

## Wasserverbrauch und Wachstumsdynamik von *Quercus frainetto* und *Tilia cordata*

Martin Schreiner<sup>1\*</sup>, Barbara Jäckel<sup>1</sup>, Jürgen Müller<sup>2</sup>, Alexander Block<sup>3</sup>  
und Falk Böttcher<sup>4</sup>

### Zusammenfassung

Für den Erhalt und das Pflanzen von Stadtbäumen sind neue Strategien zur Anpassung an die veränderten Bedingungen erforderlich, die auf Einzelbaubelebene Anwendung finden müssen. Mit Lysimetern wurden Wasserhaushaltsuntersuchungen von Ungarischer Eiche (*Quercus frainetto*) und Winterlinde (*Tilia cordata*) durchgeführt. Erste Ergebnisse zeigten Unterschiede in der Dynamik und im Gesamtwasserverbrauch beider Baumarten sowie auf Trockenheit. Die Ergebnisse finden bei der Erweiterung des zukünftigen Stadtgrüns ihre Anwendung.

Schlagwörter: Stadtbäume, Lysimeter, Transpiration, Wasserhaushalt, Radialzuwachs

### Summary

The processes of planning, planting, and maintenance of urban trees require new strategies adapted to the changing conditions, applied on the individual tree level. Water balance studies of Hungarian oak (*Quercus frainetto*) and lime tree (*Tilia cordata*) were carried out with lysimeters. First results showed the differences in the dynamics and total amount of annually consumed water and in the reaction of drought. The results are now being used in the renewal of future urban green spaces.

Keywords: City trees, Lysimeter, transpiration, water balance, radial growth

## Einleitung

Im Zuge veränderter Klimabedingungen wird seit geraumer Zeit nach Baumarten gesucht, die diesen Klimaveränderungen trotzen. Zudem potenzieren sich diese Umwelteinflüsse im urbanen Raum auf die dortigen Vegetationsbestände – und insbesondere auf Bäume. Daher ist es von großem Interesse, geeignete Baumarten zu finden, die einerseits zukünftig mit diesen Umwelteinflüssen im umbauten Raum zurechtkommen und andererseits wichtige stadtoökologische Funktionen optimal erfüllen. Als eine dieser Zukunftsbaumarten gilt *Q. frainetto* (Roloff et al. 2008, Schönfeld 2018). Der Wasserhaushalt dieser Baumart wurde mit der in Berlin mit Abstand am häufigsten im Stadtgrün eingesetzten *T. cordata* untersucht.

Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich im Wesentlichen auf die erste Vegetationsperiode der Untersuchung 2019 und wurden im Rahmen einer Bachelorarbeit erarbeitet. Sie sind Bestandteil eines dreijährigen Projekts des Pflanzenschutzamtes Berlin, des Deutschen Wetterdienstes sowie des Naturwissenschaftlichen Vereins Eberswalde e.V. zur „Wasserhaushaltsmodellierung zur Erhöhung der Resilienz von Straßebäumen in Berlin“, finanziert durch das Berliner Energie- und Klimaschutzprogramm 2030 des Berliner Senats.

<sup>1</sup> Pflanzenschutzamt Berlin, Mohriner Allee 137, D- 12347 Berlin, <sup>2</sup> Naturwissenschaftlicher Verein Eberswalde e.V., Eberswalder Str. 17 A, D-16244 Schorfheide, <sup>3</sup> Wilsnacker Str. 38a, D-10559 Berlin, <sup>4</sup> Deutscher Wetterdienst, Außenstelle Leipzig, Kärnerstraße 68, D-04282 Leipzig

\* Ansprechpartner: M. Eng. Martin Schreiner, email: martin.schreiner@senuvk.berlin.de

## Material und Methoden

Im Frühjahr 2019 wurden auf der Lysimeterstation in Eberswalde *T. cordata* und *Q. frainetto* in je drei Lysimeter gepflanzt (Block 2020). Diese waren mit Finowtaler Sand-Braunerde (Bodenart sS nach KA5) befüllt. Die Bepflanzung der Lysimeter mit den Versuchsgehölzen erfolgte doppelt, also 2 Pflanzen je Lysimeter (Abbildung 1). Die Lysimeteroberfläche wurde mit Holzhackschnitzel abgedeckt. Zur Pflanzung erfolgte eine Wassergabe, eine weitere im Frühsommer.

Als Messtechnik zum Wasserhaushalt und Zuwachs kamen neben den Lysimetern und Bodenfeuchte (Senteksonde) je Baumart ein Saftflussmessgerät des Typs ICT-SFM1 (HRM) zum Einsatz sowie je Baum ein Durchmesserdendrometer des Typs DDS-1 in 15 cm Höhe am Stamm angebracht. Die klimatischen Parameter wurden mittels einer in unmittelbarer Nähe zur Lysimeteranlage befindlichen meteorologischen Station erfasst.

Die Bodenfeuchte in fünf Bodentiefen, der Stammdurchmesser und die meteorologischen Parameter wurden stündlich, der Saftfluss in einem Intervall von 15 Minuten gemessen und auf einem Datenlogger gespeichert.

Die ermittelte Evapotranspiration der Lysimeterbäume sind Wochenwerte. Sie wurde nach der Wasserhaushaltsgleichung berechnet:

$$V = -Dw + (N100 * A) - D$$

V = Evapotranspiration [l]

Dw = Bodenwasservorratsänderung [kg]

N100 = Niederschlagsmenge in 100 cm Höhe [mm]

A = Lysimeter-Grundfläche [m<sup>2</sup>]

D = Durchflussmenge (Sickerwasser) [l]

## Ergebnisse

### Klimatische Bedingungen im Versuchszeitraum

Am Versuchsstandort betrug die Niederschlagsmenge 370 mm im Zeitraum vom 24.03.2019 bis 17.11.2019. Während dieser Zeit gab es drei trockene Perioden mit nur wenig Niederschlag: Ende April bis Mitte Mai, Mitte Juni bis Anfang Juli und Mitte August bis Mitte September. Drei Nächte in der 1. Maihälfte wiesen leichte Fröste auf. Insgesamt gab es 27 Hitzetage, wovon 7 Tage eine  $T_{max}$  von  $> 35^{\circ}C$  erreichten. Ende Juni gab es die heißesten Tage mit den höchsten Werten an Globalstrahlung (Wochenmittel  $293,8 W/m^2$ ) (Abbildung 2).

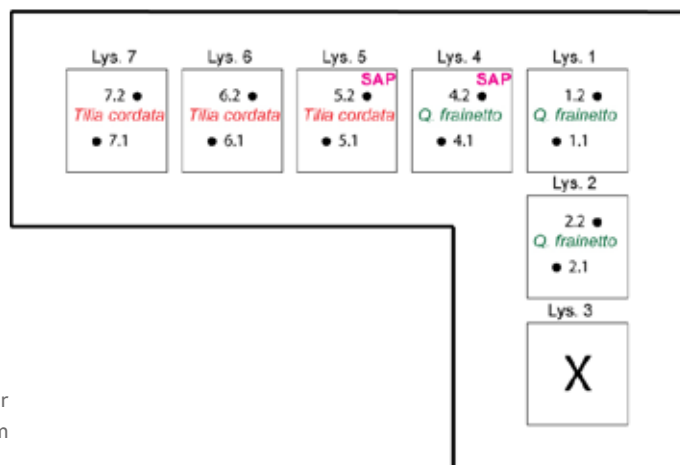


Abbildung 1: Schematischer Aufbau des Versuchs auf dem Drachenkopf in Eberswalde.

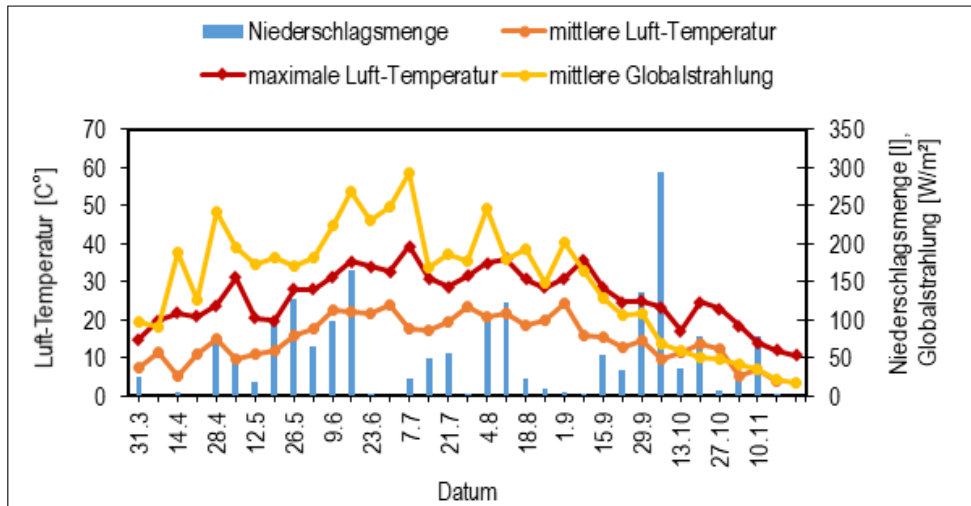


Abbildung 2: Wochenwerte der klimatischen Bedingungen am Versuchsstandort Eberswalde Drachenkopf im Beobachtungszeitraum vom 20.03.2019 bis 17.11.2019.

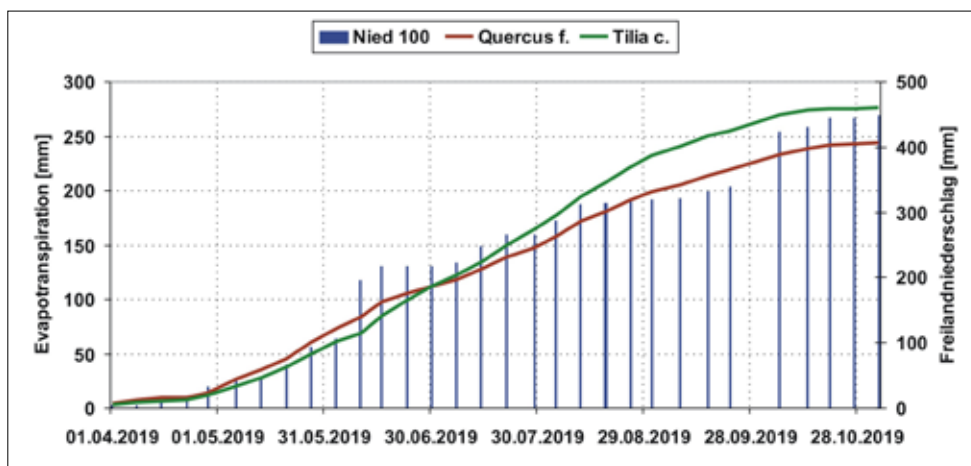


Abbildung 3: Kumulierte wöchentliche Evapotranspirationen der Lysimeter im Zeitraum vom 01.04.2019 bis 17.11.2019. Alle Lysimeter sind jeweils doppelt bepflanzt.

## Wasserbilanzmessung mit Lysimeter

### Lysimeter-Evapotranspiration

Die mit *T. cordata* bepflanzten Lysimeter wiesen bis zum Vegetationsende höhere Evapotranspirationen auf, als die mit *Q. frainetto* bepflanzten Lysimeter. Durch die frühere und intensivere Blattentwicklung von *Q. frainetto* im Mai/Juni ist die Verdunstung größer als die von *T. cordata*. Ab Mitte Juli unterscheiden sich diese mit *T. cordata* bepflanzten Lysimeter zu denen mit *Q. frainetto* bepflanzten zunehmend (Abbildung 3). Tabelle 1 beinhaltet die Werte der kumulierten Evapotranspirationen der Lysimeter 2, 4, 5, 6, 7 im Zeitraum vom 25.03.2019 bis 17.11.2019.

Zu Beginn des Julis 2019 zeigten alle *Q. frainetto* leichte Welkeerscheinungen. Bei *T. cordata* waren diese Erscheinungen nicht zu beobachten. Bei den wöchentlichen Evapotranspirationen ist der starke Rückgang der Verdunstung bei *Q. frainetto* zwischen dem 23.06. und 14.07. auffällig. Unterschiede zeigen sich im Vergleich der beiden Baumarten zudem in der Dynamik der Verdunstungsmengen. Die mit *T. cordata* bepflanzten Lysimeter steigern sich ab Messbeginn wöchentlich und erreichen ihren Höhepunkt gegen Ende August (gemittelt 17,6l/Woche). Zudem war ab diesem Zeitpunkt ihr Wachstum weitestgehend abgeschlossen. Danach sinken die Werte stetig bis Ende Oktober auf 1l/Woche ab. Die mit *Q. frainetto* bepflanzten Lysimeter hingegen weisen verhältnismäßig hohe Verdunstungsmengen schon zu Beginn der Vegetationsperiode ab Ende April auf. Hier wird Ende Mai der höchste Wert mit 15,7l/Woche gemessen.

Tabelle 1: Evapotranspirationsmengen (gerundet) vom 25.03.2019 bis 17.11.2019.

Baumart	Q. frainetto		T. cordata		
Lysimeter Nr.	2	4	5	6	7
Verdunstungsmenge [l]	244	245	261	272	297

Abbildung 4: Gemittelte wöchentliche Evapotranspirationsmengen der Lysimeter 2, 4 (Q. frainetto), und der Lysimeter 5, 6, 7 (T. cordata) im Verlauf vom 01.04.2019 bis 17.11.2019.

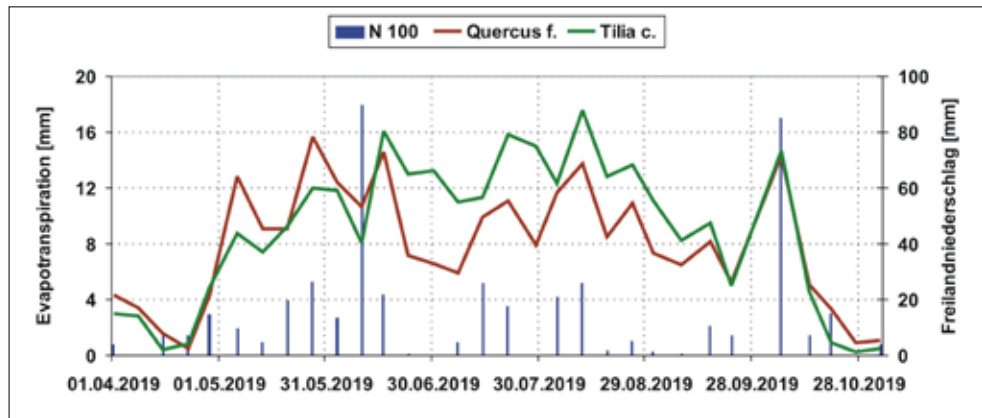
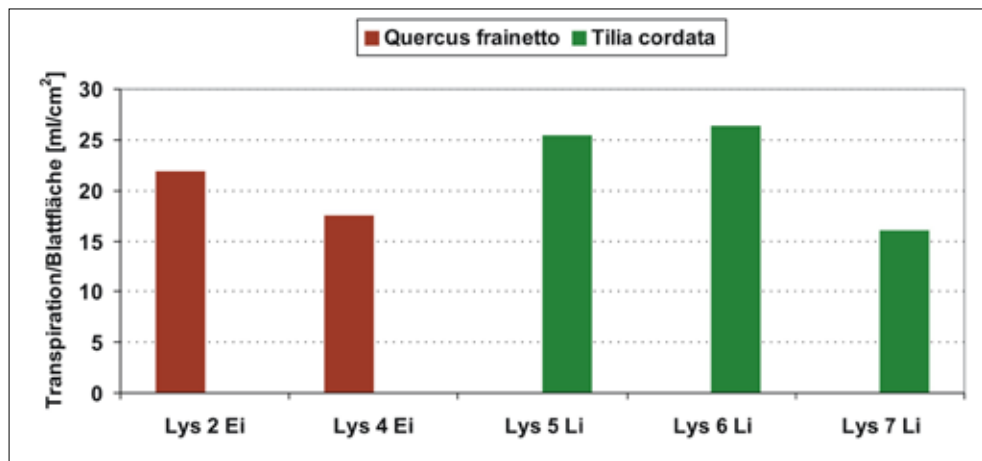


Abbildung 5: Transpirationsmenge pro Blattfläche von Q. frainetto und T. cordata vom 25.03.2019 bis 17.11.2019.



Nach dem 25.08. gehen auch hier die wöchentlichen Evapotranspirationsmengen zurück, jedoch weniger stark abfallend als bei *T. cordata* (Abbildung 4).

### Transpiration

Bezogen auf die Blattfläche beträgt die durchschnittliche Transpirationsmenge im Beobachtungszeitraum vom 25.03. bis 17.11. bei *Q. frainetto* 22,67 ml/cm<sup>2</sup>, bei *T. cordata* 24,71 ml/cm<sup>2</sup>. Die Blattfläche der im Juli vorzeitig abgeernteten, nekrotischen Blätter von *Q. frainetto* wurde hierbei nicht berücksichtigt. *Abbildung 5* zeigt das Verhältnis von Transpirationsmenge [ml] zu Blattfläche [cm<sup>2</sup>] für alle Lysimeter.

Bei den täglichen Saftflussmengen im Verlauf des Beobachtungszeitraums war bei beiden Baumarten ein deutliches Profil feststellbar, mit Spitzenwerten Mitte Juni und Mitte August und einer Reduzierung in den niederschlagsarmen Zeiträumen zwischen dem 17.06. und 07.07.– letztere lag bei *T. cordata* um 80 % und bei *Q. frainetto* um gut 65 % der maximal gemessenen täglichen Saftflussmenge. Differenzierungen zeigen sich hingegen während der Trockenphase ab Mitte August. Während *T. cordata* die Transpiration stark zurückfährt, hält *Q. frainetto* hohe Werte aufrecht und kann zudem bis zum Beobachtungsende am 27.10. die täglichen Saftflussmengen im Gegensatz zu *T. cordata* weiterhin auf relativ hohem Niveau stabil halten.

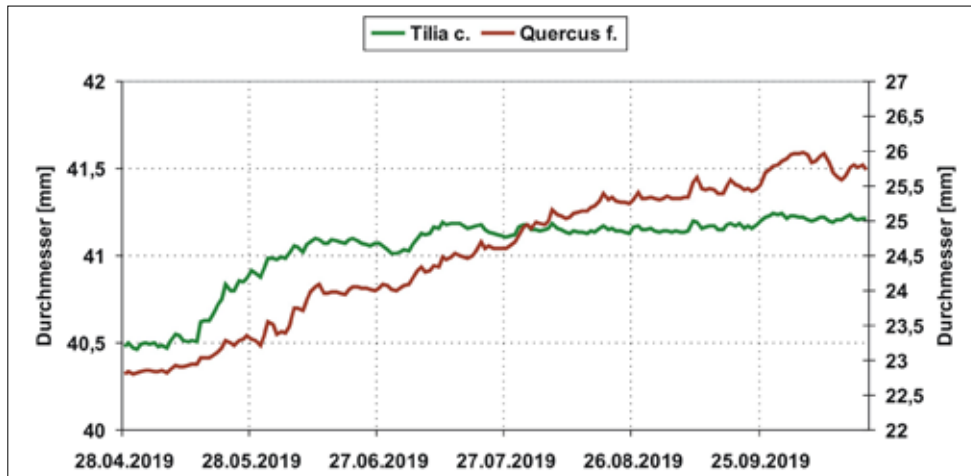


Abbildung 6: Gemittelte Tagesdurchschnittswerte der Stammdurchmesser von *Q. frainetto* und *T. cordata* im Verlauf vom 28.04.2019 bis zum 27.10.2019, n = 6.

### Radialzuwachs

Beim Radialzuwachs zeigen sich deutliche Unterschiede beider Baumarten im Verlauf der Vegetationsperiode. *T. cordata* hat ihre höchste Zuwachsrate nach voller Blattentwicklung von Anfang Mai bis Ende Juni. Danach nimmt der Zuwachs ab. Während der Trockenphasen, vor allem ab Mitte August werden Schrumpfungen des Stammes registriert. Der Baum reagiert auf die zunehmende Bodenaustrocknung mit Reduktion des Radialzuwachses. Nach einsetzenden Niederschlägen werden wieder annähernd die Durchmesser von vor Beginn der Schrumpfphase erreicht (Abbildung 6).

Der Stammzuwachs der *Q. frainetto* ist während der Vegetationsperiode im Gegensatz dazu stetig steigend. Die Zuwachsphase erstreckt sich bis Anfang Oktober. Der Verlauf des Zuwachses ist wie bei der *T. cordata* geprägt von Schrumpfung und Quellung des Stammes in Abhängigkeit von Bodenaustrocknung und Niederschlag. Welcher der beiden Baumarten sensitiver auf längere Trockenphasen reagiert, ist nach dem ersten Versuchsjahr noch nicht abschließend zu beantworten.

### Diskussion

Die Unterschiede in der Transpirationsmenge pro Blattfläche zwischen den beiden Baumarten sind relativ gering, mit leicht höheren Werten bei *T. cordata*. Der vorzeitige Blattverlust bei *Q. frainetto* zu Anfang Juli wurde hierbei nicht berücksichtigt.

Durch fortschreitende Bodenaustrocknung, aber vor allem durch hohe Temperaturen (bis zu 39°C) und hohe Strahlungswerte reduzieren sich aufgrund physiologischer Reaktionen die täglichen Saftflussmengen bei beiden Baumarten ab Mitte Juni erheblich (Larcher 2001).

Während der Trockenperiode ab Mitte August zeigt sich ein unterschiedliches Verhalten beim Saftfluss beider Baumarten. Während *T. cordata* sehr stark auf ausbleibende Niederschläge und Zunahme der Bodenaustrocknung reagiert, hält *Q. frainetto* ihren Saftfluss relativ stabil. Hier zeigt sich die vielfach beschriebene Trockenheitstoleranz dieser Baumart (Roloff et al. 2008, Sanders et al. 2014).

Der Radialzuwachs der Stämme reagiert sehr sensitiv auf Änderungen von Witterungsbedingungen. Trockenperioden während der Vegetationsperiode können hierbei zu einem zeitweisen Schrumpfen des Stammes führen (Hinckley & Bruckerhoff 1974, Hsiao 1974, Zweifel 2016).

Diese Schrumpfung des Stammes ist während der Trockenphase zwischen den Kalenderwochen 34 und 39 an den Versuchsbäumen am stärksten zu beobachten. Bei der zerstreutporigen *T. cordata* sind negative Wachstumsraten zu beobachten, die sich jedoch mit einsetzenden Niederschlägen fast vollständig umkehren, wodurch der Stammumfang

vor Beginn der Trockenperiode annähernd erreicht wird. Bei der ringporigen Baumart *Q. frainetto* sind die durch Bodentrockenheit bedingten Stammschrumpfungen geringer. Der starke Rückgang des Stammdurchmessers von *Q. frainetto* gegen Mitte Juni ist nicht auf den Bodenwasserhaushalt zurückzuführen. Der Boden ist zu dieser Zeit noch ausreichend gesättigt. Zudem bestätigen Ergebnisse aus England die Trockentoleranz der Baumart. Diese zeigen, dass das Radialwachstum von *Q. frainetto* erst abnimmt, wenn der Niederschlag unter 242 mm in der gesamten Vegetationsperiode sinkt (Sanders et al. 2014). Zum selben Zeitpunkt der Schrumpfungen zeigen zudem alle *Q. frainetto* leichte Welkeerscheinungen und nekrotische Blätter. Bei *T. cordata* zeigt sich diese äußerliche Reaktion nicht. Dies dürfte als Reaktionen auf die zu dieser Zeit sehr hohen Temperaturen (39°C) verstanden werden – was keinen Widerspruch zu den beschriebenen Eigenschaften (wärmeliebend, hitzetolerant) des Baumes darstellt, sondern um eine Anpassungsreaktion handelt, wodurch *Q. frainetto* ihre Verdunstungsfläche verkleinert um sich somit vor Austrocknung zu schützen. Auch bei *T. cordata* zeigen sich zu diesem Zeitpunkt Reaktionen im radialen Zuwachs. Hier geht der Stammzuwachs vollständig zurück und wird nach dieser Periode nicht wieder fortgesetzt. Die Ergebnisse des radialen Zuwachses während der gesamten Vegetationsperiode bestätigen die in der Literatur beschriebene Schnellwüchsigkeit von *Q. frainetto* (Glatzer & Schramm 2010). Während *T. cordata* den größten Zuwachs zwischen Anfang Mai und Mitte Juli hat, ist der Stammzuwachs von *Q. frainetto* bis Ende Oktober stetig steigend, gleichwohl wie bei *T. cordata* von Schrumpfung und Quellung des Stammes in Abhängigkeit von Boden-austrocknung und Niederschlag begleitet.

Generell lässt sich sagen, dass neben genetischen und hormonellen Faktoren der Bodenwasserhaushalt einen hohen Einfluss auf das Wachstum von Bäumen hat (Matyssek et al. 2010). Eine große Bedeutung hat dabei der Zeitpunkt der auftretenden Trockenheit (Etzold & Zweifel 2018). Ein trockener Frühling führt bei *T. cordata* zu einer starken Wachstumsreduktion, da sie zu dieser Jahreszeit die höchsten Zuwachsraten hat. Die vorliegenden Ergebnisse legen für *Q. frainetto* mit ihrem sehr linearen Radialzuwachs während der gesamten Vegetationsperiode nahe, dass sie solche Phasen besser kompensieren kann. Der Blattaustrieb setzte bei *Q. frainetto* (14. KW) gut zwei Wochen eher ein als bei *T. cordata* (16. KW).

## Schlussfolgerung

Die Ergebnisse zeigen, dass es zum Teil Unterschiede im Wasserhaushalt der untersuchten Baumarten gibt. So unterscheidet sich der Gesamtwasserverbrauch sowohl in Höhe als auch in der innerjährlichen Dynamik im Untersuchungszeitraum deutlich. Gerade unter Trockenphasen mit abnehmenden Bodenwassermengen reagiert *T. cordata* stärker mit einer Reduzierung der Transpirationsraten als *Q. frainetto*. Hinsichtlich der Zuwachsraten nach einem sommerlichen Trockenereignis steigt das Stammwachstum von *Q. frainetto* bis zum Ende der Vegetationsperiode stetig an, während *T. cordata* ab diesem Zeitpunkt nur noch ein geringes Stammwachstum aufweist. Dies lässt den Schluss zu, dass *Q. frainetto* als Zukunftsbaumart für innerstädtische Standorte unter prognostizierten veränderten Klimabedingungen Vorteile im Wachstumsverhalten hinsichtlich Trockenheitstoleranz, Wachstum und Kohlenstofffixierung gegenüber *T. cordata* aufweist.

Um dies weiter zu validieren, werden die Untersuchungen zur Erweiterung der Datengrundlage bis Ende 2021 fortgeführt.

## Literatur

Block A. (2020) Vergleichende Untersuchung zum Wasserhaushalt von Stadtbäumen anhand verschiedener Messtechniken, Bachelorarbeit an der Beuth Hochschule für Technik Berlin, Studiengang Gartenbauliche Phytotechnik, 50 S.

- Ehlers W. (1996) Wasser in Boden und Pflanze, Eugen Ulmer KG, Stuttgart (Hohenheim).
- Etzold S., Zweifel R. (2018) TreeNet: Daten und Analysen der ersten fünf Messjahre. WSL-Berichte, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Birmensdorf CH, 5, 72, 60-63.
- Glatzer K., Schramm E. (2010) Klimabezogener Umbau der Eichenwälder mit mediterranen Eichen – Eine vorläufige Wirkungs- und Folgenabschätzung. BiKF Knowledge Flow Paper. 6, 17, 14.
- Granier A. (1987) Evaluation of transpiration in a Douglas-fir stand by means of sap flow measurements. *TreePhysiol.*, 3(4), 309-319.
- Hinckley T.M., Bruckerhoff D.N. (1974) The effects of drought on water relations and stem shrinkage of *Quercus alba*. *Canadian Journal of Botany* 46, 53, 62-72.
- Hsiao T.C., Acevedo E. (1974) Plant responses to water deficits, water-use efficiency, and drought resistance. *Agricultural Meteorology*, 10, 14, 59-84.
- Larcher W. (2001) Ökophysiologie der Pflanzen. 6. 2teAufl., Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, 408 S.
- Matyssek R., Fromm J., Rennenberg H., Roloff A. (2010) Biologie der Bäume. Eugen Ulmer KG, Stuttgart (Hohenheim), 349 S.
- Roloff A., Gillner S., Bonn S. (2008) Vorstellung der KLimaArtenMatrix für Stadtbaumarten (KLAM-Stadt) Gehölzartenwahl im urbanen Raum unter dem Aspekt des Klimawandels, In: Bund deutscher Baumschulen (Hrsg.) Forschungsstudien: Klimawandel und Gehölze, 30-42.
- Sanders T.G., Pitman R., Broadmeadow M.S. (2014) Species specific climate response of oaks (*Quercus* spp.) under identical environmental conditions. *iForest-Biogeosciences and Forestry*. 44, 7(2), 61-69.
- Schönfeld P. (2018) Klimabäume: welche Arten sind zukunftsträchtig?, *ProBaum* 03/2018, 2-7.
- Zweifel R. (2016) Radial stem variations – a source of tree physiological information not fully exploited yet. *Plant, Cell & Environment*, 47, 39, 231–232.

