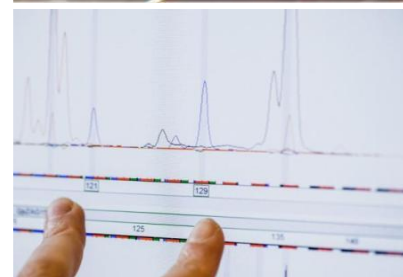
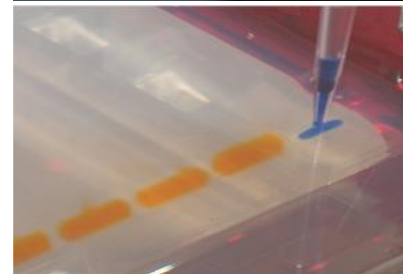
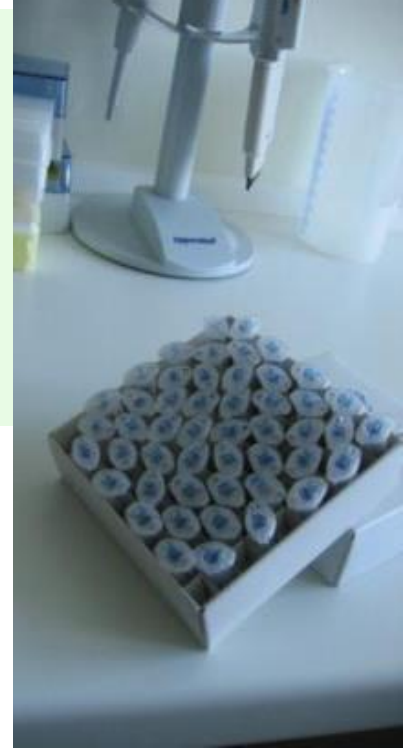


Tagung 'Kompetenznetz für Nachhaltige Holznutzung' (NHN) e. V.  
Göttingen, 07. Mai 2026

# Genetische Ressourcen von Eichen: Unterschätzte Anpassungspotenziale?

AKI MICHAEL HÖLTKEN  
Abt. Waldgenressourcen der NW-FVA

- I. Innerartliche Anpassungspotenziale: Genetische Vielfalt
- II. Ökologisch-genetische Eigenschaften der Eichen
- III. Einfluss des Menschen auf genetische Ressourcen
- IV. Erfassung und genetische Charakterisierung heimischer Eichenvorkommen
- V. Schlussfolgerungen für ein künftiges Management



# I. Innerartliche Anpassungspotenziale: Genetische Vielfalt

## Räumliche Ebenen:

### Geographische Herkunft

Genetische Differenzierung hat unterschiedliche Anpassungsmuster hervorgebracht (z.B. gegenüber Trockenheit, Hitze, Winter- und Spätfrösten)



### Bestand (Population)

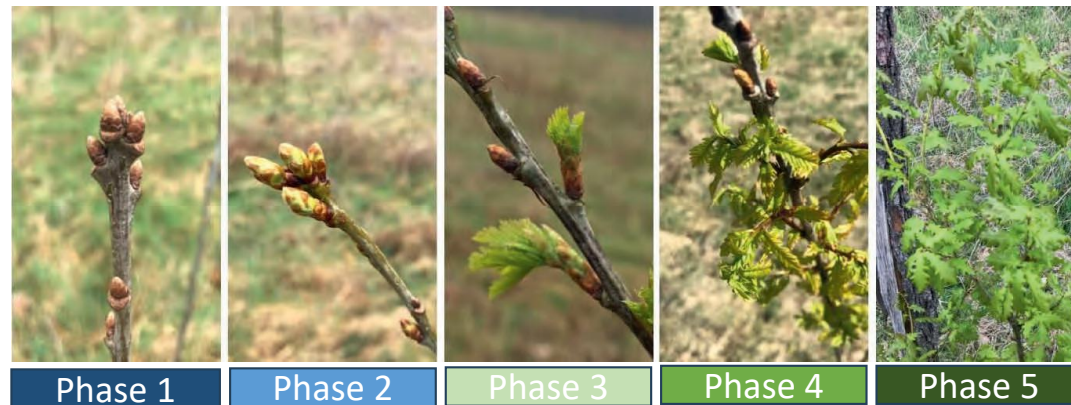
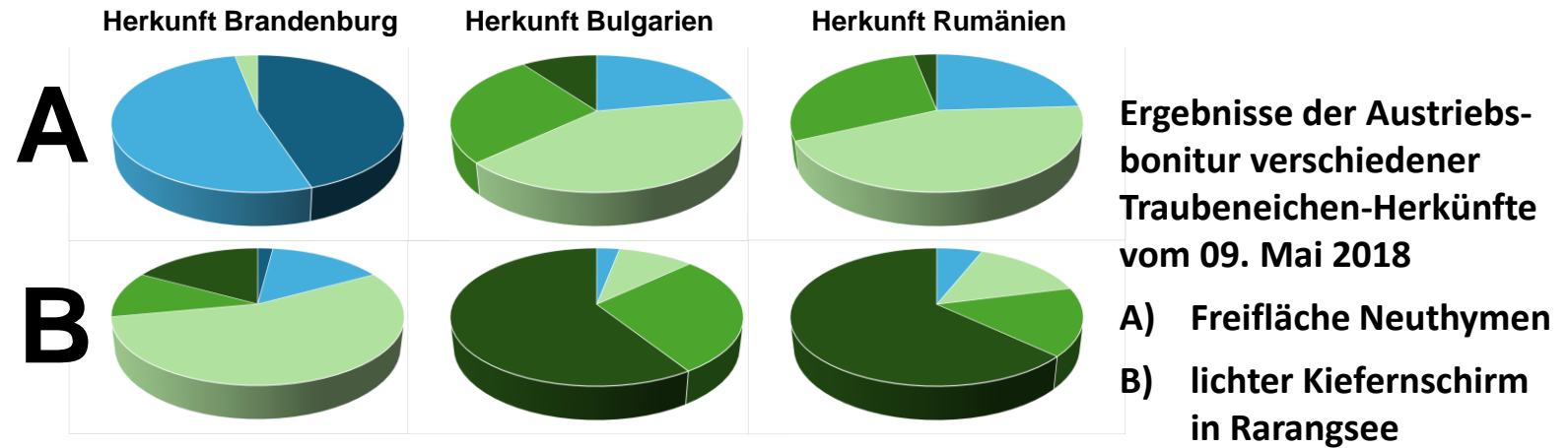
Generative Verjüngung erlaubt Bereitstellung eines großen „Zufallsangebots“ an Samen und Sämlingen mit unterschiedlichen genetischen Eigenschaften → „Versicherungsschutz“ gegenüber Umweltveränderungen



### Einzelbaum

„Genetischer Werkzeugkasten“ (Mischerbigkeit = Heterozygotie) ermöglicht physiologisch-morphologische Reaktionsmöglichkeiten (wichtig bei langlebigen Organismen)

## Geographisch-genetische Differenzierung: Austriebszeitpunkte



**Boniturstufen des Blatt-austriebs**

# I. Innerartliche Anpassungspotenziale: Genetische Vielfalt

## Räumliche Ebenen:

### Geographische Herkunft

Genetische Differenzierung hat unterschiedliche Anpassungsmuster hervorgebracht (z.B. gegenüber Trockenheit, Hitze, Winter- und Spätfrösten)

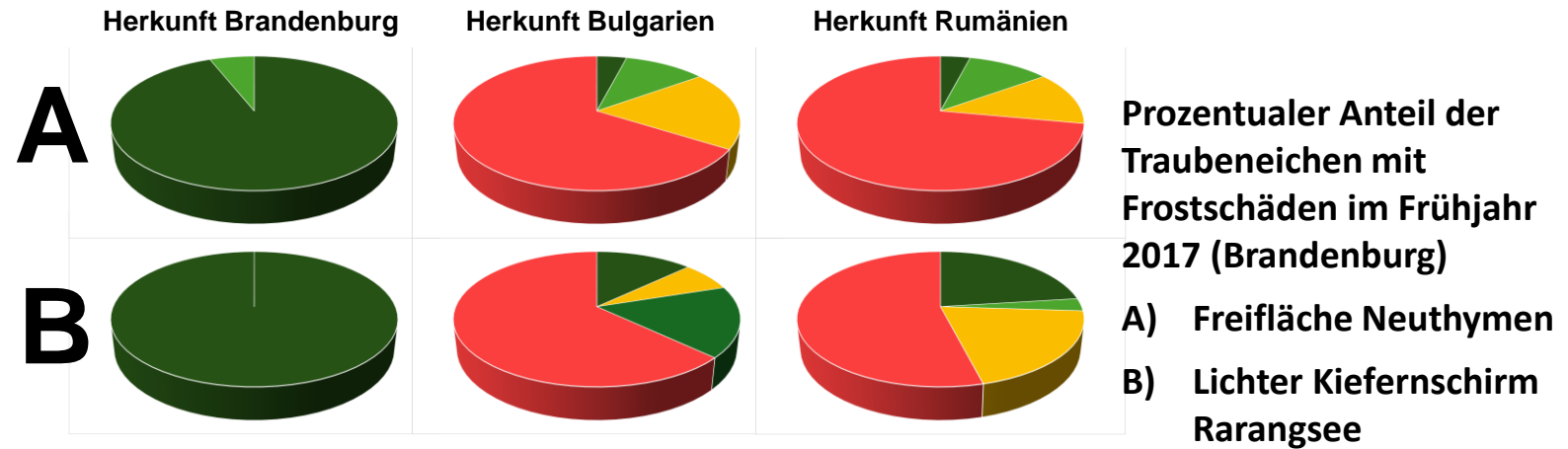
### Bestand (Population)

Generative Verjüngung erlaubt Bereitstellung eines großen „Zufallsangebots“ an Samen und Sämlingen mit unterschiedlichen genetischen Eigenschaften → „Versicherungsschutz“ gegenüber Umweltveränderungen

### Einzelbaum

„Genetischer Werkzeugkasten“ (Mischerbigkeit = Heterozygotie) ermöglicht physiologisch-morphologische Reaktionsmöglichkeiten (wichtig bei langlebigen Organismen)

## Geographisch-genetische Differenzierung: Spätfrostschäden



**Stufe 0** ■: keine Frostschäden

**Stufe 1** ■ : <50 % der Blätter braun

**Stufe 2** ■ : >50 % der Blätter braun

**Stufe 3** ■ : alle Blätter erfroren

# I. Innerartliche Anpassungspotenziale: Genetische Vielfalt

## Räumliche Ebenen:

### Geographische Herkunft

Genetische Differenzierung hat unterschiedliche Anpassungsmuster hervorgebracht (z.B. gegenüber Trockenheit, Hitze, Winter- und Spätfrösten)

### Bestand (Population)

Generative Verjüngung erlaubt Bereitstellung eines großen „Zufallsangebots“ an Samen und Sämlingen mit unterschiedlichen genetischen Eigenschaften → „Versicherungsschutz“ gegenüber Umweltveränderungen

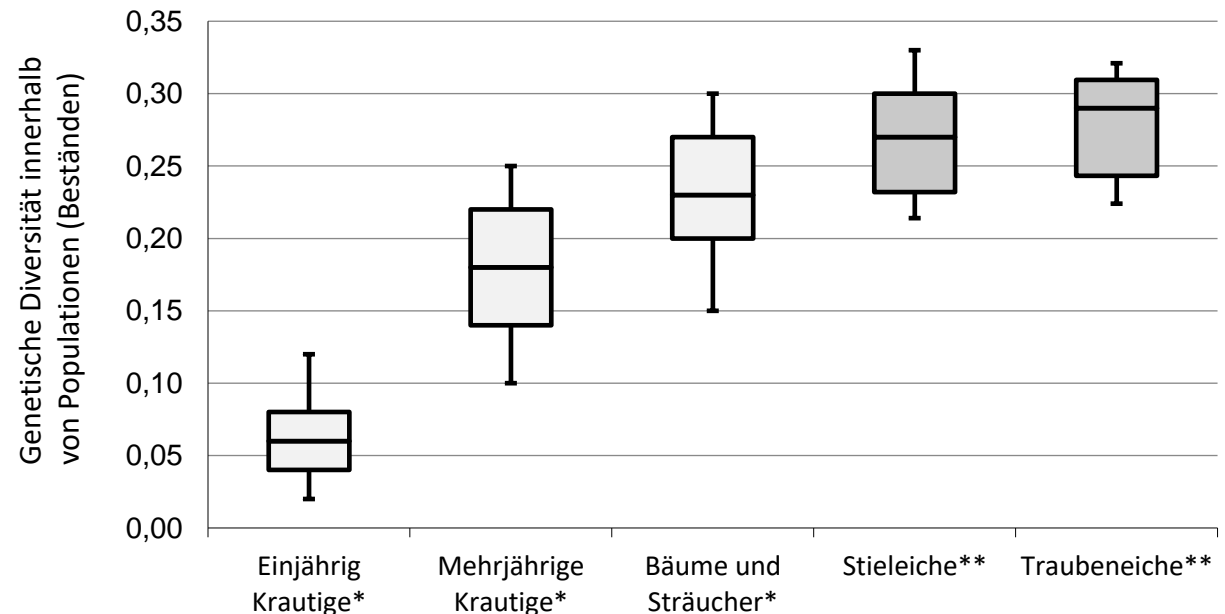
### Einzelbaum

„Genetischer Werkzeugkasten“ (Mischerbigkeit = Heterozygotie) ermöglicht physiologisch-morphologische Reaktionsmöglichkeiten (wichtig bei langlebigen Organismen)

## Besonderheiten von Waldbaumarten

- effizienter Genfluss (Pollen-, Samenausbreitung)
- große Zahl an Nachkommen, überlappende Generationen
- Inzuchtvermeidung

Hohe genetische Vielfalt innerhalb von Populationen



# I. Innerartliche Anpassungspotenziale: Genetische Vielfalt

## Räumliche Ebenen:

### Geographische Herkunft

Genetische Differenzierung hat unterschiedliche Anpassungsmuster hervorgebracht (z.B. gegenüber Trockenheit, Hitze, Winter- und Spätfrösten)



### Bestand (Population)

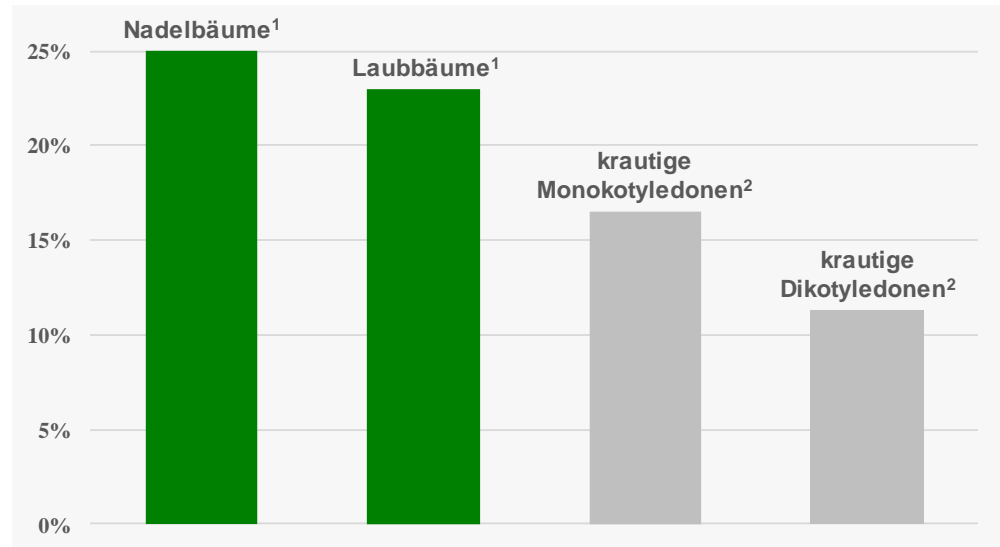
Generative Verjüngung erlaubt Bereitstellung eines großen „Zufallsangebots“ an Samen und Sämlingen mit unterschiedlichen genetischen Eigenschaften → „Versicherungsschutz“ gegenüber Umweltveränderungen



### Einzelbaum

„Genetischer Werkzeugkasten“ (Mischerbigkeit = Heterozygotie) ermöglicht physiologisch-morphologische Reaktionsmöglichkeiten (wichtig bei langlebigen Organismen)

## Durchschnittswerte für Individuelle Heterozygotie (Isoenzyme)



Individueller Heterozygotiegrad (Mischerbigkeitsgrad) langlebiger Nadel- und Laubbäume sowie kurzlebiger krautiger Pflanzenarten

## Besonderheiten von Waldbaumarten:

- langlebig und ortsfest
- während der Ontogenese starker Umweltheterogenität ausgesetzt



- hohe physiol. Reaktionsfähigkeit
- hohe genetische Vielfalt innerhalb einzelner Bäume (individuelle Heterozygotie = Mischerbigkeit)

## II. Ökologisch-genetische Eigenschaften der Eichen

### Anpassungskapazitäten und Plastizität

- **hohe genetische Vielfalt** innerhalb der Arten (**Populationsebene, Provenienzen**)
- **schnelle Reaktionsfähigkeit** einzelner Individuen auf Umweltveränderungen: Effiziente Steuerung der Fotosynthese; Blattmorphologie; Spross-/Wurzelverhältnis
- Eichen kommen mit »extremere« Standortbedingungen deutlich besser zurecht als ihre ansonsten überstarke Konkurrentin – die Buche

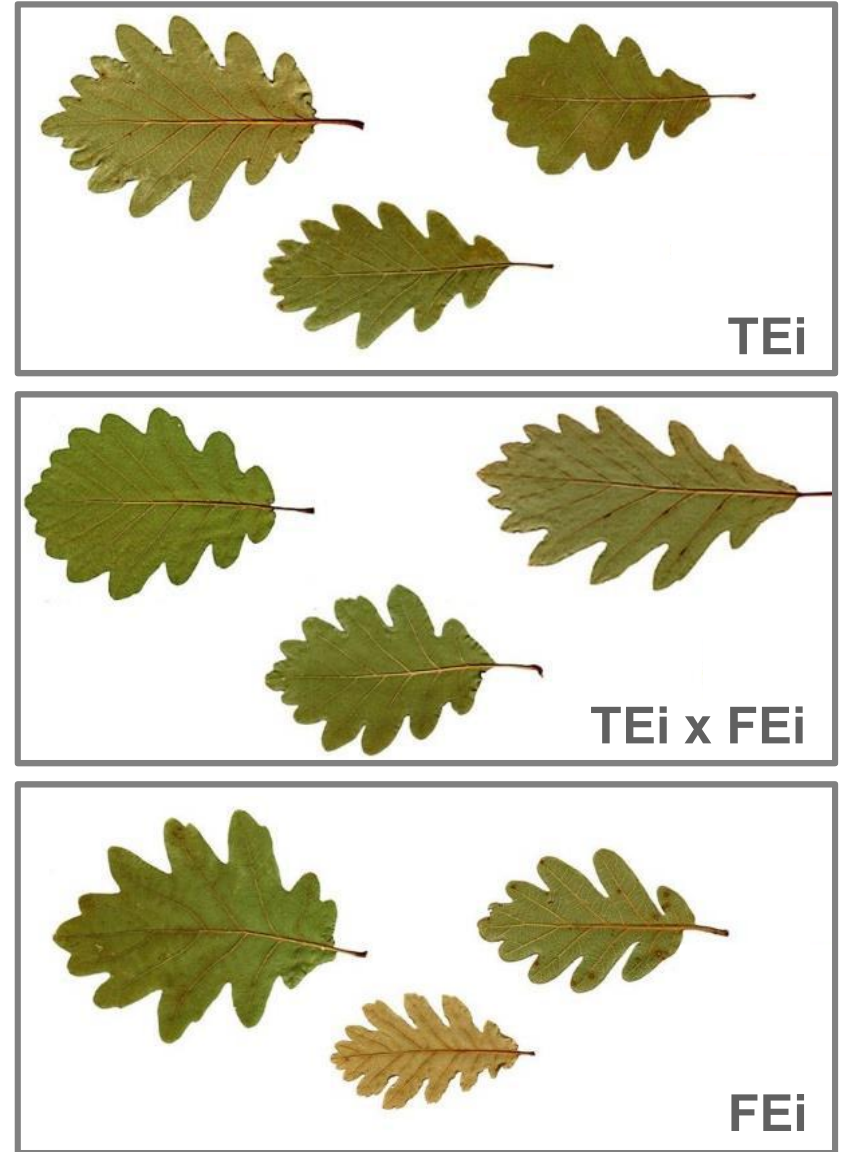


Trauben-Eichen (teilweise über 500-jährig) auf Extremstandort: Südexponierter Steilhang in Mischung Mehl- und Elsbeere (Kahle Hardt, Hessen); Foto: Höltken

## II. Ökologisch-genetische Eigenschaften der Eichen

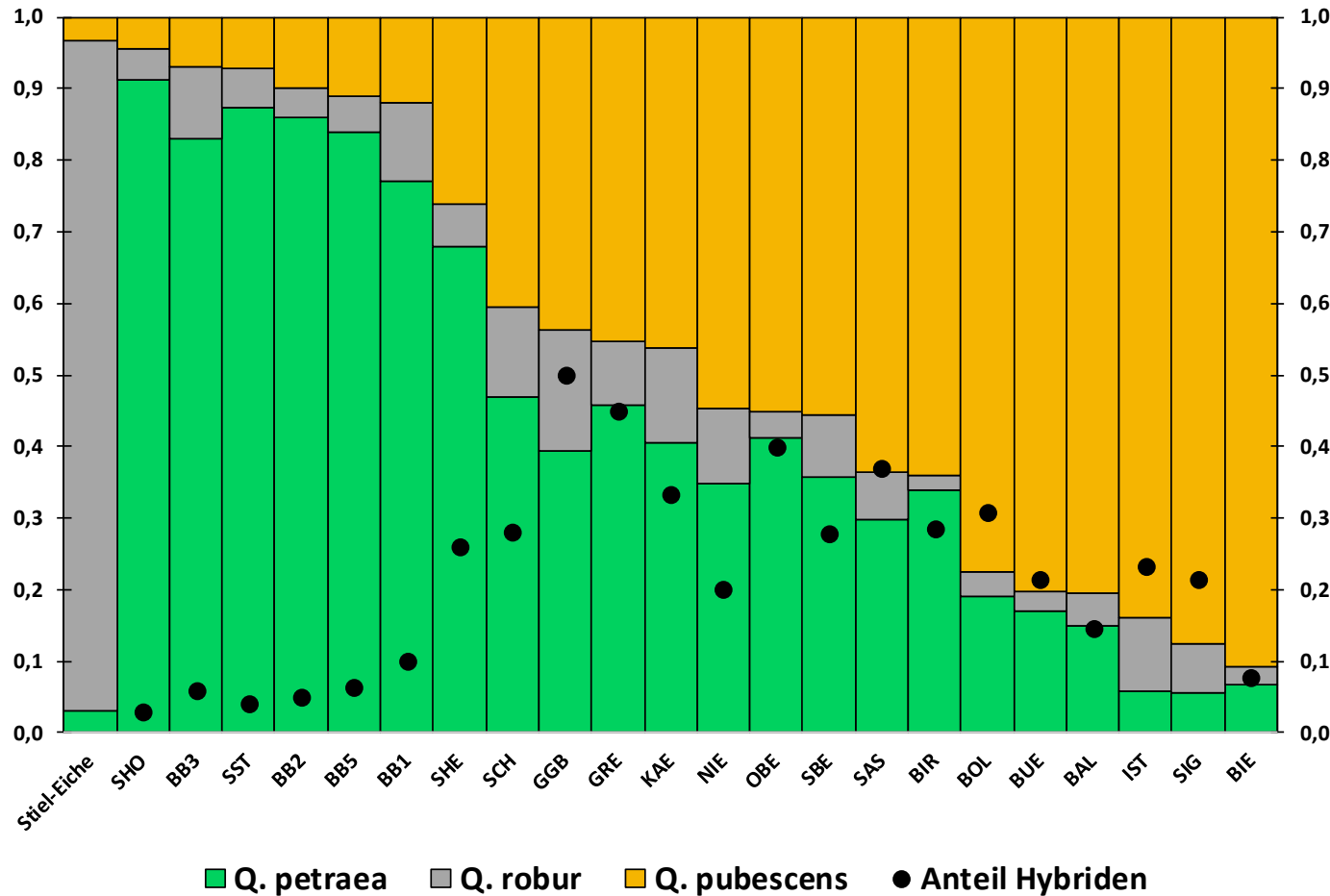
### Bedeutung der Bastardierung

- **Hybridisierung** eher selten, so dass Artgrenzen weitestgehend erhalten bleiben und doch so häufig, dass die Arten über Kreuzung und Rückkreuzung Gene austauschen (Entstehung neuer genetischer Rekombinationen)
- Möglichkeit der **Akkumulation neuer (oder seltener) genetischer Varianten** → **effizientes Anpassungssystem** bei drastischen Umweltveränderungen



# II. Ökologisch-genetische Eigenschaften der Eichen

## Artanteile in verschiedenen Eichenbeständen



### ➤ Forstliche Lehrbücher:

Die Flaumeiche hat in der Forstwirtschaft aktuell keine wirtschaftliche Bedeutung, [siehe auch BGBI (2002) zum FoVG]

### ➤ Forschungsdaten zeigen aber:

Die Flaumeiche ist in vielen (Trauben-) Eichenbeständen mit gewissen genetischen Anteilen vertreten (in Form von Hybriden über genetische Introgression)

## II. Einfluss des Menschen auf genetische Ressourcen

### Prädisponierende Faktoren

- großflächige Aufforstungen mit nicht standortgerechten Baumarten / Provenienzen
- Vernachlässigung des gesamten Anpassungsspektrums einer Art (Unterbrechung natürlicher Anpassungsprozesse)
- Aufforstungen mit Saatgut von nur wenigen Mutterbäumen (genetischer Flaschenhals)
- Wandel forstwirtschaftlicher Betriebsformen
- ...



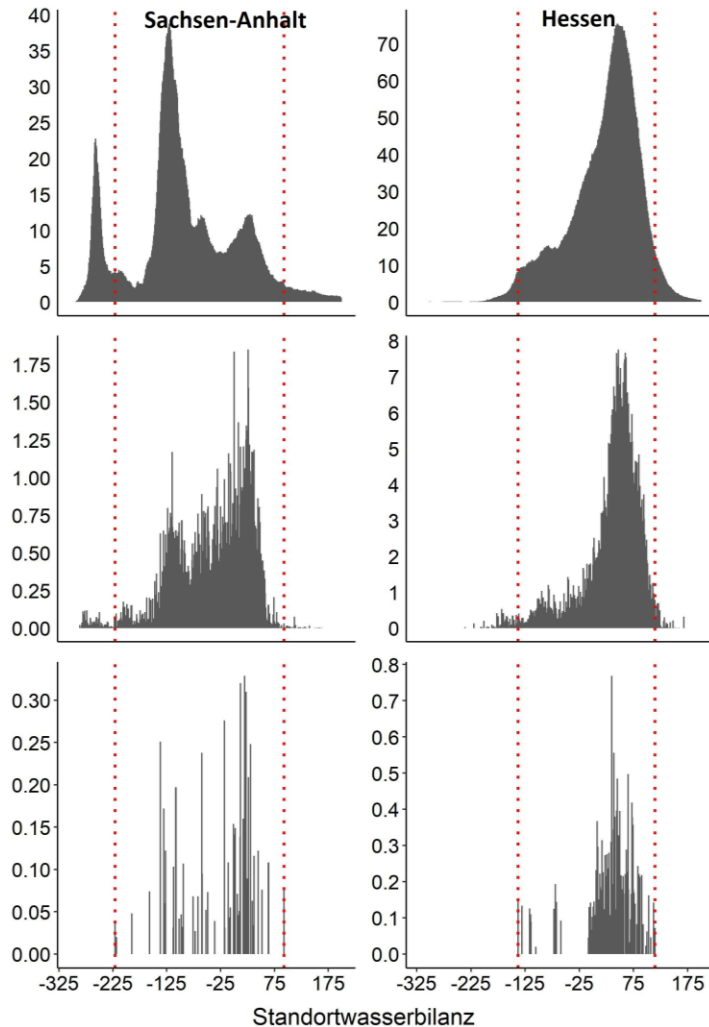
### Globale Umweltveränderungen

- Klimawandel (Veränderung der Standortbedingungen aufgrund zunehmender Trockenheit, Hitze)
- Begünstigung vorhandener bzw. Einfuhr neuer Schadorganismen

➤ **Verfügbarkeit von Anpassungskapazitäten für künftige Herausforderungen?**

# II. Einfluss des Menschen auf genetische Ressourcen

## Forstsaatgutbestände



### Auswahlkriterien für die Zulassung von Saatguterntebeständen

- Hohe Vitalität
- Volumenzuwachs
- Holzqualität
- Form und Habitus

**Beerntung nahezu ausschließlich in Beständen auf besser wasserversorgten Standorten (oft Buchenwaldstandorte)**

# II. Einfluss des Menschen auf genetische Ressourcen

## Stochastische Effekte der Saatguternte auf die genetische Vielfalt

### Anforderungen an die Beerntung von „ausgewähltem“ Vermehrungsgut gemäß Gutachterausschuss (gGA)

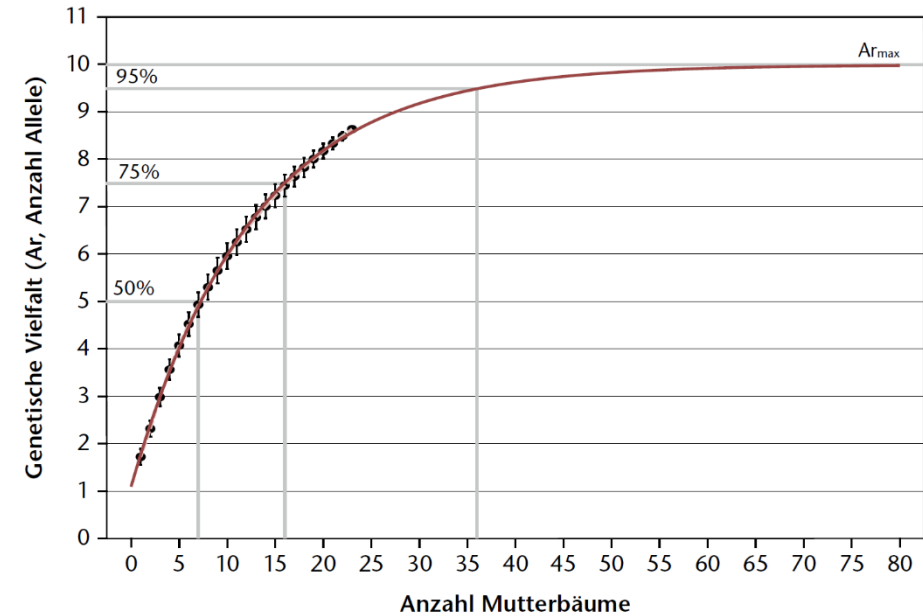
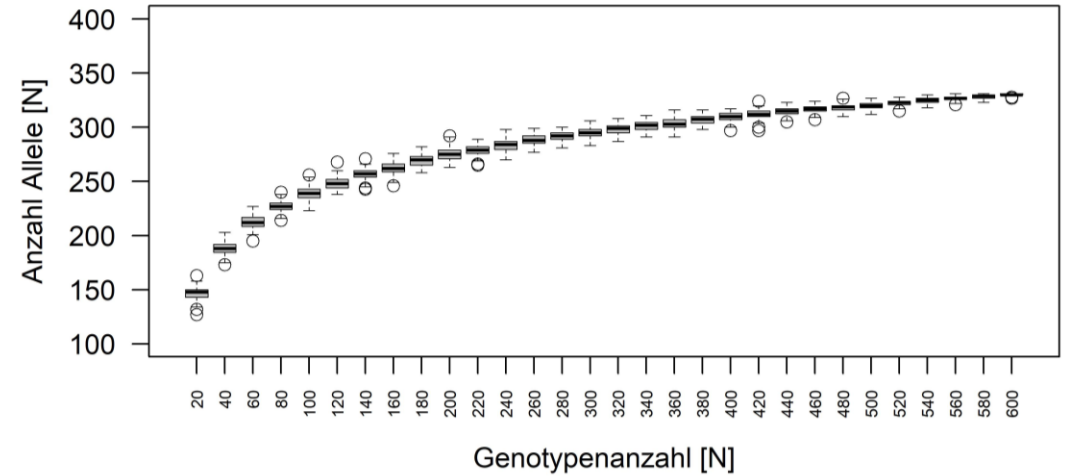
Mindestanzahl Bäume pro Bestand:	40
Mindestanzahl zu beerntender Bäume pro Bestand:	20

### Genetische Vielfalt des Saatguts im Verhältnis zum Ausgangsbestand



### Minimale Anzahl zu beerntender Bäume

50 %	7
75 %	16
95 %	35



## Eichenbestände auf Extrem-Standorten (potenzielle Eichen-Reliktbestände)



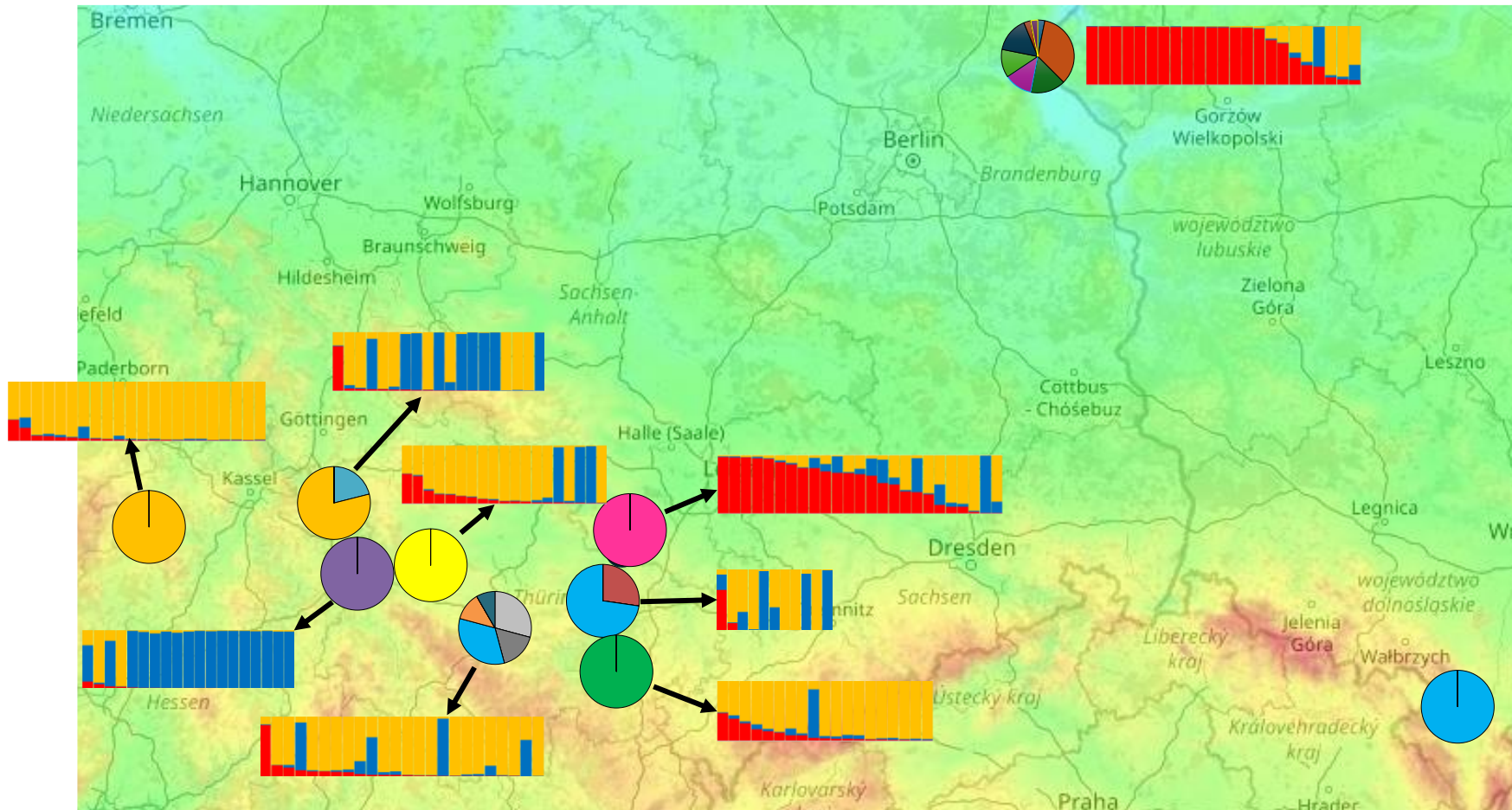
Trockenwaldgesellschaft mit Trauben-, Flaum- und Stieleiche, Elsbeere am Großen Gleisberg, Thüringen

### Auswahlkriterien für weitere Untersuchungen

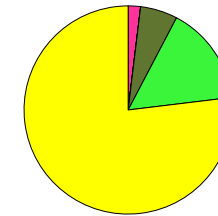
- Standortbedingungen (Trockenheit, Hitze) mit entsprechender Begleitflora /-fauna
- Keine forstliche Nutzung oder höchstens extensive, traditionelle Nutzungsformen (Mittelwald, Waldweide etc.)
- Genetische Strukturen
  - Artzusammensetzung, Hybridisierung
  - Chloroplasten-DNA

# III. Erfassung und Charakterisierung genetischer Ressourcen heimischer Eichenarten




## Eichenbestände auf Extrem-Standorten (potenzielle Eichen-Reliktbestände)



Häufigkeit verschiedener Chloroplasten-Haplotypen (cpDNA) innerhalb der untersuchten Eichenvorkommen:



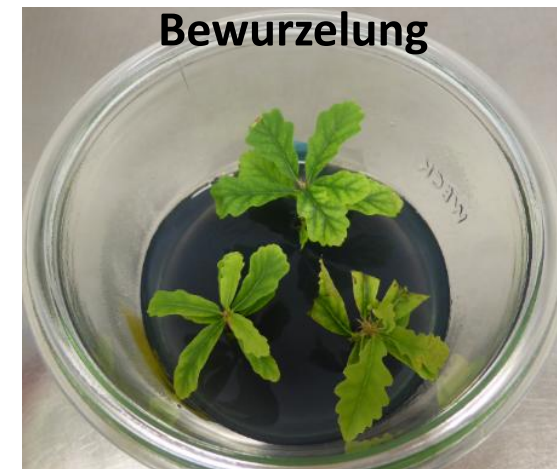
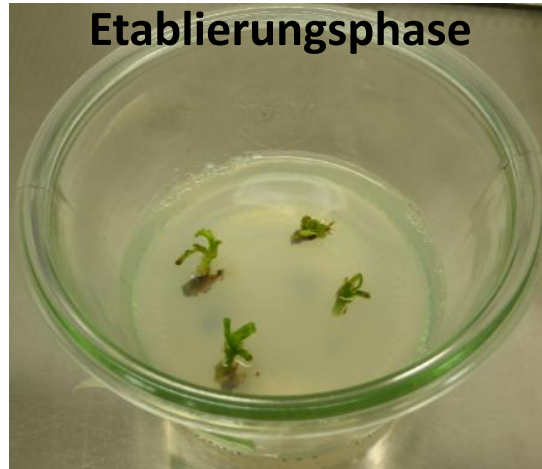
Artzusammensetzung:

-  *Quercus petraea*
-  *Quercus robur*
-  *Quercus pubescens*

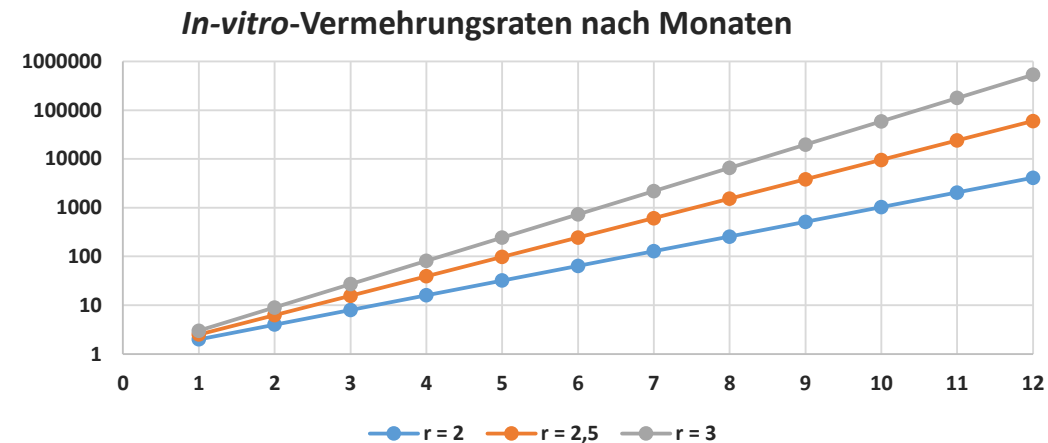
# III. Erfassung und Charakterisierung genetischer Ressourcen heimischer Eichenarten

## Vegetative Vermehrung von Versuchspflanzen aus Altbäumen (*In-vitro*-Verfahren)

Sterile  
Bedingungen



Gewöhnung  
an „reale“  
Bedingungen



# III. Erfassung und Charakterisierung genetischer Ressourcen heimischer Eichenarten

## Vorteile der *In-vitro*-Vermehrung für Versuchszwecke

- Reproduzierbarkeit der Versuchsdaten durch klonale Wiederholung eines Genotyps mit bestimmten Eigenschaften
- Rejuvenilisierung von Altbäumen
- Standardisierte Anzuchtbedingungen (Nährstoffe, Wasser, Temperatur, Licht)
- Unbegrenzte und jahreszeitlich unabhängige Produktion von Versuchsgliedern für Labor- und Feldversuche
- Synchronisation der Lebensphasen der Versuchsglieder
- wurzelechte Pflanzen, keine Beeinflussung durch Pfropfunterlage
- Assoziationsstudien: Korrelation von genetischer Information mit physiologisch-morphologischen Eigenschaften der Pflanzen unter verschiedenen Umweltbedingungen



# III. Erfassung und Charakterisierung genetischer Ressourcen heimischer Eichenarten

## Genetisch-physiologische Untersuchungen

- Physiologie/Morphologie
  - Verschiedene Szenarien der Wasserversorgung,
  - Blattflächen, Chlorophyllgehalt, Zuwachs (ober- und unterirdische Biomasse)
  - Fotosynthesekapazität und -effizienz
- Bedeutung des artübergreifenden Austauschs spezifischer, auch klimarelevanter Merkmale (fließende Übergänge zwischen reinen Arten und Hybriden)
- Basis für die Entwicklung von genetischen Screening-Methoden zur Detektion von Anpassungsmustern an extreme Standortbedingungen (Trockenheit, Hitze)



# III. Erfassung und Charakterisierung genetischer Ressourcen heimischer Eichenarten

## Anlage von Herkunftsversuchen (Nachkommenschaftsversuche)

Es existieren keine Herkunftsversuche für die Trauben-Eiche, die Informationen zu Anpassungsmustern (Überlebensraten, Wuchtleistung) an unterschiedliche Wasserverfügbarkeit liefern.



$$\text{SWB} = \text{KWB} + \text{nFK}$$

Standortwasserbilanz (SWB)

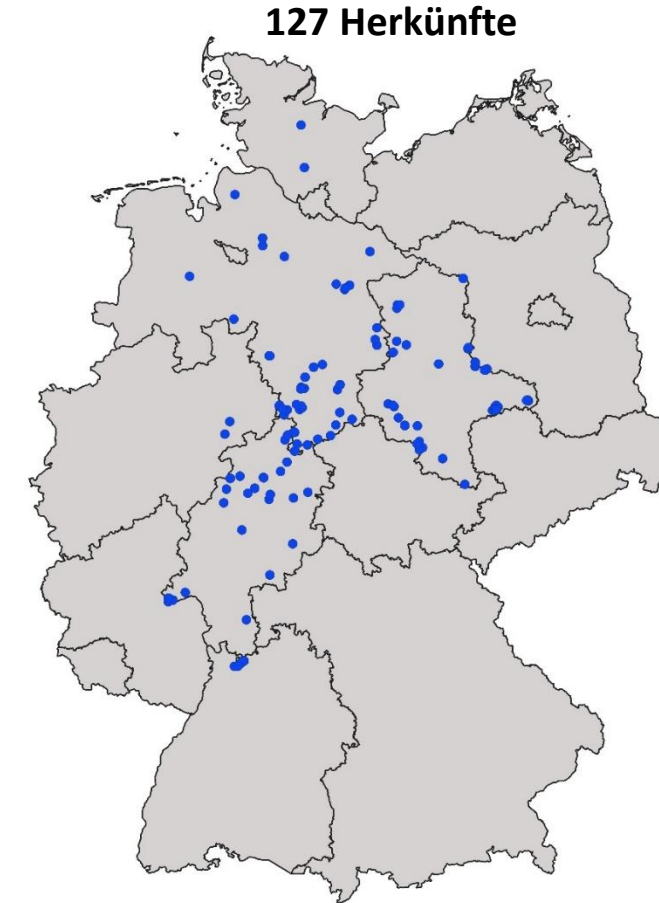
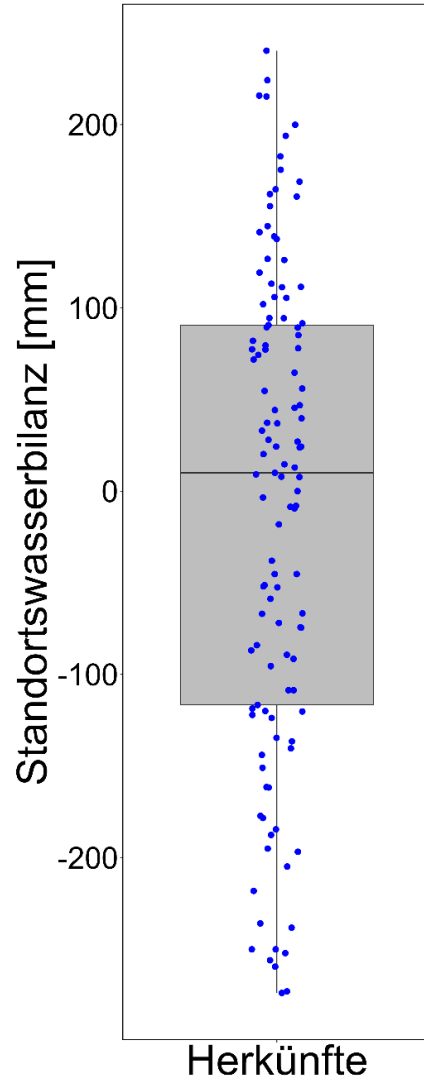
## Anlage von Herkunftsversuchen (Nachkommenschaftsversuche)

### 127 Herkünften beerntet:

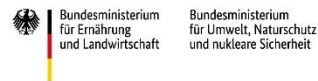
- Saatgut aus 124 TrEi-Beständen geerntet
- 3 Flaumeichenherkünfte (Vilmorin, Frankreich)

### Kriterien:

- innerhalb SWB-Spannbreite (-300 bis +300 mm)
- Mindestalter
- Mindestgröße



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

# III. Erfassung und Charakterisierung genetischer Ressourcen heimischer Eichenarten

## Nachkommenschaftsversuche: Saatguternte und Pflanzenanzucht

Land	Erntemenge [kg]
HE	350
NI	415
ST	439
SH	24
NW	22
Summe	1.251



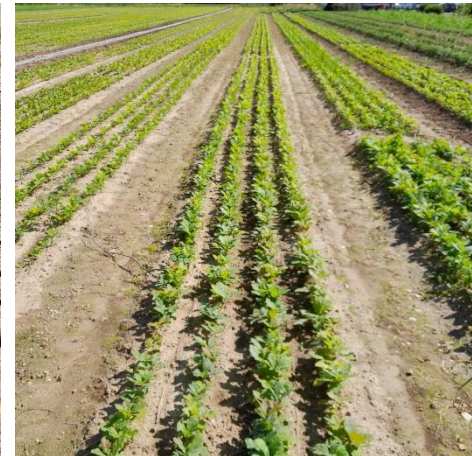
**3-4 Bäume je Bestand**

- Vitalität
- guter Behang
- freie Sammelstellen

**3-4 kg je Erntebaum**

- BHD
- Koordinaten
- Bilder

	Min [g]	Max [g]	Mittel [g]
Tausendkorngewicht	1010	6770	3596



- Bewässerung
- Unterschneiden (nach 1 Jahr)
- Beikrautregulierung
- Pflanzenschutz

- 1.870 m Beetlänge
- ca. 300.000 Pflanzen



Gefördert durch:

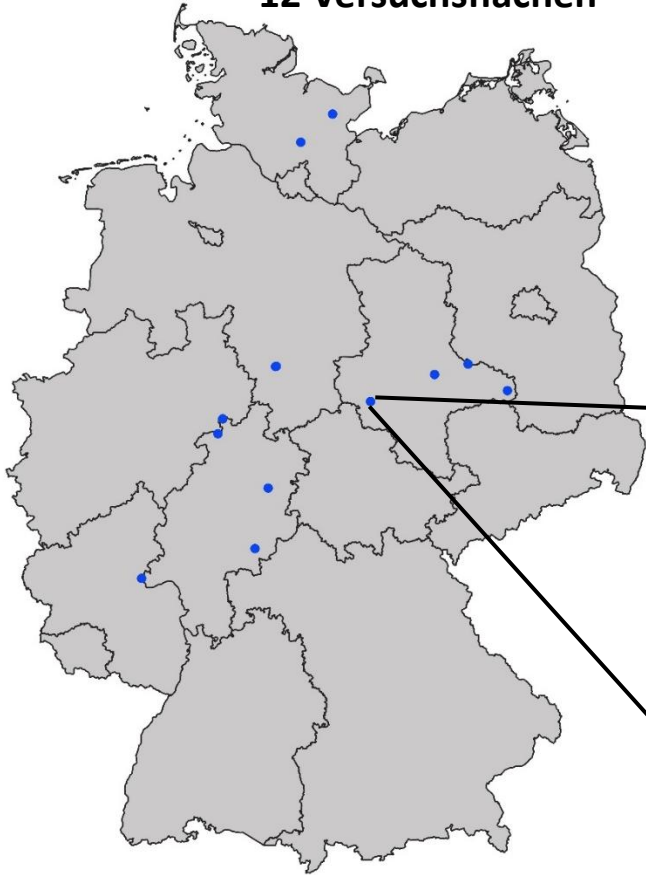


aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

# III. Erfassung und Charakterisierung genetischer Ressourcen heimischer Eichenarten

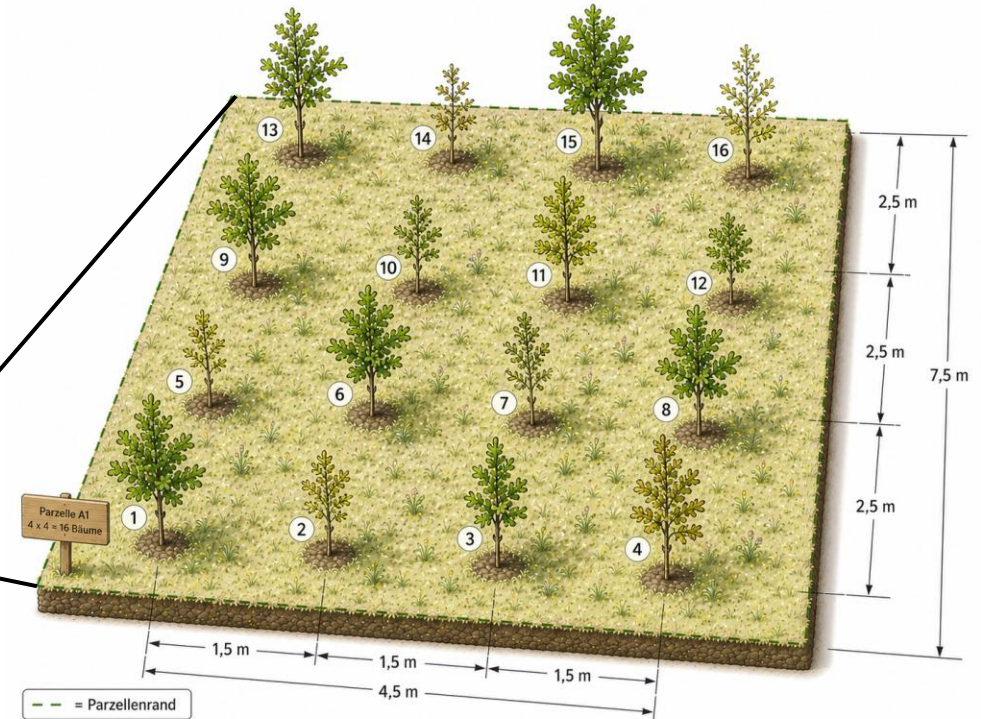
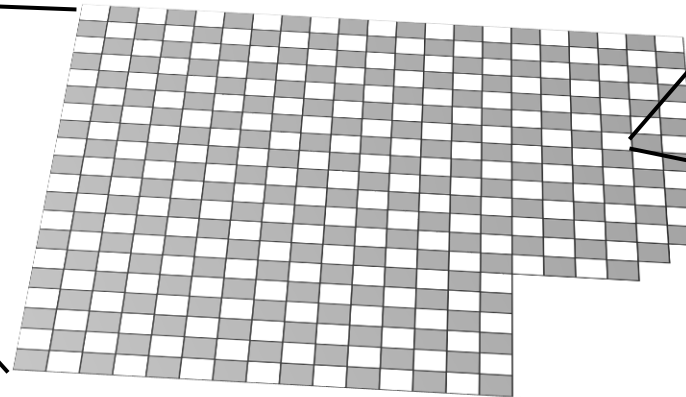
## Nachkommenschaftsversuche (Feldversuche)

### 12 Versuchsfelder



### 127 Herkünfte (Prüfglieder):

- 16 Bäume (Parzelle)
- 1 x 1,5 m (Verband)
- 3 Wiederholungen



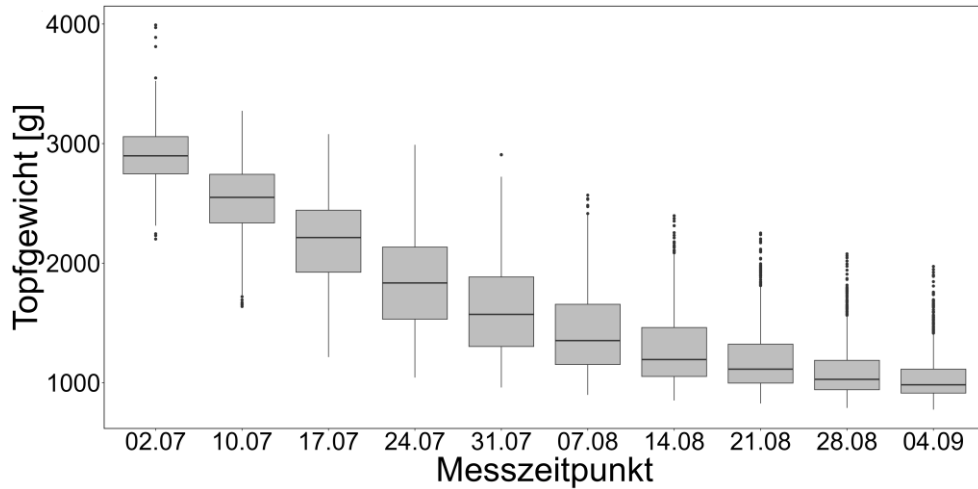
# III. Erfassung und Charakterisierung genetischer Ressourcen heimischer Eichenarten

## Nachkommenschaftsversuche: Kontrollierte Trockenstressversuche im Gewächshaus



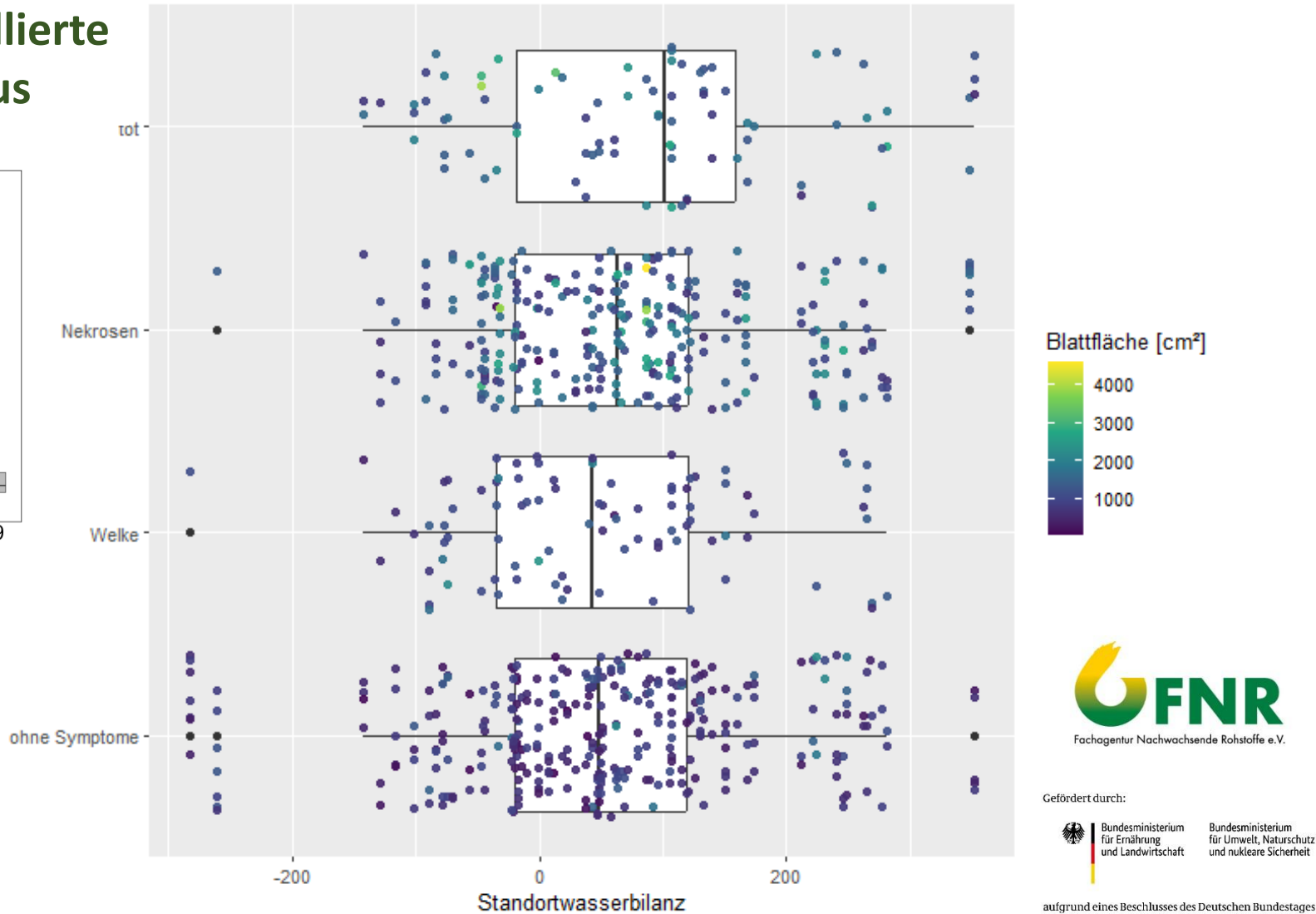
# III. Erfassung und Charakterisierung genetischer Ressourcen heimischer Eichenarten

## Nachkommenschaftsversuche: Kontrollierte Trockenstressversuche im Gewächshaus



Ergebnisse ANOVA:

	Chi Sq	Pr
SWB	5.338	0.02086
BIFläche	262.886	< 2e-16



## IV. Schlussfolgerungen

- Das Potenzial des einheimischen Baumartenspektrums bzw. etablierter Gastbaumarten ist noch nicht ausgeschöpft: Arten, Anpassungsmuster innerhalb der Arten (Genetik)
- Mit der Wahl des Vermehrungsgutes wird der Grundstein für erfolgreiches, waldbauliches Handeln gelegt
- Ziel derzeitiger Eichen-Forschung: Integration spezifischer, erblich bedingter Anpassungsmuster in Herkunftsempfehlungen
  - Anpassung von Herkunftsempfehlungen um künftige Standorts- und Klimaverhältnisse
  - Ausweisung von Verwendungszonen, die dynamisch an die jeweiligen Klimaerwartungen am jeweiligen Standort angepasst werden können
  - Detektion von Anpassungsmustern mit Hilfe genomweiter Screening-Methoden: Effiziente Auswahl und Etablierung von Saatgutquellen

## IV. Schlussfolgerungen

- Konzepte zur Sicherung wertvoller genetischer Ressourcen für die Verwendung auf möglichst breiter Standortsamplitude
  - Ausweisung von Saatguterntebeständen (neue Kriterien)
  - Modifikation von Bewirtschaftungs- und Beerntungsmethoden
  - Design spezieller Samenplantagen