

## Reaktionsfähigkeit von Waldökosystemen und Anpassungsmöglichkeiten im Klimawandel

**Matthias Dobbertin**

Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL  
Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf, Schweiz

Workshop, Waldnaturschutz und Klimawandel, Freiburg, 24.- 1

---

---

---


---

---


---

---

---



## Inhalt



- Klimawandel: letzte Jahre – Prognose
- Anpassung der Bäume an das Klima
- Wie reagieren die Waldbäume auf den Klimawandel?
- Wie werden sich die Wälder verändern?
- Welche Anpassungsmöglichkeiten bestehen?
- Schlussbemerkungen

Workshop, Waldnaturschutz und Klimawandel, Freiburg, 24.- 2

---

---

---


---

---

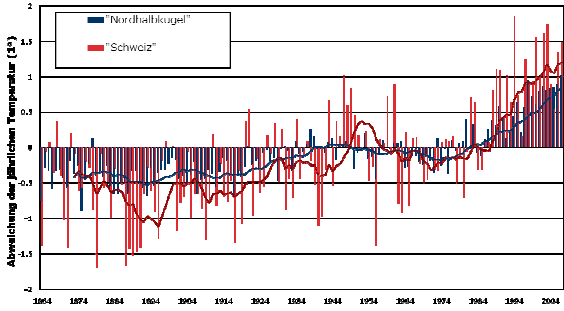
---

---

---



## Der Temperatur ist im Alpenraum überdurchschnittlich stark angestiegen



Meteoschweiz 2008

Workshop, Waldnaturschutz und Klimawandel, Freiburg, 24.- 3

---

---

---

---

---

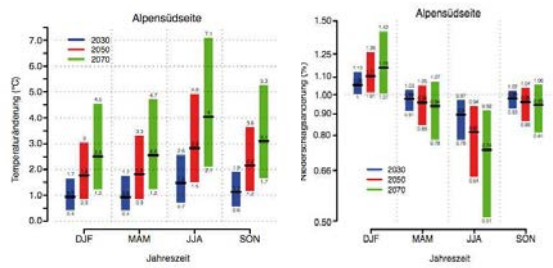
---

---

---



## Prognose: Temperatur und Niederschlag der Schweiz



(OcCC2007)

---

---

---

---

---

---

---

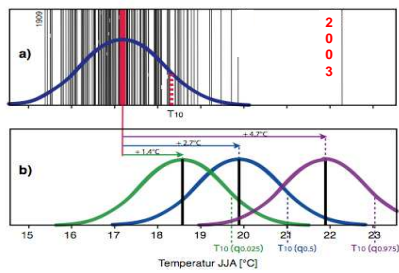
---

---

---



## Extreme Hitzewellen im Sommer



Hitzewellen wie 2003 werden häufiger

(OcCC 2007, Schär et al. 2004)

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



## Wichtigste Klimafaktoren

- Mittelwerte
  - Temperatur
  - Niederschlag
  - Strahlung
- Extreme
  - Trockenheit
  - Frost
  - Hitze
  - Wind

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Die ökologische Nische der Baumarten

- Die fundamentale Nische
  - Die Standortbedingungen unter denen eine Baumart potentiell vorkommen kann
  - Meist wird ein optimaler Bereiche (bestes Wachstum) und der gesamte Bereich angegeben
- Die realisierte Nische
  - Die Standortbedingungen unter denen eine Baumart sich gegenüber anderen Baumarten durchsetzen kann (Konkurrenz)
  - Hängt also vom Vorhandensein von Konkurrenten ab

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Das Ökogramm bezieht sich immer nur auf eine Höhenstufe.

Mit der Erwärmung wird sich dies aber ändern.




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Ökologisches Potenzial

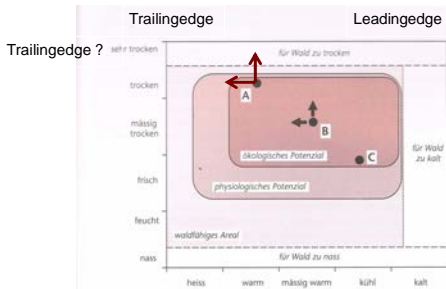


Abb. 2 Physiologische und ökologische Begrenzung der Pflanzenverteilung entlang von ökologischen Gradienten (nach Ellenberg 1986, abgeändert). Standorte werden tendenziell wärmer und trockener. Dies hat für Bäume, welche an den Standorten A, B und C stehen, sehr unterschiedliche Auswirkungen.

---

---

---

---

---

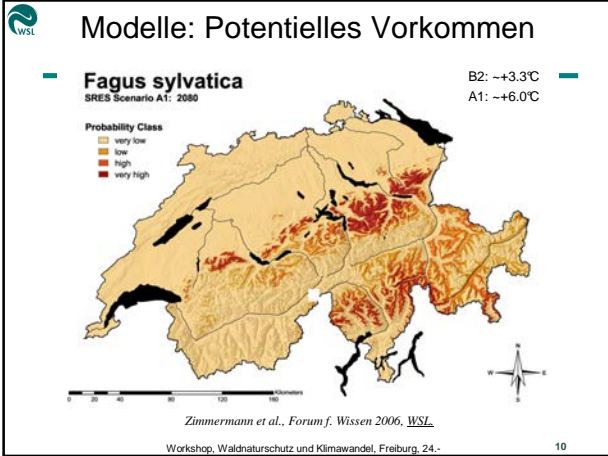
---

---

---

---

---




---

---

---

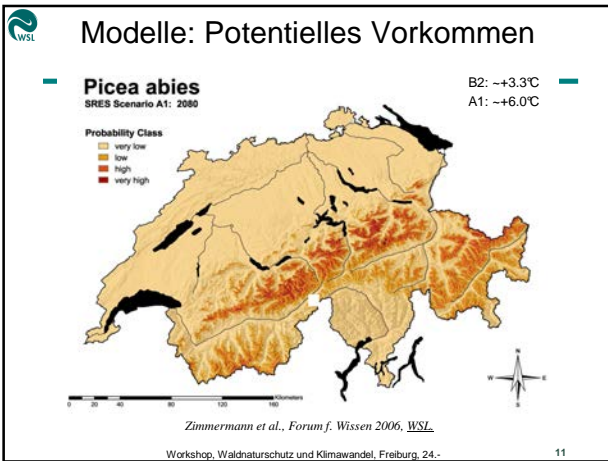
---

---

---

---

---




---

---

---

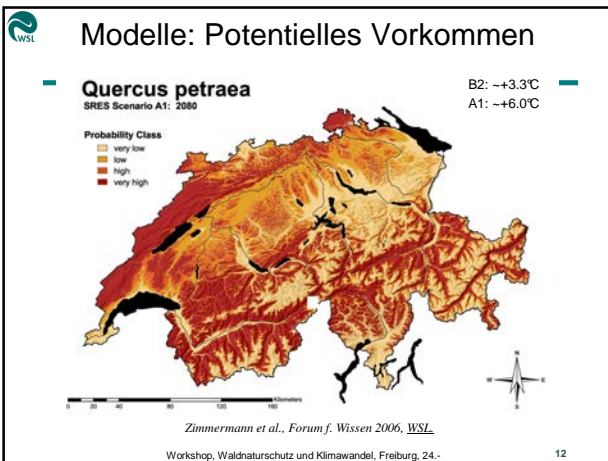
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---



## Indikatoren der Baumreaktionen



- Baumreaktionen
  - Belaubung (Austrieb, Verfärbung, Blattfall)
  - Wachstum (Stammzuwachs direkt gemessen, Jahrringe, Oberhöhe)
  - Sterberaten (insgesamt, nach Trockenheit)
  - Verjüngung (Verschwinden, Einwandern von Arten)
  - Samenproduktion

---

---

---

---

---

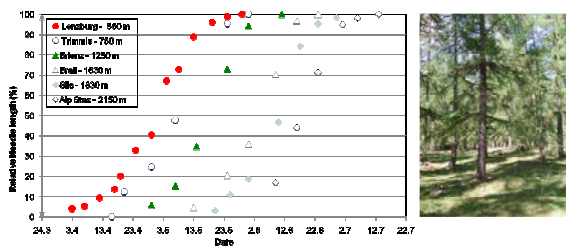
---

---

---



## Nadelaustrieb von Lärchen



Die Entwicklung der Lärchennadeln zeigt in der Schweiz einen Unterschied von rund 6-8 Wochen zwischen Tief- und Hochlagen (Daten Baltensweiler, 1970)

---

---

---

---

---

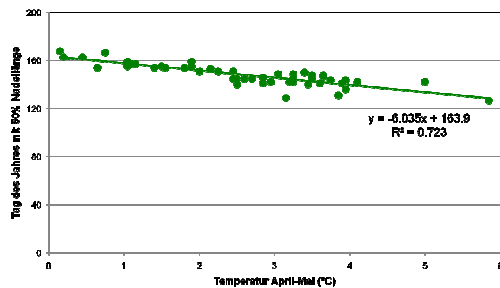
---

---

---



## Nadelaustrieb der Lärchen in Sils (1961-2010)



Der Nadelaustrieb in Sils hängt von der Temperatur im April/Mai ab. Pro 1°C Erwärmung 6 Tage früher.

---

---

---

---

---

---

---

---





## Extreme: Hitzesommer 2003



---

---

---

---

---

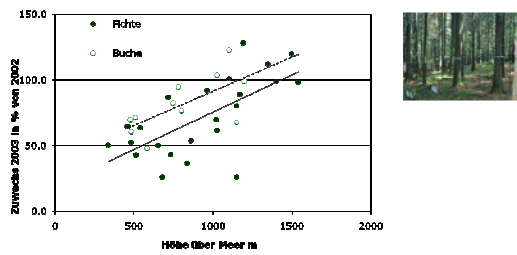
---

---

---



## Wachstum von Buchen und Fichten 2003 in den Alpen nach Höhe über Meer



Buche wuchs unterhalb von 1200 m schlechter im Jahr 2003, die Fichte unterhalb 1400 m.

---

---

---

---

---

---

---

---



## Absorbierte photosynthetisch aktive Strahlung im Sommer 2003 vom Modis Satelliten in % von 2000-04

---

---

---

---

---

---

---

---

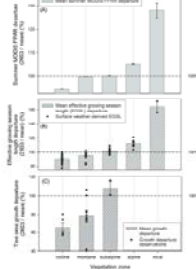


### Wachstum, berechnete Wachstumszeit und absorbierte photoaktive Strahlung 2003 in % von 2000-2004

Relative FPAR Modis Werte nach Höhenzonen

Relative Anzahl Vegetationstage nach Höhenzonen

Relativer Stammzuwachs nach Höhenzonen




---

---

---

---

---

---

---

---

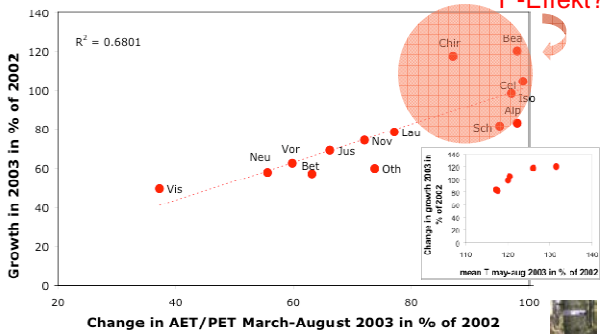
---

---



### Wachstum auf den LWF-Flächen 2003 im Vergleich zu 2002 gegen Trockenindex

I - Effekt?




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



### Vergleich des relativen Wachstums 2003 zwischen Baumarten am gleichen Standort

- Trauben-/Stieleiche - Buche 5:0
- Buche - Tanne 4:2
- Buche - Fichte 7:0
- Tanne - Fichte 6:1
- => Eiche > Buche > Tanne > Fichte

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---





## SterberatenderWaldbäume in FrankreichnachdemHitzesommer 2003



Mortalität der Bäume in Frankreich (Nageleisen and Renaud 2006)

---

---

---

---

---

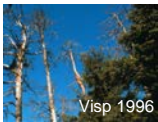
---

---

---



## Fallstudie Wallis Absterben der Föhre seit 1990



Visp 1996



Stalden 1999



Saigesch 2001



---

---

---

---

---

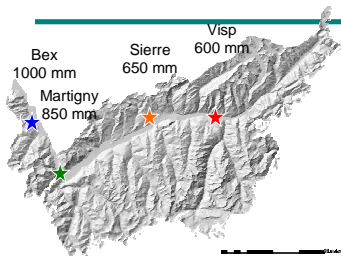
---

---

---



## Niederschlagsverteilungim Wallis



OceanischesKlimaimWesten ( $N_{max}$ inSommer)  
Mediterran-kontinentalesKlimaimOsten( $N_{max}$ imWinter)

---

---

---

---

---

---

---

---

**Hitzesommer und Absterben der Föhren auf der LWF-Flächen Visp**

Dobbertin und Rigling 2006  
Workshop, Waldnaturschutz und Klimawandel, Freiburg, 24.- 28

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Sterberaten der Föhren auf dem 1x1 km LFI-Netz nach Höhenstufe**

Mittlere Föhrenmortalität 13.5%

Höhenstufe [m a.s.l.]	Mortalität CH	Abgang CH
1401-1600	~10	~10
1201-1400	~15	~15
1001-1200	~25	~25
801-1000	~35	~35
601-800	~45	~45
<600	~55	~55

Aufnahme: 1983/85 and 2002/03

In Tieflagen und dort wo weniger als 800 mm Niederschlag fällt, war die Föhrenmortalität signifikant höher! Flaumeichen halb so häufig ab.

Workshop, Waldnaturschutz und Klimawandel, Freiburg, 24.- 29

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Verjüngung der Kiefern im Wallis**

Pinus sylvestris | Quercus pubescens

Altitude [m a.s.l.]

Oberschicht | Oberschicht

Sämlinge | Sämlinge

Workshop, Waldnaturschutz und Klimawandel, Freiburg, 24.- 30

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

 **Extreme: Winterstürme**



Foto: Ueli Wasem, WSL

---

---

---



---

---

---

---

---

 **Die Sturmschäden nehmen zu!** 

4,6 Mio m <sup>3</sup>	3,0 Mio m <sup>3</sup>	26,8 Mio m <sup>3</sup>
Angepasster Schaden (Holzvorrat)		26. Dez. 1999
Ermittelter Schaden (tatsächlich)		27. Feb., 1990
		23. Feb. u. 13. März 1967
20. Feb. 1879	23. Feb 1935	

**Auch nach Schadpotential angepasst, steigt der Sturmschaden an!**

Usbeck et al. 2010 Workshop, Waldnaturschutz und Klimawandel, Freiburg, 24.- 32

---

---

---


---

---

---

---

---

 **Entwicklung der Windgeschwindigkeit an der Meteoschweiz Station Zürich**

**Zürich:** Fünfjahresperioden maximaler Windgeschwindigkeiten 1895-2004

Stundenmittel	Böenspitzen
---------------	-------------

Rohdaten: Meteoschweiz NZZ

Ob die Zunahme der Windgeschwindigkeiten in Zürich schon ein Zeichen des Klimawandels ist, kann man nicht wissen. Aber generell werden bei wärmeren Lufttemperaturen stärkere Stürme erwartet!

Usbeck et al. 2010 Workshop, Waldnaturschutz und Klimawandel, Freiburg, 24.- 33

---

---

---

---

---

---

---

---



## Sturmanfälligkeit der Baumarten



Fichten und Tannen waren beim Sturm Lothar am anfälligsten

---

---

---

---

---

---

---

---



## Indirekte Auswirkungen des Klimawandels

- Insekten/Parasiten/Krankheiten
  - Beschleunigtes Wachstum/ mehr Generationen
  - Arealausbreitung durch Erwärmung
  - Synchronisation Austrieb und Eireife/Larvenentwicklung gestört
- Extremereignisse
  - Windwurf fördert Borkenkäferentwicklung
  - Trockenheiten macht Bäume anfälliger
  - Feuerrisiko steigt

---

---

---

---

---

---

---

---



## Fichten-Borkenkäfer und Klima

Hitzesommer 2003

Sturm Vivian 1990

Sturm Lothar 1999

---

---

---

---

---

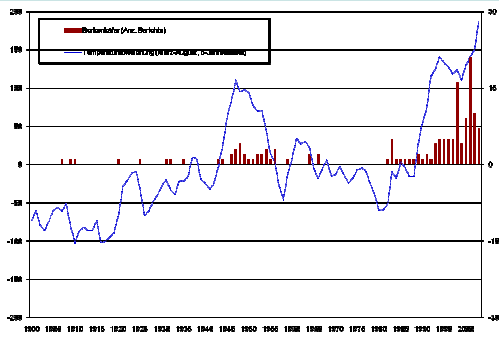
---

---

---



## Borkenkäferim Wallis tretengehäuft in Warmphasen auf!



(Dobbertin et al. 2007)

---

---

---

---

---

---

---

---



## MountainPine Bark Beetle US/Canada



**MountainPine Bark Beetle an verschiedenen Kiefernarten. Ist sehr Temperatur abhängig. Riesiger Ausbruch seit Ende 1990er Jahre auf mehr als 20 Mio ha Waldfläche.**



---

---

---

---

---

---

---

---



## MountainPine Bark Beetle USA



---

---

---

---

---

---

---

---



## Irreversible Vegetationsveränderung nach extremer Trockenheit in Arizona ?



PJ Woodland → Juniper Woodland

Direkt nach dem extremen Trockenjahr 2002 in der Nähe von Flagstaff, Arizona

Quadratkilometer absterbender Pinyon Kiefern, während ein Grossteil der Wacholder überlebte

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



## Mit der sprunghaften Erwärmung in Sils verschwindet der Lärchenwicklerbefall




---

---

---

---

---

---

---

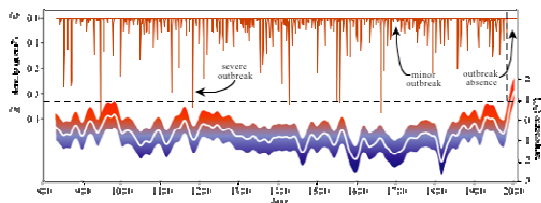
---

---

---



## Die Lärchenwicklerausbrüche



Sommer-Temperaturrekonstruktion in den Alpen mit Jahringbreiten und -dichten von Lärchen und Arven und Lärchenwicklerausbrüchen. (Esper et al. in review)

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Waldbauliche Handlungsmöglichkeiten



- Baumartenwahl
  - Baumarten diversifizieren
  - Besser angepasste Herkünfte wählen
  - Besser angepasste Baumarten wählen
- Bewirtschaftung
  - Reduktion der Bestandesdichte
  - Reduktion der Konkurrenz
  - Reduktion der Umtriebszeit
  - Verstärkte Bekämpfung von Insekten/Krankheiten
  - Anpassung der Verjüngungsmassnahmen

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Dichtereduktion: Beispiel Durchforstungsversuch Kiefer (1965-78)

Kontrolle (48 m<sup>2</sup>/ha)



Mittlere Durchforstung (26 m<sup>2</sup>/ha)



Leichte Durchforstung (36 m<sup>2</sup>/ha)



Starke Durchforstung (17 m<sup>2</sup>/ha)




---

---

---

---

---

---

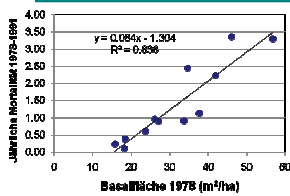
---

---

---

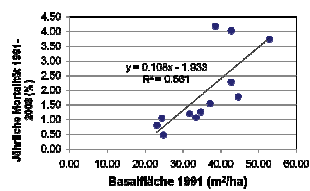
---

## Bestandesdichte und Sterberate



In Flächen mit > 40 m<sup>2</sup>/ha Dichte waren die Sterberaten deutlich höher als normal

Seit 1991 hat sich die Bestandesdichte der Kontrollflächen und der leichten Durchforstung verringert.




---

---

---

---

---

---

---

---

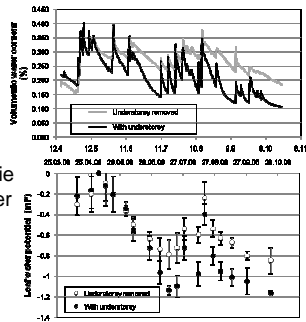
---

---

## Strauchschichtentfernung



Die Bodenfeuchte um die 6 Föhren ohne Sträucher ist höher als bei den 6 Kontrollbäumen, die Nadelwasserpotentiale weniger negativ.




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Schlussbemerkungen: Reaktionen auf den Klimawandel



- Die Klimaänderung führt bereits zu ersten Veränderungen:
  - Früheres Austreiben (2-2.5 Tage /Dekade, bis zu 250 m Höhenverschiebung)
  - Verschiebung der Waldgrenze
  - Erhöhtes Absterben der Föhren in Tieflagen des Wallis, Vordringen der Flaumeiche
  - Reduzierter Zuwachs in Trockenjahren, erhöhte Absterberaten und verminderte Blattmenge im Jahr darauf
  - In Teilen der Welt massiver Borkenkäferbefall

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Schlussbemerkungen: Handlungsmöglichkeiten

- Baumartenwahl
  - Baumarten diversifizieren: reicht das?
  - Angepasste Herkünfte: und autochtone Herkünfte?
  - Besser angepasste Baumarten: Exoten? Invasive?
- Bewirtschaftung
  - Reduktion der Bestandesdichte: Kosten?
  - Reduktion der Konkurrenz: Biodiversität, Bodenschutz?
  - Reduktion der Umtriebszeit: Totholz? Naturmah?
  - Bekämpfung von Insekten: Kosten? Umweltschutz?
  - Verjüngungsmassnahmen: Koszen? Naturnähe?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---





Vielen Dank!!

---

---

---

---

---

---

---

---

## Einfluss der Bewässerung auf 90jährige Kiefern im Pfywald

Kontrolle 2009

Bewässert 2009



	Zustand 2003		Veränderung		
	Kontrolle	Bewässert	Kontrolle	Bewässert	
Grundfläche	26.1	29.6+ 1.5 + 4.5m <sup>2</sup> / ha			
Oberhöhe	11.2	11.9	+/- 0	+ 0.3	m
Kronenverlichtung	29.733.0	+ 11.2	- 4.9		%
Sterberaten	-	-	6.8	2.5	%

Dobbertin, unpublished

---

---

---

---

---

---

---

---