



Anpassung möglich? Genetik als Faktor der Baumarten- und Herkunftswahl unter Trockenheit

Silvio Schüler

Institut für Waldwachstum, Waldbau und Genetik

Klimawandel hat unsere Wälder erreicht (im Griff?)

Schwarzkiefer



Photo: Schüler, BFW

Rotbuche

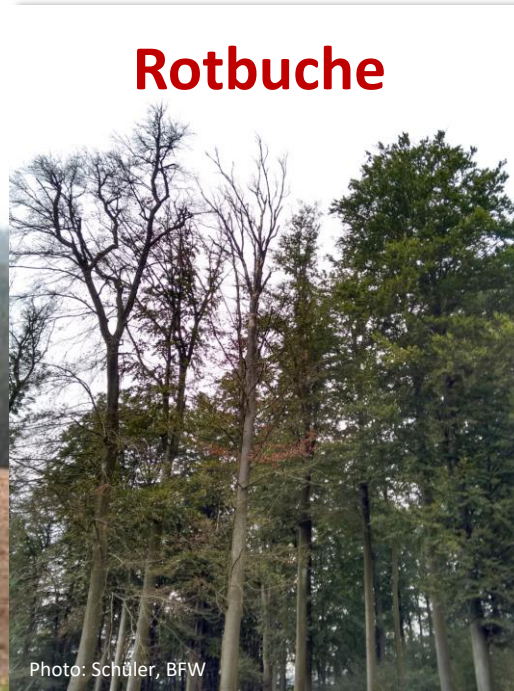


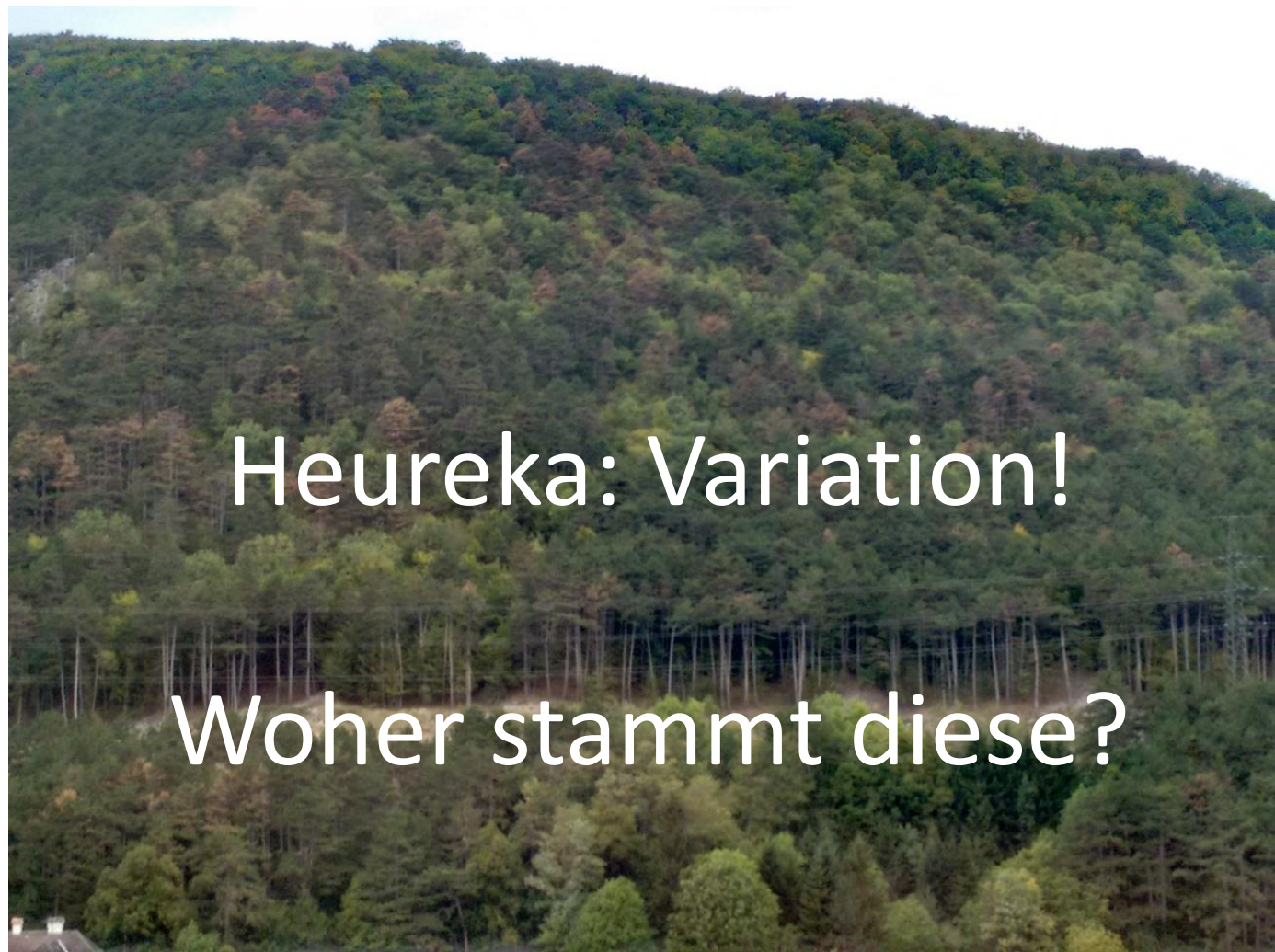
Photo: Schüler, BFW

Esche



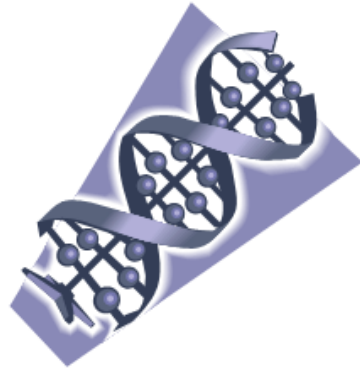
Photo: Kirisits, BOKU

Photo: Hoch, BFW



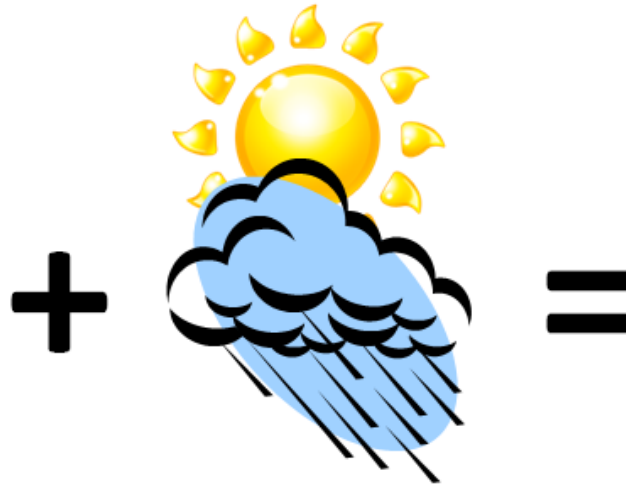
Heureka: Variation!

Woher stammt diese?



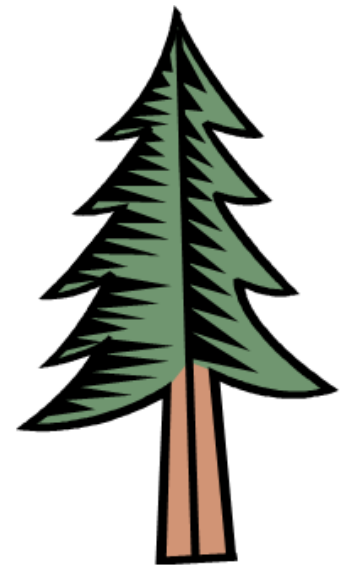
Genotyp

- Phylogeographische Muster
- Populationen (Herkunft)
- Individuelle Unterschiede



Umweltwirkung

- Kleinstandort (Boden,..)
- Konkurrenz
- Schädlinge
- Forstl. Eingriffe



Phänotyp

- **Überleben**
- **Wachstum(-einbruch)**
- Kronenauflichtung, -verfärbung
- Holzdichte, Cavitation
- Water-use efficiency

Anpassung an Klimaextreme?

Scand. J. For. Res. 6: 353–363, 1991

Within-population Variation in Autumn Frost Hardiness and its Relationship to Bud-set and Height Growth

TOR SKRØPPA
Norwegian Forest Research Institute

1247

From genotype to phenotype: unraveling the complexities of cold adaptation in forest trees¹

Glenn T. Howe, Sally N. Aitken, David B. Neale, Kathleen D. Jermstad,

1110

1247–1266 (2003)

Genetic variation in fall cold hardiness in coastal Douglas-fir in western Oregon and Washington

J. Bradley St. Clair

Can. J. Bot. **84**: 1110-1121 (2006)

2003 Summer temperature anomaly

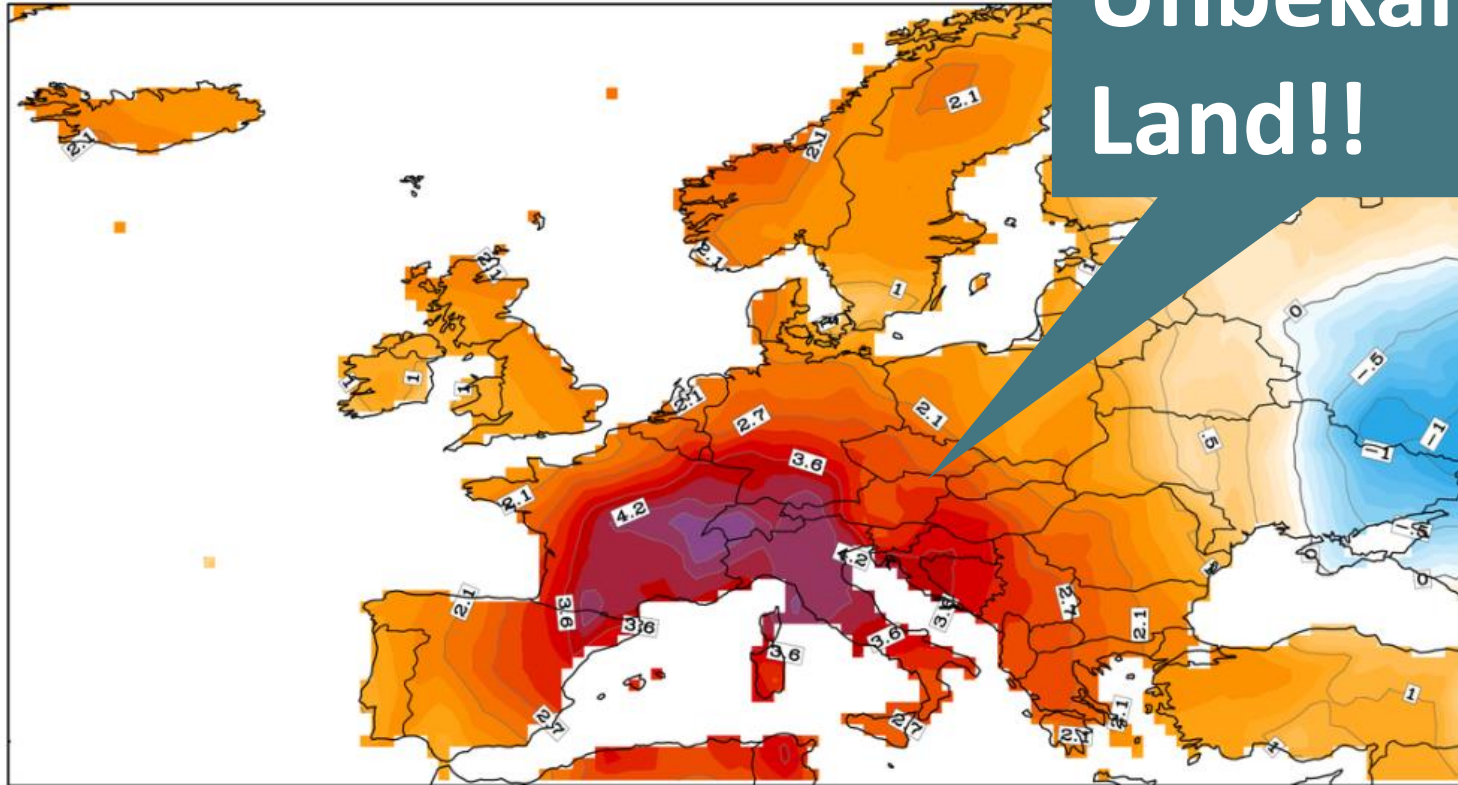
Scand. J. Fo

Within
 Hardin
 and He

TORE SKR
 Norwegian Fo

1110

Unbekanntes Land!!



1247

2003)



Trockenheit in Österreich

Versuchflächen in sommerwarmen Osten

1961-90
T: 8-10° C
N: 500-600 mm

LAR

PIC

LAR

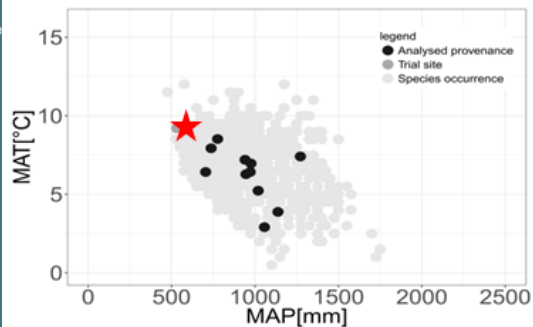
PSE

PIN
ABI

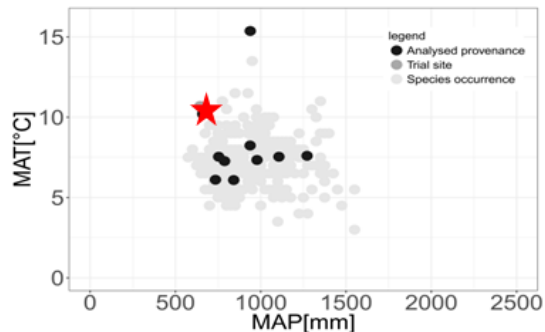
PSE

PIC

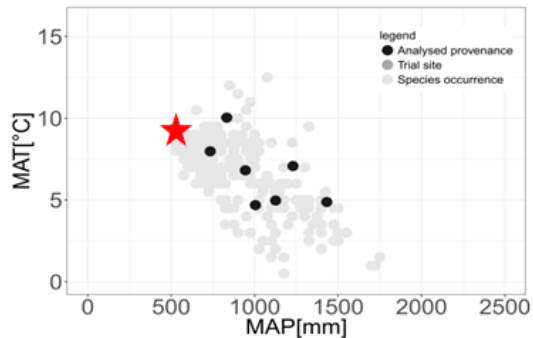
a) *Picea abies*



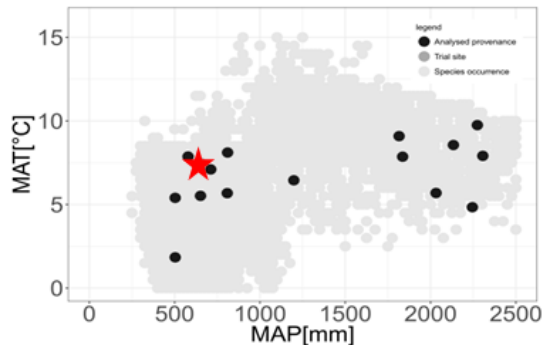
b) *Abies alba*



c) *Larix decidua*



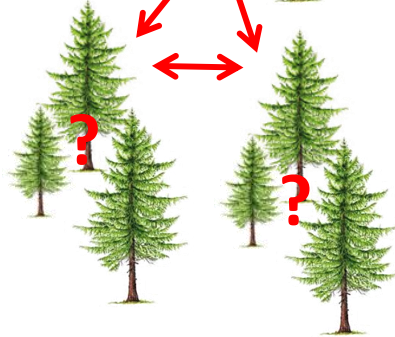
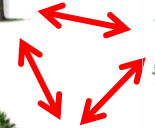
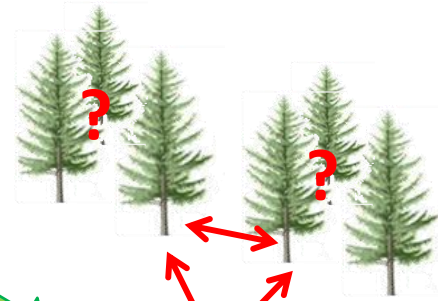
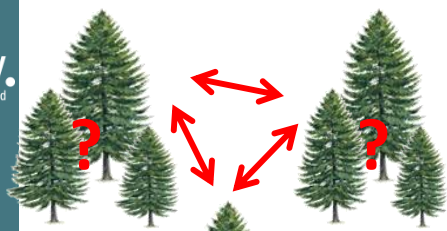
d) *Pseudotsuga menziesii*



armen Osten

1961-90
T: 8-10° C
N: 500-600 mm

LAR
PSE
PIC
PIN
ABI
PSE
PIC



Unterschiede zwischen Baumarten?
Unterschiede zwischen Herkünften?
Variation innerhalb von Herkünften?

Geeignete Versuchsflächen

Trockenheiten klassifiziert nach dem SPI, dem standardisierten Niederschlagsindex (McKee *et al.*, 1993)

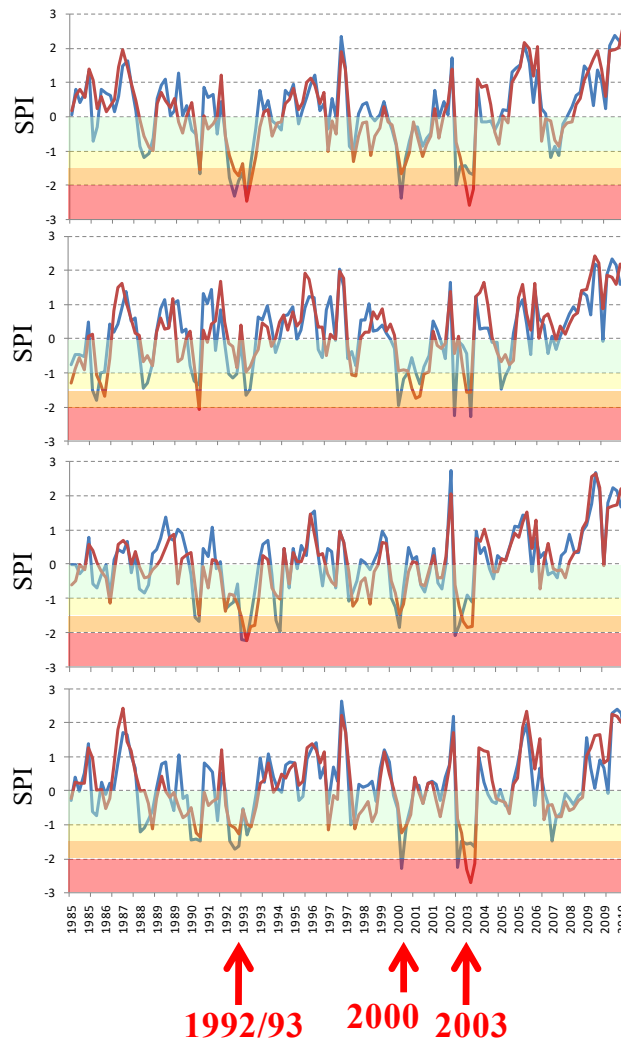
SPI – Definition

Leichte Trockenheit

Moderate Trockenheit

Schwere Trockenheit

Extreme Trockenheit



**Fichtenversuch
Porrau**

**Tannenversuch
Knödelhütte**

**Douglasienversuch
Traismauer**

**Lärchenversuch
Zlabern**

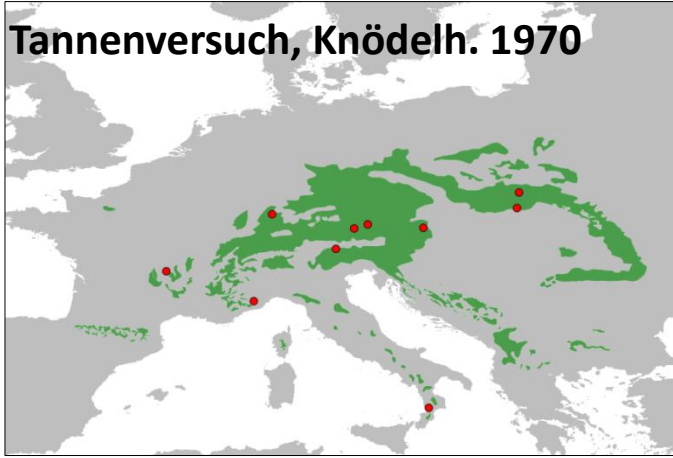
1992/93

2000

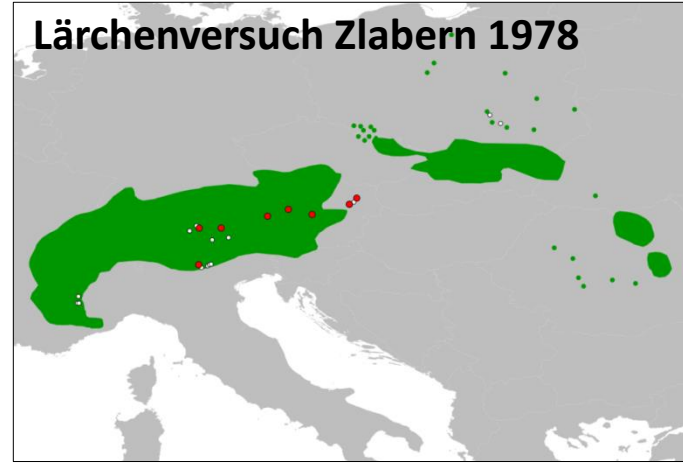
2003

Verschiedene Herkünfte

Tannenversuch, Knödelh. 1970



Lärchenversuch Zlabern 1978



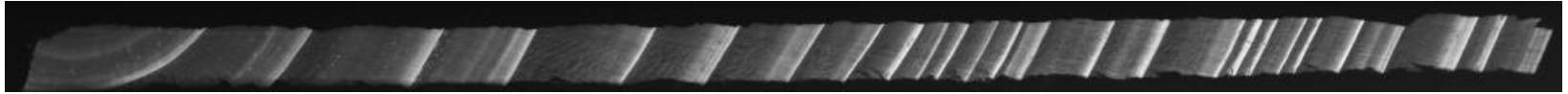
Fichtenversuch Porrau 1978



Douglasienv. Traismauer 1976



Methode

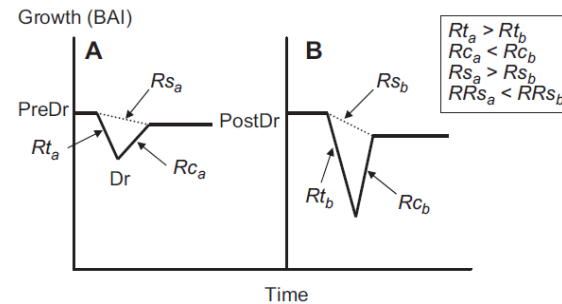


Röntgenanalyse von Bohrkernen

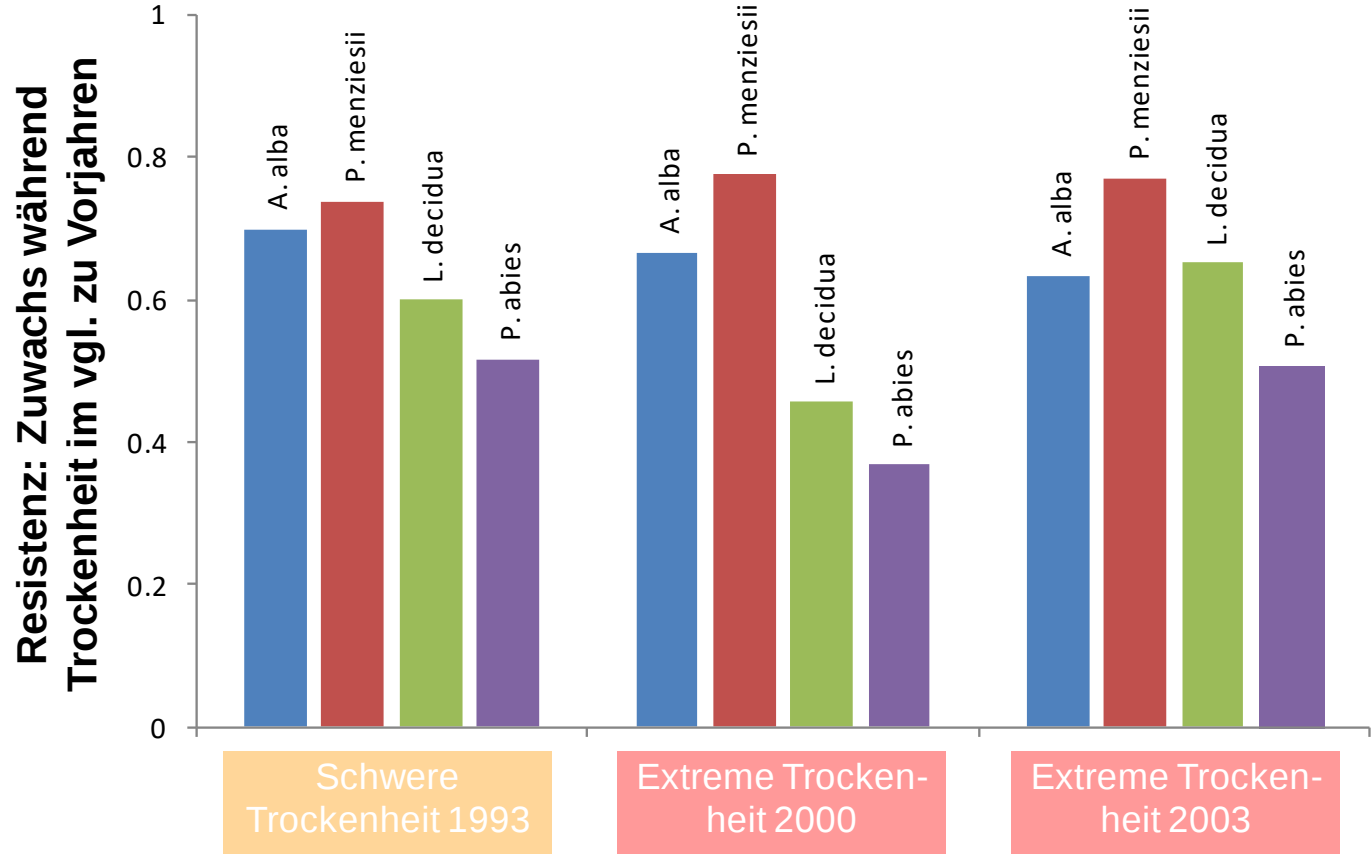
- 9-16 Herkünfte / Baumart
- 10-30 Bäume/Herkunft

Maße für Trockenreaktion (Lloret et al. 2011)

- Resistenz
- Erholung
- Resistenz – Frühholz
- Resistenz – Spätholz



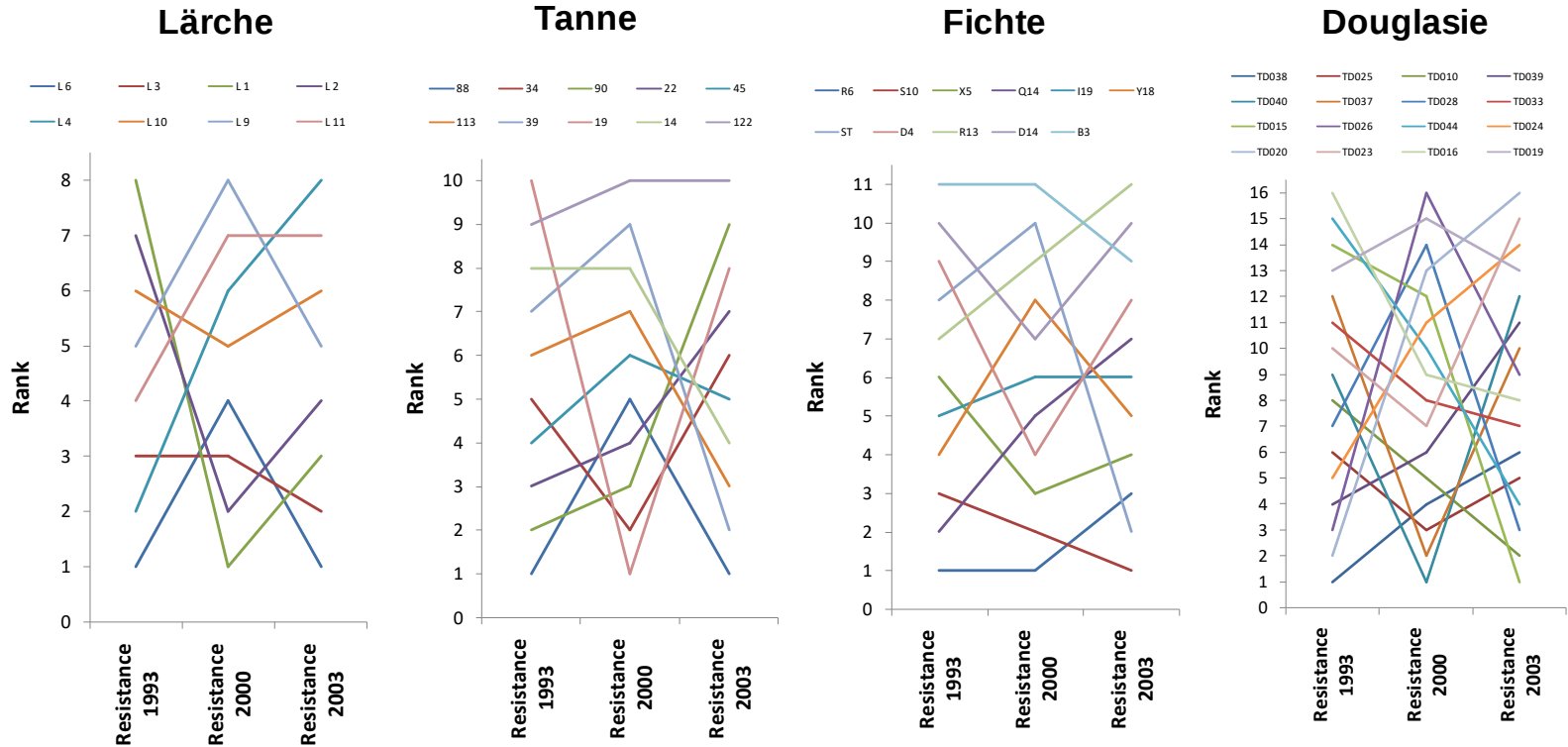
Unterschiede zwischen Baumarten: Resistenz



Unterschiede zwischen Herkünften

		Signifikanz Resistenz	Signifikanz Erholung
<i>Tanne</i>	Trockenperiode	0.0038	0.018
	Herkunft	0.0245	0.0009
	Trockenperiode x Herkunft	0.0356	0.0094
<i>Fichte</i>	Trockenperiode	<.0001	<.0001
	Herkunft	0.0101	0.002
	Trockenperiode x Herkunft	0.0001	0.0108
<i>Lärche</i>	Trockenperiode	<.0001	<.0001
	Herkunft	0.792	0.1877
	Trockenperiode x Herkunft	0.0001	0.0003
<i>Douglasie</i>	Trockenperiode	0.0307	0.0001
	Herkunft	0.091	0.2782
	Trockenperiode x Herkunft	<.0001	0.0005

Stabilität der Herkünfte: Resistenz

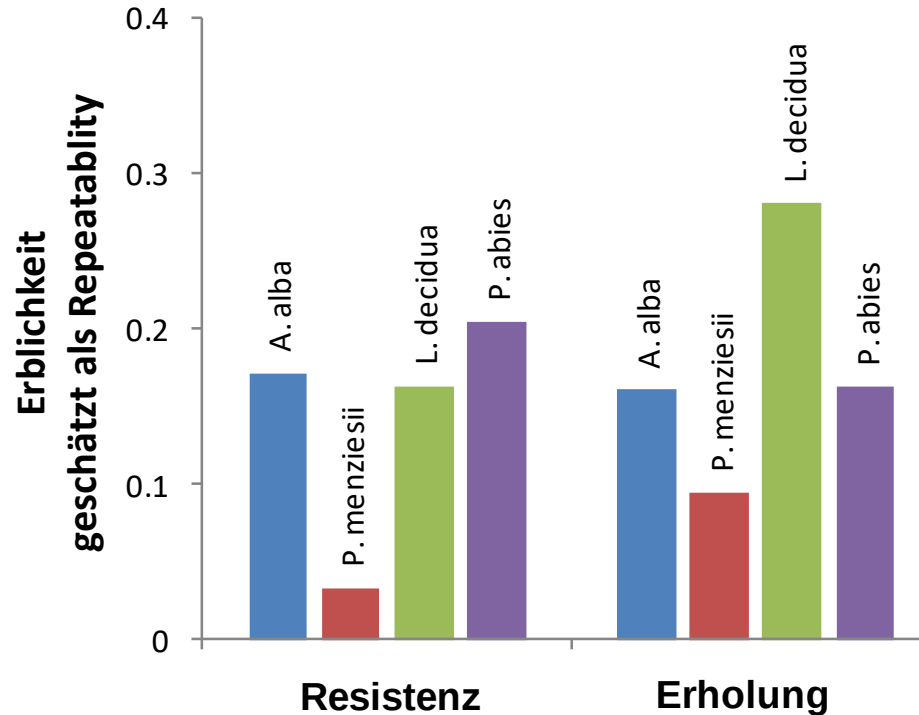


Fichtenherkünfte am stabilsten, gefolgt von Lärche

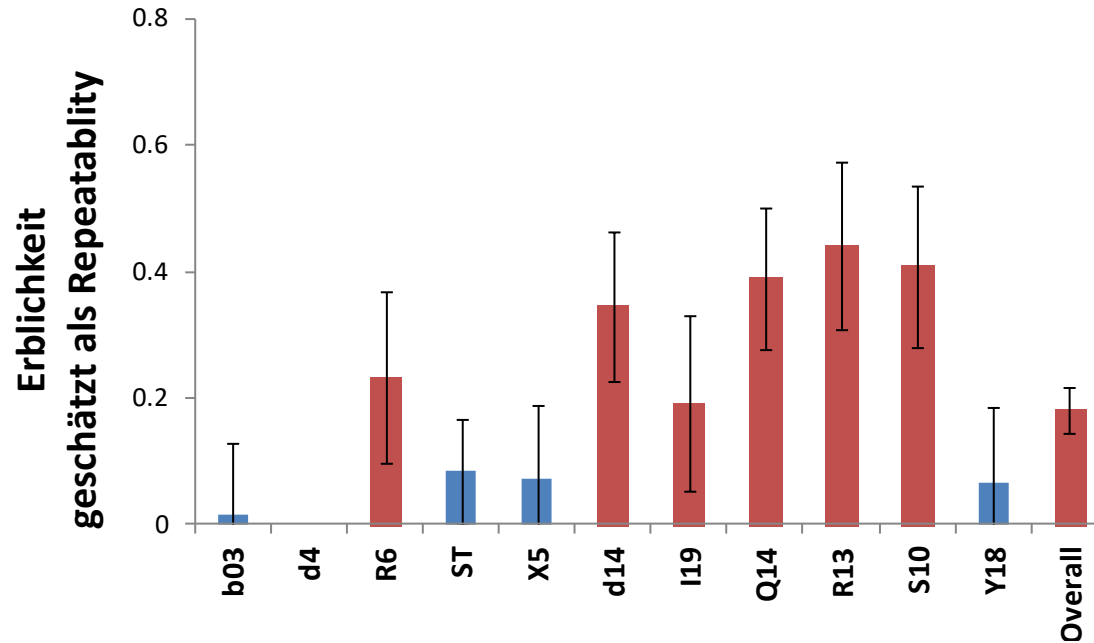
Variation innerhalb der Herkünfte

Erblichkeit der Trockenreaktion

➔ Voraussetzung für erfolgreiche Züchtung und lokale Anpassung



Unterschiede in der Erbllichkeit!!

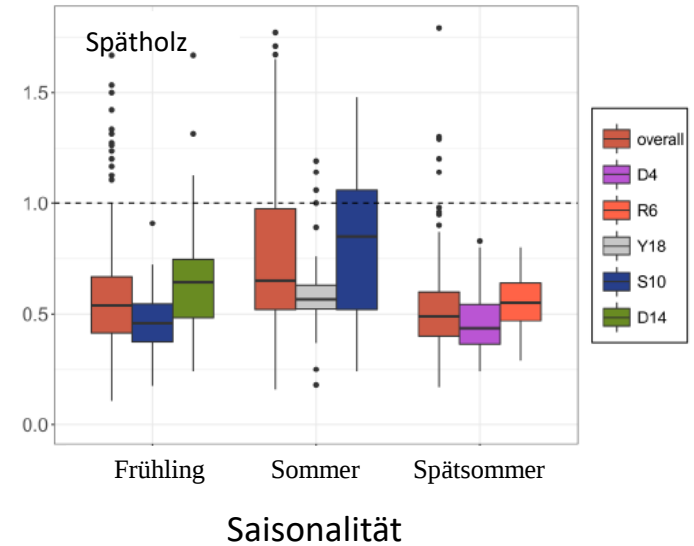
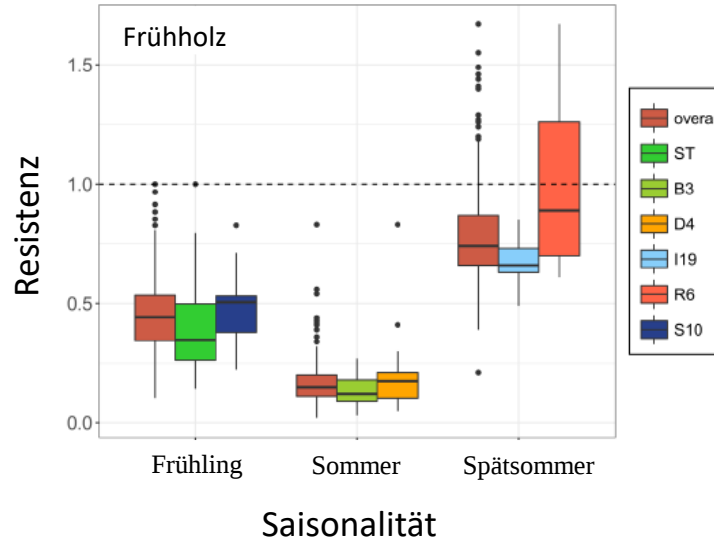


Große Unterschiede in der Erbllichkeit zwischen Populationen-
 Herkünften → Selektion in Ursprungsbeständen sehr unterschiedlich

Jahreszeitliches Auftreten der Trockenheit

Trockenheit beeinflusst Jahresverlauf der Holzbildung !!

a) Fichte

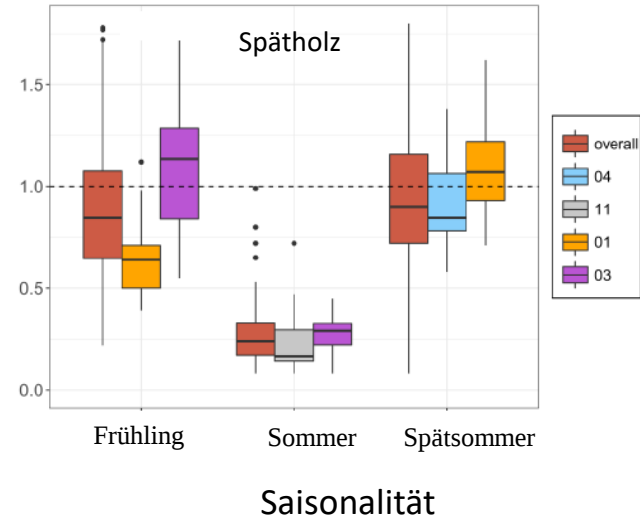
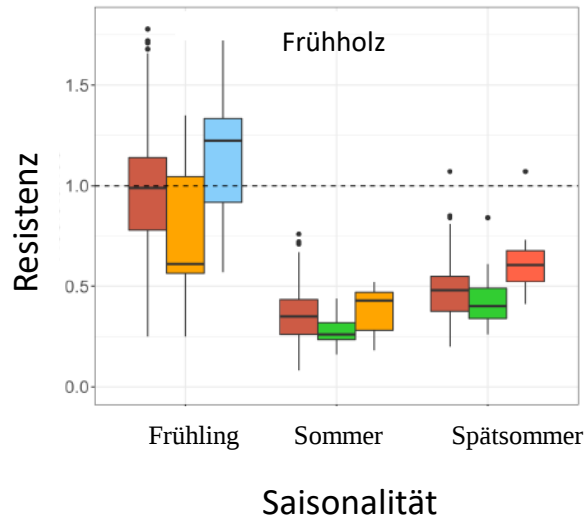


Welche Herkunft gewinnt hängt auch vom Zeitpunkt der Trockenperiode ab!

Jahreszeitliches Auftreten der Trockenheit

Trockenheit beeinflusst Jahresverlauf der Holzbildung !!

c) Lärche

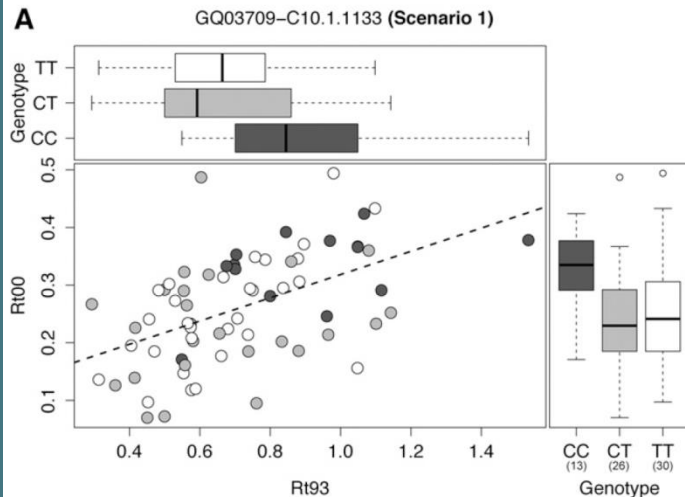


Genetisch fixierter Austrieb und Wachstumsabschluss beeinflussen Trockensensitivität!

Genomische Assoziationen mit Trockensensitivität

- Suche nach einzelnen Gene, die mit Trockenheit assoziiert sind, ist erfolgreich.
- Aber:** Anteil einzelner Gene an Trockenreaktion ist sehr gering.

z.B. für Fichte



(Trujillo-Moya et al. 2018)

oder Tanne

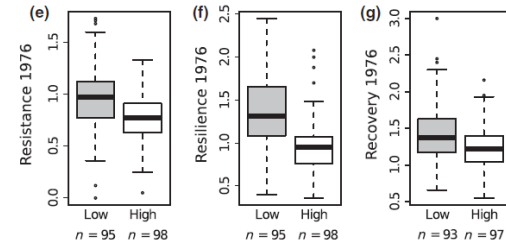


TABLE 3 Single nucleotide polymorphisms associated with scaled dendrophenotypes using Boruta and VSURF. Only SNPs that were associated with a given dendrophenotype with both methods are shown. A full table with all detected associations is provided in the supplementary material (Table S2). SNP IDs refer to the contigs and position of the SNP within the respective contig in the assembly of Roschanski et al. (2013). SNP type indicates whether a SNP is synonymous (syn), nonsynonymous (nonsyn) or located in intergenic region. For nonsynonymous SNPs, the amino acid change (AAC) is indicated

SNP ID	Protein	Biological Process (with capital letter: GO keyword)	SNP type	AAC	Associated dendrophenotype
00628.351	Mitochondrial arginine transporter BAC2	Stress response, transport	Intergenic		Resistance DP
00716.144	Heat shock 70-kDa protein 7, chloroplastic	Protein transport, stress response, transport	Syn		Resistance DP
02190.265	ATP-dependent Clp protease proteolytic subunit 4, chloroplastic-like	Chloroplast organization, regulation of timing of transition from vegetative to reproductive phase	Nonsyn	A > T	Slope 1973-19

(Heer et al. 2018)

Zwischenresümee

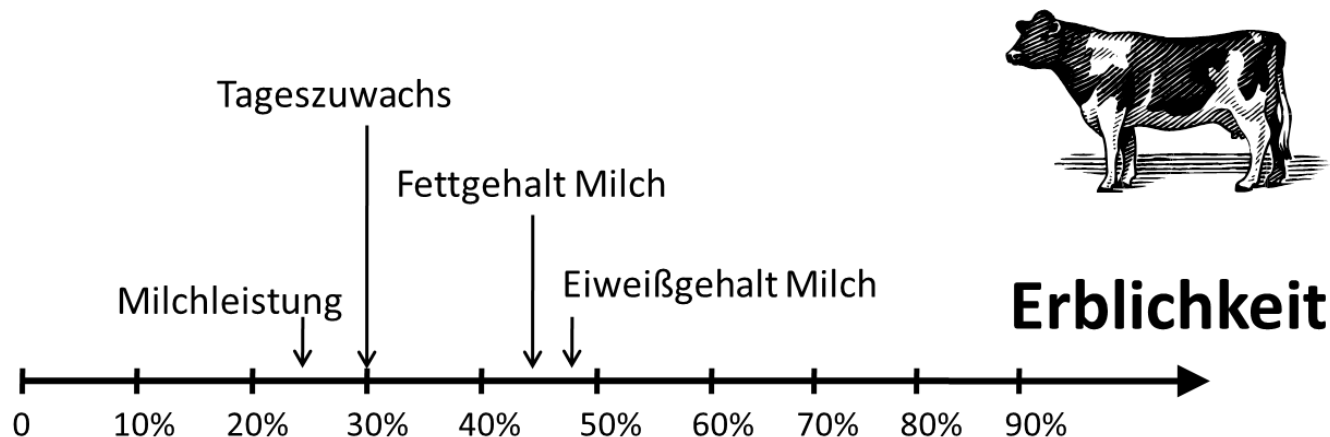
- Signifikante Unterschiede in Trockenreaktion zwischen Herkünften von Fichte und Tanne, nicht zwischen Lärche und Douglasie
 - ➔ Assisted migration
- Signifikante Erblichkeit bei einigen Herkünften (Nicht bei Allen!)
 - ➔ Unterschiede in der Selektionsintensität in Ursprungsbeständen
 - ➔ Ermöglicht gezielte Zuchtungsmaßnahmen
 - ➔ Eröffnet waldbaugestützte genetische Anpassung

Erblichkeit in weiteren Studien

Art	Merkmal	Erblichkeit	
Abies alba	Recovery	0 - 0,53	Schueler et al. 2021
Abies alba	Resistenz	0 - 0,47	Schueler et al. 2021
Larix decidua	Recovery	0 - 0,43	Schueler et al. 2021
Larix decidua	Recovery	0	George et al. 2017
Larix decidua	rel. Resilience	0 - 0,32	George et al. 2017
Larix decidua	Resilience	0 - 0,39	George et al. 2018
Larix decidua	Resistenz	0 - 0,32	Schueler et al. 2021
Larix decidua	Resistenz	0 - 0,38	George et al. 2017
Picea abies	Holzdichte	0,1 - 0,41	Rozenberg et al. 2002
Picea abies	Recovery	0 - 0,32	Schueler et al. 2021
Picea abies	Resistenz	0 - 0,44	Schueler et al. 2021
Picea abies	Wasserleitfähigkeit verschiedene traits	0,14 - 0,31	Rosner et al. 2014
Picea mariana	Wassernutzungseffizienz $\delta^{13}C$	0,53	Johnsen et al., 1999
Pinus pinaster	Wassernutzungseffizienz $\delta^{13}C$	0,23 - 0,41	Marguerit et al., 2014
Pinus ponderosa	Wasserpotential-Nadeln	0,03 - 0,44	Riley 1984
Pinus radiata	Chlorophyll Fluorescence	0,004 - 0,06	Ismael et al. 2021
Pinus radiata	Wassernutzungseffizienz $\delta^{13}C$	0,07 - 0,17	Ismael et al. 2022
Pinus taeda	Wassernutzungseffizienz $\delta^{13}C$	0,09	Baltunis et al., 2008
Pseudotsuga menziesii	Recovery	0 - 0,24	Schueler et al. 2021
Pseudotsuga menziesii	Resistenz	0	Schueler et al. 2021
Quercus robur	Wassernutzungseffizient $\delta^{13}C$ u.a.	0,16 - 0,74	Brendel et al. 2008

Unvollständige Liste!!

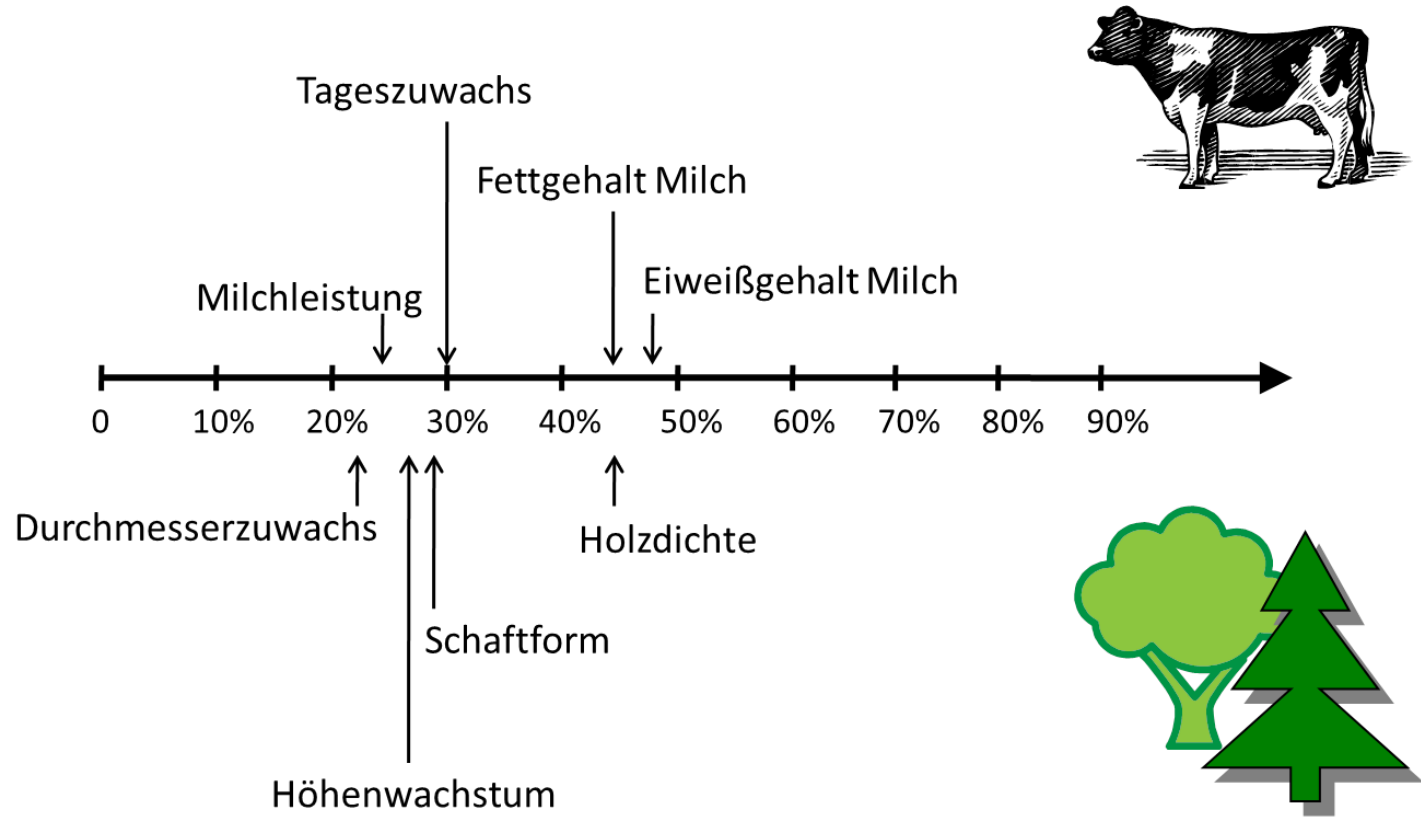
Erblichkeit?



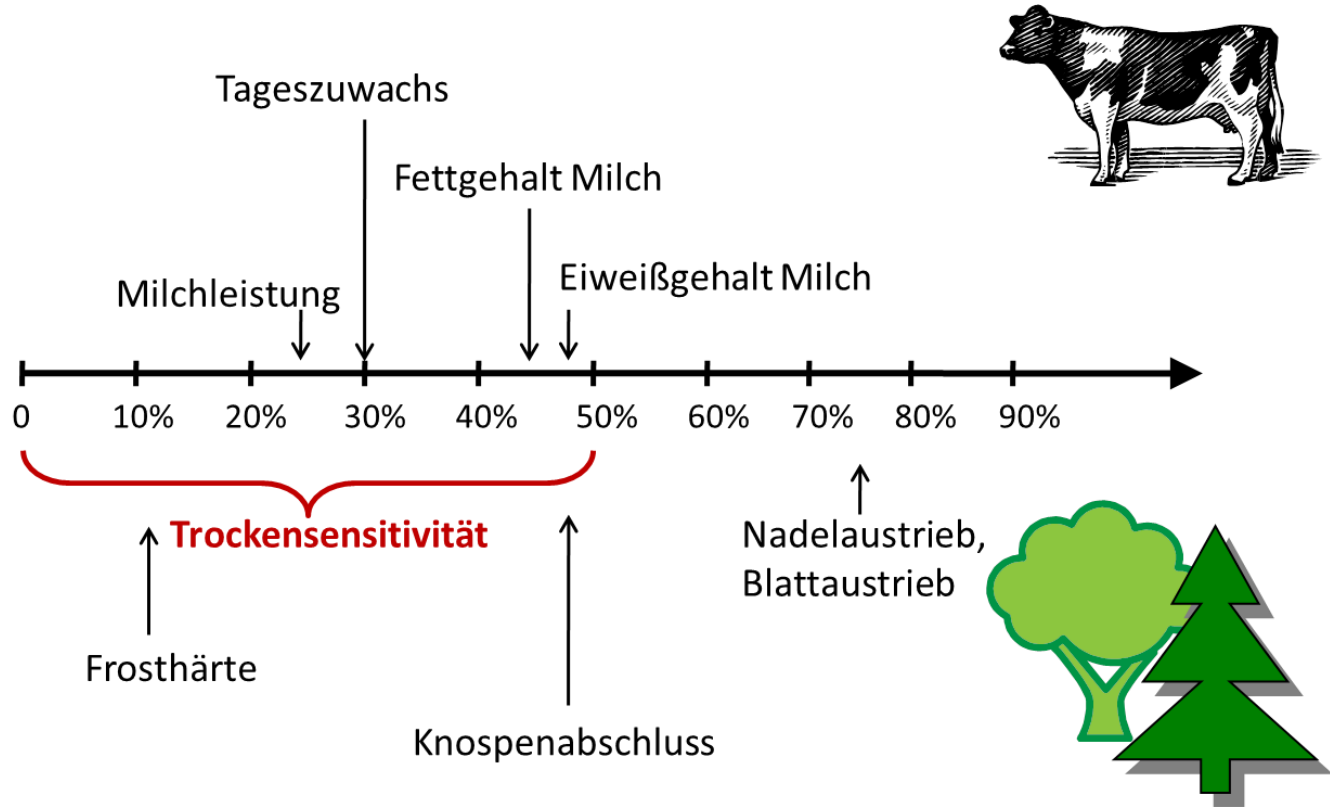
Erblichkeit (Heritabilität):

- beschreibt den relativen Anteil der messbaren Unterschiede innerhalb einer Gruppe, der auf genetischen Faktoren beruht
- **Je höher die Erblichkeit desto besser lässt sich das Merkmal züchterisch beeinflussen**

Erblichkeit?



Erblichkeit?



Eigenschaften für verbesserte Trockenreaktion haben eine **vergleichbare Erblichkeit** wie andere Merkmale bei Bäumen, Nutzpflanzen oder Tieren!

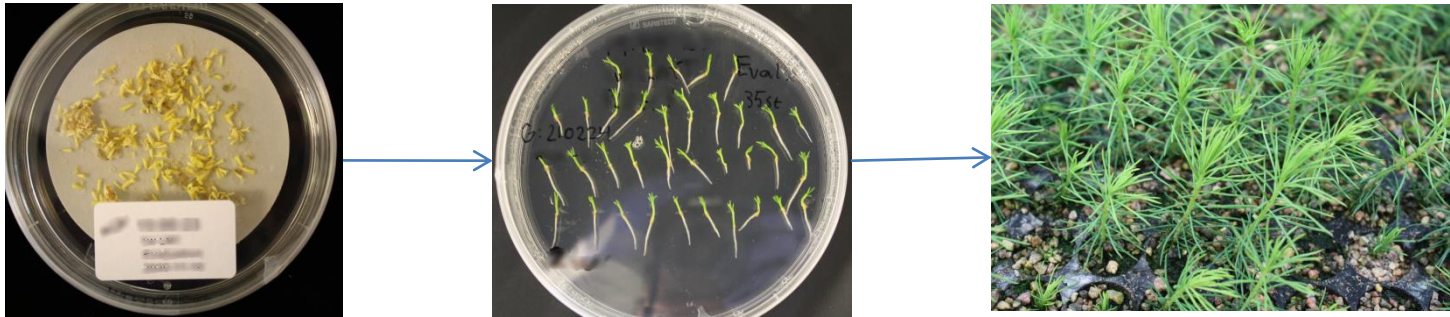
Umsetzung in Züchtung?

Schwierig!

- Fehlende Züchtungspopulationen und langfristige Mess- und Züchtungsprogramme in Mitteleuropa (insb. DACH-Region)
- Viel Saatgut aus „unbekannten“ (=uncharakterisierten) Erntebeständen, Anteil an Plantagensaatgut ist gering
- Züchtungsaktivitäten bisher oft nur regional → transnationale Ebene (und Förderung) ist gefragt
- Gesetzliche Regelungen und deren Umsetzung berücksichtigt Klimawandel nur ungenügend
- Schnellere Umsetzung der Züchtungsfortschritte

Schnellere Züchtung? – Somatische Embryogenese

Entwicklungsprojekt: „**Beschleunigung von Züchtungsaktivitäten der FICHTE und Überführung erster Ergebnisse in die Forstpraxis durch Bereitstellung ausgewählter Genotypen als SE-vermehrte Forst-Containerpflanzen**“



Umsetzung in Züchtung?

Schwierig: Interaktion mit Borkenkäfer und Schädlingen kaum erforscht

Fichte PLUS

2-3 Plusbäume je 1000 tote Fichten



Stammbruch +3 Monate

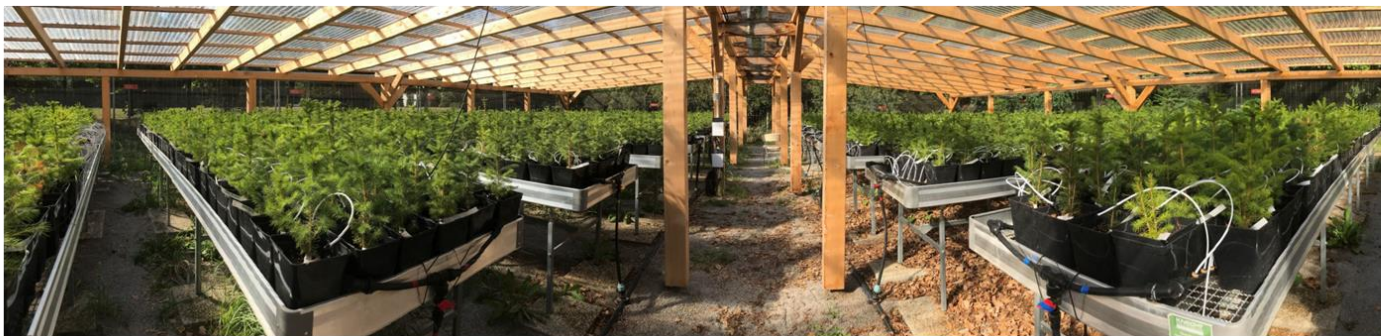


Stammbruch +2 Jahre



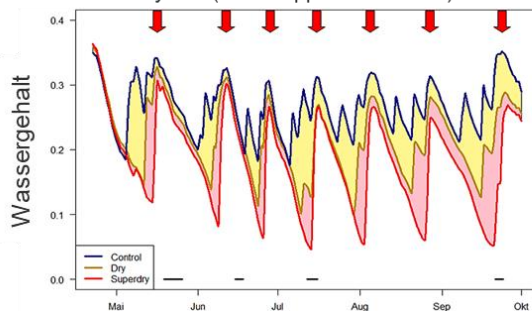
Überlebend seit 2018

Schwierig: Interaktion mit Borkenkäfer und Schädlingen kaum erforscht **Fichte PLUS**



22.3. – 21.9. 2021

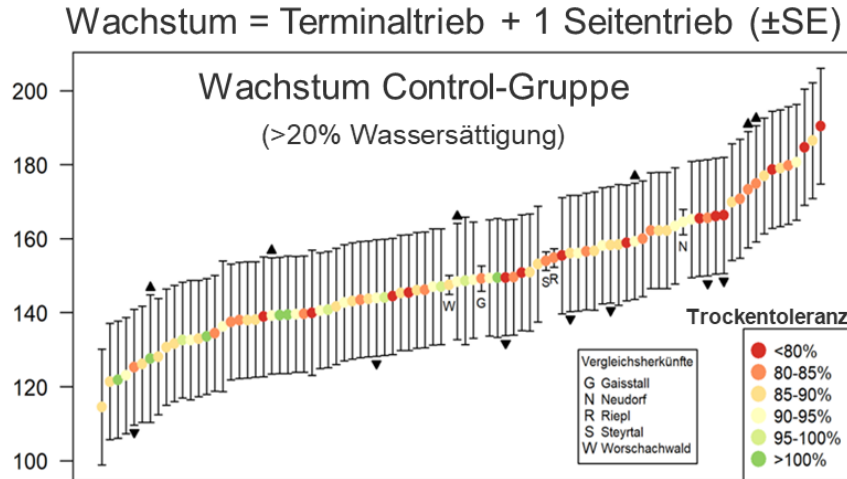
7 Gießzyklen (alle Gruppen bewässert)



- 85 Borkenkäfer-Survivor x 40 Nachkommen
- 5 Vergleichsherkünfte x 200 Nachkommen
- getopfte 2-jährige Pflanzen
- 3 Bewässerungsgruppen (9 Töpfen mit Bodenfeuchtesensoren)
- Messung der Wachstumsleistung (Austriebslänge 2021)

Umsetzung in Züchtung?

Schwierig: Interaktion mit Borkenkäfer und Schädlingen kaum erforscht **Fichte PLUS**



Trockentoleranz = relatives Wachstum in der extremsten Gruppe ($>5\%$ Wassersättigung)

- Es gibt resistente Plusbäume in Borkenkäfer-Kalamitäten
- 225 Plusbäume als Ausgangsmaterial für „Trockenzüchtung“ und Saatguttransfer in höhere Lagen (Voralpen)

Bisherige Tests an den Plusbäumen:

- Cavitron-Analysen zur Emboliebildung (N=34): **nicht signifikant besser**

Bisherige Testresultate an den Nachkommen:

- Trockentoleranz (Trieblängen N=85x40 + 5x200): **große Variabilität der getesteten Fichtenpflanzen, Vergleichsherkünfte im Mittelfeld**
- RNA-Expression (Feinwurzeln N=16x6): **Unterschiede zwischen Plusbaum-Familien festgestellt**
- Phenole & Hormonkonzentrationen (Nadeln N=16x6): **nicht signifikant**

Weitere Tests an der Selektion geplant:

- Bläuepilz-Resistenz
- Gas-chromatographie
- Langzeitvergleich des Wachstums
- Vertiefende genetische Analysen

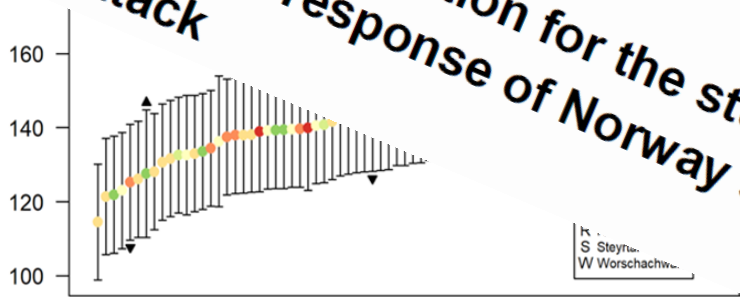
Sch
ka

er und Schädlingen

Job offer:

**Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum
 für Wald, Naturgefahren und Landschaft**
 Austrian Research and Training Centre for Forests, Natural Hazards and Landscape | <http://bfw.ac.at>

**Research Position for the study of molecular
 defense response of Norway spruce to Bark beetle
 attack**



Trockentoleranz = relatives Wachstum in der
 extremsten Gruppe (>5% Wassersättigung)

Umsetzung in Züchtung - Hybridzüchtung

Trees (2021) 35:1467–1484
<https://doi.org/10.1007/s00468-021-02129-4>

ORIGINAL ARTICLE



Physiological and anatomical responses to drought stress differ between two larch species and their hybrid

Nadia Sasani¹  · Luc E. Pâques²  · Guillaume Boulanger³  · Adya P. Singh¹ · Notburga Gierlinger¹  ·
Sabine Rosner⁴  · Oliver Brendel³ 

Conclusions

”... The observed higher growth of HL, even under drought, and its higher resistance against diseases, supports its inclusion in pure and mixed lowland plantations in regions, where EL is native. ...“

Hybridlärche



Umsetzung in Assisted Migration?

kalt



- In div. Ländern schon in Umsetzung begriffen: S, CA, USA, ...
- In Teilen CA und USA ist Umsetzung bereits gesetzlich verankert .
- Europa...

warm

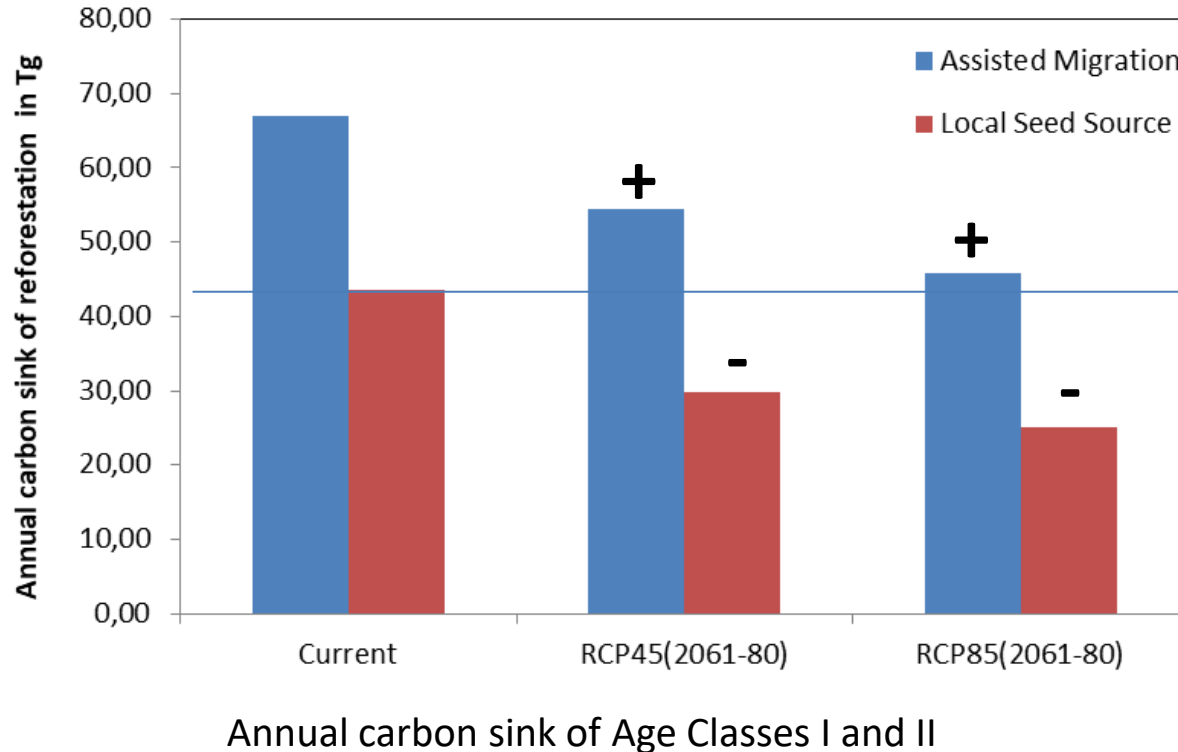


Ex – situ
Erhaltung

Quelle: Aitken & Bemmels (2016)



Einfluss von Assisted Migration auf Produktivität und Kohlenstoffaufnahme europäischer Wälder



Europe's annual forest
 carbon sequestration
 average 2010-2020
 (Forest Europe 2020):

155 Tg/year



www.seed4forest.org



Zusammenfassung

- Viele physiologische, morphologische und wachstumsrelevante Merkmale, die die Trockenreaktion von Bäumen beeinflussen, besitzen eine hohe genetische Variation.
- Diese erbliche Eigenschaften können sich in Unterschieden zwischen Unterarten, Herkunftsn oder Einzelbäumen derselben Population äußern und potentiell die Verbesserung von Waldbeständen bei Trockenheit ermöglichen.
- Genetische Merkmale der Trockenreaktion sind oft mit anderen Eigenschaften assoziiert (Austrieb, Holzdichte, Wachstum, etc.).
- Aber insbesondere die gleichzeitige Einwirkung von abiotischen (Trockenheit) und biotischen (z.B. Borkenkäfer) Störungen ist bisher zu wenig verstanden.

Zusammenfassung

- Umfangreiche Züchtungsprogramme wichtiger Baumarten und der Einsatz genomischer Selektion sind Voraussetzung, um Züchtungsfortschritte in wenigen Jahrzehnten umzusetzen.
- Eine Waldbestände können sich u.U. lokal anpassen (sofern sie sign. Erblichkeit aufweisen) – andere Bestände dagegen nicht.
- Waldumbau muss mit assisted migration verknüpft werden, um die Trockenreaktion zukünftiger Wälder zu verbessern und die Kohlenstoffaufnahme zu sichern.
- Umsetzung von Züchtung und/oder assisted migration braucht stärkere europäische Kooperation und angepassten gesetzlichen Rahmen.



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Dr. Silvio Schüller

Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für
Wald, Naturgefahren und Landschaft

Austria, 1131 Wien
Seckendorff-Gudent-Weg 8
Tel.: +43 1 878 38-2228
silvio.schueler@bfw.gv.at
<http://www.bfw.ac.at>



<https://www.facebook.com/BundesforschungszentrumWald>



<https://twitter.com/bfwald>



<https://www.youtube.com/user/Waldforschung>