

# Untersuchungen zur abiotischen Resistenz von Pappeln

---

Marek Schildbach\*

## Zusammenfassung

Die Resistenz gegenüber abiotischen Schadfaktoren ist ein entscheidendes Kriterium für die Auswahl von Pappelklonen zum Anbau in Kurzumtriebsplantagen. Im Rahmen des Verbundprojektes „FastWOOD“ werden bei SACHSENFORST bereits vorhandene sowie neu gezüchtete Klone und Nachkommenschaften der Gattung Pappel auf ihre Toleranz gegenüber Frost und Trockenheit geprüft.

Die Untersuchungen zur Trockenheitsresistenz umfassen die Bonitur von Trockenschäden auf Versuchsflächen, Austrocknungsversuche im Gewächshaus sowie die Bestimmung der hydraulischen Leitfähigkeit im Labor. Die Reaktion auf Trockenheit ist klonspezifisch und sehr stark von Zeitpunkt des Auftretens abhängig. Wassermangel nach der Pflanzung sowie im späten Frühling führt zu den größten Schäden. Die Frostresistenz wird mit Austriebs- und Triebabschlussbonituren sowie mit zusätzlichen Frosttests ermittelt. Sowohl bei der Früh- als auch bei der Spätfrostgefährdung zeigen sich große klonspezifische Unterschiede.

**Schlüsselwörter:** *Pappel, Trockenheit, Frost, Resistenz*

## Abstract

### Analysis of abiotic resistance of poplars

The resistance to abiotic factors is a key criterion for the selection of poplar clones for cultivation in short-rotation plantations. Within the framework of the joint project “FastWOOD” the public enterprise “Sachsenforst” examines existing and newly bred clones and progeny of the genus poplar on their tolerance to frost and drought. The studies on drought resistance include the classification of drought damage at sample plots, dehydration experiments in the greenhouse and the determination of hydraulic conductivity in the laboratory. The response to drought is specific to clones and also highly dependent on the time of occurrence. Lack of water after planting and in late spring causes the greatest damage. The frost resistance is determined by assessment of sprouting and shoot growth cessation phase. Additional frost test are used to determine the extent of damage. Both in the early and in the late frost risk, there are big differences between the clones.

**Keywords:** *poplar, drought, frost, resistance*

---

\* Staatsbetrieb Sachsenforst, Kompetenzzentrum Wald und Forstwirtschaft, Referat Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung, 01796 Pirna OT Graupa

## Einleitung/Hintergründe:

Das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) fördert über die Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) seit 2008 das Verbundvorhaben „Züchtung schnellwachsender Baumarten für die Produktion nachwachsender Rohstoffe im Kurzumtrieb“ (FastWOOD). Das Ziel dieses Projektes besteht darin, die Voraussetzungen für einen großflächigen, betriebssicheren und wirtschaftlichen Anbau von schnell wachsenden Baumarten auf landwirtschaftlichen Flächen zu schaffen. Um dieses Ziel zu erreichen, beschäftigen sich im Rahmen von FastWOOD und unter der Koordination der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (NW-FVA) insgesamt acht Institutionen mit allen Aspekten der Züchtung von Pappeln, Weiden und Robinien. Dies beinhaltet die Sichtung älterer Versuchsflächen, die genetische Charakterisierung und Identifizierung, die kontrollierte Neukreuzung, die Anlage von Nachkommenschafts- und Klonprüfungen, die physiologische und morphologische Charakterisierung, Untersuchungen zum Resistenzverhalten, Simulationsstudien sowie die Anlage von Modellflächen.

Das Kompetenzzentrum Wald und Forstwirtschaft bei Sachsenforst (Referat Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung) hat dabei die Untersuchungen zur abiotischen Resistenz für die Neuzüchtungen der Projektpartner übernommen. Im Mittelpunkt steht die Prüfung der Trockenheits- und der Frostresistenz mit unterschiedlichen Methoden.

Neben der Wüchsigkeit und der Krankheitsresistenz ist die abiotische Resistenz eines der wichtigsten Kriterien bei der Auswahl neuer Klone und Nachkommenschaften für den Kurzumtrieb. Bisherige Untersuchungen zeigen, dass vor allem Trockenheit zu verminderten Anwuchs- und Wachstumsraten in Kurzumtriebsplantagen (KUP) führt (Wolf und Böhnisch, 2004; Thiele, 2008; Schildbach et al., 2010). Am

Beispiel der KUP Methau I lässt sich der Zusammenhang von Zuwachs und (Frühjahrs-)Niederschlag gut darstellen: Mit Ausnahme der Etablierungsjahre (1996 und 1997) verlaufen der Radialzuwachs und der Frühjahrsniederschlag annähernd gleich. Liegt der Frühjahrsniederschlag nur bei 50 % des langjährigen Mittels, fällt auch der Zuwachs im selben Maße geringer aus (Abbildung 1). Ist reichlich Niederschlag vorhanden, so ist auch das Wachstum überdurchschnittlich.

Dabei hängt es vom jeweiligen Pappelklon ab, wie hoch der Zuwachs in guten Jahren ausfallen kann, bzw. wie stark der Zuwachsrückgang in Dürrejahren ist. Die Trockenheitsresistenz der Klone hat damit konkrete Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit einer KUP. Ihre Bedeutung wird weiterhin zunehmen, da im Zuge des Klimawandels für die nächsten Jahrzehnte in Deutschland mit einem weiteren Anstieg der Durchschnittstemperatur und einem Rückgang der monatlichen Niederschläge vor allem im Sommer zu rechnen ist (Küchler und Sommer, 2005). Trotz der Klimaerwärmung wird es auch weiterhin Früh- und Spätfröste geben, die Schäden an KUP verursachen können. Gerade bei der Nutzung nichtheimischer Arten muss deren Eignung für das jeweilige regionale Klima sichergestellt werden.

## Material

Die Untersuchungen zur Frost- und Trockenheitsresistenz finden fortlaufend an neu gezüchteten Pappelklonen der NW-FVA, an verschiedenen marktverfügbaren Standardpappelklonen sowie an eigenen Neuzüchtungen der Baumart *Aspe* statt. Die Auswertungen dieses Artikels beruhen auf Versuchen an 26 Pappelklonen der Sektion *Tacamahaca*, an 10 Klonen der Sektion *Aigeiros* sowie an 11 intersektionellen Klonen der Sektionen *Tacamahaca* und *Aigeiros* (Tabelle 1).

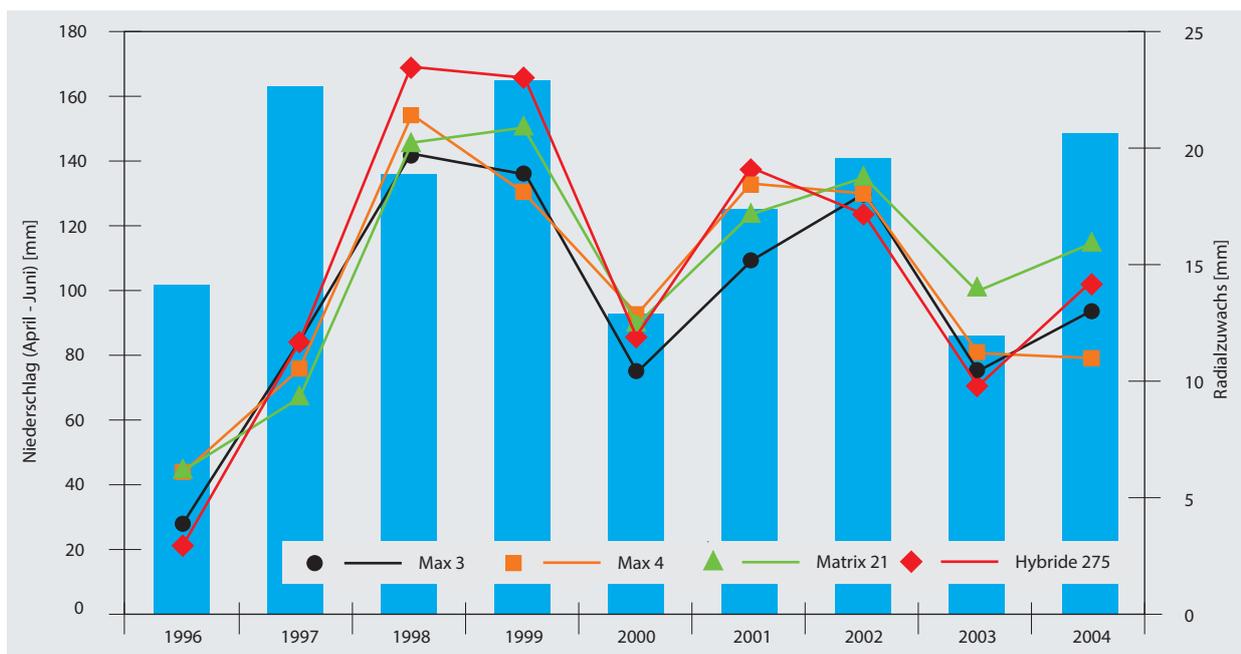


Abbildung 1

Zusammenhang zwischen Frühjahrsniederschlag (April bis Juni) und Radialzuwachs auf der Versuchsfläche Methau I (nach Daten aus Thiele, 2008).

**Tabelle 1**

Ausgangsmaterial für die Resistenzuntersuchungen. (Sektion A = Aigeiros, T = Tacamahaca, A x T = intersektionelle Kreuzung zwischen A und T; „x“ = durchgeführte Versuche)

Name	weitere Bezeichnung	Sektion	Trockenheitsresistenzuntersuchung			Frostresistenzuntersuchung	
			Feldversuch	Gewächshaus	Labor	Bonitur	Klimakammer
17	NW 7-17 C	T	x	x			x
18	NW 7-18 D	T	x	x			x
61	NW 7-61 E	T	x	x			x
72	NW 7-72 T	A x T	x	x			x
91	NW 7-91 R	T	x	x			x
177	NW 7-177 T	A x T	x				
180	NW 7-180 W	A x T	x	x			x
183	NW 7-183 A	A x T	x	x			x
197	NW 7-197 S	T	x				
200	NW 7-200 V	T	x	x			x
204	NW 7-204 A	T	x	x			x
226	NW 7-226 B	T	x	x			x
234	NW 7-234 L	T	x				
236	NW 7-236 N	T	x	x			x
237	NW 7-237 P	T	x				
244	NW 7-244 X	A x T	x	x			x
255	NW 7-255 L	T	x	x			x
264	NW 10-264 N	A x T	x				
344	NW 7-344 S	T	x				
352	NW 7-352 B	T	x				
375	NW 7-375 D	T	x	x			x
491	NW 7-491 S	T	x	x			x
559	NW 7-559 X	A x T	x				
587	NW 7-587 F	T	x	x			x
726	NW 7-726 W	T	x				
AF 2	NW 9-868 G	A	x		x	x	
AF 6	AF 6	A			x	x	
AF 8	AF 8	A			x	x	
Andr.	NW 7-622 X / Androscoggin	T	x	x	x	x	x
Fritzi	Fritzi Pauley	T			x	x	
H. 275	NW 7-728 Z / Hybride 275	T	x	x	x	x	x
Harff		A			x	x	
Heid.	Heidemij	A				x	
I 214		A			x	x	
Jac.	Jacometti 78B	A			x	x	
Kolt.	Koltay	A			x	x	
M.L.	NW 7-605 C / Muhle Larsen	T	x		x	x	
Matr. 11	NW 7-199 U / Matrix 11	T	x				
Matr. 49	NW 8-1975 X / Matrix 49	T	x				
Max 1	NW 7-729 A	A x T	x	x	x	x	x
Max 3	NW 7-730 B	A x T	x	x	x	x	x
Max 4		A x T			x	x	
Mon.	Monviso	A x T			x	x	
Pan.	Pannonia	A			x	x	
Rob.	NW 7-843 L / Robusta	A	x	x	x	x	x
Wes. 4	NW 7-735 G / Weser 4	T	x				
Wes. 6	NW 7-737 K / Weser 6	T	x				

Aufgrund von Materialmangel, Platzmangel und Anzuchtproblemen konnten die verschiedenen Versuche bisher jeweils nur an einem Teil der dargestellten Klone durchgeführt werden. Die ergänzenden Untersuchungen laufen derzeit noch.

Die Auswertungen des Feldversuchs im Kapitel Ergebnisse beziehen sich alle auf die Versuchsfläche Thammenhain II. Es handelt sich dabei um einen Klonprüfversuch mit 36 Pappelklonen mit jeweils 52 Pflanzen pro Parzelle. Durch die Anlage als randomisierter Blockversuch mit sechs Wiederholungen wurde der Einfluss von möglicherweise vorhandenen kleinräumigen Standortsinhomogenitäten weitgehend ausgeschaltet. Der Bodentyp dieser Fläche ist ein Braunerde-Pseudogley, die Bodenart ein lehmiger Sand (Ackerwertzahl 42). Die Jahresmitteltemperatur beträgt 8,1 °C bei einem langjährigen Niederschlagsmittel von 575 mm. Damit wird die für KUP empfohlene Niederschlagsmenge von mindestens 300 mm in der Vegetationszeit (Petzold et al., 2010) nicht ganz erreicht. Abgesehen davon ist dieser Standort gut für den Anbau von Pappeln geeignet.

### Methodik Trockenheitsresistenz

Zur Erfassung der Trockenheitsresistenz des Untersuchungsmaterials wurden drei Methoden verwendet (Tabelle 2). Dabei ging es zum einen darum, möglichst viele Informationen zur Reaktion der einzelnen Klone zu erhalten. Zum anderen sollte untersucht werden, wie sich die Trockenheitsresistenz am besten bestimmen lässt.

**Tabelle 2**

Methoden zur Untersuchung der Trockenheitsresistenz

Methode	Vorteile	Nachteile
Feldversuche	- Realistische, praxisrelevante Bedingungen - Längerfristige Beobachtungen möglich	- Abhängigkeit von entsprechender Witterung - Standortsinhomogenität
Austrocknungsversuche im Gewächshaus	- Kontrollierte Bedingungen - Witterungsunabhängig	- Platzbedarf - Hoher Betreuungsaufwand - Bedingte Verallgemeinerung auf Freiland
Untersuchung physiologischer Merkmale im Labor	- Witterungsunabhängig - Geringer Platzbedarf - Hoher Probenumsatz	- Interpretationsbedarf der Ergebnisse

Mit Feldversuchen wird erfasst, ob und wie stark die Bäume auf Versuchsflächen auf Trockenheit reagieren. In erster Linie wird dabei das aktuelle Stresslevel in Form des Laubverlusts bonitiert (Tabelle 3) bzw. der Anteil vertrockneter Bäume ermittelt. Reversible Schädigungen (hängende Blätter infolge von Turgorverlust) wurden im Feldversuch nicht aufgenommen, da sich dieser Zustand zu schnell ändern kann. Auf

allen im Rahmen von FastWOOD angelegten Versuchsflächen wurden beim Auftreten von Dürreperioden entsprechende Erhebungen durchgeführt.

**Tabelle 3**

Bonitur der Trockenschäden

Boniturstufe	Schädigung
0	Keine irreversiblen Schäden
1	Leichte Schäden (1 bis <25 % Laubverlust)
2	Mittlere Schäden (25 bis <50 % Laubverlust)
3	Starke Schäden (50 bis <100 % Laubverlust)
4	Vertrocknet

Die Unterschiede in der Trockenheits-Zuwachs-Reaktion wurden mittels Kovarianzanalyse überprüft, in der die Ausgangshöhe als Kovariate verwendet wurde.

Bei der zweiten Methode müssen die Pflanzen zuerst in Töpfen angezogen werden. Nach der Etablierungsphase der Bäume (bis zum Erreichen einer Höhe von ca. 30 bis 50 cm) erfolgen weitere Untersuchungen. Hierbei wurden verschiedene Vorgehensweisen getestet. Im ersten Fall wurde die Bewässerung der Pflanzen komplett eingestellt. Anschließend wurde alle zwei Tage die Bodenfeuchte mit einem Bodenfeuchtemessgerät (TDR100 bzw. HD2 mit Pico 32-Sonde) bestimmt, bis alle Pflanzen komplett vertrocknet waren (Abbildung 2). Parallel dazu erfolgte die Bonitur der irreversiblen Blattschäden (analog zur Aufnahme der Feldversuche) sowie die Aufnahme der reversiblen Blattschäden nach dem gleichen Muster.

Im zweiten Fall wurden die zu untersuchenden Bäume in eine Variante mit geringer Wasserversorgung und eine gut wasserversorgte Kontrollvariante eingeteilt. Über mehrere Monate hinweg wurden die Bäume der ersten, trockeneren Variante immer am Rande des Welkebereichs gehalten. Auch hier wurden begleitend die Bodenfeuchte und die Höhe gemessen sowie der Schadzustand der einzelnen Bäume bonitiert. Damit lässt sich über einen längeren Zeitraum hinweg der Zuwachsverlust der einzelnen Klone bei Trockenheit bestimmen. Aufgrund des hohen Arbeitsaufwands und des hohen Platzbedarfs wurden maximal 10 Pflanzen pro Klon und Variante untersucht.

Die dritte Methode – die Erfassung struktureller Parameter von Pflanzenteilen im Labor – beruht auf dem unterschiedlichen Wasserpotenzial frischer und trockener Pflanzen (Kramer, 1983). Entsprechend der „air seeding“-Hypothese gelangt bei zunehmender Austrocknung Luft in die Gefäße der Pflanze (Zimmermann, 1983), es bilden sich Embolien (Rust, 1999) und die hydraulische Leitfähigkeit der entsprechenden Triebabschnitte sinkt. Die Unterschiede in der Xylemstruktur können zu einer unterschiedlichen Embolieanfälligkeit führen und damit als Weiser für die Trockenheitsresistenz dienen. Zur Untersuchung dieses Sachverhalts wird im Labor die hydraulische Leitfähigkeit kurzer Abschnitte einjähriger Triebe mit dem XYLEM – Gerät gemessen (Cruziat et al., 2002) (Abbildung 3). Anschließend werden die



**Abbildung 2**

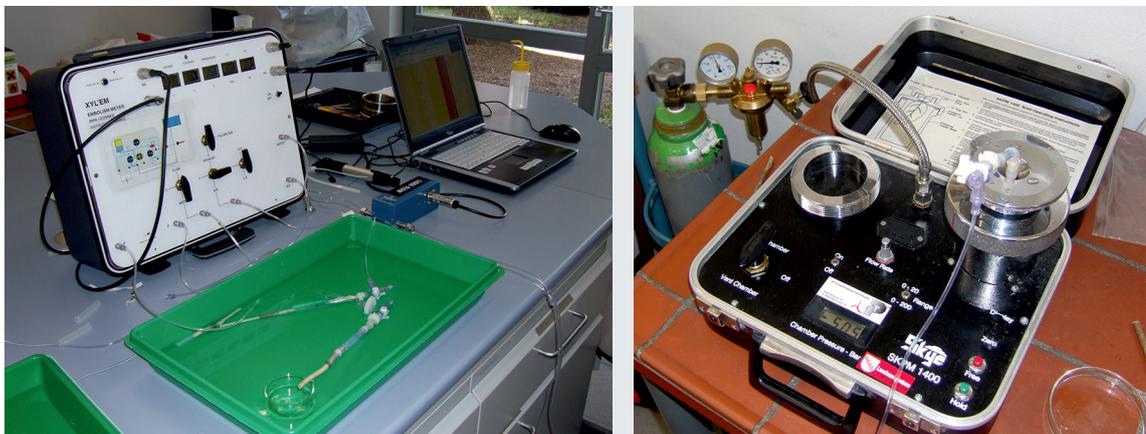
Austrocknungsversuche im Gewächshaus mit ungeschädigten (linkes Bild im Hintergrund) und geschädigten Pflanzen (linkes Bild, Vordergrund); Messung der Bodenfeuchte mit TDR 100 (rechts)

Triebabschnitte in eine Scholanderbombe eingespannt, in der mittels Druckluft Embolien in der Probe erzeugt werden. Nach einer kurzen Einwirkzeit wird der Druck abgelassen und erneut die hydraulische Leitfähigkeit des Triebabschnitts mit dem XYLEM – Gerät gemessen. Dieser Vorgang wird über fünf Druckstufen (0,1 bis 1 bar) wiederholt, wobei die hydraulische Leitfähigkeit kontinuierlich abnimmt. Aus den Messwerten wird für jede Probe eine Leitfähigkeitsverlustkurve erstellt. Der Nachteil dieser Methode liegt vor allem darin,

dass die Bestimmung der Trockenheitsresistenz indirekt über die Lage und den Verlauf der Leitfähigkeitsverlustkurve erfolgt.

### **Methodik Frost**

Zur Erfassung der Frostresistenz des Untersuchungsmaterials wurden zwei Methoden verwendet (Tabelle 4).



**Abbildung 3**

Messung der hydraulischen Leitfähigkeit mit dem XYLEM-Gerät (links). Erzeugung von Embolien in den Triebabschnitten mittels einer Scholanderbombe (rechts)

Tabelle 4

Methoden zur Untersuchung der Frostresistenz

Methode	Vorteile	Nachteile
Austriebs- und Triebabschlussbonitur	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Schnelle, einfache Grobcharakterisierung</li> <li>- Sehr gute Reproduzierbarkeit</li> <li>- Geringer Pflanzen- und Platzbedarf</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Unterschiedliche Frosthärte bei ähnlichem Austriebsverhalten nicht erfassbar</li> </ul>
Frosttest in der Klimakammer	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Unterschiedliche Frosthärte bei ähnlichem Austriebs-/Triebabschlussverhalten erfassbar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Höherer Aufwand</li> <li>- Witterungsbedingte und individuelle Störeinflüsse</li> </ul>

Die erste Methode, die Bonitur von Austrieb und Triebabschluss wurde über mehrere Jahre hinweg an Topfpflanzen angewandt (Tabelle 5). Abbildung 4 zeigt die wichtigsten Austriebsstadien.



Abbildung 4

Austrieb der Pappel in den Boniturstufen 1 bis 3 (nach Tabelle 5)

Mit den gewonnenen Daten lassen sich Aussagen darüber treffen, welche Klone durch welche Frostart überhaupt gefährdet sind. Spätaustreibende Klone sind naturgemäß kaum durch Spätfrost gefährdet, ebenso wie früh abschließende Klone weniger durch Frühfrost gefährdet sind. Mit dieser Methode sind jedoch die Unterschiede in der Frosthärte von Klonen mit ähnlichem Austriebsverhalten nicht erfassbar.

Dazu wird die zweite angewandte Methode benötigt, die in der Durchführung von Frosttests in der Klimakammer besteht. Zu verschiedenen Terminen während des Triebabschlusses im Herbst werden Topfpflanzen in die Klimakammer gestellt bzw. Triebabschnitte im Klimaschrank abgesteckt (Abbildung 5).

Tabelle 5

Boniturstufen des Austriebs und Triebabschlusses (modifiziert nach Fröhlich, 1964).

Boniturstufe	Austrieb	Triebabschluss
0	Knospe braun	Keine Verfärbung
1	Aufbrechende Knospen (grüne Spitzen)	Schwache Verfärbung (einzelne Blätter oder Blattränder verfärbt)
2	Blätter sichtbar, noch zusammengerollt	Mittlere Verfärbung (mindestens 50 % der Gesamtblattfläche verfärbt)
3	Blätter entfalten sich, Seitentriebe geschoben	Stark vergilbt (mindestens 90 % der Gesamtblattfläche verfärbt)
4	Blätter voll entfaltet, Terminaltrieb geschoben	Sämtliche Blätter abgefallen mit Ausnahme der Spitzen des Leittriebs
5	-	Kahl



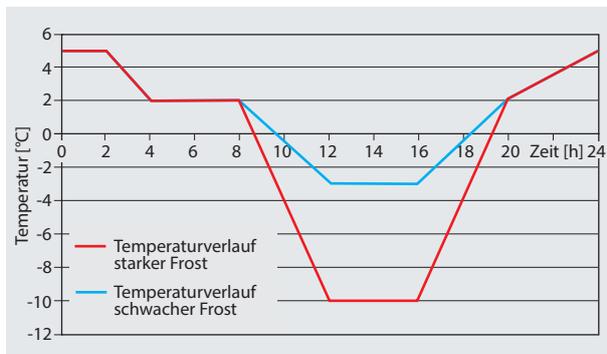
Abbildung 5

Abgesteckte Triebabschnitte im Kälteschrank (links). Frostschaden während des Austriebs (rechts)

Über Nacht werden sie einem Kälteeinbruch ausgesetzt, wie er auch in natura auftreten könnte. Im Frühherbst (September) wird mit recht geringen Frösten von ca. -3 °C begonnen. Später im Jahr (Oktober) wird ein heftigerer Kälteeinbruch auf -10 °C simuliert (Abbildung 6).

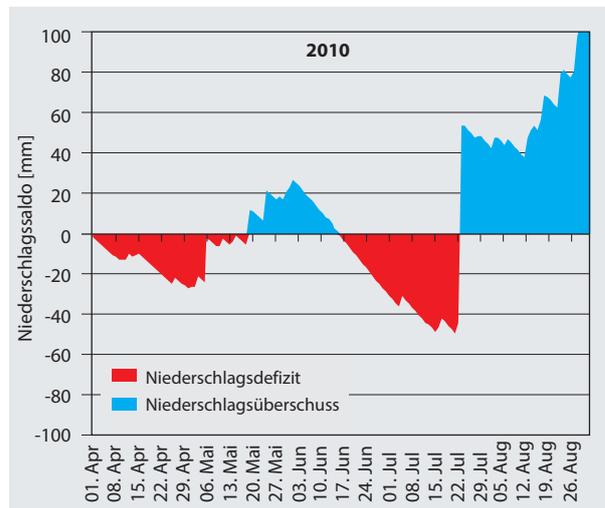
Analog dazu wird beim Austrieb im Frühjahr verfahren. Im zeitigen Frühjahr sind noch sehr starke Nachtfröste möglich. Entsprechend tief wird auch die Temperatur in der Klimakammer eingestellt (bis -10 °C). Ende April werden realitätsnah nur noch geringe Fröste simuliert (ca. -3 °C) (Abbildung 6). Nach dem Einwirken des vorher definierten Frosts wird die Schadwirkung aufgenommen. Dazu wird der Anteil der geschädigten Blätter und Knospen sowie der Schaden am Trieb beurteilt und ausgewertet. Trotz durchgefrorener Pflanztopfe sterben die Bäume in den wenigsten Fällen komplett ab. Für den praktischen Anbau ist an dieser

Stelle entscheidend, ob die Pflanzen nach einem Frostereignis aus der Wurzel oder aus höher liegenden Knospen wieder austreiben. Der Zuwachsverlust durch das Frostereignis ist in beiden Fällen gegeben. Im Falle eines Austriebs aus der Wurzel besteht aber zusätzlich die Gefahr, dass die Begleitvegetation die geschwächten Bäume komplett ausdunkelt.



**Abbildung 6**  
Temperaturregime in der Klimakammer bei den simulierten Frostereignissen zur Untersuchung des Früh- und Spätfrosts

hing dabei deutlich vom Zeitpunkt des Auftretens ab. Die Abbildung 7 zeigt das Niederschlagsaldo für den Hauptwachstumszeitraum April bis August 2010. Rote Bereiche kennzeichnen ein Niederschlagsdefizit und blaue Bereiche einen Niederschlagsüberschuss.



**Abbildung 7**  
Niederschlagsaldo im Jahr 2010 auf der Versuchsfläche Thammenhain

## Ergebnisse

### Trockenheitsresistenz Feldversuch

In den Jahren 2010 bis 2012 kam es in Sachsen zu mehreren längeren Dürreperioden. Auch die im Jahr 2010 angelegte Versuchsfläche Thammenhain II (Nordsachsen) war davon betroffen. Aufgrund dessen konnten die Trockenschäden an Pappeln unter den Bedingungen einer realen KUP erfasst werden. Die jeweilige Reaktion der Pappeln auf Trockenheit

Das Stecken der Pappelsteckhölzer erfolgte im April 2010. Die Witterung während und nach der Pflanzung war ungewöhnlich warm und trocken. Infolge dessen vertrockneten viele der frisch gesteckten Pappeln bald nach dem Austrieb (Abbildung 8, links).



**Abbildung 8**  
Vertrocknete Steckhölzer infolge des trockenen Aprils 2010 (links), Wuchsdepression und Zuwachsverluste aufgrund des trockenen Junis 2010 (rechts)

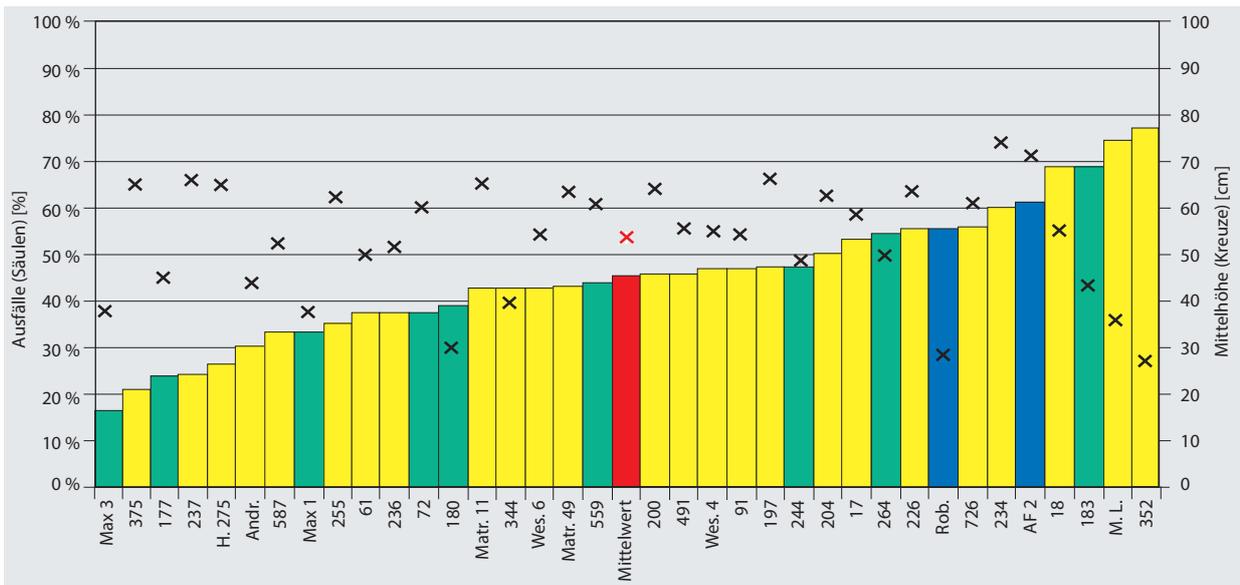


Abbildung 9

Mittelhöhe und Ausfälle im Feldversuch Thammenhain II (einjähriger Aufwuchs im Jahr 2010). Gelb = Sektion Tacamahaca, blau = Sektion Aigeiros, grün = intersektionell (Aigeiros x Tacamahaca)

Die überlebenden Pflanzen etablierten sich innerhalb weniger Wochen so weit, dass sie etwas unempfindlicher gegenüber Wasserstress wurden. Die zweite, noch längere Trockenphase von Anfang Juni bis Mitte Juli 2010 (in Abbildung 7 erkennbar am kontinuierlich absinkenden Niederschlagsaldo) führte dementsprechend kaum zu weiteren Ausfällen. Die Schäden an den Trieben (Abbildung 8 rechts) waren jedoch so groß, dass auch die reichliche Wasserversorgung ab Ende Juli (230 mm Niederschlag in den folgenden sechs Wochen) die damit verbundenen Zuwachsdepressionen nicht wieder kompensieren konnte. Am Ende des Jahres waren Ausfälle zwischen 15 und 75 % zu verzeichnen. Die Mittelhöhen der einzelnen Klone variierten von 25 bis 75 cm (Abbildung 9). Dieses – für eine KUP grundsätzlich unbefriedigende – Ergebnis ist im Hinblick auf die Trockenheitsresistenzuntersuchungen optimal, da sich die Klone sehr stark differenzieren. Trotz der widrigen Witterungsbedingungen gibt es einen Pappelklon, der weniger als 20 % Ausfälle aufwies (Klon Max 3), während andere Klone eine Ausfallrate von rund 70 % zeigten (Klone 18, 183, Muhle Larsen und 352). Wichtig für die Züchtung neuer Klone ist hierbei zusätzlich die Tatsache, dass Zuwachs und Ausfallrate auf der Versuchsfläche voneinander statistisch unabhängig waren.

Im zweiten Jahr (2011) war die Witterung auf der Versuchsfläche ähnlich ungünstig wie im Vorjahr. Es gab zwar keine so langen niederschlagsfreien Zeiten wie 2010, dafür fiel im ganzen Zeitraum von April bis Juni nur 60 % der durchschnittlichen Niederschlagsmenge (Abbildung 10).

Während die zur Füllung der Lücken nachgesteckten Pappelsteckhölzer fast alle vertrockneten, kam es bei den nun einjährigen Pappeln kaum zu weiteren Ausfällen. Allerdings reagierten auch sie auf die Trockenheit mit einem deutlichen Blattverlust (Abbildung 11).

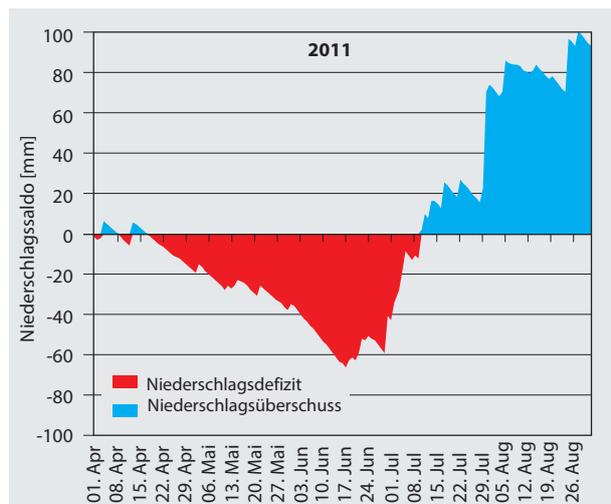


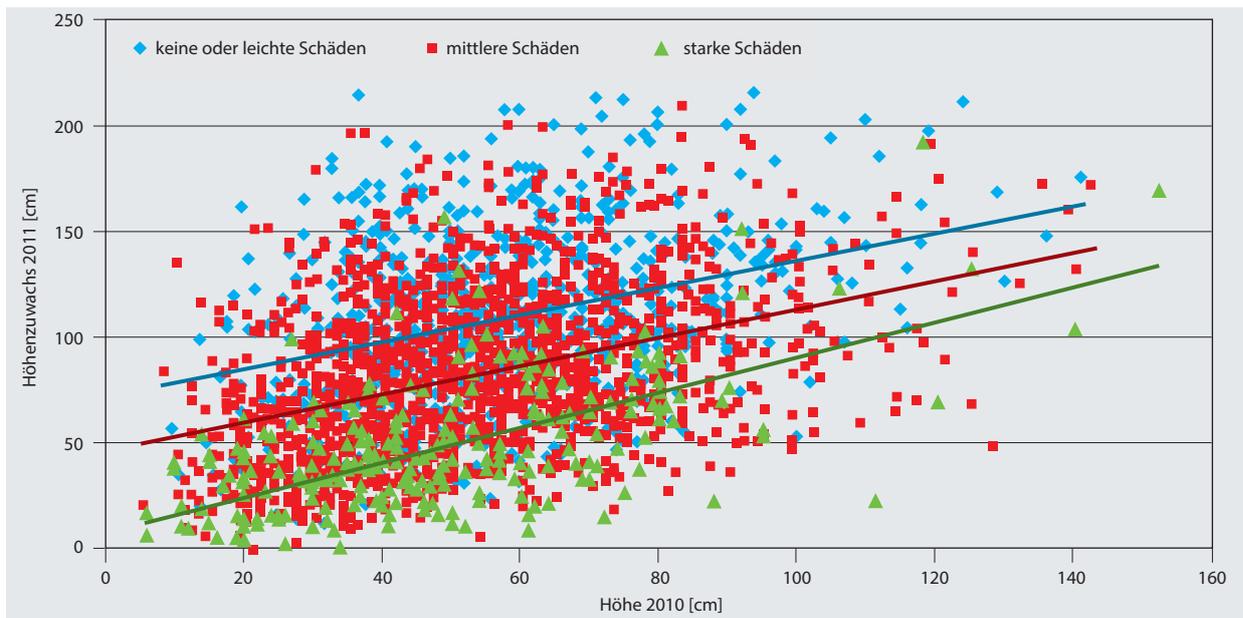
Abbildung 10

Niederschlagsaldo im Jahr 2011 auf der Versuchsfläche Thammenhain



Abbildung 11

Starker Blattverlust während eines trockenen Junis

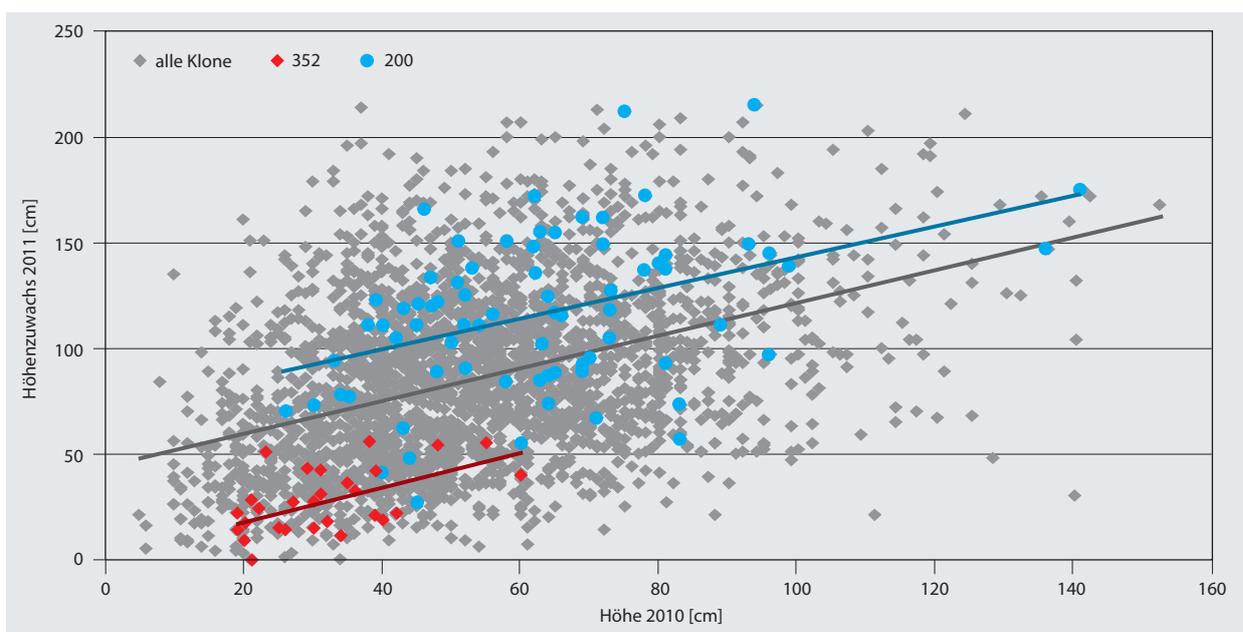


**Abbildung 12**

Es gibt große Zuwachsunterschiede in Abhängigkeit von der Ausgangshöhe und den Trockenheitsschäden im Juni 2011 auf der Versuchsfläche Thammenhain II. Die Linien stellen die Ausgleichsgeraden für die drei Schadklassen dar.

Mit dem Blattverlust im Juni geht auch ein hochsignifikanter Zuwachsverlust einher, der im weiteren Verlauf des Jahres auch nicht mehr ausgeglichen werden kann (Abbildung 12). Bei mehr als 50 % Laubverlust (starke Trockenschäden) im Juni ist der Höhenzuwachs am Ende des Jahres im Mittel aller Klone nur halb so groß wie bei Bäumen mit keinen oder nur leichten Schäden (bis 25 % Laubverlust).

Nicht nur zwischen den Schadklassen, auch zwischen den Klonen lässt sich eine deutliche Differenzierung feststellen. Besonders deutlich wird das bei den Klonen 352 und 200: Während der eine über alle Schadstufen hinweg immer einen relativ geringen Zuwachs zeigt, wächst der andere durchgehend überdurchschnittlich (Abbildung 13).

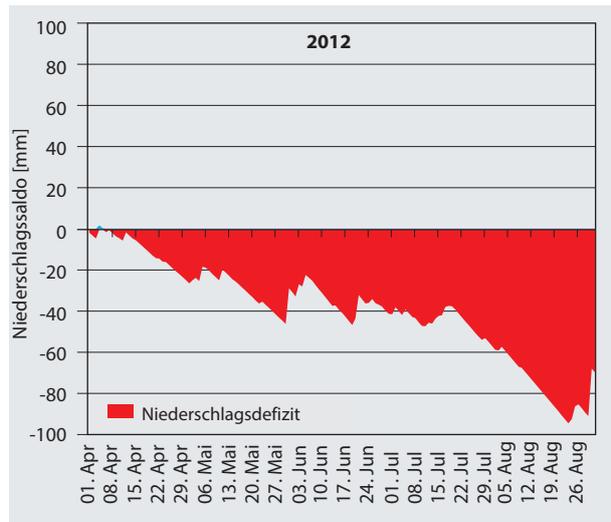


**Abbildung 13**

Hochsignifikante Wuchsleistungsunterschiede zweier Pappelklone auf der Versuchsfläche Thammenhain II im Jahr 2011 im Vergleich zu allen anderen Klonen. Die Linien stellen die Ausgleichsgeraden für die drei Gruppen dar.

Wieder etwas anders fällt die Reaktion auf Trockenstress aus, wenn die Dürreperiode nicht im Frühling sondern erst im Spätsommer auftritt. Das Jahr 2012 wies zwar von April an ein Niederschlagsdefizit auf, die große Trockenheit (am kontinuierlich sinkenden Niederschlagssaldo zu erkennen) trat jedoch erst ab Mitte Juli auf (Abbildung 14). Auch in diesem Fall reagierten die Pappelklone mit mehr oder weniger starkem Blattfall (Abbildung 15).

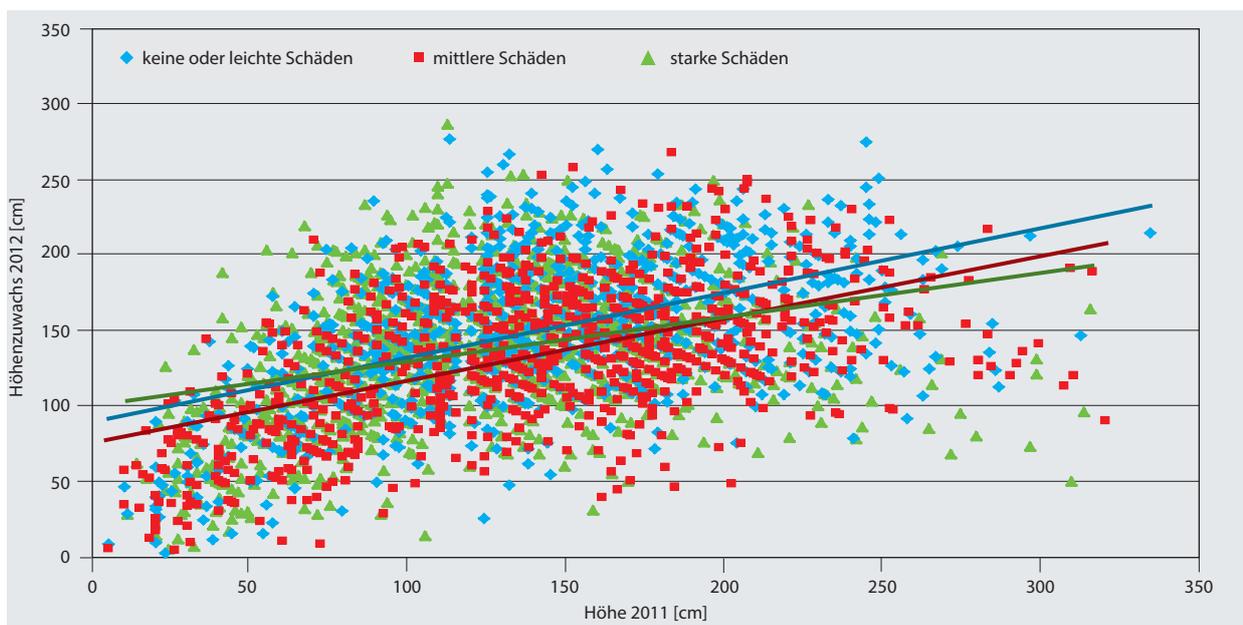
Auf den Zuwachs des laufenden Jahres hat diese Trockenheit signifikanten, jedoch nur geringen Einfluss (Abbildung 16). Die grundsätzlichen Unterschiede gut und schlecht wachsender Klone (Abbildung 13) blieben auch 2012 bestehen.



**Abbildung 14**  
Niederschlagssaldo im Jahr 2012 auf der Versuchsfläche Thammenhain



**Abbildung 15**  
Geringe (links) und starke (rechts) Trockenschäden nach einer Dürreperiode im Hochsommer 2012



**Abbildung 16**  
Trockenheitsschäden im Juli/August 2012 führten nur zu geringen Zuwachsunterschieden. Die Linie stellen die Ausgleichsgeraden der drei Schädungsklassen dar.

### Austrocknungsversuch Gewächshaus

Der Austrocknungsversuch im Sommer 2012 wurde im oben beschriebenen Verfahren der kompletten Austrocknung durchgeführt. Eine Klassifizierung der Trockenheitsresistenz der Klone anhand der Zeitspanne, die sie bis zum vollständigen Vertrocknen benötigten, erwies sich als ungeeignet, da die Bäume nach der Anzuchtphase erhebliche Höhenunterschiede aufwiesen und die Pflanztöpfe mit den größeren, stärkeren Pflanzen erwartungsgemäß schneller austrockneten. Die dadurch entstehende Varianz innerhalb der Klone verhinderte einen sinnvollen Vergleich zwischen den Klonen.

Aus diesem Grund wurde stattdessen die Bodenfeuchte als Vergleichsbasis verwendet. Damit ist Heterogenität des Ausgangsmaterials in Bezug auf die tägliche Verdunstungsmenge nicht mehr relevant. Als Maß für die Trockenheitsresistenz der Klone dient in diesem Fall die Bodenfeuchte, bei der die jeweilige Pflanze erstmals starke Trockenschäden zeigte (> 50 % Blattverlust, Tabelle 3). Trotz weiterhin erheblicher Streuung der Messwerte ist eine deutliche Differenzierung der Klone erkennbar (Abbildung 17).

Vergleicht man diese Ergebnisse mit den Ausfallraten im Feldversuch, so lässt sich feststellen, dass die Klone, die im

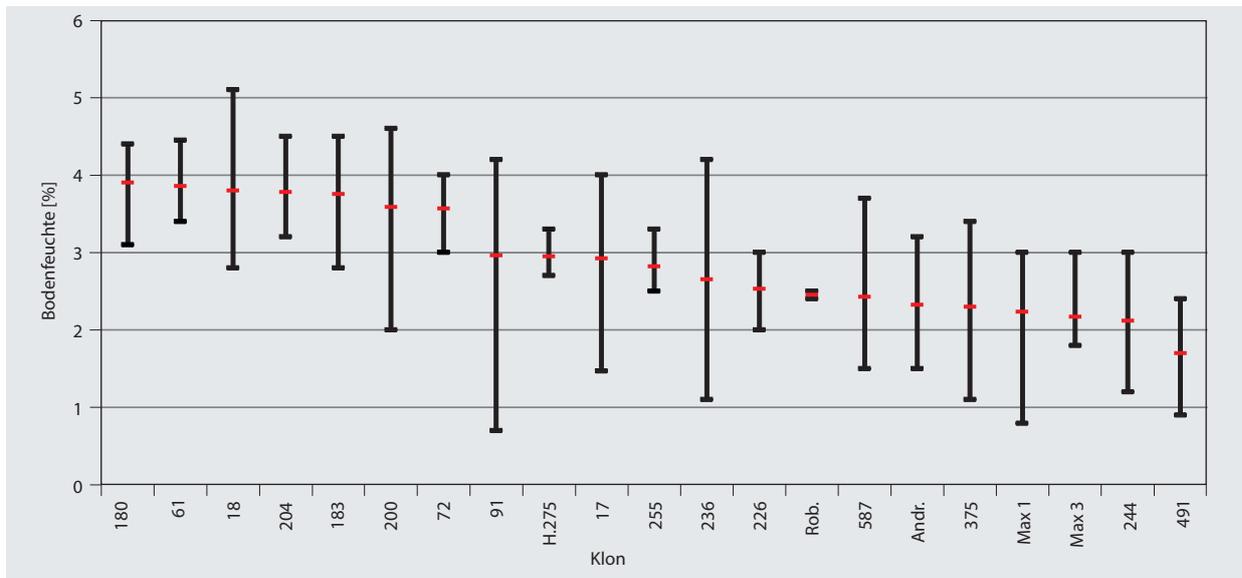


Abbildung 17

Austrocknungsversuch im Gewächshaus – Bodenfeuchte, ab der erstmals starke Trockenschäden auftraten.

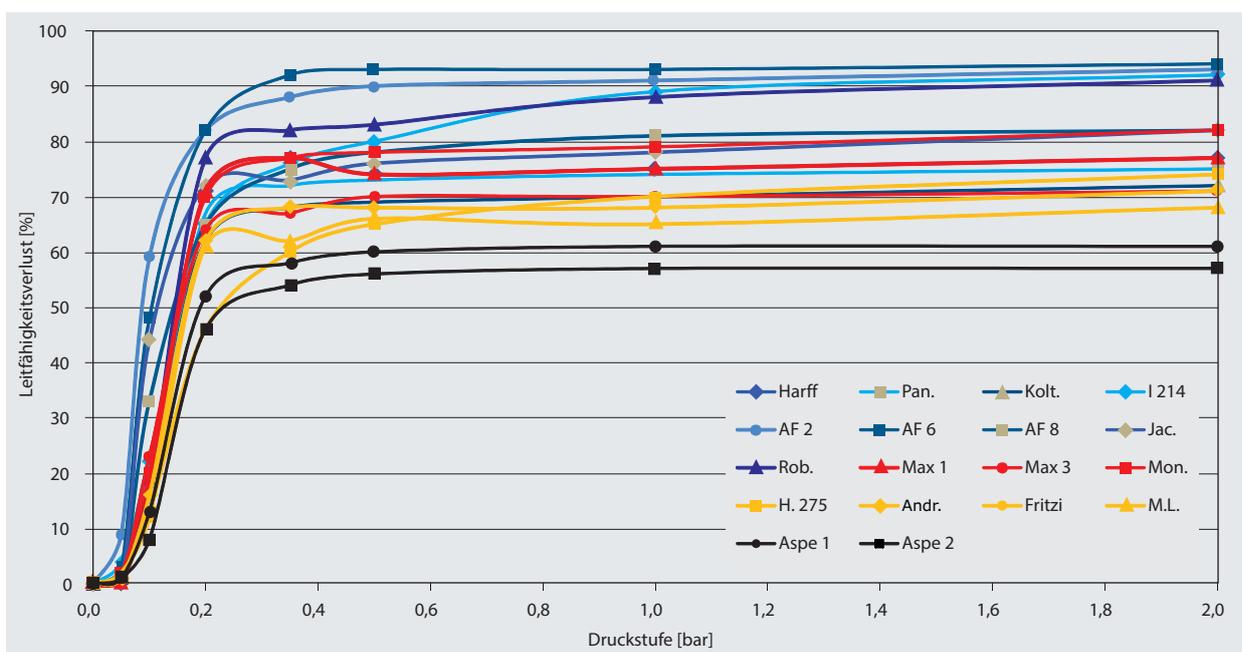


Abbildung 18

Leitfähigkeitsverlustkurven verschiedener Klone

Feldversuch die geringsten Ausfälle verzeichneten (z. B. Klon Max 3 und 375, Abbildung 9), im Austrocknungsversuch erst bei einer geringen Bodenfeuchte starke Trockenschäden zeigten. Andererseits treten bei den Klonen, die im Feldversuch sehr stark von Ausfällen betroffen waren (z. B. die Klone 183 und 18), die Trockenschäden im Gewächshaus bereits bei einer etwas höheren Bodenfeuchte auf. Es gibt aber auch ein breites Mittelfeld der Klone, bei denen diese Zuordnung nicht so eindeutig möglich ist. Weitere Ergebnisse zur Einordnung der Klone in die Kategorien resistent oder sensibel sind aus dem zweiten Austrocknungsverfahren, welches auch den Zuwachsverlust berücksichtigt, zu erwarten. Der Versuch dazu wurde mit den gleichen Klonen im Sommer 2013 durchgeführt, konnte aber bisher noch nicht ausgewertet werden.

### Leitfähigkeitsmessung

Die Untersuchungen zur hydraulischen Leitfähigkeit und zum Leitfähigkeitsverlust infolge von Emboliebildung wurden an Aspen, Schwarz- und Balsampappelklonen durchgeführt. Die Spannweite der Ergebnisse ist groß. Nach einer Druckeinwirkung von einem Bar lag der Verlust an hydraulischer Leitfähigkeit bei Aspen bei 60 %. Die besten Pappelklone weisen einen Leitfähigkeitsverlust von ca. 70 % auf, die schlechtesten liegen bei 90 % (Abbildung 18).

Für einen Teil der Klone ist eine Übereinstimmung dahingehend zu verzeichnen, dass hohe Leitfähigkeitsverluste einer geringen Trockenheitsresistenz entsprechen (z. B. bei den Klonen Robusta und AF 2), geringe

Leitfähigkeitsverluste dagegen einer hohen Trockenheitsresistenz (z. B. die Klone Hybride 275 und Max 3). Für alle Klone lässt sich diese Aussage bisher jedoch nicht verallgemeinern. In den aktuellen Untersuchungen wird daher versucht, den Einfluss weiterer Faktoren auf die Leitfähigkeitsverlustkurven zu bestimmen und zu reduzieren.

### Frostresistenz

Die Bonituren zum Austrieb und Triebabschluss wurden für verschiedene Klone in mehreren Jahren durchgeführt. Der absolute Zeitpunkt des Austriebs war abhängig von der Witterung. Die Reihenfolge der Klone blieb über die Jahre annähernd gleich. Die Klone Max 1, Max 3 und Max 4 beispielsweise treiben sehr zeitig im Frühjahr aus und sind daher deutlich stärker durch Spätfröste gefährdet als der Klon AF 2, der fast vier Wochen später die Winterruhe beendet (Abbildung 19). Ähnliche zeitliche Differenzen gibt es auch beim Triebabschluss.

Klonspezifische Unterschiede gibt es im Hinblick auf die Frostschäden. Ein Spätfröste während des Austriebs schädigt 85 bis 100 % aller Knospen an Pflanzen mit der Boniturstufe 2. In der Boniturstufe 1 (aufbrechende Knospen) variiert der Schädigungsgrad dagegen von 0 % (Klone 72, 180, 183, 236 und Hybride 275) bis knapp 100 % (Klone 375 und Max 1) (Abbildung 20).

Ähnlich verhält es sich mit dem Frühfrost. Beim Triebabschluss gibt es die größte Spannweite der Schäden in der Boniturstufe 1 bei beginnender Laubfärbung.

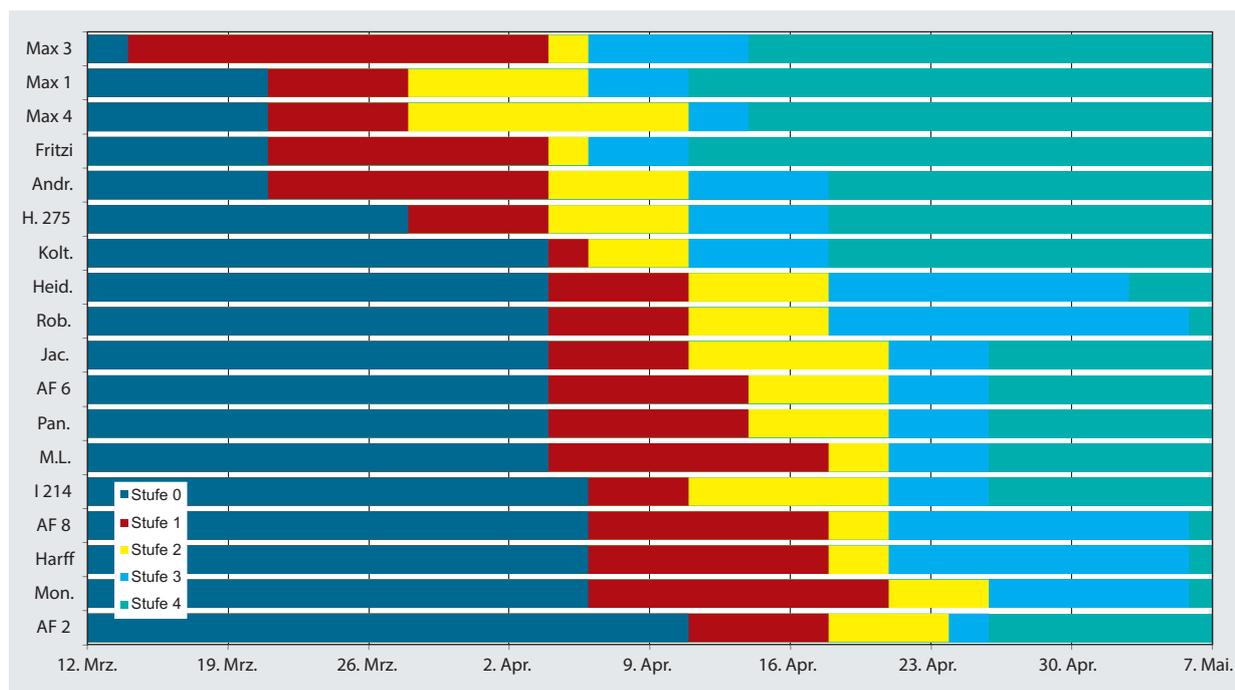
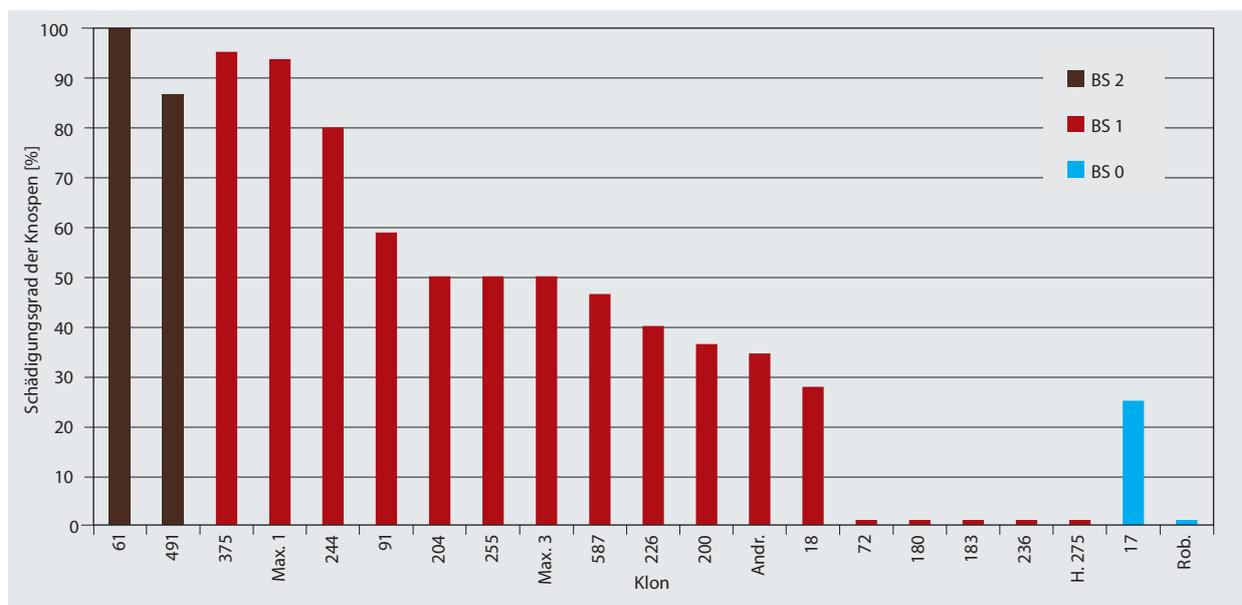


Abbildung 19  
Austriebsbonitur 2011



**Abbildung 20**  
Frostschäden während des Austriebs 2012 in den Boniturstufen (BS) 0 bis 2

## Diskussion

Das Ziel der dargestellten Untersuchungen ist die Beurteilung von Pappelklonen hinsichtlich ihrer Gefährdung durch die abiotischen Ereignisse Trockenheit und Frost. Zum Ende der Untersuchungen soll ein Katalog zur abiotischen Resistenz der verschiedenen Pappelklone erstellt werden, um für jeden Standort die Auswahl passender Klone zu ermöglichen. Des Weiteren sollen die besten Methoden für die Bestimmung der Frost- und Trockenheitsresistenz ermittelt und untereinander verglichen werden.

Bei der Trockenheitsresistenz muss berücksichtigt werden, wie vielfältig die Auswirkungen in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Trockenheit sein können. Dürreperioden nach der Pflanzung führen direkt zu hohen Ausfällen. Spätere Trockenheit im Anwuchsjahr führt zu Wuchsdepressionen und einer verminderten Konkurrenzkraft gegenüber der Begleitvegetation. Im zweiten und dritten Jahr sind Dürreperioden nicht mehr bestandsbedrohend, verursachen aber dennoch erhebliche Zuwachseinbußen. Die Auslese kann sich deshalb nicht nur auf die Klone mit der besten Anwuchsrate konzentrieren, sondern muss auch die Zuwachsleistung unter trockenen Bedingungen berücksichtigen. Aus diesem Grund ist die praktizierte Anwendung mehrerer Methoden zur Bestimmung der Trockenheitsresistenz sehr sinnvoll: Klone, die in allen Kategorien schlecht abschneiden, sind für den Anbau in trockenen Gebieten generell nicht geeignet. Einige Klone erweisen sich in allen Untersuchungen als gut und kommen daher überall in Frage. Daneben gibt es aber auch Klone, die z. B. ein schlechtes Anwuchsvermögen bei Trockenheit haben, später aber auch bei geringer Wasserversorgung noch hervorragend wachsen oder andere, die sich genau umgekehrt verhalten.

Ähnliches gilt für die Frostresistenz. Durch die Beurteilung des Gefährdungspotentials der einzelnen Klone kann auch hier die Auswahl für den jeweiligen Standort optimiert werden. Mit der Austriebs- und Abschlussbonitur wird die theoretische Gefährdung ermittelt. Da diese nur teilweise mit der tatsächlichen Frostschädigung übereinstimmt (Joachim, 1957; Morgener u. Borsdorf, 1965) wird mit den Frostversuchen anschließend das mögliche Schadausmaß erforscht.

Wie bei allen Versuchen gibt es auch bei den hier dargestellten Versuchen einige mögliche Fehlerquellen. Eine Hauptschwierigkeit liegt darin, dass sich die Klone selbst bei gleichen Ausgangsbedingungen (gleiche Steckholzqualität und –größe, gleiche Behandlung) unterschiedlich entwickeln und deshalb nach der Anzucht zu Beginn der Versuche wieder uneinheitlich sind. Der Einfluss unterschiedlicher Ausgangshöhen zu Beginn der Experimente kann bei der Auswertung herausgerechnet werden. Die unterschiedliche Wuchsdynamik zu berücksichtigen, ist jedoch nicht so ohne weiteres möglich.

Beim Vergleich von Pappeln verschiedener Sektionen muss beachtet werden, dass sich der Verlauf der Austrocknung unterscheidet. In diesem Zusammenhang muss auch noch berücksichtigt werden, dass alle aufgeführten Methoden (bis auf die Trockenheitsbonitur im Feld) an Topfpflanzen stattfinden. Damit kann die Wurzelentwicklung der Bäume – ein wichtiger Aspekt der Anpassung der Klone an abiotische Schäden – von vornherein nicht berücksichtigt werden (zum Vergleich Hofmann, 2009). Vor allem Klone, die sehr schnell Wurzeln entwickeln und sich dadurch im Boden zusätzliche Wasserquellen erschließen könnten, werden im Topfversuch potentiell zu schlecht beurteilt. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass durch die Anwendung mehrerer Methoden die besten und die schlechtesten Klone sicher identifiziert

werden können und dass beim verbleibenden Mittelfeld Hinweise für die spezielle Eignung der jeweiligen Klone gegeben werden können.

---

## Literatur

- Cruiziat P, Cochard H, Améglio T (2002) The hydraulic architecture of trees : main concepts and results. *Ann Sci For* 59(7):723-752
- Fröhlich HJ (1964) Identifikationsmerkmale von Pappeln der Sektion Leuce. Hann Münden : Forschungsinst Pappelwirtsch, 47 p, Merkbl / Forschungsinst Pappelwirtsch 2
- Hofmann M (2009) Standort und Sortenwahl – Voraussetzungen für den Anbau. Vortrag beim Workshop Anbau von Energieholz auf Kurzumtriebsplantagen - Sortenwahl und Züchtung im Feldholzanbau [online]. Zu finden in <[http://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/download/02\\_Hofmann\\_2009\\_12\\_03.pdf](http://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/download/02_Hofmann_2009_12_03.pdf)> [zitiert am 01.08.2014]
- Joachim H-F (1957) Über Frostschäden an der Gattung Pappel. *Archiv für Forstwesen* 6(9):602-678
- Kramer PJ (1983) *Water relations of plants*. New York : Academic Pr, 489 p
- Küchler W, Sommer W (2005) *Klimawandel in Sachsen : Sachstand und Ausblick*. Dresden : Saxoprint, 111 p
- Morgeneyer W, Borsdorf W (1965) Phänologische Untersuchungen im Pappelsortenregister Graupa. *Archiv für Forstwesen* 14(4):369-386
- Petzold R, Feger K-H, Röhle H (2010) Standörtliche Voraussetzungen für Kurzumtriebsplantagen. In: Bemman A, Knust C (Hrsg.): *AGROWOOD - Kurzumtriebsplantagen in Deutschland und europäische Perspektiven*. Berlin: Weißensee-Verl, pp 65-73
- Rust S (1999) *Hydraulische Architektur und Wasserhaushalt von Kiefer (Pinus sylvestris L.) mit begleitenden Untersuchungen an Fichte (Picea abies L.), Buche (Fagus sylvatica L.) und Balsampappelklonen*. Cottbus : Brandenburg Techn Univ, 110 p, Cottbuser Schr Bodenschutz Reaktivierung 3
- Schildbach M, Hoffmann M, Wolf H (2010) Anlage und Etablierung von Kurzumtriebsplantagen. In: Bemman A, Knust C (eds) *AGROWOOD : Kurzumtriebsplantagen in Deutschland und europäische Perspektiven*. Berlin : Weißensee-Verl, pp 65-73
- Thiele P (2008) *Untersuchung von Biomasse- und Zuwachsentwicklung von Pappel- und Weidenklonen im Kurzumtrieb unter Einbeziehung der Witterung*. Dresden : Univ, 119 p
- Wolf H, Böhnisch B (2004) *Anbau schnellwachsender Gehölze auf stillgelegten landwirtschaftlichen Flächen zur Holzstoffproduktion*. Schr genetischen Ressourcen 23:122-132
- Zimmermann MH (1983) *Xylem structure and the ascent of sap*. Berlin : Springer, 143 p