

Wie erfolgt eine Anpassung an Trockenstress bei Bäumen? Einflussfaktoren, Kriterien, Mechanismen, Bewertung

ANDREAS ROLOFF

Trockenstress, Baumreaktionen, Parameter, Anpassungen, Anforderungen, Konsequenzen

Kurzfassung: Nicht erst seit den Sommern 2018 und 2019 wird verstärkt über Trockenstress bei Bäumen diskutiert. Relativ unstrittig ist, dass Anpassung an Trockenstress die Haupt-Anforderung an Baumarten der Zukunft ist, die auch in 50 Jahren noch ihre Funktionen möglichst umfassend und anhaltend in jedem Sommer erfüllen sollen. Es wird veranschaulicht, wie vielfältig und komplex die Bewertung von dafür wichtigen Eigenschaften ist, da es DEN Trockenstress nicht gibt, sondern immer wieder neue, auch bisher nie dagewesene Varianten oder Intensitäten auftreten. Konsequenzen daraus werden abgeleitet und abschließend diskutiert.

How does adaptation to drought stress develop in trees? Influencing factors, criteria, mechanisms, evaluation

drought stress, tree reactions, parameters, adaptations, requirements, consequences

Abstract: Not only since summers 2018 and 2019 there is increasing discussion on drought stress in trees. It is relatively undisputed that adaptation to drought stress is the main demand on future tree species which have to fulfil their functions as extensive and sustainable as possible during every summer of the next 50 years. It is illustrated how diverse and complex the assessment of important features is concerning this topic, and that there is not just ONE drought stress, but a lot of different and always new, some never before occurred variations or intensities. Consequences from that are derived and finally discussed.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	36
2	Begriffsklärung und Zielstellung	36
3	Was am Trockenstress ist für seine Auswirkungen und Bewertung wichtig?	38
4	Trockenstress-Reaktionen und -Anpassungen – Wie ist Trockenstress-Anpassung sichtbar/messbar?	42
5	Schlussfolgerungen	44
6	Literatur	46

1 Einführung

Trockenstress ist DAS Thema unserer Zeit (Abb. 1). Durch die Klimawandel-Diskussion, spätestens aber infolge der Sommer 2018 und 2019 möchten viele Städte und Gemeinden, Wald- und Parkverantwortliche sowie Stadtgrün-Planer wissen, welches die geeignet(st)en „Zukunfts-Baumarten“ sind, die mit den erwarteten Klimaveränderungen (welche auch immer dies sind) am besten zureckkommen und auch in 50–100 Jahren noch ihre Funktionen erfüllen können. So erreichen unser Institut viele Anfragen dazu, da wir uns mit dem Thema seit über 25 Jahren befassen, dazu forschen und publiziert haben (z. B. ROLOFF 1992, 2016; KNOPF et al. 2016). Daher soll hier einmal der Zwischenstand aus der Sicht unserer Untersuchungen am Lehrstuhl für Forstbotanik dargestellt und dabei auch auf offene Fragen eingegangen werden.

2 Begriffsklärung und Zielstellung

Wenn man über die Reaktionen von Bäumen auf Trockenstress nachdenkt, spricht oder schreibt, ist zunächst wichtig, einige Begriffe zu klären, da sie in der Literatur durchaus unterschiedlich verwendet werden und nicht jeder dasselbe meint. Die für das Thema dieses Beitrages wichtigsten Begriffe sind folgende (vgl. ROLOFF et al. 2018; DRESSLER 2019):

- **Umgang mit Stress:** Entscheidend ist die genetische Grundausrüstung mit erfolgter Modifikation durch die Umwelt. Die Anpassung kann erfolgreich und erfolglos sein – erfolgreiche Anpassung kommt z. B. durch Änderung von Eigenschaften zustande (Plastizität).
- **Trockenstress:** Er bezeichnet einen Belastungszustand durch Wassermangel – dieser zwingt Bäume zu Reaktionen der Trockenstress-Anpassung, welche kurzfristig oder langfristig erfolgen und sichtbar oder unsichtbar sein können.
- **Trockenstress-Anpassung:** Der Begriff beschreibt Reaktionen auf Trockenstress, also den Prozess/die Strategie, mit Wassermangel umzugehen. Dies kann erfolgreich sein, dann weist die Baumart Trockenstress-Toleranz auf. Die Reaktionen können auch erfolglos sein mit der Folge von Schäden bis hin zum Absterben von Organen, Kronenteilen oder des ganzen Baumes.
- **Trockenstress-Toleranz:** Sie beschreibt die erfolgreiche Anpassung an Trockenstress, dann ist die Baumart an Trockenstress angepasst. Dies ist auf zwei möglichen Wegen realisierbar, das lässt sich allerdings längst nicht immer deutlich klar unterscheiden und zuordnen.
- **Ertragen von Trockenstress:** z. B. durch Erreichen von weiteren Wasservorräten im Boden infolge Absenkens des Wasserpotenzials (aber: höheres

Risiko der Embolie-Anfälligkeit) oder mittels tiefer Wurzeln, wodurch eine längere Transpirationskühlung und Photosynthese ermöglicht wird.

- **Trockenstress-Vermeidung** (oder -verzögerung): durch morphologische Anpassungen (Blattbehaarung, Kurztriebe, Wasserspeicher im Stamm, etc.), so dass das Wasserpotenzial stabil gehalten werden kann.



Abbildung 1: Erfolgreiche Trockenstress-Anpassung einer Robiniengruppe (im August 2019): die Bäume noch grün, während ansonsten die Vegetation auf großen Flächen vertrocknet ist; Foto: Andreas Roloff.

Figure 1: Successful drought stress adaptation of a black locust group (in August 2019): the trees still green, while otherwise the vegetation has dried out over large areas; photo: Andreas Roloff.

Beim Thema Trockenstress und Baumarten-Verwendung ist vorweg darauf hinzuweisen: Es muss in erster Linie darum gehen, dass die Bäume möglichst viele Blätter (viel Blattfläche) und diese auch so lange wie möglich tragen, wenn sie ihre Funktionen optimal erfüllen sollen, z. B. in der Stadt Beschattung, Kühlung, Transpiration und Luftfilterung, im Wald Photosynthese zur Biomasseproduktion und CO₂-Bindung. Denn ein Baum, der bereits im Juli seine Blätter abwirft, um sich vor Wasserverlusten zu schützen, oder wegen Schädlingsbefalls, kann für den oft besonders warmen Rest der Vegetationszeit sonst diese Funktionen nicht oder nur noch (sehr) eingeschränkt erfüllen (Abb. 2), selbst wenn viele weitere Funktionen des Baumes wie Lebensraum und Biodiversität erhalten bleiben und weiterhin positiv bewertet werden können.



Abbildung 2: Bäume mit Blattschäden oder z. T. ohne Blätter können im August ihre wichtigsten Funktionen wie z. B. Beschattung und Luftfilterung nicht mehr erfüllen (Spitz-Ahorn im Juni 2019); Foto: Andreas Roloff.

Figure 2: Trees with leaf damage or partly without leaves can no longer fulfill their most important functions such as shading and air filtering in August (Norway maple in June 2019); photo: Andreas Roloff.

3 Was am Trockenstress ist für seine Auswirkungen und Bewertung wichtig?

Für die Beurteilung von Anpassungsreaktionen an Trockenstress sind folgende Faktoren besonders entscheidend (Nennung von 10 Faktoren, ohne Anspruch auf Vollständigkeit):

- Zeitraum des Auftretens:
Dabei sind Herbst und Winteranfang relativ unproblematisch, Sommer und insbesondere Frühjahr kritischer zu sehen.
- Dauer:
Bis zu 4 Wochen sind meist unproblematisch, 2-3 Monate hingegen kritisch, insbesondere bei Wiederholung innerhalb einer Vegetationsperiode.
- Vorerfahrung/-schädigung:
Hat bereits nicht allzu lange zuvor eine kritische Trockenphase stattgefunden, sind die Auswirkungen i. d. R. viel bedeutsamer als beim ersten Mal.
War der erste Trockenstress jedoch moderat, kann er auch zu besserer An-

passung der Bäume bei nachfolgenden Trockenstressperioden führen.

- Kombination mit anderen Stressfaktoren:

Hier sind z. B. Hitze, Wind, intensive Strahlung, Frost, Ozon, Pathogene zu nennen, die sich verstärkend auf die Stress-Intensität auswirken.

- Wassermangel im Boden oben/unten, (Mikro-)Standort:

Ist der Boden nur oberflächlich ausgetrocknet, verursacht dies deutlich weniger Stress, als wenn er bereits tiefgründig Wassermangel aufweist. Je nach Bodenart kann dabei die nutzbare Wassermenge sehr unterschiedlich sein. Ebenso ist der Mikrostandort mit seinem Wasserspeichervermögen gerade in der Stadt oft entscheidend: Wasserreservoir können über Verdichtungshorizonten oder Betonflächen, an Wasseradern und Zusammenflüssen von Niederschlägen entstehen.

- Lufttrockenheit:

Sie kann durch Nachschub von Wasser aus dem Boden eine Zeit lang kompensiert werden, solange für die Transpiration der Blätter von dort noch Reserven verfügbar sind. Wenn dieser Nachschub fehlt, wirkt Lufttrockenheit (insbesondere in Verbindung mit Wind) besonders stressverschärfend.

- Blätter, Zweige, Stamm, Wurzeln:

Die Organe eines Baumes reagieren sehr unterschiedlich sichtbar auf Trockenstress: die Blätter relativ frühzeitig und gut sichtbar, Zweige und Knospen deutlich schwächer und verzögert sowie schwieriger sichtbar wie auch die Wurzeln, am wenigsten der Stamm. Der Baum kann auch nach längerer Trockenheit bei Eintreten von Niederschlagsperioden noch Monate später wieder neu austreiben, anfangs aus regulären Knospen an den Zweigen, im fortgeschrittenen Stadium aus schlafenden Knospen (bis hin zum Neuaufbau einer „Sekundärkrone“).

- Baumalter:

Jungbäume sind unmittelbar nach der Pflanzung am stärksten gefährdet (Abb. 3), können allerdings meist auch am einfachsten bewässert werden. Mittelalte Bäume haben oft bereits hilfreiche Mikro-Wasserreservoir im Boden erschlossen und ihre Wurzeln ins Umfeld entwickelt. Altbäume sind meist am wenigsten anfällig, aber gerade auch bei diesen kann es kritisch werden, wenn sie neue oder extreme Wassermangel-Situationen erfahren, denn sie müssen ja eine große Krone und Blattfläche versorgen.

- Zeitraum seit Pflanzung und ihre Art/Qualität:

Die ersten fünf Jahre nach einer Pflanzung sind besonders kritisch, dies vor allem im ersten Jahr und ganz besonders bei Frühjahrs pflanzung. So gab es 2018 in gepflanzten Forstkulturen Sachsen nach Frühjahrs pflanzung bis zu 90 % Ausfälle. Am besten entwickeln sich Bäume aus Saat bzw. Naturverjüngung: ihre Wurzeln finden viel schneller Anschluss an die Bodenverhältnisse und erreichen bereits kurzfristig größere Wurzeltiefen und -breiten. Naturverjüngung oder Saat ist aber in der Stadt nur in Parkanlagen möglich.

Ballenpflanzung kann wegen der Wasserspeicherung im Ballen von Vorteil sein, jedoch für das Auswurzeln aus dem Ballen bei zu ungünstigen Bodenverhältnissen im Umfeld ein Problem für die Wurzelausbreitung bedeuten. Auch die Qualität der Pflanzung hat erhebliche Auswirkungen auf die Stresstoleranz in den Folgejahren.

- Baumart, Herkunft, Ökotyp, Sorte, ggf. Veredlung:

Diese sind ebenfalls von entscheidender Bedeutung. Bei häufigeren Baumarten ist das Trockenstress-Anpassungspotenzial i. d. R. bekannt, bei Herkünften aus trockenen Regionen oder Ökotypen von Trockenstandorten oft weniger, bei Sorten ist es meist besonders schwierig zu beurteilen. Veredlungsstellen können ein zusätzliches Problem darstellen durch die Behinderung des Wassertransports im Veredlungsbereich – diese Bäume sterben daher nach extremen Trockenperioden oft als erste ab (z. B. in den Sommern 2003, 2013, 2018, 2019), teilweise auch erst mit Verzögerung in den Folgejahren.



Abbildung 3: Unterschiedlich alte Bäume mit verschieden starker Schädigung (Ahorne, Eichen); Foto: Andreas Roloff.

Figure 3: Trees of different ages with different degrees of damage (maples, oaks); photo: Andreas Roloff.

Dies sind nur zehn Beispiele für wichtige Einflussfaktoren auf erfolgreiche Anpassungsreaktionen, es lassen sich noch etliche weitere herausarbeiten. Wenn

man nur einmal drei verschiedene Ausprägungsstufen für jeden der zehn Faktoren ansetzt, ergeben sich schon Hunderte möglicher Varianten von Trockenstress, was Intensität, Folgen und Reaktionen betrifft! Daran sieht man bereits, wie komplex die Fragestellung der Interpretation und Bewertung von Trockenstress ist und dass es DEN Trockenstress nicht gibt. Das bedeutet: weitreichende Verallgemeinerungen und voreilige Schlussfolgerungen sind demzufolge nicht zulässig oder können sogar unverantwortlich bzw. irreführend sein.

Ein sehr wichtiger Weiser für die Beurteilung des zu erwartenden Triebwachstums im Folgejahr bei Trockenstress mit Blattschäden und Blattfall, wie 2018 und 2019 weit verbreitet aufgetreten, sind die Knospen (Abb. 4): Sie sind ab Juni sichtbar weitgehend fertig entwickelt und können daher für die Einschätzung eine entscheidende Hilfe sein, ob vorzeitiger Blattfall als Schutzreaktion positiv oder als Absterbesymptom negativ zu interpretieren ist. Dabei ist allerdings zu beachten, dass bei einigen wenigen Baumarten die Knospen unter dem Blattstiell verborgen sind (z. B. bei Platane) oder sogar unter der Blattnarbe (z. B. bei Robinie) und somit im Sommer nicht frei sichtbar erscheinen. Außerdem ist die Knospengröße stark art- oder lichtabhängig, z. B. beim Feld-Ahorn gegenüber Spitz-/Berg-Ahorn oder bei der Rot-Buche an unterschiedlichen Zweigpositionen und in verschiedenen Kronenbereichen (ROLOFF 1986).

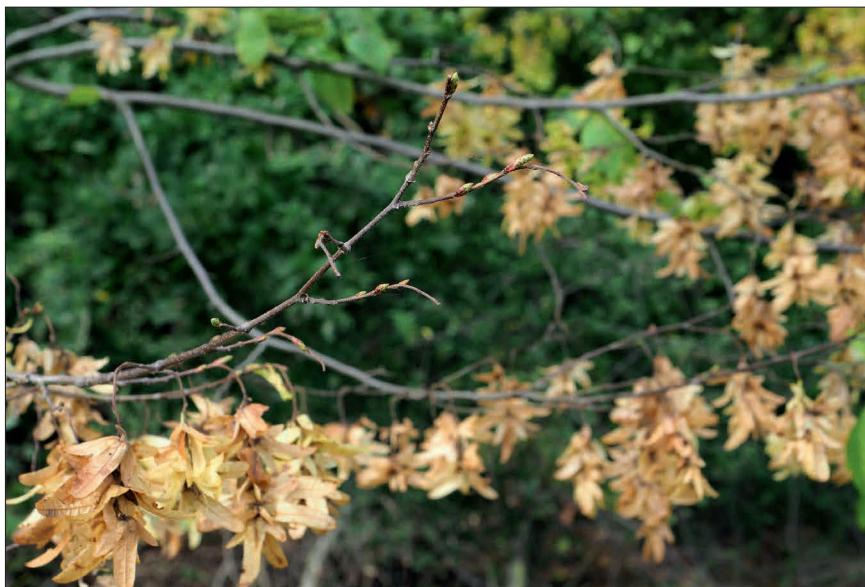


Abbildung 4: Vollentwickelte Knospen (Mitte oben im Bild) trotz Blattfalls im Juli 2019 an Hainbuche (gebundenes Wachstum); Foto: Andreas Roloff.

Figure 4: Fully developed buds (centre above) despite leaf fall in July 2019 on hornbeam (bound growth); photo: Andreas Roloff.

Weiter ist ein entscheidender Unterschied zu sehen zwischen Baumarten mit gebundenem Wachstum (gesamte Knospenanlage im Vorjahres-Frühjahr, z. B. Rot-Buche und die meisten Übergangs- und Klimaxbaumarten) und freiem Wachstum (auch Neuanlage und sofortiger Austrieb im laufenden Sommer, z. B. Pappeln und die meisten Pionierbaumarten (ROLOFF 2018): erstere sind besonders früh fertig mit den Anlagen für das kommende Frühjahr und dann unempfindlicher gegenüber negativen Einflüssen (Abb. 4), letztere können flexibler auf mehrfach wechselnde und vor allem positive Bedingungen während der zweiten Hälfte der Vegetationsperiode reagieren.

4 **Trockenstress-Reaktionen und -Anpassungen – Wie ist Trockenstress-Anpassung sichtbar/messbar?**

Im Folgenden werden mit dem Versuch annähernder Vollständigkeit mögliche gut erfassbare Parameter zum Erkennen, Beschreiben, Beurteilen von Reaktionen und Anpassungen an Trockenstress bei Bäumen genannt und kurz erläutert (nach ROLOFF et al. 2010, 2018). Dafür wurden umfangreich Lehrbücher und sonstige Publikationen ausgewertet.

Unmittelbare/kurzfristige Reaktionen und Anpassungen

- **Schließen der Spaltöffnungen** der Blätter (was unmittelbar die Transpiration vermindert)
- **Absenkung des Wasserpotenzials** oder des osmotischen Potenzials (um weitere Bodenwasservorräte verfügbar zu machen)
- **Blatthängen, -einrollen oder -ein Falten** (z. B. Blatthängen bei Vogel-Kirsche, Einrollen/“Schiffchenbildung“ bei Rot-Buche und Baum-Hasel, Zusammenfalten bei Robinie (Abb. 5), zur Verminderung der direkten Einstrahlung und damit Senkung der Blatttemperatur und Verdunstung)
- **Ausrichten der Blätter** parallel zur Sonnenstrahlung bei einzelnen Arten (Heliotropismus, in der Oberkrone mittags z. B. bei Kübler-Weide und Robinie)
- **Blattwedeln oder -zittern** (z. B. Spitz-Ahorn und Zitter-Pappel, zur Senkung der Blatttemperatur)
- direkte **Blatt-Wasseraufnahme** (insbesondere Nadelbaumarten, z. B. von Tau bei Trockenstress)
- **sofortige Erholung** bei Wiederbewässerung nach Trockenstress
- teilweiser **Blattabwurf** (um die Transpirationsfläche zu vermindern)
- **Zweigabsprünge** (Abwurf von Zweigen bei Eichen, Pappeln und Weiden)
- messbare **Stammumfangabnahme** (vor allem bei zerstreutporigen Laubbäumen und bei Nadelbäumen durch Nutzung des Stammwasservorrates)
- **Embolien** (Lufteintritt und dadurch Blockade eines Teils der Wasserleitbahnen im Holz)

Mittelfristige Reaktionen und Anpassungen

- **Entwicklung von Kurztrieben** (in der Krone der meisten Laubbaumarten im Folgejahr nach einem Trockenstressjahr, um bei minimiertem Aufwand weiterhin möglichst viel Photosynthese zu ermöglichen)
- **Absterben von Zweigen und Kronenteilen** sowie von Fein- und Schwachwurzeln („Eidechsen-Prinzip“: irreversibles Aufgeben eines Teiles der Verzweigung, um den verbleibenden Rest besser zu schützen/zu versorgen)
- **höhere Stomatadichte** (als Anpassung an häufige/wiederkehrende Trockenheit, verbunden mit kleinerer Größe der Spaltöffnungen)



Abbildung 5: Hochklappen der Fiederblättchen bei Robinie zur Verringerung der Einstrahlungsfläche zur Sonne und damit Vermeiden von Trockenstress; Foto: Andreas Roloff.

Figure 5: Folding up the leaflets of black locust to reduce the area exposed to the sun and thus avoid drought stress; photo: Andreas Roloff.

Langfristige (genetisch fixierte) Anpassungen

- **gefiederte oder stark gelappte Blätter** (z. B. Esche und Sumpf-Eiche, dadurch bei starker Einstrahlung eine geringere Blatttemperatur und damit Transpiration als bei einfachen Blättern)
- **oberseits glänzende Blätter** (Cuticula mit dickerer Wachsschicht und/oder dickere Epidermis, z. B. Ungarische Eiche)
- **ledrige/dickere Blätter** („Hartlaubgehölze“, z. B. Buchsbaum)

- **blattunterseitige Behaarung** (mit hellen, da toten Haaren, insbesondere Stern- und Büschelhaaren oder dichtem Haarfilz, z. B. Mehlbeere, viele Linden- und Eichenarten)
- **weißlich-silbrige Blattschuppen** (z. B. Ölbaum und Ölweide)
- **kleine Blätter** mit dichter Blattnervatur oder **nadelartige Blätter** (z. B. Ginster, Stechginster) bzw. **Rollblätter** (Lavendel)
- in die Epidermis **eingesenkte Stomata** (regelmäßig bei Nadelgehölzen)
- stärkere Ausbildung von Festigungs- und Leitelementen in Blatt und Spross, dadurch z. B. im Blatt **deutlich sicht-, fühlbare Hauptnerven**
- **verdickte Epidermis und Rinde/Borke** am Spross und Stamm (Kork-Eiche, Korkbaum und Baum-Hasel), gelegentlich mit Korkleisten (z. B. Feld-Ahorn und Feld-Ulme)
- Umbildung von Sprossenden oder Nebenblättern zu **Dornen** (z. B. Wild-Birne, Wild-Apfel und Robinie)
- **Triebes grün** und damit zur Photosynthese in der Lage (z. B. Ginster), oder blattartig verbreitert (sog. **Flachsprosse** bei Mäusedorn)
- **Stammspeicher** bei älteren Nadelbäumen und zerstreutporigen Laubbäumen
- tiefreichende **Pfahlwurzel** (Eiche) oder sog. **Zweischichtwurzelsystem** (mit einerseits einer Pfahlwurzel für die Tiefenwasservorräte, andererseits weit streichenden Flachwurzeln, die Kurzzeitniederschläge ausnutzen, z. B. Kiefer)
- **geringes Spross-/Wurzelverhältnis** (d. h. mehr Wurzelmasse im Verhältnis zur Sprossmasse)
- **klonales Wachstum** durch Ausläufer (Bambus) oder Wurzelbrut (z. B. Grau-Erle und Zitter-Pappel)
- hohe **Holzdichte** (schweres Holz)
- artbedingt **lichte Krone**
- hohe **Reiterationsfreudigkeit**
- **Pionierbaumarten** mit relativ geringen Ansprüchen an Bodenfaktoren, aber hohem Lichtbedarf, mit in der Jugend **freiem Wachstum**
- natürliches Vorkommen auf **zeitweilig oder dauerhaft trockenen Standorten**
- **sehr hohe Frosthärtete**

5 Schlussfolgerungen

Bei der Diskussion über Trockenstress-Reaktionen und -Anpassungen von Baumarten ist zu beachten, dass insbesondere Stadtbäume ihre Funktionen nicht mehr (vollständig) erfüllen können, wenn die Blätter

- ihre Spaltöffnungen geschlossen haben und demzufolge auch keine Verdunstung (Kühlung) mehr stattfindet, z. B. weil kein Wasser aus dem Boden mehr verfügbar ist;
- Schäden aufweisen oder nur kleine Blätter und kurze Triebe entwickelt werden;
- abgeworfen werden (keine Beschattung mehr erfolgen kann).

Wir müssen damit umgehen, dass es DEN Trockenstress nicht gibt und demzufolge es auch nicht DIE an Trockenstress angepasste(n) Baumart(en) geben kann (ROLOFF 2021). Dies ist auch die Erklärung dafür, dass bei jedem neu auftretenden Trockenstress in Zukunft immer wieder neue Überraschungen in der Baumartenreaktion eintreten können und werden. Man kann nur versuchen, sich auf die am jeweiligen Pflanzort entscheidenden, zuvor genannten Auswahlkriterien zu begrenzen, sonst bleibt am Ende irgendwann womöglich gar keine Baumart mehr übrig. So erklären sich auch die interessanten, aber durchaus z. T. nicht übereinstimmenden Ergebnisse/Erfahrungen z. B. aus GALK-Liste und Stadtgrün 2021 (GALK 2022; BÖLL 2017), wie auch im Vergleich von diesen zu KLAM (ROLOFF 2021; ROLOFF et al. 2008, 2013) und CITREE (2020). Je häufiger sich bestimmte Baumarten in vielen verschiedenen Untersuchungen, Erhebungen und Experimenten positiv bewähren, desto mehr erhält man eine zunehmende Absicherung, wie es z. B. beim Schnurbaum der Fall ist.



Abbildung 6: Allee/Baumreihe mit mehr als 5 Baumarten und vielfältiger Herbstfärbung; Foto: Andreas Roloff.

Figure 6: Avenue/tree row with more than 5 tree species and diverse fall color; photo: Andreas Roloff.

Eine (nicht neue) Grundkonsequenz aus all dem Behandelten ist, möglichst viele verschiedene solcher bestgeeigneten Baumarten zu pflanzen – dann werden sich davon immer etliche vor Ort bewähren (KRABEL 2017, 2018). Dies spricht auch deutlich für zukünftige Mehrarten-Alleen mit 4–5 Baumarten (Abb. 6) – ein spannendes Thema, das am Lehrstuhl gerade bearbeitet wird. Dafür wird man die Sicht auf Alleen modifizieren müssen: nicht mehr einheitliches Aussehen „aus einem Guss“ hat höchste Priorität, sondern ein möglichst gut harmonierendes Wachstum der beteiligten Arten mit unterschiedlichen Ansprüchen und Wirkungen. Es kann, unvoreingenommen betrachtet, durchaus spannend werden, wenn Alleen vielfältiger aussehen: mit in mehreren Zeitschnitten verschiedenen blühenden Baumarten, oder unterschiedlichen Herbstfarben und Verfärbungsperioden. Dann sehen Alleen in 50 Jahren vielleicht ganz anders aus als heute. Es wird interessant, wie Denkmal- und Naturschutz damit umgehen werden, wenn sie oft vor allem frühere oder heutige Zustände festschreiben möchten.

6 Literatur

- CITREE (2020): Planungsdatenbank für urbane Gehölze. – Professur für Forstbotanik, TU Dresden. www.citree.de [Zugriff 1.8.2022].
- BÖLL, S. (2017): Das Forschungsprojekt „Stadtgrün 2021“ – ein Überblick. – Jahrbuch f. Baumpflege, **2017**: 23–28.
- DRESSLER, A. (2019): Anpassung an Trockenheit – Einfluss unterschiedlicher Bewässerungsstrategien auf die Trockenheitstoleranz junger Gehölze. – Dissertation Fak. Umweltwissenschaften TU Dresden. – 167 S; Dresden.
- GALK (2022): Straßenbaumliste. – <http://www.galk.de> [Zugriff 10.08.2022].
- KNOPF, D., ROLOFF, A., BOOCK, U. & BACHMANN, J. (2016): Bäume in Jena – Stadt- und Straßenbäume im Klimawandel, Stadtbaukonzept. – Schriften zur Stadtentwicklung, **7**: 1-160.
- KRABEL, D. (2017): Bedeutung genetischer Variabilität für den Erhalt von Baumpopulationen in unseren Städten. – ProBaum, **1/2017**: 8-11.
- KRABEL, D. (2018): Genetische Variabilität als „Strategie“ für ein nachhaltiges Grünflächenmanagement. – In: DUJESIEFKEN, D. (Hrsg.): Jahrbuch der Baumpflege, **2018**: 237-241; Braunschweig (Haymarket Media).
- ROLOFF, A. (1986): Morphologische Untersuchungen zum Wachstum und Verzweigungssystem der Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.). – Mitt. Dt. Dendrol. Ges., **76**: 5-47.
- ROLOFF, A. (1992): Mögliche Auswirkungen des Treibhauseffektes auf die Konkurrenzsituation in Waldökosystemen. – Forstarchiv, **63**: 4-10.
- ROLOFF, A. (2016): Verwendung nichtheimischer Baumarten in der Stadt und als Straßenbäume in Jena. – In: Stadt Jena (Hrsg.): Bäume in Jena – Stadt- und Straßenbäume im Klimawandel / Stadtbaukonzept. – Schriften zur Stadtentwicklung, **7**: 36-45.
- ROLOFF, A. (2018): Vitalitätsbeurteilung von Bäumen – Aktueller Stand und Weiterentwicklung. – 205 S.; Braunschweig (Haymarket Media).
- ROLOFF, A. (Hrsg.) (2021): Trockenstress bei Bäumen – Ursachen, Strategien, Praxis. – 288 S.; Quelle & Meyer, Wiebelsheim.

- ROLOFF, A., BONN, S. & GILLNER, S. (2008): Konsequenzen des Klimawandels – Vorstellung der Klima-Arten-Matrix (KLAM) zur Auswahl geeigneter Baumarten. – Stadt + Grün, **57** (5): 53-61.
- ROLOFF, A. & GILLNER, S. (2013): Klimawandel und Stadtbäumarten. – In: ROLOFF, A.: Bäume in der Stadt. – 168-186; Stuttgart (Verlag E. Ulmer).
- ROLOFF, A., GRUNDMANN, B. & KORN, S. (2010): Trockenstress bei Stadtbäumen – Mechanismen und Reaktionen der Anpassung, Nutzen für die Artenwahl. – Stadt+Grün, **59**: 54-60.
- ROLOFF, A., KNIESEL, B. & KORN, S. (2018): Trockenstress bei Stadtbäumen – Ursachen, Reaktionen, Anpassungen. – In: ROLOFF, A.: Vitalitätsbeurteilung von Bäumen – Aktueller Stand und Weiterentwicklung. – 171-182; Braunschweig (Haymarket Media).

PROF. DR. ANDREAS ROLOFF
Institut für Forstbotanik und Forstzoologie
TU Dresden, Fak. Umweltwissenschaften
Piennaer Str. 7
01737 Tharandt
andreas.roloff@tu-dresden.de

Manuskripteingang: 2. August 2022