

URL: /de/waldwirtschaft/waldbau/forstliche-planung/trockentoleranz-alternativer-baumarten

## Trockentoleranz alternativer Baumarten

Trockenheitstolerante nichtheimische Baumarten werden im Waldbau zunehmend wichtiger. Neben der Leistung solcher Arten spielen auch ihre Anpassungsfähigkeit und Stresstoleranz unter den hiesigen Standortbedingungen eine wichtige Rolle – oft ist dazu aber noch wenig bekannt.

In einem Pilotprojekt unter Leitung der Universität Bayreuth wurden sechs alternative und eine heimische Baumart im Kulturstadium hinsichtlich ihrer Trockentoleranz untersucht. Dies erfolgte auf den beiden bayerischen Flächen des Langzeitversuchs KLIP18 mittels feldauglicher Methoden zur Quantifizierung ökophysiologischer und hydraulischer Kenngrößen und zur kontinuierlichen Erfassung des Stammdickenzuwachses. Das KLIP18-Experiment bot die Möglichkeit, dies an alternativen Baumarten identischer Herkünfte in einer für Mitteleuropa typischen Matrix von Klima- und Bodeneigenschaften zu testen. Im Rahmen von KLIP18 wurden im Jahr 2012 Versuchspflanzungen für einen Beobachtungszeitraum von 50 Jahren mit folgenden Baumarten angelegt:

Orient-Buche (*Fagus orientalis*) aus dem südöstlichen Balkan

Silber-Linde (*Tilia tomentosa*), beheimatet in Südosteuropa und in Kleinasien

Libanon-Zeder (*Cedrus libani*) aus dem Taurus (Türkei)

Westliche Hemlocktanne (*Tsuga heterophylla*) aus dem kühl-gemäßigten pazifischen Nordamerika

Riesen-Lebensbaum (*Thuja plicata*), ebenfalls aus dem westlichen Nordamerika

Bornmüller-Tanne (*Abies bornmuelleriana*), heimisch in den Bergen der Nordwest-Türkei

Stiel-Eiche (*Quercus robur*) als einheimische Referenzbaumart

## Bayerische KLIP18-Flächen

Die zwei Versuchsflächen liegen in Nordbayern. Die unterfränkische Fläche im Maintal bei Großostheim (125 m ü. NN) zeichnet sich durch geringere Niederschläge und höhere Temperaturen sowie sandigen Boden (Flugsand, > 2 m Mächtigkeit) aus. Die oberfränkische Versuchsfläche bei Schmellenhof (Abbildung 1) liegt auf 495 m ü. NN und hat ein eher kühl-feuchtes Klima sowie einen stark wechselfeuchten, tonig-lehmigen Boden mit wasserstauenden Schichten in circa 0,5–0,8 m Tiefe (Pseudogley).

Während der Vegetationsperioden der Jahre 2020 und 2021 wurden an jeweils fünf Individuen aller sieben Baumarten das Stammdickenwachstum halbstündlich erfasst und Daten zum Mikroklima sowie zur Bodenfeuchtigkeit in zwei Tiefen erhoben. In mehreren Freiland-Messkampagnen bestimmte man unter anderem das Blatt-Wasserpotential und im Labor die hydraulische Leitfähigkeit des Xylems.



Abb. 1: Standort Schmellenhof (Oberfranken) des Langzeitversuches KLIP18. Im Vordergrund eine Pflanzung von *Tsuga heterophylla*, etwa 10-jährig (Foto: V. Horna, Universität Bayreuth).

### Witterung 2020 und 2021

Großostheim war in beiden Jahren die wärmere und trockenere Fläche (Abbildung 2). Von Mai bis September 2020 war es dort mit 17,6 °C im Mittel um 2,5 °C wärmer als auf der Fläche bei Schmellenhof, im selben Zeitraum 2021 mit 16,8 °C um 2,2 °C. Die relative Luftfeuchtigkeit war in beiden Jahren von Mai bis September in Großostheim 10 % niedriger als in Schmellenhof, die Niederschlagssumme um 80 mm geringer. Von Oktober 2020 bis April 2021 fielen in Großostheim mit 285 mm etwa 70 mm weniger Niederschlag als in Schmellenhof.

### Messungen der Stammdickenänderungen

Hochaufgelöste Messungen der Stammdickenänderung zeigen die unmittelbare Reaktion der Bäume auf Veränderungen der mikroklimatischen Bedingungen. Sie geben Hinweise auf den Wasserzustand und das (Netto-)Wachstum von Bäumen (Abbildung 2).



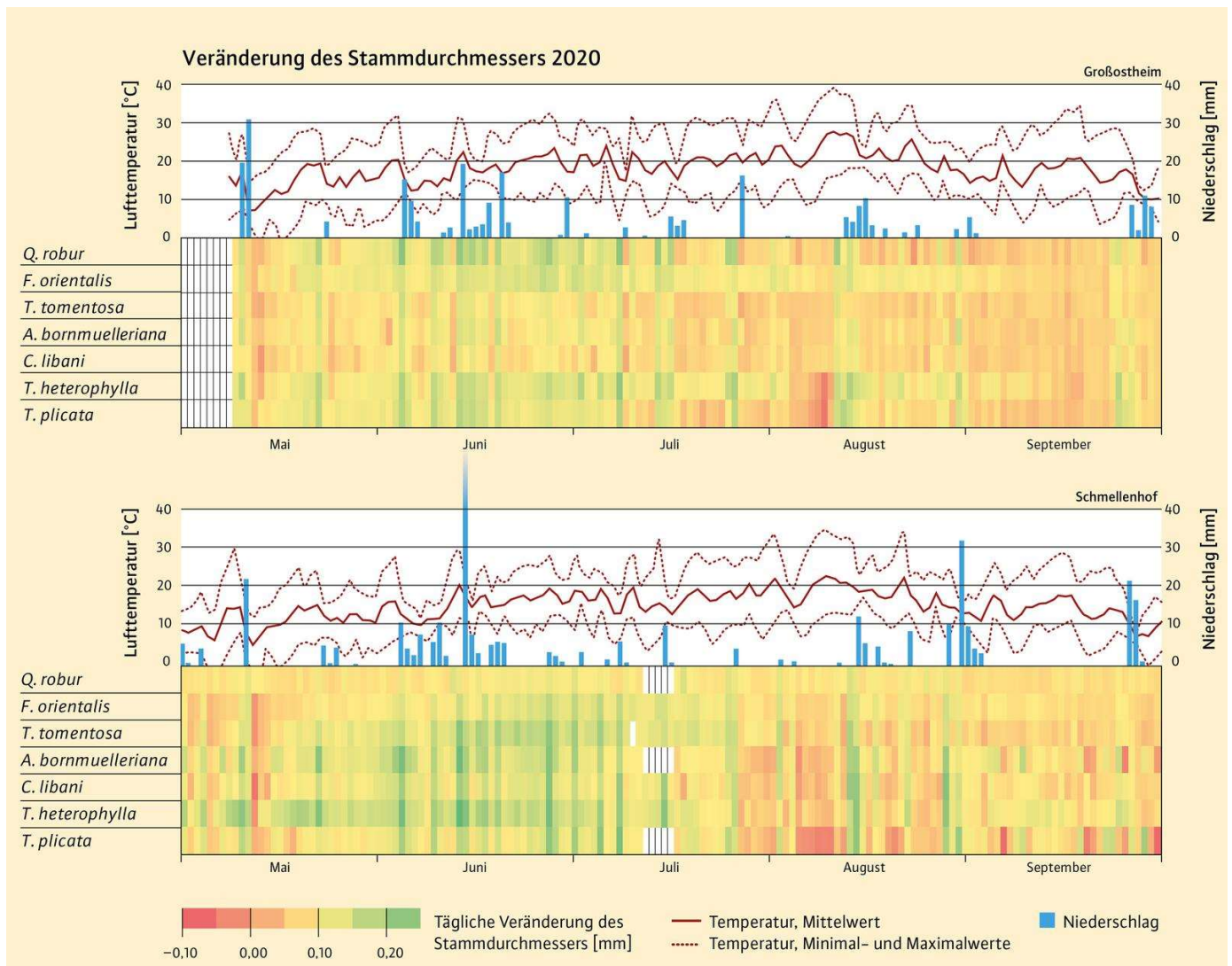


Abb. 2: Unterschiedliche Farben zeigen die tägliche Veränderung des Stammdurchmessers bei den gemessenen Tagesniederschlägen und -temperaturen. Die durchgehende rote Linie stellt den Mittelwert der Temperaturen dar, die gepunktete Linie Maximal- bzw. Minimalwerte.

2020 war durch das Auftreten längerer Trockenphasen während der Vegetationsperiode charakterisiert. Eine Trockenphase im August in Verbindung mit hohen Temperaturen führte bei den meisten Arten an beiden Standorten zu einem insgesamt geringeren Stammzuwachs als im Juni und Juli. Nach starken Regenfällen nahmen alle Baumarten ausreichend Bodenwasser auf und konnten ihre Stammgewebe aufsättigen, sichtbar im Anschwellen der Stämme. Im Jahr 2021 traten keine längeren Trockenphasen auf und es konnten keine durch Trockenstress bedingten Durchmesserreaktionen festgestellt werden. Daher war das Stammwachstum 2021 größer als 2020. Eine interessante Beobachtung zu Beginn der Messungen im Jahr 2020 war die sichtbare Schrumpfung des Stammdurchmessers aller Arten während eines starken Spätfrostes Mitte Mai.

Zwischen den beiden Standorten wurden Unterschiede im Stammzuwachs beobachtet. So reagierte z.B. die Silber-Linde in Großostheim empfindlich gegenüber hohen Temperaturen und Bodentrockenheit. Sie hatte dort den geringsten Zuwachs aller Arten, während sie in Schmellenhof durchaus gut zuwuchs (Abbildung 3). Den maximalen Dickenzuwachs aller untersuchten Arten zeigte die Hemlocktanne in beiden Jahren in Schmellenhof mit 6,9 mm 2020 und 8,8 mm 2021. Bei den anderen Arten lag der Stammzuwachs bei 3–5 mm und unterschied sich nicht signifikant zwischen beiden Standorten.

| Baumart                  | Großostheim 2021   |                    |                            | Schmellenhof 2021  |                    |                            |
|--------------------------|--------------------|--------------------|----------------------------|--------------------|--------------------|----------------------------|
|                          | Anfangs-<br>Ø [cm] | Wachstum<br>[Tage] | Dicken-<br>zuwachs<br>[mm] | Anfangs-<br>Ø [cm] | Wachstum<br>[Tage] | Dicken-<br>zuwachs<br>[mm] |
| <i>Q. robur</i>          | 3,8 ± 0,8          | 113                | 4,07 ± 0,89                | 5,1 ± 1,7          | 111                | 5,07 ± 1,69                |
| <i>F. orientalis</i>     | 5,3 ± 1,0          | 124                | 4,95 ± 1,15                | 4,8 ± 1,4          | 124                | 4,79 ± 1,37                |
| <i>T. tomentosa</i>      | 2,1 ± 0,4          | 81                 | 2,32 ± 0,60                | 4,9 ± 0,7          | 129                | 4,97 ± 0,75                |
| <i>A. bormuelleriana</i> | 3,7 ± 1,2          | 136                | 3,57 ± 1,10                | 4,1 ± 0,9          | 134                | 4,13 ± 0,93                |
| <i>C. libani</i>         | 3,2 ± 1,3          | 136                | 3,33 ± 1,23                | 4,7 ± 0,7          | 136                | 4,71 ± 0,68                |
| <i>T. heterophylla</i>   | 7,1 ± 0,7          | 151                | 6,55 ± 1,29                | 8,8 ± 1,7          | 168                | 8,83 ± 1,75                |
| <i>T. plicata</i>        | 5,5 ± 0,9          | 144                | 5,06 ± 1,27                | 4,4 ± 0,8          | 116                | 4,38 ± 0,81                |

Abb. 3: Mittlerer Anfangsdurchmesser, Dauer der Wachstumsperiode und Stammdickenzuwachs (n = 5/Art) im Jahr 2021.

### Saisonalität des Zuwachses

Anhand der aus den Dendrometerdaten ermittelten effektiven Dickenzuwächse wurde die Dauer der Wachstumsperiode für 2021 ermittelt. Die Messungen hatten 2020 Ende April in Schmellenhof und Anfang Mai in Großostheim begonnen, als das Dickenwachstum bei relativ warmer Witterung bereits eingesetzt hatte. In Abbildung 3 sind für das Jahr 2021 die berechneten Werte des jährlichen Stammzuwachses und die Dauer der Zuwachsperiode für alle Arten zusammengefasst. Die Wachstumsperiode begann an beiden Standorten bei Nadelbäumen früher (13. bis 21. April) als bei Laubbäumen (9. bis 13. Mai). Eine Ausnahme bildete Thuja, die erst am 26. April in Großostheim und am 3. Mai in Schmellenhof Dickenwachstum zeigte. Hemlocktanne war die Baumart, die über den längsten Zeitraum einen Stammzuwachs aufwies (168 Tage in Schmellenhof), Silber-Linde die mit dem kürzesten (81 Tage in Großostheim).





Abb. 4: Mit Hilfe von Dendrometern lassen sich die täglichen Veränderungen des Stammdurchmessers ermitteln. Die hochaufgelösten Messungen zeigen die unmittelbare Reaktion der Bäume auf Veränderungen von Lufttemperatur und Niederschlag. Daraus ergeben sich unter anderem Erkenntnisse über die Anpassungsmöglichkeiten der untersuchten Baumarten an Trockenheit (Foto: V.Horna, Universität Bayreuth).

### Hydraulische Grenzen der Trockentoleranz

Das wasserleitende Gewebe im Stamm stellt die Verbindung zwischen dem Wasserreservoir im Boden und den Orten der Transpiration, den Blättern, her. Da diese Bewegung hin zu den Blättern erfolgt, steht das Wasser in den Baumstämmen unter Zugspannung. Die Eigenschaften dieses hydraulischen Systems sind von zentraler Bedeutung für die Trockentoleranz einer Baumart.

Bei zunehmender Bodenaustrocknung und trocken-warmer Luft gerät das Wasser in den Leitbahnen unter Zugspannung. In Abhängigkeit von der Ausgestaltung der Leitbahnen werden unterschiedlich starke Zugspannungen ausgehalten, bevor es in den Leitbahnen des Xylems zu Emboliebildung, d. h. der Entstehung von Luftblasen kommt und die Wasserfäden reißen.

Die Charakteristik des zunehmenden Leitfähigkeitsverlustes des Xylems bei steigender Zugspannung (Embolieempfindlichkeit) wird im Labor an Trieben anhand von Vulnerabilitätskurven bestimmt. An diesen Kurven wird der Xylem-Unterdruck (= Xylem-Wasserpotential) bestimmt bei einem Leitfähigkeitsverlust von:

- 12 % (P12, beginnende Emboliebildung)
- 50 % (P50, kritischer Wert für das Überleben bei Nadelbäumen)
- 88 % (P88, kritischer Wert für das Überleben bei Laubbäumen)



Abb. 5: Am empfindlichsten auf Trockenheit reagierte die Orient-Buche (Foto: Markus Schmidt, HSWT).

## Strategien der Blatt-Wasserhaushaltsregulation

Das Xylem-Wasserpotential (Zugspannung in den Xylemgefäßen) schwankt täglich zwischen einem entspannt(er)en Zustand vor Sonnenaufgang und einem mehr oder weniger gespannten Zustand (negativeres Wasserpotential) am Mittag. Dies ist auf den erhöhten Wasserbedarf durch Transpiration bei begrenzter Aufnahmefähigkeit durch die Wurzeln zurückzuführen. Je wärmer und trockener die Umgebungsluft und je geringer die Wassernachleitung aus dem Boden, desto negativere Werte erreicht das Wasserpotential in den Blättern und im Xylem. Pflanzen können die zunehmende Zugspannung jedoch durch Schließen der Spaltöffnungen begrenzen.

Diese konservative Strategie von Bäumen, sich durch frühzeitigen Spaltöffnungsschluss vor Embolien zu schützen (Isohydrie), geht auf Kosten des Wachstums, da dadurch der Eintritt von Kohlendioxid für die Photosynthese behindert wird. Ein später Spaltenschluss bei niedrigeren Wasserpotentialen (Anisohydrie) riskiert die Embolie von Leitbahnen, erhält aber die Photosynthese länger aufrecht. Die Übergänge zwischen den Strategien sind fließend, anisohydrische Arten gelten als trockenresistanter. Aus dem minimal erreichten Wasserpotential  $P_{min}$  einer Art und dem ermittelten Wasserpotential, bei dem die Emboliebildung einsetzt ( $P_{12}$ ), ergibt sich eine hydraulische Sicherheitsspanne und ein Hinweis auf die Trockenheitsempfindlichkeit einer Art (Abbildung 6).



Abb. 6: Messergebnisse verschiedener hydraulischer Parameter, jeweils negativster gemessener Mittelwert für  $P_{min}$  ( $n = 5$ ) des Jahres 2020 beider Flächen für die jeweilige Art. Die blaue Linie entspricht der Sicherheitsspanne, hier der Abstand zwischen  $P_{min}$  und  $P_{12}$  (Maß für den Sicherheitspuffer zur beginnenden Emboliebildung).  $P_{min}$ -Daten für *T. plicata* 2021 (2020 nicht gemessen).  $P_{min}$ -Werte in Großostheim sind weniger negativ als in Schmellenhof, weil es kurz vor den Messungen geregnet hatte.

## Strategien der Trockenstresstoleranz

Unsere Daten liefern erste Rückschlüsse, wie die untersuchten Baumarten auf Trockenstress reagieren. Die Orient-Buche und Silber-Linde zeigten im Vergleich zu den anderen Arten ein deutlich embolieempfindlicheres Xylem,

Die Orient-Buche reagierte im Dickenwachstum (fast) nicht auf Trockenheit und schränkte die Spaltöffnungen kaum ein, kam dadurch aber sehr nahe an die Grenze zur beginnenden Emboliebildung. Vermutlich ist daher Orient-Buche die trockenstresstoleranteste der untersuchten Arten. Bei Silber-Linde wurden eine frühe, empfindliche Reaktion der Spaltöffnungen, die auf Kosten des Dickenwachstums ging, und eine geringe Sicherheitsspanne festgestellt. Deshalb wird diese Art als trockenstresstolerant eingestuft.

Die Stiel-Eiche reagierte wie die Orient-Buche im Dickenwachstum nicht auf Trockenheit. Die Unempfindlichkeit der Stiel-Eiche gegenüber recht negativen Blattwasserpotentialen (anisohydrisch) in Kombination mit einer geringen Embolieempfindlichkeit und einer sehr großen Sicherheitsspanne deuten darauf hin, dass die Art trockenstresstolerant ist.



Von den Nadelbaumarten wies die Hemlocktanne, ähnlich wie Orient-Buche und Silber-Linde, eine hohe Embolieempfindlichkeit und das stärkste Wachstum aller Arten auf. Ihr Wachstum reagierte aber sensitiv auf Trockenheit, ebenso wie ihre Spaltöffnungen. Die Sicherheitsspanne war etwas größer als bei Orient-Buche und Silber-Linde, weshalb die Hemlocktanne als etwas weniger trockensensitiv eingeordnet wird.

Die Bornmüller-Tanne reagierte im Zuwachs empfindlich auf Trockenheit, ebenso im Blattwasserpotential, bei einer gleichzeitig sehr großen Sicherheitsspanne. Bei dieser Art und beim Riesen-Lebensbaum wurde eine plastische Anpassung des hydraulischen Systems an den trockenen Standort in Großostheim festgestellt. Dies erlaubt möglicherweise ein längeres Ausharren bei Trockenheit und beide Arten können als bedingt trockensensitiv eingestuft werden. Die Libanon-Zeder zeigt mit sehr geringer Embolieempfindlichkeit, sehr großer Sicherheitsspanne bei niedrigem  $p_{min}$  (anisohydrisch) und kaum durch Trockenheit beeinträchtigtem Wachstum die deutlichste Anpassung an trockene Bedingungen.

Daraus ergibt sich eine erste Einschätzung der Arten in Bezug auf ihre Trockenempfindlichkeit in folgender Reihenfolge: Orient-Buche > Silber-Linde > Hemlocktanne > Bornmüller-Tanne  $\approx$  Riesen-Lebensbaum > Stiel-Eiche > Libanon-Zeder.

Die Reihung basiert auf an Jungbäumen ermittelten Ergebnissen. Bei älteren Bäumen kommen weitere Faktoren hinzu, z. B. die Wasserspeicherkapazität im Stamm, die Durchwurzelungstiefe oder die Kronen- und Wurzelkonkurrenz im Bestand.

## Ausblick

Die eingesetzten Methoden zur Erfassung der Reaktionen einzelner Baumarten auf die Variabilität von Klima, Witterung und Boden geben einen Einblick in Anpassungsmöglichkeiten an Trockenheit. Das Ergebnis ist ein Mosaik von Eigenschaften, das noch Lücken aufweist. So konnten in der kurzen Zeit dieser Pilotstudie nur einige der Merkmale untersucht werden, die bei Pflanzen die Trockentoleranz bedingen.

Auch wies die Witterung während des Untersuchungszeitraums nur wenig extreme Trockenperioden auf, wie sie 2018 und 2019 über längere Zeit herrschten. Dennoch erwiesen sich alle Methoden als geeignet, die unmittelbare ökophysiologische Reaktion der Bäume auf die Variabilität der Witterung zu analysieren. So wurden beispielsweise auch die Auswirkungen eines starken Spätfrosterignisses mit den Dendrometern erfasst.

Die Spätfrostepfindlichkeit ist ein weiterer wichtiger Faktor bei der Auswahl alternativer Baumarten. Spätfröste stellen zukünftig ein großes Problem auf wieder zu bewaldenden Schadflächen dar, da Jungbäume auf Freiflächen starker nächtlicher Auskühlung (Strahlungsfrost) ausgesetzt sein können. Die angewandten Methoden bieten sich für weitere Untersuchungen sowohl im Rahmen Monitoring-basierter Ansätze als auch für experimentelle Austrocknungs- und Bewässerungsversuche an.

## Zusammenfassung

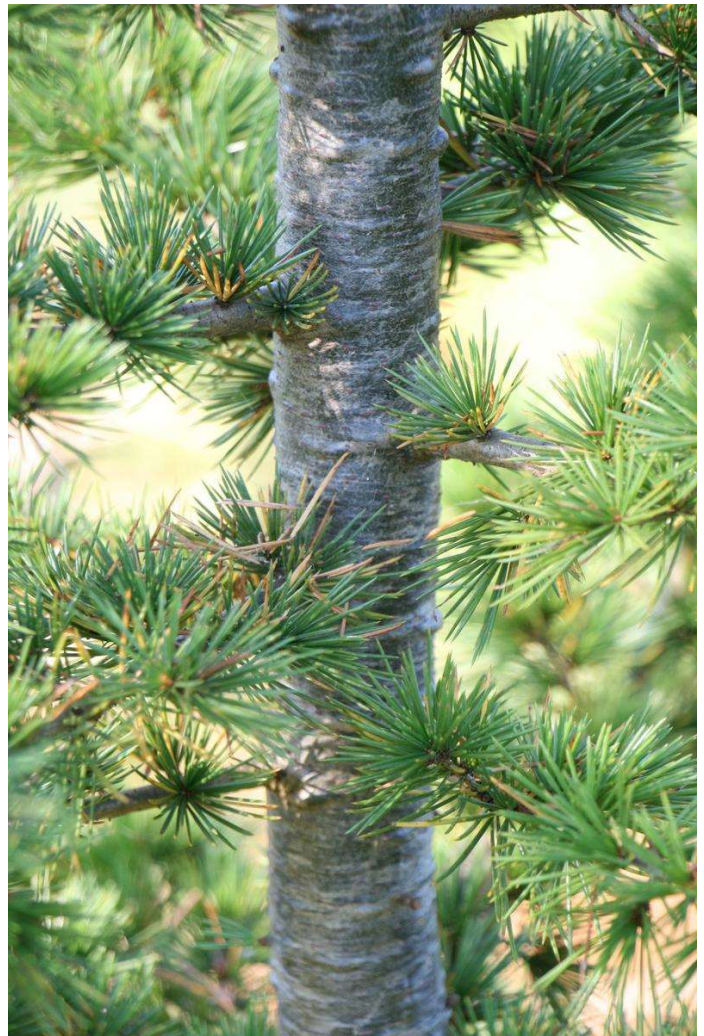


Abb. 7: Die Libanonzeder erwies sich in dem Projekt als die trockenoleranteste Baumart (Foto: Markus Schmidt, HSWT).

Ziel des Pilotprojekts ist die Beurteilung der Trockensensitivität von Jungpflanzen alternativer Baumarten anhand ökophysiologischer und hydraulischer Kenngrößen. Mit Hilfe der angewandten Methoden wurden 2020 und 2021 erste Erkenntnisse über die artspezifischen ökophysiologischen Reaktionen auf Unterschiede in der Witterung und den Standort gewonnen. Die Methoden bieten sich für weitere Untersuchungen sowohl im Rahmen Monitoring-basierter Ansätze als auch für experimentelle Austrocknungs- und Bewässerungsversuche an.

Das Projekt "Potential alternativer Baumarten im Klimawandel - Früherkennung von Trockenstress auf neuen Versuchsflächen in Bayern" (klifW002) (Laufzeit: 01.05.2020 - 31.12.2021) wurde vom Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten finanziert, ebenso die Anlage des Langzeitversuches KLIP18 (Laufzeit: 01.02.2009 - 31.12.2012). Seit Ende der Laufzeit wird KLIP18 von der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft finanziert.

### Mehr auf [waldwissen.net](https://www.waldwissen.net)

#### [Baumartenwahl bei zunehmender Sommertrockenheit](#)

(/de/waldwirtschaft/schadensmanagement/trockenheit/baumartenwahl-bei-zunehmender-sommertrockenheit)

#### [Die Eiche im Klimawandel: Trockenheit und Anpassung](#)

(/de/lebensraum-wald/klima-und-umwelt/klimawandel-und-co2/eiche-im-klimawandel)

#### [Schäden durch Trockenheit](#)

(/de/waldwirtschaft/schadensmanagement/trockenheit/trockenrisse-und-frosttrocknis)

#### [Rindenbrüter an Buche nach Trockenheit](#)

(/de/waldwirtschaft/schadensmanagement/insekten/rindenbrueter-an-buche-trockenheit)

#### [Wasserversorgung forstlicher Standorte im Klimawandel beurteilen](#)

(/de/waldwirtschaft/waldbau/forstliche-planung/wasserversorgung-forstlicher-standorte-im-klimawandel-beurteilen)

### Dokumenteninfos

#### Autoren

Schmidt Markus, Viviana Horna, Sharath Paligi, Bernhard Schuldt, Reiner Zimmermann, Gregor Aas

#### Redaktion

[Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft](#)

(/de/wir-ueber-uns/redaktion-lwf)

#### Kontakt

Klaas Wellhausen

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft

Abt. Boden und Klima

Hans-Carl-v.-Carlowitz-P. 1

D - 85354 Freising

Tel: +49 8161 4591 201

#### Originalartikel

Schmidt, M.; Horna, V.; Paligi, S.; Schuldt, B.; Zimmermann, R.; Aas, G. (2022): Trockentoleranz alternativer Baumarten auf Versuchsflächen. LWF aktuell 135, S. 4 – 7.

#### Download



· [Originalartikel als PDF](#)

(/assets/waldwirtschaft/waldbau/planung/lwf\_trockentoleranz\_alt-baumarten/a135\_s4-7\_schmidt.pdf)

**Online-Version**

09.08.2022