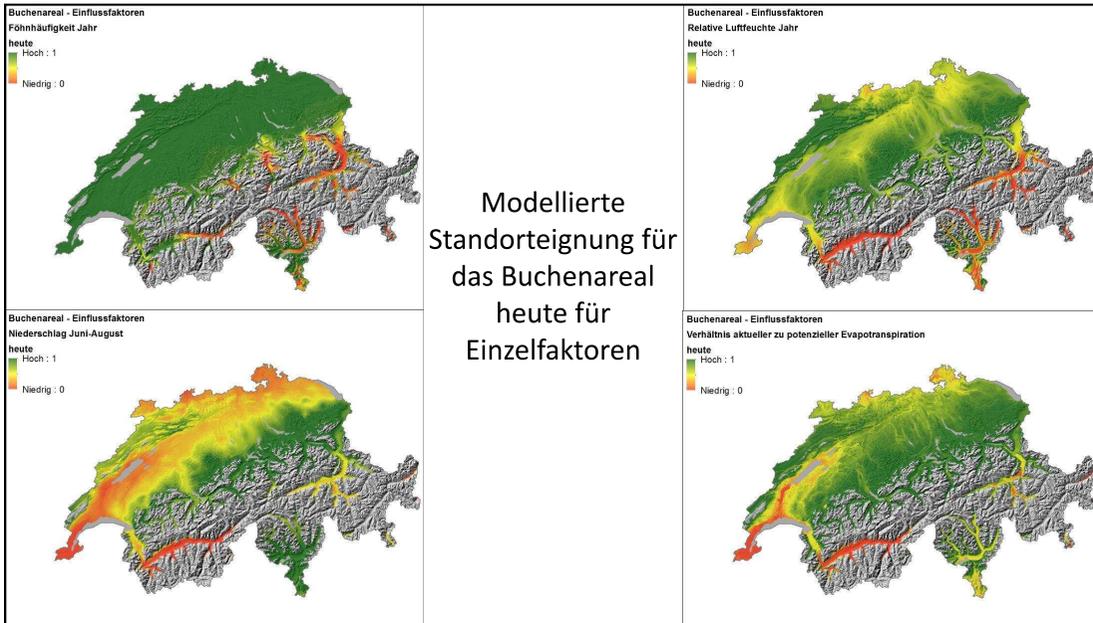
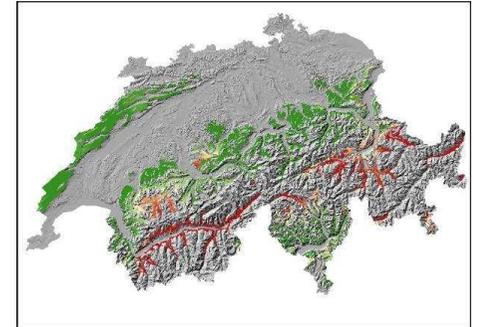
# Tannenarealhauptareal 2

Möglichkeiten pro Pixel in der Karte:

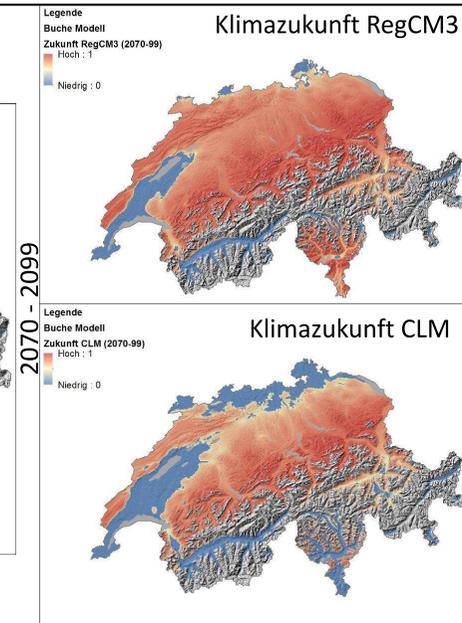
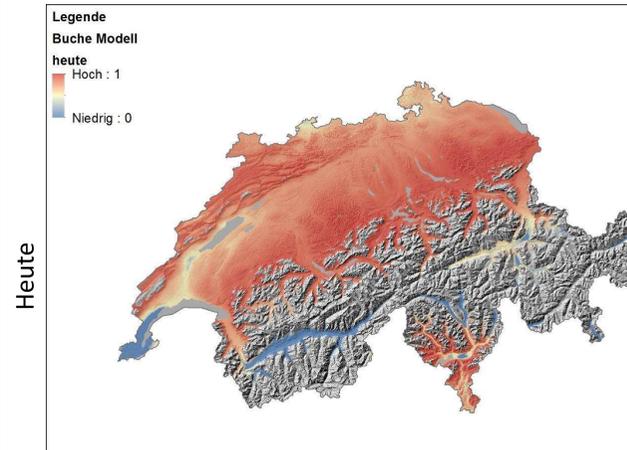
- 1. Kont real > Max sample → 0
- 2. Mean < Kont real < Max → 0 - 1
- 3. Kont real < Mean sample → 1

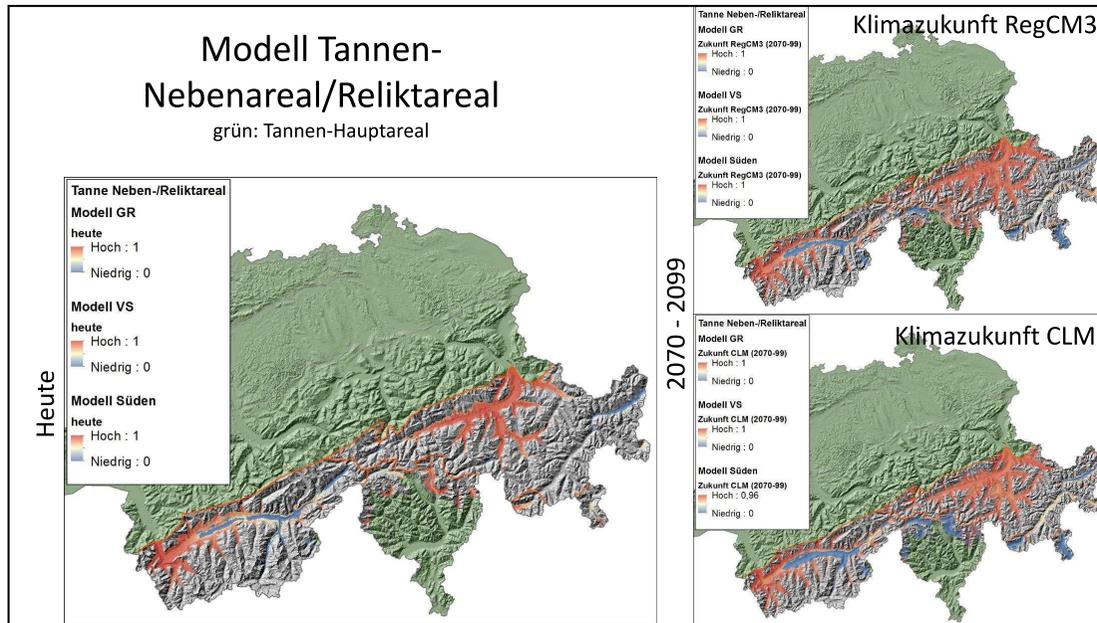
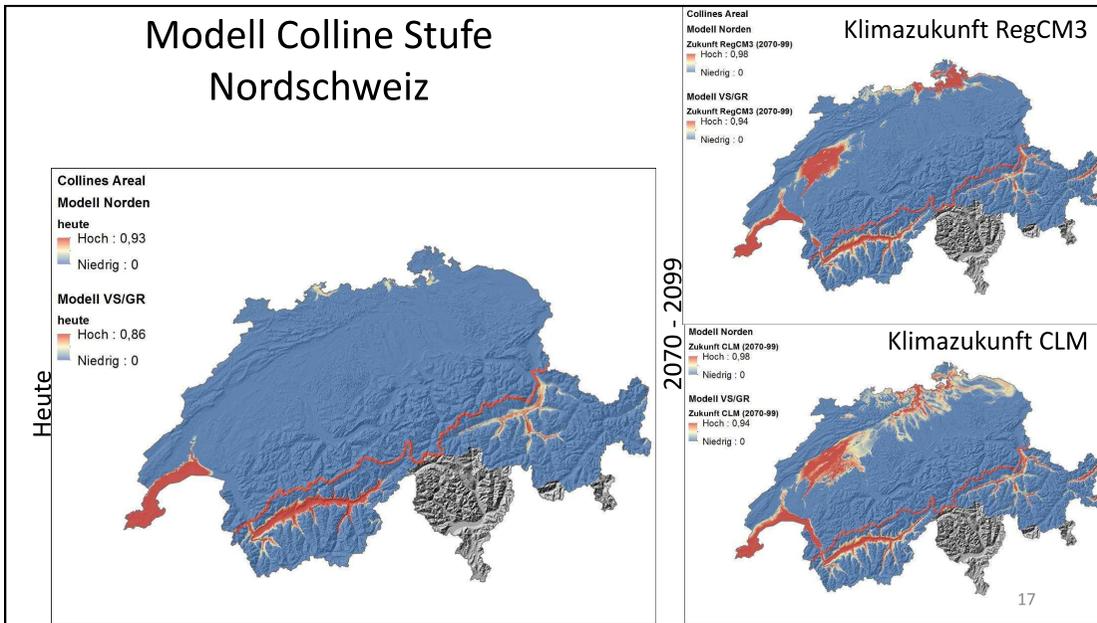


Standorteignung für TA: Werte zwischen 1 und 0  
Faktor Kontinentalität



# Modell Buchenareal





### Areale: Verwendete Klimaparameter

Klimaparameter	Buche	Tanne NeRe	Collin
Föhhäufigkeit im Jahr	X	X	
Relative Luftfeuchte im Jahr	X	X	
Niederschlag Juni-August	X	X	X
Thermische Kontinentalität auf 1000 m	X	X	
Thermische Kontinentalität Juli			X
Eta/Etp	X		X
Mittlerer letzter Frosttag	X	X	X
Frostfreie Vegetationsperiode		X	
Mittlere Höchstwerte Lufttemperatur Juli			X
Mittlere Tiefstwerte Lufttemperatur April			X
Globalstrahlung Jahr		X	X
Mittlere potenzielle Evapotranspiration Juli			X
Lithologieklassen	7	7	2

### Areale: Verwendete Klimaparameter Details Tiefencastel

Klimaparameter	Bu	Ta NeRe	Collin	Die Spalten "Tiefencastel" geben an, ob der Klimafaktor für die entsprechende Baumart/Stufe heute ungünstig/günstig ist → Werte zwischen 0 und 1 → 0 = ungünstig; 1 = günstig; jeweils Objekt mit günstigstem Wert und Objekt mit ungünstigstem Wert angegeben
	Tiefencastel	Tiefencastel	Tiefencastel	
Föhhäufigkeit im Jahr	4 → 0.7 6 → 0.64	3, 4 → 1 6 → 0.97		
Relative Luftfeuchte im Jahr	4 → 0.19 6 → 0.07	4 → 0.92 5 → 0.72		
Niederschlag Juni-August	6 → 0.45 3 → 0.39	6 → 0.95 3 → 0.91	3 - 5 → 0.28 1 → 0.19	
Thermische Kontinentalität auf 1000 m	3 - 6 → 0.23	6 → 0.97 3 → 0.95		
Thermische Kontinentalität Juli			5 → 0.55 2 → 0.0 2 - 6 → 1	
Eta/Etp	4 → 0.83 5 → 0.47 5 → 0.55		1 → 0 5 → 0.4 1, 2 → 0.0	
Mittlerer letzter Frosttag	4 → 0.33	5 → 0.87 4 → 0.61 5 → 0.82 4 → 0.63		
Frostfreie Vegetationsperiode			5 → 0.6 1, 2 → 0.0 5, 6 → 0.37	
Mittlere Höchstwerte Lufttemperatur Juli			1, 2 → 0.00 6 → 0.86	
Mittlere Tiefstwerte Lufttemperatur April			4 → 0.48 6 → 0.55 4 → 0.14	
Globalstrahlung Jahr		4, 5 → 1.0 6 → 0.5		
Mittlere potenzielle Evapotranspiration Juli				

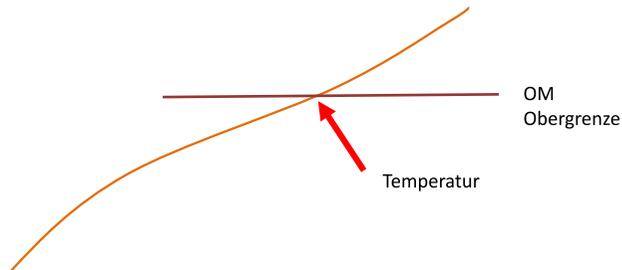
Objekt-Nummern:  
1 - Spegnas 1; 2 - Spegnas 2; 3 - Cargnola 1; 4 - Cargnola 2; 5 - Sagliot; 6 - Pro Farrér;

Beim Modell Buche und Tanne Neben-/Reliktareal liegen die Objekte 1 & 2 ausserhalb der Modellierung für heute



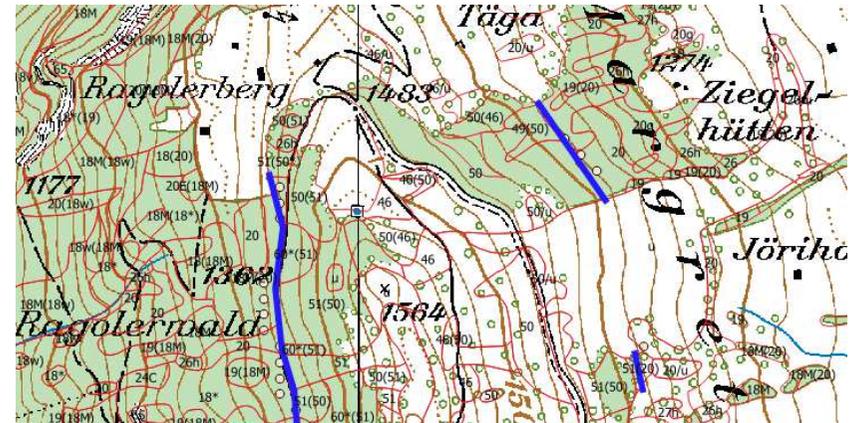
# Höhenstufengrenzen mit Regressionsgleichungen

- Ziel: Obergrenzen der jeweiligen Höhenstufe modellieren
- Beispiel: Obergrenze Obermontan (OM)



# Modellierung von Höhenstufen

Beispiel Obergrenze Obermontane Stufe aus Waldstandortskarte

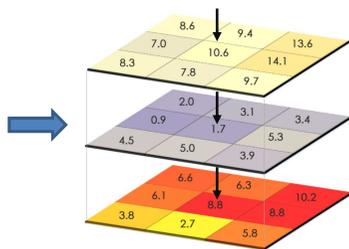
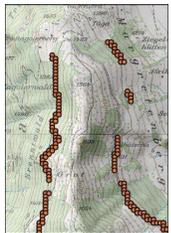


# Obergrenze Obermontan 1

Stichproben Obergrenze OM

Klima-Karten + Lithologie-Karte (7 Klassen)

Werte aus Klima-Karten



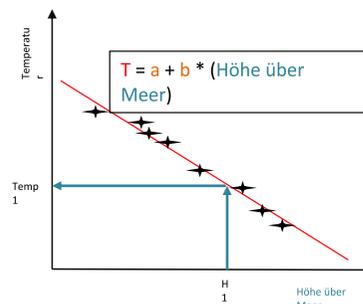
XCoord	YCoord	LFJAHR	FOEHNHJAHR	NS_AMJJA	...
753325	172550	56.09	0.0758	490.167	...
753350	172545	56.05	0.0759	490.181	...
753300	172575	56.1	0.0757	489.834	...
753275	172600	56.09	0.0757	489.522	...
753250	172626	56.08	0.0756	489.193	...
753225	172650	56.04	0.0757	489.209	...
:	:	:	:	:	...



# Obergrenze Obermontan 2

Lineare Regression

Output Modell: OM Geologie 1



```
> formula(OM_geo1model)
TJAHRMEAN ~ NS_AMJJA + KONTJ1000K + ETAP8110Y + I(GLOBRADJAH^2)

> Coefficients:
(Intercept)  NS_AMJJA  KONTJ1000K  ETAP8110Y  I(GLOBRADJAH^2)
1.375e+01   -2.016e-03   9.825e-02  -7.022e-02  -2.441e-05

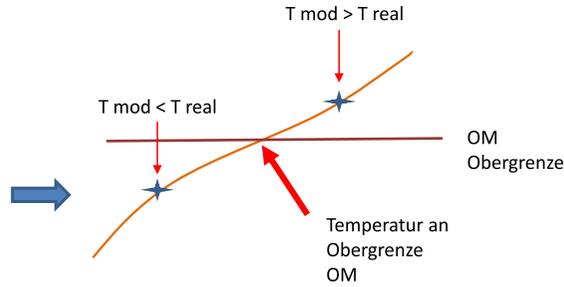
> Modellierung der Temperatur:
TJAHRMEAN = 1.375e+01 * (Intercept) - 2.016e-03 * NS_AMJJA + 9.825e-02 * KO
NTJ1000K - 7.022e-02 * ETAP8110Y - 2.441e-05 * I(GLOBRADJAH^2)
```



# Obergrenze Obermontan 3

Temperatur modelliert vs. Temperatur real

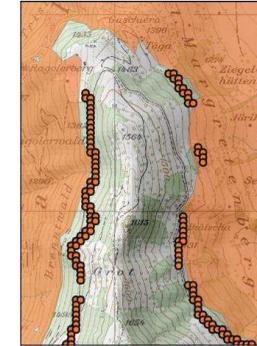
17	17	16	16	16	16	16	15
17	18	17	16	17	17	18	18
19	18	18	17	19	18	19	19
19	19	19	18	17	18	20	20
19	19	19	19	16	20	20	20



# Beispiel Obergrenze Obermontane Stufe II



Stichproben (Punkte)  
Obergrenze  
obermontane Stufe



Modell (Fläche)  
Obermontane Stufe

# Höhenstufen: Verwendete Klimaparameter

Nordschweiz	Subalpin	Hochmontan	Obermontan	Untermontan	Submontan
Niederschlag April-August	x	x	x	x	x
Kontinentalität auf 1000 m		X	x	x	x
Kontinentalität auf 1400 m					
Kontinentalität auf 2000 m	X				
Föhnhäufigkeit im Jahr	x	x	X	X	
Globalstrahlung Jahr					X
Globalstrahlung April	X	X	X	X	
Trockenheitsindex Eta/Etp				x	X

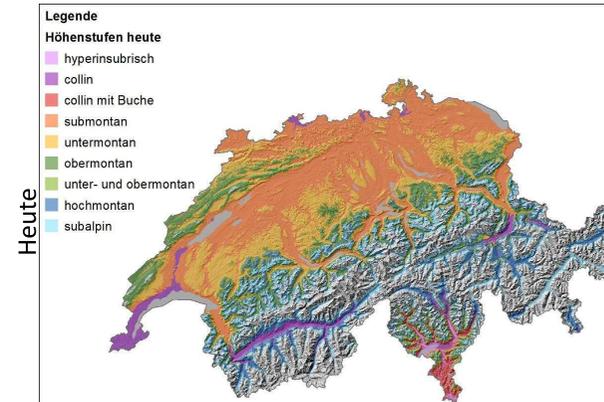
  

Jura	Subalpin	Hochmontan	Obermontan	Untermontan	Submontan
Niederschlag April-August			x		
Niederschlag Juni-August				x	x
Kontinentalität auf 1000 m				x	x
Globalstrahlung Jahr			X	X	X
Trockenheitsindex Eta/Etp			X	X	X

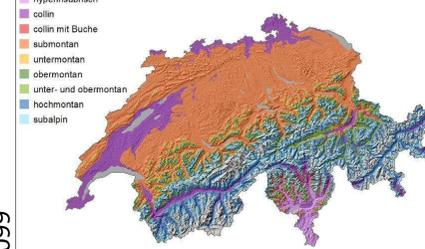
  

Südschweiz	Subalpin	Hochmontan	Montan	Collin	Hyperinsubrisch
Kontinentalität auf 2000 m	X				
Kontinentalität April auf 1000 m		X	X		
Globalstrahlung April	X	X	X		
Globalstrahlung Januar				X	X
Trockenheitsindex Eta/Etp				X	X <sub>7</sub>

# Modell Höhenstufengrenzen inkl. Buchenareal und colline Stufe

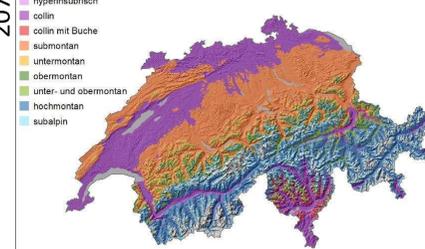


# Klimazukunft RegCM3



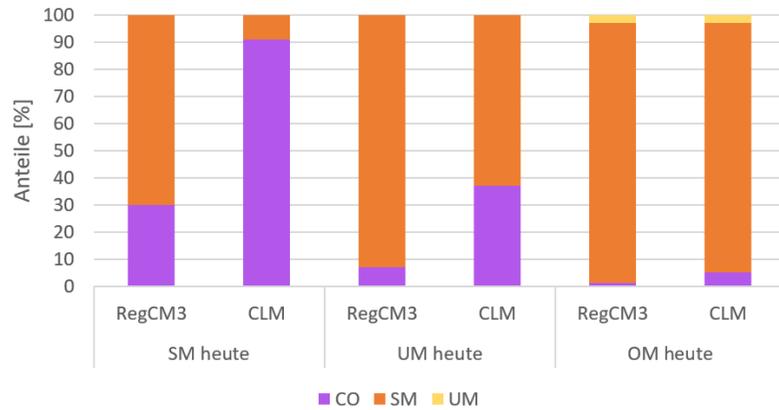
2070 - 2099

# Klimazukunft CLM



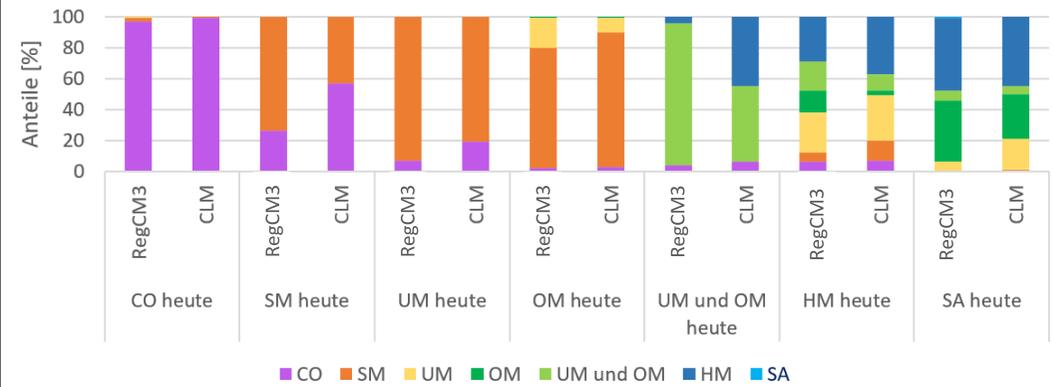
# Höhenstufenverschiebungen Jura

Vergleich heute und 2070 - 2099



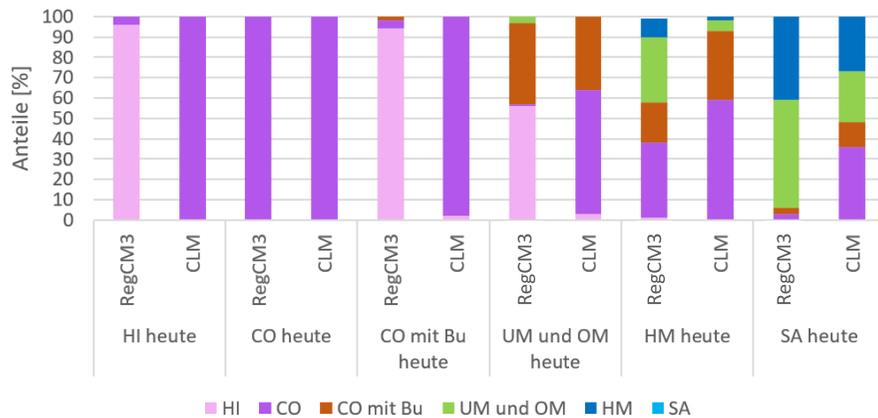
# Höhenstufenverschiebung Nordschweiz

Vergleich heute und 2070 - 2099

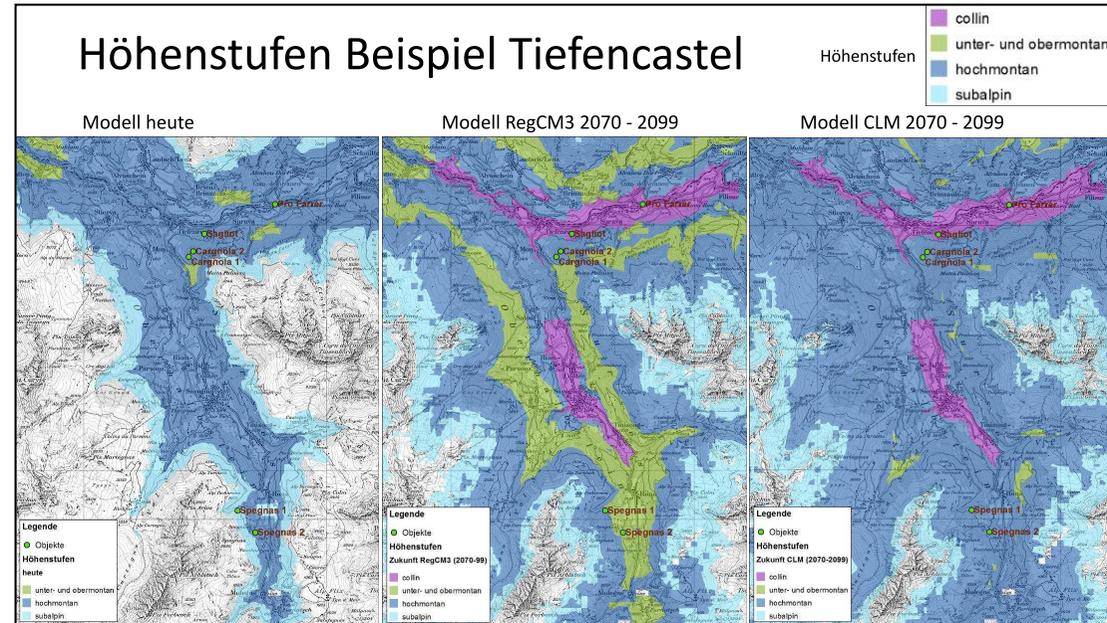


# Höhenstufenverschiebungen Südschweiz

Vergleich heute und 2070 - 2099

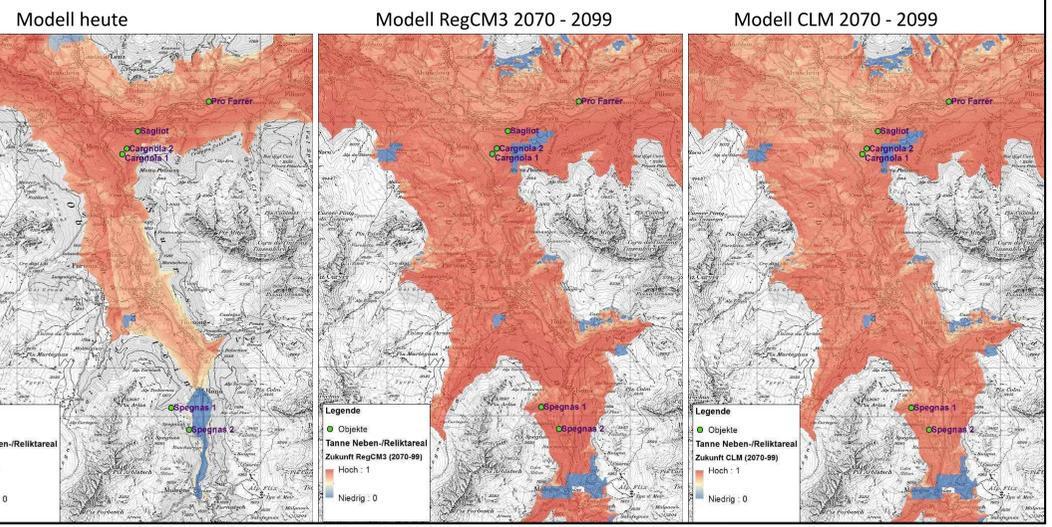


# Höhenstufen Beispiel Tiefencastel



# Ta-Neben-/Reliktareal Bsp. Tiefencastel

**Tanneneignung**  
 Rot: hoch  
 Blau: tief



# Feuchteachse des Ökogramms Modellierung der Feuchteachse (Sabine Braun, IAP)

## Wichtigste erklärende Variablen

- Standortsregion
- Höhenstufe
- Topografie (Geländeform und Exposition)
- Boden (Vernässung und Nutzbare Feldkapazität)
- Dampfdrucksättigungsdefizit

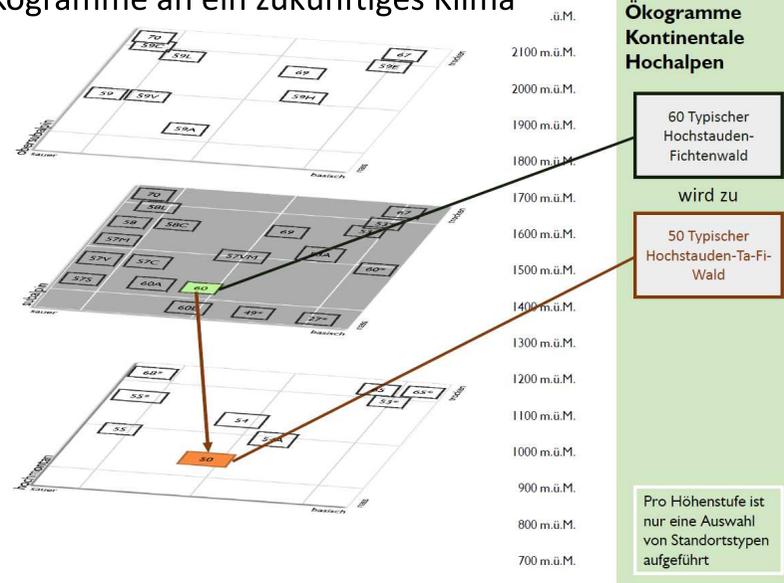
Die zusätzliche Berücksichtigung von Trockenheitsindices erklärt die Feuchteachse nicht deutlich besser.



# Feuchteachse des Ökogramms

- Heute gut bekannte Ökogramme**  
 Mit den verwendeten Klimazukünften verschieben sich die Standortstypen nicht wesentlich auf der Feuchteachse der Ökogramme.
- Collinen Stufe Nordschweiz**  
 Die Ökogramme sind heute nur fragmentarisch beschrieben, es gibt Unsicherheiten bei der Feuchteachse
- Nichtanaloge Standorte**  
 Es müssen zuerst Ökogramme definiert werden.

# Adaptation der Ökogramme an ein zukünftiges Klima



# Herleitung Baumartenempfehlungen Klimawandel

Heute  
subalpin

RegCM3 und CLM 2070-2099  
hochmontan

## Baumartenempfehlung Klimawandel

60 Typischer Hochstauden-Fichtenwald	50 Typischer Hochstauden-Tannen-Fichtenwald
Dominierende Naturwaldbaumart <b>Fichte</b>	Dominierende Naturwaldbaumart <b>Tanne, Fichte</b>
Weitere Baumarten <b>Vogelbeere</b> , Bergahorn, <b>Grünerle, Lärche</b>	Weitere Baumarten <b>Bergahorn, Vogelbeere</b> , <b>Grünerle, Lärche</b> , <b>Weisserle, Birke, Aspe, Salweide, Bergulme</b>
Oberhöhe 25 – 35 m	Oberhöhe 30 – 40 m

Heute mögliche Baumarten	
Fördern	<b>Fichte, Vogelbeere, Bergahorn</b>
Mitnehmen	<b>Lärche, Grünerle</b>

In Zukunft zusätzlich mögliche Baumarten	
Fördern	<b>Tanne</b>
Mitnehmen	<b>Weisserle, Birke, Aspe, Salweide, Bergulme</b>

Oberhöhe nimmt leicht zu

Baumarten aus Nais und kantonalen Schlüsseln.  
Für alle Nais-Standortstypen vorhanden.

37

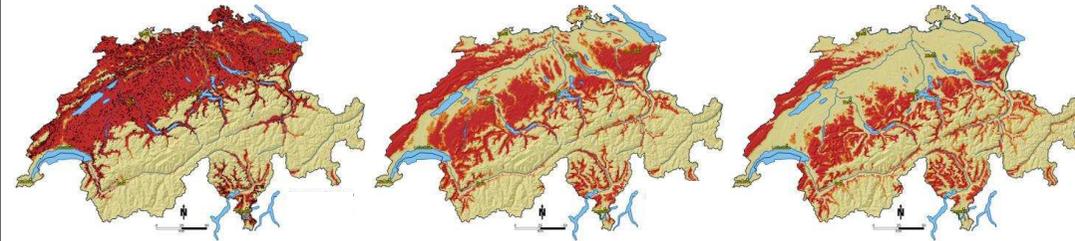


# Habitateignung - Buche

Klima 1950-2000

Klima 2021-2050

Klima 2051-2080



mit hoher Wahrscheinlichkeit geeignetes Habitat

Wahrscheinlichkeit für geeignetes Habitat gering

Situation unklar



Zimmermann et al. <http://www.wsl.ch/lud/portree/>

38

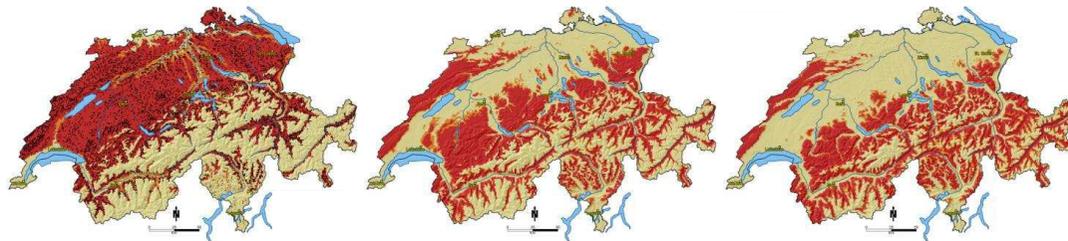


# Habitateignung - Fichte

Klima 1950-2000

Klima 2021-2050

Klima 2051-2080



mit hoher Wahrscheinlichkeit geeignetes Habitat

Wahrscheinlichkeit für geeignetes Habitat gering

Situation unklar



Zimmermann et al. <http://www.wsl.ch/lud/portree/>

39

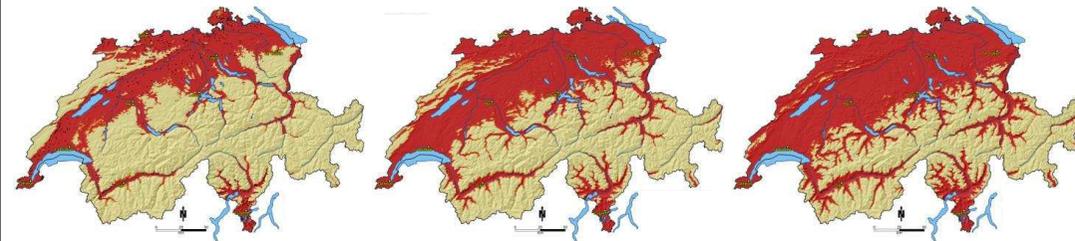


# Habitateignung - Traubeneiche

Klima 1950-2000

Klima 2021-2050

Klima 2051-2080



mit hoher Wahrscheinlichkeit geeignetes Habitat

Wahrscheinlichkeit für geeignetes Habitat gering

Situation unklar



Zimmermann et al. <http://www.wsl.ch/lud/portree/>

40



## Waldbauliche Handlungsoptionen für ein wärmeres und trockeneres Klima

Peter Brang, Forschungsprogramm «Wald und Klimawandel»  
Eidg. Forschungsanstalt WSL

GWG-Sommertagung, Savognin, 29.-31.8.2016



## Inhalt

- Grundlagen für Baumartenempfehlungen: Vergleich unterschiedlicher Ansätze
- 5 Adaptationsprinzipien und deren Anwendung im Waldbau
  - Grundsätzliche Überlegungen
  - Begründung und waldbauliche Umsetzung der 5 Prinzipien
  - Fokus auf Schlüsselsituationen
  - Was ist anders im Waldbau?
- Mit adaptivem Management die Bewirtschaftung verbessern

## Quellen



- Brang, P.; Küchli, C.; Schwitter, R.; Bugmann, H.; Ammann, P., im Druck. Waldbauliche Strategien im Klimawandel. In: Pluess, A.R.; Augustin, A.; Brang, P. (Red.): Wald im Klimawandel. Grundlagen für Adaptionsstrategien. Bundesamt für Umwelt BAFU und Eidg. Forschungsanstalt (Hrsg.). Haupt, Bern, Stuttgart, Wien.
- Brang, P.; Spathelf, P.; Larsen, J.B.; Bauhus, J.; Boncina, A.; Chauvin, C.; Drössler, L.; García-Guëmes, C.; Heiri, C.; Kerr, G.; Lexer, M.J.; Mason, W.; Mohren, F.; Mühlethaler, U.; Nocentini, S.; Svoboda, M., 2014. Suitability of close-tonature silviculture for adapting temperate European forests to climate change. *Forestry* 87, 492–503
- Brang, P.; Bugmann, H.; Bürgi, A.; Mühlethaler, U.; Rigling, A.; Schwitter, R., 2008. Klimawandel als waldbauliche Herausforderung. *Schweiz. Z. Forstwes.* 159, 362–373.



## Grundlagen von Baumartenempfehlungen: Vergleich von Ansätzen

Modell	Baumartenset	Zeitliche Entwicklung	Aussage zu Baumwachstum	Aussage für konkreten Bestand	Stärke
ForClim (Bircher & Bugmann)	Ca. 20 Baumarten	Abgebildet	Möglich, mittlere Aussagen pro Bestandestyp	Ja, sofern Bestand einem von 71 häufigen Bestandestypen (ca. 25% des CH Waldes) entspricht und Bestand/Klima typähnlich	Abbildung des zeitlichen Verlaufs
PorTree (Zimmermann et al.)	33 Baumarten	Nicht abgebildet (nur Habitategnung bei Annahme eines Klimas in bestimmten Zeitperioden)	Nicht möglich, implizit gleich wie bei heutigen Vorkommen auf analogen Standorten	Nicht gut möglich, Habitategnung bildet regionale Verbreitung ab	Sehr gut durch Inventurdaten (auch ah. der Schweiz) gestützt
«Adaptierte Ökogramme» (Frehner et al.)	Heute in der Schweiz häufige Baumarten		Im Sinn von Analogien möglich, falls Standorttyp bekannt & Bestand naturnah zusammengesetzt, und falls der «zukünftige» Standorttyp heute in CH präsent		Aussagen pro Standorttyp

# Grundsätzliche Überlegungen:

Klimawandel erhöht Risiken für Waldleistungen infolge ...

- vermehrter Störungen (v.a. Insekten, Waldbrand) und zunehmenden klimatischen Stresses (v.a. Trockenheit)
- eines langfristigen Baumartenwechsels

→ Wie lassen sich die Risiken vermindern?



# Adaptationsprinzipien zur Risikominderung bei Waldleistungen



Brang et al. im Druck. Waldbauliche Strategien im Klimawandel (angepasst)

## 1) Erhöhung der Baumartenvielfalt



Begründung	Waldbauliche Umsetzung
Mischbestände störungsresistenter, resilienter, anpassungsfähiger, mit grösserem waldbaulichem Spielraum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diversität bei der Verjüngungstechnik</li> <li>• Naturverjüngung</li> <li>• Pflanzung anderer Baumarten</li> <li>• Fördern von Bäumen (auch Samenbäumen) von Minoritäten bei allen Eingriffen, besonders Jungwaldpflege &amp; Durchforstung</li> <li>• Wildschutzmassnahmen</li> </ul>



## 2) Erhöhung der Strukturvielfalt



Begründung	Waldbauliche Umsetzung
Vertikal und horizontal strukturierte Bestände sind störungsresistenter und resilienter	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plenterung/Dauerwaldbewirtschaftung, Gebirgsplenterung</li> <li>• Flächige Verjüngung im Femelschlag</li> <li>• Rottenpflege</li> </ul>





### 3) Erhöhung der genetischen Vielfalt

Begründung	Waldbauliche Umsetzung
Erhöht die Anpassungsfähigkeit der Wälder	<ul style="list-style-type: none"> <li>Naturverjüngung</li> <li>Lange Verjüngungszeiträume</li> <li>Pflanzung anderer Provenienzen</li> </ul>



9



### 4) Erhöhung der Störungsresistenz der Einzelbäume

Begründung	Waldbauliche Umsetzung
Bestände aus Bäumen/Baumgruppen mit langen Kronen und tiefem Schlankheitsgrad sind störungsresistenter, und sie können sich evtl. nach Trockenheit rascher erholen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Durchforstung/Rottenpflege</li> <li>Einzel-/Gruppenplenterung</li> </ul>



Foto R. Schwitter

10



### 5) Reduktion der Umtriebszeit bzw. des Zieldurchmessers

Begründung	Waldbauliche Umsetzung
Eine Senkung des Anteils alter Bestände reduziert die Störungsgefährdung; kürzere Umtriebszeiten erlauben rascheren Baumartenwechsel	<ul style="list-style-type: none"> <li>Frühere Verjüngung</li> <li>Häufigere/stärkere Durchforstung</li> <li>Achtung: Stabilität, Schutzwirkung und Naturschutzwerte beachten!</li> </ul>



11

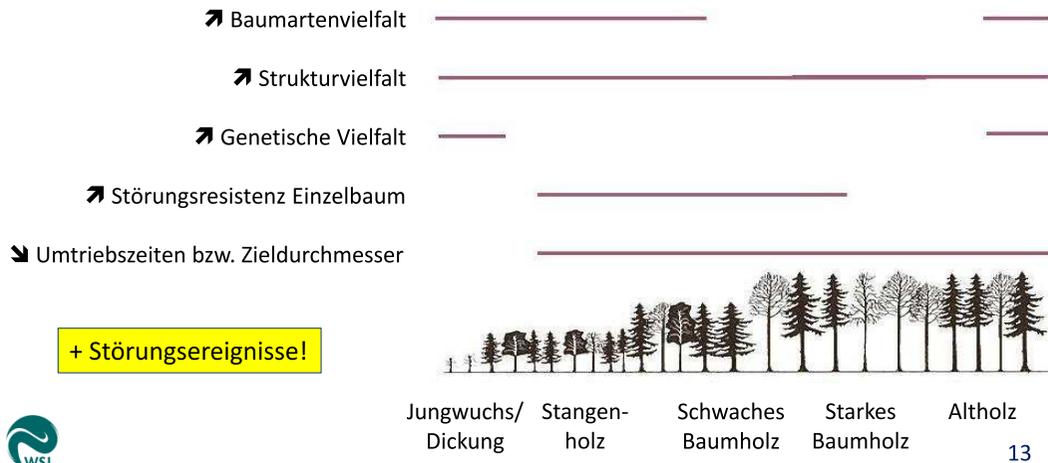
### Situationsgerechte Anwendung der Adaptationsprinzipien

- Ausgangsbestand & Standort sorgfältig beurteilen, Zukunftsentwicklungen und Gefährdungen beschreiben, Eingriffe ableiten und deren Machbarkeit, Verhältnismässigkeit etc. prüfen
- Waldbaulich eher bei wichtigen ortsgebundenen Waldleistungen investieren
- Phasen mit grosser Eingriffswirkung («Schlüsselsituationen») nutzen



12

## Welche Entwicklungsphasen gleichförmiger Wälder stellen «Schlüsselsituationen» dar?



## Was ist anders im Waldbau?

- Festhalten am naturnahen Waldbau mit standortgerechten Baumarten, vertikal und horizontal strukturierten Mischbeständen und einem hohen Naturverjüngungsanteil
- Anpassung ab sofort, mehr graduell als radikal
  - Standort und dessen Entwicklung sorgfältiger beurteilen
  - Verjüngungstechnik stärker variieren (wenig – viel Licht)
  - «Minoritäre» zukunftsfähige Baumarten stärker fördern
  - Pflanzung nicht ausser Acht lassen, besonders wenn ohnehin Wildschutzmassnahmen ergriffen werden



## Adaptives Management

- Verfahren, um bei grosser Unsicherheit Umweltressourcen wirksam zu bewirtschaften (*Holling 1978*)
- «Passiv»: Managementergebnis laufend beobachten und ggf. Massnahmen anpassen (vgl. Weiserflächen)
- «Aktiv»: Verschiedene Eingriffsvarianten experimentell anwenden und das Ergebnis vergleichen → mehr Gewissheit.  
Erfordert klare Fragestellung und fortlaufende Dokumentation und profitiert von Begleitung durch Forschung (vgl. Windwurfflächen)



15



## Adaptives Management

- ... ist mehr als angepasste Bewirtschaftung
- ... ist nützlich, weil es zu neuen Erkenntnissen führt und der Wirkungskontrolle dient
- ... erfordert Fachwissen, Engagement und Kontinuität
- ... darf etwas kosten!



16

## Anhang: Waldbau-Massnahmen zur Verminderung von Risiken für Waldleistungen im Klimawandel

Adaptationsprinzipien	Waldbau-Massnahmen									
	Verjüngungstechnik	Lange Verjüngungszeiträume	Samenbäume erhalten	Naturverjüngung	Kunstverjüngung and. Baumart	Kunstverjüngung and. Provenienz	Plenterung / Überführung	Jungwaldpflege	Durchforstungen	Schutz vor Wildverbiss
Baumartenvielfalt vergrössern	✓	!	✓	✓	✓		!	✓	✓	✓
Strukturelle Vielfalt vergrössern	✓	✓	✓	✓			✓		✓	✓
Genetische Vielfalt vergrössern	✓	✓	✓	✓		✓	!			✓
Individuelle Störungsresistenz erhöhen					✓		✓		✓	
Umtriebszeit bzw. Zieldurchmesser reduzieren	✓	!			✓		✓		✓	

# Abschätzung der zukünftigen Waldentwicklung mit dynamischen Modellen



Harald Bugmann,  
Nicolas Bircher & Maxime Cailleret

Waldökologie, D-USYS, ETH Zürich

## Stratifizierung der Waldfläche mit LFI3



- Kriterien (vgl. NaiS): (1) Standortsregion; (2) Höhenstufe; (3) Entwicklungsstufe; (4) Bestandesstruktur; (5) Artenzusammensetzung

Table 1: Overview of the number of forest stands per eco-region J = Jura, P = Swiss Plateau, NPA = Northern Pre-Alps, NCA = Northern Central Alps, HA = High Alps, SCA = Southern Central Alps, and SPA = Southern Pre-Alps) and altitudinal vegetation belt. \* The Northern Central Alps includes eco-region b (without beech) only. \*\* In the Southern Pre-Alps, the lower, upper and high montane belts are summarized as one single "montane" altitudinal belt.

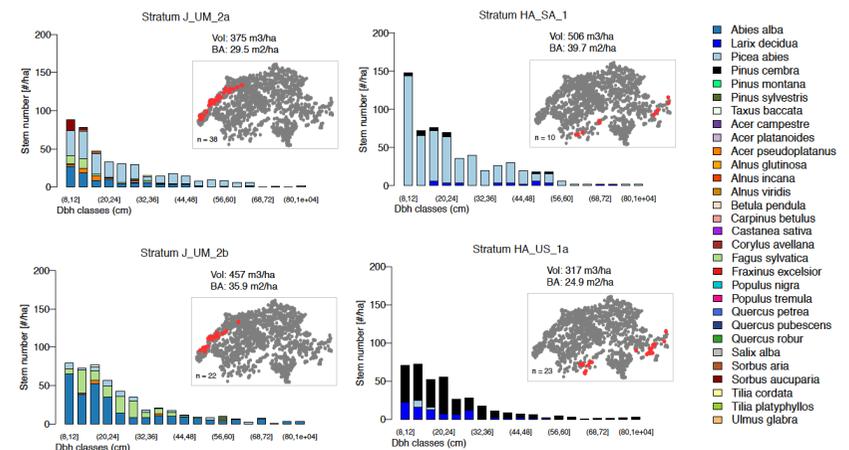
	J	P	NPA	NCA	HA	SCA	SPA	Total
colline	–	–	–	–	–	–	6	6
sub montane	4	4	–	–	–	–	–	8
lower montane	5	4	3	–	–	–	–	12
upper montane	6	4	6	–	–	–	–	16
high montane	–	–	5	4	2	3	–	14
montane**	–	–	–	–	–	–	4	4
subalpine	–	–	2	2	3	1	–	8
upper subalpine	–	–	–	–	3	–	–	3
<b>Total</b>	<b>15</b>	<b>12</b>	<b>16</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>10</b>	<b>71</b>

## Motivation



- Bisherige Studien zur zukünftigen Waldentwicklung:
  - sehr generell (z.B. ganz Europa oder ganzer Globus) oder
  - sehr speziell (z.B. einige wenige Fallstudien) oder
  - meist stark vereinfachte oder gar keine Bewirtschaftung
- Deshalb Umsetzung der Ergebnisse in der Praxis schwierig
- Idee der Diss von Nicolas Bircher (2015):
  - Herleitung „typischer Waldbestände“ der Schweiz anhand LFI3
  - Quantifizierung der heutigen „best practice“-Bewirtschaftung
  - Benutzung von vielen verschiedenen Klimaszenarien (Unsicherheit)
- Es braucht ein Modell... welches?

## Beispiele von Bestandestypen (Straten)



Vier Straten aus der Untersuchung von Bircher et al. (Diss 2015; Paper in Vorb.).  
 Links: Jura, obermontan, zwei Varianten des Stratum 2 (a: Fichten-dominiert resp. b: Tannen-Buchen-dominiert);  
 Rechts oben: Zentralalpen, subalpin, Stratum 1;  
 Rechts unten: Zentralalpen, obersubalpin, Stratum 1a (Variante mit viel Arve).

## Bewirtschaftung: Experten-basiert ☺



Elevation zone	Forest type	Management type	Start (Year)	Interval (Years)	Intensity (%)	Managed dbh classes
upper subalpine	uneven-aged	MF-Ple	2020	35	25	<40cm:20% >40cm:80%
	even-aged	MF-Ple	2010	35	25	<30cm:20% >30cm:80%
subalpine	uneven-aged	MF-Ple	2020	30	30	<40cm:20% >40cm:80%
	even-aged	MF-Ple	2010	30	30	<30cm:20% >30cm:80%
high montane	uneven-aged	MF-Ple	2020	25	30	<40cm:20% >40cm:80%
	even-aged	MF-Ple	2010	25	30	<30cm:20% >30cm:80%
upper montane	uneven-aged	Ple	2020	10	-	-
	even-aged (rh)	FC / FC / TA...	2010	5 FC) / (FC)	33/67/15	All
lower montane	even-aged (n-rh)	TA	2016	12	15	Larger dbh classes*

**Terms/definitions:**  
 MF-Ple = mountain forest plentering  
 Ple = plentering  
 TA = thinning from above  
 FC = final cutting  
 rh = ready for cutting (only even-aged forest; ddom >= 60cm)  
 n-rh = not ready for cutting (only even-aged forest; ddom < 60cm)

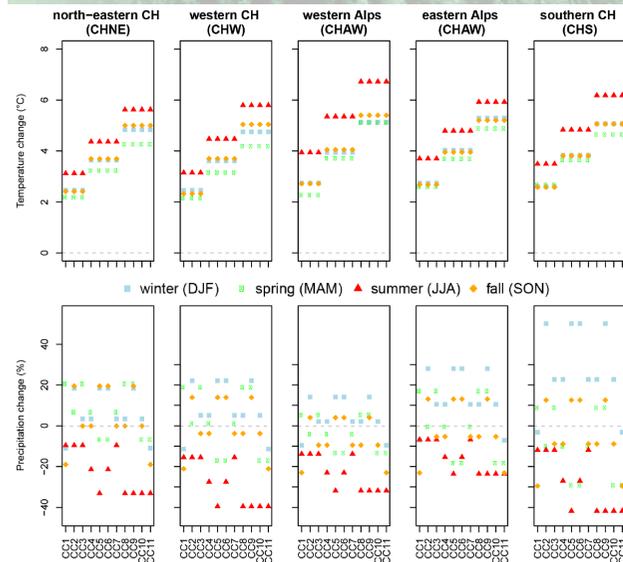
Residual basal area = Remaining basal area after harvest intervention  
 Initial basal area = Stand basal area at beginning of simulation (plentering)  
 Target dbh = Trees with dbh above this threshold are harvest first to reach residual basal area (plentering)  
 \* For thinning, a Weibull function is applied across dbh distribution. For thinning from above, more trees of the larger dbh classes are harvested.  
 All tree species present in the forest stand are harvested.

## Verwendete Klimaszenarien (1/2)



- Basierend auf "CH2011+" (MeteoSchweiz & C2SM ETHZ)
- Auswahl von 11 verschiedenen Klimaszenarien, zusammengestellt nach systematischen Kriterien, um die Bandbreite der "möglichen Zukünfte" abzudecken
- RegCM (ABENIS/Frehner) ≈ CC3 (Bircher), "gemässigt"; CLM (ABENIS/Frehner) ≈ CC11 (Bircher), "extrem"

## Verwendete Klimaszenarien (2/2)

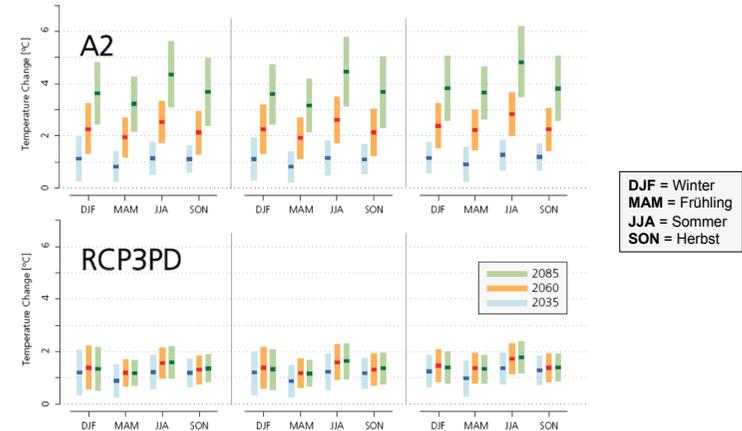


Klimaszenarien Bircher et al.:

- aus Projekt CH2011/C2SM
- Emissions-Szenario A2
- abs. Werte für T
- prozentual Werte für NS
- Referenzperiode: 1981-2010
- Projektions-Periode: 2070-2099

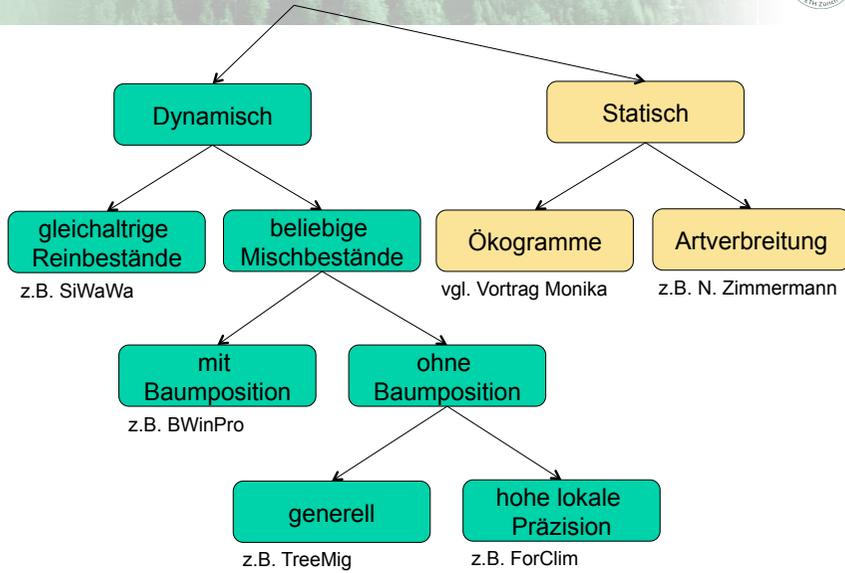
CH2011 (2011). *Swiss Climate Change Scenarios CH2011*. C2SM, MeteoSwiss, ETH, NCCR Climate & OcCC, Zürich & Bern

## Betrachtungen zur Klima-Entwicklung



Zwei Temperatur-Szenarien für die Schweiz und die vier Jahreszeiten aus dem Projekt CH2011 (2011).  
**Oben:** A2-Szenario gemäss IPCC (2007)  
**Unten:** „2-Grad“-Szenario gemäss der Übereinkunft von Kopenhagen („RCP3PD“).  
 Dargestellt sind Veränderungen der Temperatur **relativ zur Referenzperiode 1980-2009**, wobei jeweils dreissigjährige Mittelwerte um die Jahre 2035 (blau), 2060 (orange) und 2085 (grün) angegeben sind. Die Länge der Balken stellt die Unsicherheit in den Abschätzungen dar.

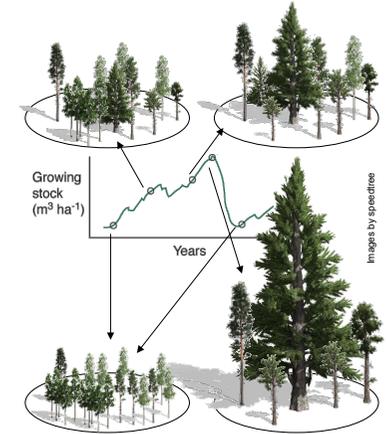
# Was für ein Modell?



# ForClim: Grundprinzip



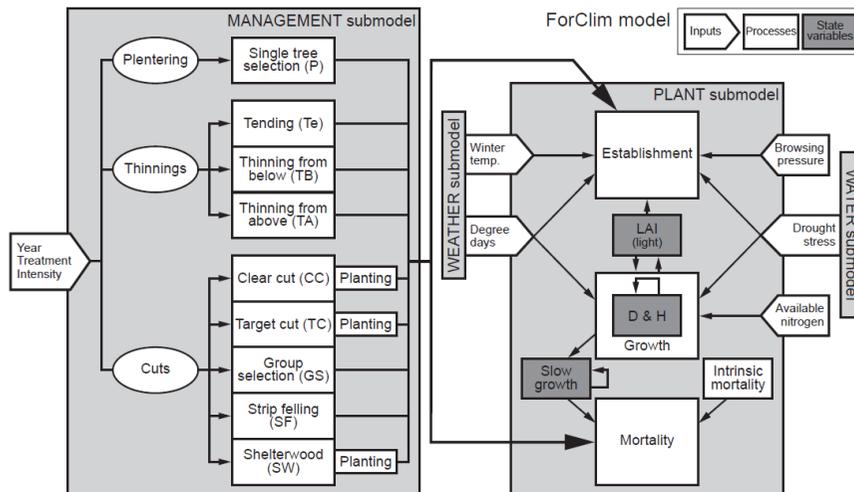
- Sukzession als Dynamik des Waldes auf kleinen Flächen (Gleason, Botkin, Shugart): sog. „Gap-Modelle“ (Lücken)
- Quantitative Beschreibung der Populationsdynamik der Arten und ihrer Interaktionen:
  - Verjüngung
  - Zuwachs, Konkurrenz
  - Mortalität
- Sensitiv auf Klima-Einflüsse



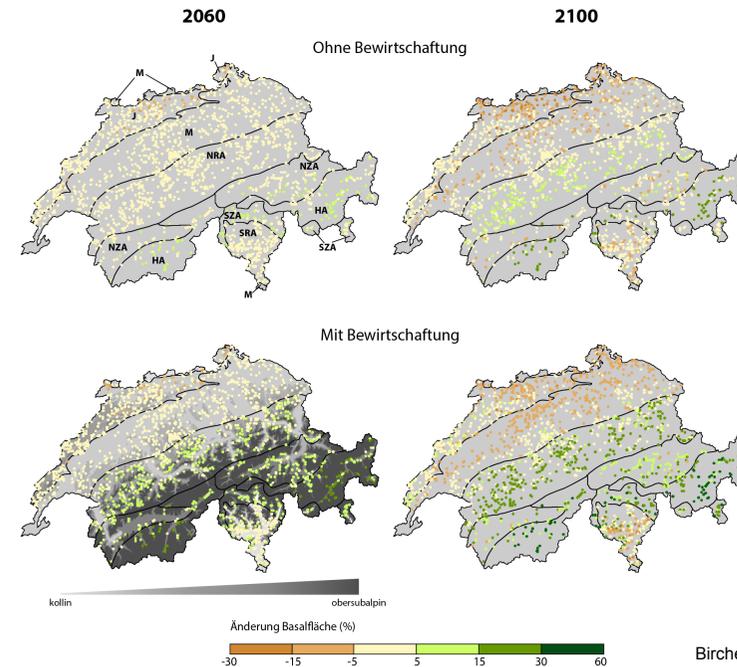
Das Konzept der zyklischen Sukzession auf kleinen Flächen im Wald. Quelle: Bugmann (2014).

Review: vgl. Bugmann (2001), *Clim. Change*

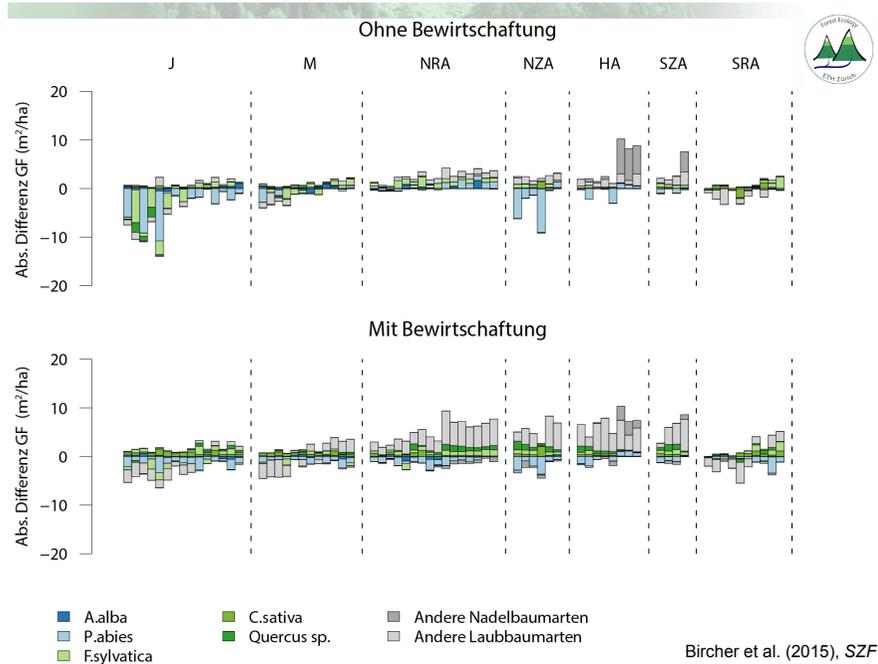
# ForClim: Überblick (Struktur)



Übersichts-Schema des Modells ForClim (aus Rasche et al. 2011, *J Appl Ecol*).

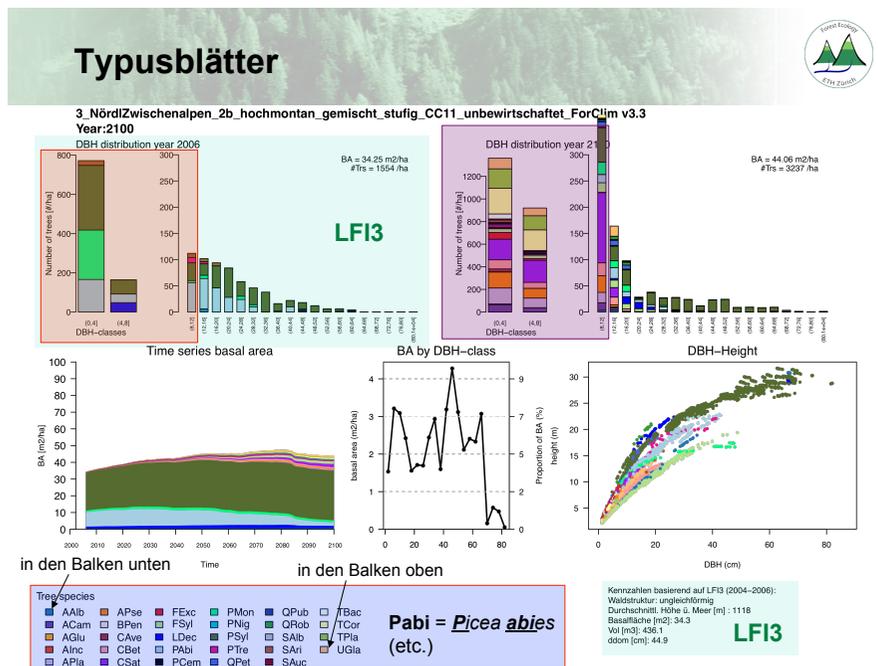


Bircher et al. (2015), SZF



## Details zu den Simulations-Ergebnissen

- Ohne/mit **Bewirtschaftung**
- Heutiges **Klima** & 11 Klimaszenarien (**CC1 bis CC11**)
- Zwei **Modell**-Varianten: mehr klimasensitiv (**v3.3**), weniger klimasensitiv ("**BAP**" – kalibriert mit Bayes-Statistik)
- **71 Straten**
- Ergibt  $2 \cdot (1+11) \cdot 2 \cdot 71 = 3408$  **Simulationen** (!)
- Pro Simulation ein **Typus-Blatt**, wie folgt



## Abschätzung der zukünftigen Waldentwicklung mit dynamischen Modellen

Danke für die Aufmerksamkeit!

Alle 3408 Typusblätter (PDF) sind abfragbar unter  
<https://uwis-server102.ethz.ch/wkw/>