

# Baum-Lysimeter - ein Beitrag zur natürlichen Klimatisierung der Stadt?

Erwin Murer<sup>1\*</sup> und Stefan Schmidt<sup>2</sup>

## Zusammenfassung

Funktionsfähige Stadtbäume und Stadtböden werden in Zukunft eine wesentliche klimatische Ausgleichsfunktion in den Städten übernehmen. Bäume mit entsprechender Größe sind Voraussetzungen, um diese klimatische Ausgleichsfunktion wie Schatten, Verdunstung, Filter etc. zu gewährleisten. Ein ausreichender Wurzelraum ist dafür die Grundvoraussetzung. Der Baumwurzelraum wird jedoch zunehmend durch Gehwege und Straßen begrenzt und wird im Winter durch Salzstreuung belastet. Daher sinkt die Lebenserwartung der Stadtbäume, da sie anfälliger für Krankheiten werden. Um aktiv auf diese Herausforderung zu reagieren, wurde ein neues Substrat für Stadtbäume entwickelt und getestet. Das neue Substrat sollte billig, leicht, einfach herzustellen und gut mischbar sein. Daher wurden leicht verfügbare regionale Materialien (fluviatiles Sediment der Donau, städtischer Kompost sowie Sand und Dolomit-Splitt aus Steinbrüchen in der Nähe von Wien) verwendet. Nach der Entwicklung des neuen Substrats unter Laborbedingungen wurde das Substrat in drei verschiedenen Arten von Feldversuchen (6 Lysimeter, 2 Wasserhaushaltsmessstellen und 20 Baumstandorte im Straßenraum) getestet.

*Schlagwörter:* Baumsubstrat, Stadtbäume, Lysimeter, Wasserhaushalt, Chlorid, Nitrat

## Summary

Functioning urban trees and city soils will contribute an important climatic compensation function in the cities of the future. Trees of appropriate size are prerequisites to ensure this climatic compensation function such as shadows, evaporation, filters, etc. The basic requirement for this is a sufficient root space. But tree root space is more and more limited by pavements and roads and is polluted by salt application during winter time. Thus, the life expectancy of the city trees is likely to decrease because they become more susceptible to diseases. To actively react upon this challenge a new soil substrate for city trees has been developed and tested. The new substrate should be cheap, easy, simple to produce and well miscible. Therefore, easily available regional materials (river sediment of the Danube, city owned compost, sand and dolomite chippings from quarries near Vienna) have been used. After development of the new substrate under laboratory conditions, it is presently tested in three different types (6 lysimeters, 2 water balance and pollutants measuring sites and 20 street tree sites to monitor growth) of field experiments.

*Keywords:* Tree substrate, City trees, Lysimeter, Water balance, Chloride, Nitrate

## Einleitung

Die Bäume nehmen Wasser mit ihren Wurzeln aus dem Boden auf und geben es über die Spaltöffnungen der Blätter als Wasserdampf an die Atmosphäre wieder ab. Ist im Boden nur noch wenig Wasser vorhanden, regulieren die Bäume ihren Stoffwechsel und die Verdunstung herunter. Damit nimmt auch der Kühleffekt ab. Der Boden ist damit eine wichtigste Stellschraube in dieser natürlichen Klimaanlage. Denn die Bäume können nur so viel verdunsten, wie vom Boden gespeichert und ihnen zur Verfügung gestellt wird. Nach etwa 20 Jahren erreicht ein Baum eine Größe um die geplanten Funktionen einer ausreichenden Beschattung und Verdunstung zu erfüllen. Dafür benötigt er eine entsprechend große Krone, aber auch genügend großen Wurzelraum. Pro Quadratmeter Kronenprojektionsfläche braucht ein Baum 0,75 m<sup>3</sup> Wurzelraum (Faustregel). In der *Abbildung 1* ist das optimale Verhältnis von Kronenprojektionsfläche zu Wurzelraum im Lebenszyklus eines Baumes dargestellt. Erst nach etwa 20 Jahren ist die Funktionserfüllung gegeben. Im Straßenraum sind großflächige und großvolumige Standorte oft nicht vorhanden. Solche Standorte befinden

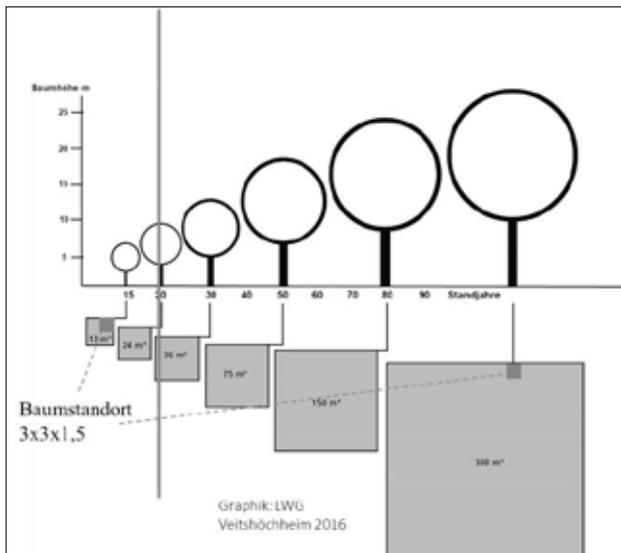
sich häufig in befestigten Flächen, entlang von Verkehrsflächen, in Flächen mit Bodenauftrag, deren Boden bei Baumaßnahmen verdichtet wurde. Durch die Anlage tieferer Pflanzgruben und die Verwendung von Pflanzensubstraten mit definierten Eigenschaften und Bauweisen die den Bodenraum unter Verkehrsflächen teilweise erschließen kann dieser Mangel zum Teil ausgeglichen werden. An Wiens Straßen sind ca. 90.000 Bäume gepflanzt, davon stehen ca. 2000 alleine entlang der Ringstraße. Während ein Straßenbaum zwischen 25 und 50 Jahre alt wird, hätte derselbe Baum in einem Park eine Lebenserwartung von mindestens 100 bis sogar 200 Jahren. Um die 1800 bis 2000 Bäume müssen daher jährlich dem Baumschutzgesetz gemäß, das eine Nachpflanzung von zu fällenden Bäumen vorschreibt, ersetzt werden. Die Stadt Wien setzt bei Neupflanzungen von Bäumen auf definierte, optimierte Baumsubstrate aus Materialien aus dem nahen Umfeld der Stadt (Splitt und Sand) und der Verwertung von Stoffen aus dem eigenen Bestand (Kompost und fluviatiles Sediment der Donau). Aus diesen Materialien wurden ein nicht überbaubares und ein überbaubares Baumsubstrat entwickelt (Murer & Schmidt 2018).

<sup>1</sup> Bundesamt für Wasserwirtschaft, Institut für Kulturtechnik & Bodenwasserhaushalt, Pollnbergstraße 1, A-3252 Petzenkirchen

<sup>2</sup> HBLFA Gartenbau Schönbrunn, WIEN

\* Ansprechpartner: DI Erwin Murer, erwin.murer@baw.at





**Abbildung 1: Wurzelraum von Straßenbäumen nach SCHÖNFELD 2016: 12m<sup>3</sup> ist die Anforderung nach FLL, das kleine dunkelgraue Quadrat stellt die häufig anzutreffende Realität von 3m<sup>3</sup> dar.**

*Figure 1: Root space of street trees according to SCHÖNFELD 2016: 12m<sup>3</sup> is the requirement in accordance of FLL, the small dark gray square represents the frequently encountered tree pits of 3m<sup>3</sup>.*

## Material und Methoden

Die beiden neu entwickelten Baumsubstrate (überbaubar und nicht überbaubar) wurden drei Jahre lang auf ihre Eignung in Lysimetern (Lysimeteranlage-Jägerhausgasse) und Freilandstandorten (Freilandstandorte-Börse) und (Freilandstandorte-Sonnwendviertel) untersucht. Die Bäume wurden im April 2015 in der Pflanzgröße 18-20 cm gepflanzt und hinsichtlich des Stammumfangs an der 1 m

Markierung sowie des Triebzuwachses an jeweils 3 markierten Trieben im unteren, mittleren und oberen Kronenbereich regelmäßig vermessen.

### Lysimeteranlage-Jägerhausgasse

Die Lysimeteranlage besteht aus 6 Lysimetern mit je 12 m<sup>3</sup> Bodenvolumen (3x3m Oberfläche und 1,5m Tiefe). An allen Lysimetern wurde die Baumart *Celtis Australis* (Zürgelbaum) gepflanzt. Das Volumen der einzelnen Lysimeter entspricht dem vorgeschlagenen Mindestvolumen einer Baumscheibe (FLL 2010). Vier Lysimeter wurden mit einem nicht überbaubarem Substrat mit einer 10 cm starken Rindenmulch Schicht an der Oberfläche und zwei Lysimeter mit überbaubarem Substrat mit einer 5 cm starken wassergebundenen Decke an der Oberfläche eingebaut. Es wurde Sickerwasser aus dem Freilauf in 150 cm und Bodenwasser über Saugkerzen in 30 und 70 cm Tiefe mit ca. 250 hPa Saugspannung entnommen und auf Chlorid, Nitrat und TOC untersucht. Die Bäume wurden in praxisüblichem Zeitraum und Menge bewässert. In die Lysimeter wurden auch Fühler zur kontinuierlichen Erfassung des Wasserhaushalts-, Matrixpotentialregimes und der Bodentemperatur eingebaut.

### Freilandstandorte-Börse

An der Ringstraße im Bereich der Börse wurden zwei Freilandstandorte, einer mit hohem (Haltestellenbereich) und einer mit geringem Salzeintrag (Nebenfahrbahn) angelegt. Beide Messstellen wurden mit der gleichen Baumart *Celtis Australis* bepflanzt. Die Versuche wurden als Bodenwasserhaushaltsmessstelle mit Fühlern zur Erfassung des Matrixpotentials und Wassergehalts, der Bodentemperatur und der elektrischen Leitfähigkeit in 10, 20, 40, 70 und 90 cm Tiefe angelegt und zusätzlich mit einer Saugkerzenanlage mit keramischen Saugkerzen in 10, 40 und 90 cm Tiefe ausgestattet.



**Abbildung 2: Ansicht der Lysimeteranlage mit der Baumart *Celtis Australis*, aufgenommen am 06.11.2015 (die linken 4 Zürgelbäume stehen im nicht überbaubaren Substrat mit Rindenmulch Abdeckung und die beiden rechten Bäume im überbaubaren Substrat mit wassergebundener Decke).**

*Figure 2: View of the lysimeter plant with the tree species *Celtis Australis*, taken on 06.11.2015 (the left 4 *Celtis* trees are in the non-buildable substrate with bark mulch cover and the two right trees in the buildable substrate with water-bound cover).*



Abbildung 3: Ansicht der Baum-Lysimeteranlage, aufgenommen am 13.09.2018.

Figure 3: View of the tree lysimeter plant, taken on 13.09.2018.

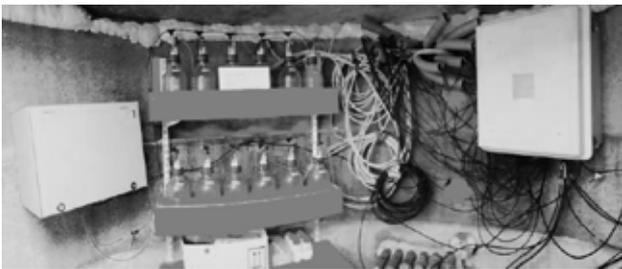


Abbildung 4: Saugkerzenanlage für die Gewinnung von Bodenwasser in 30 und 70 cm Tiefe.

Figure 4: Suction cup sampler system for the extraction of pore water at depths of 30 and 70 cm.

### Freilandstandorte-Sonnwendviertel

Im neu errichteten Sonnwendviertel nahe dem Hauptbahnhof wurden im November 2014 zwanzig Baumstandorte zur Beobachtung der Baumentwicklung bepflanzt. Davon wurden zehn Baumstandorte in der Alfred-Adler-Straße mit dem nicht überbaubaren Substrat hergestellt und die Hälfte davon mit Ektomykorrhiza beimpft. Zehn weitere Baumstandorte wurden in der Sonnwendgasse mit dem nicht überbaubaren Substrat hergestellt und auch wieder die Hälfte mit Ektomykorrhiza beimpft.

## Ergebnisse

### Lysimeteranlage-Jägerhausgasse

Die Ergebnisse der Lysimeterversuche bestätigen die angestrebten bodenphysikalischen Eigenschaften der beiden Baumsubstrate hinsichtlich ihrer bodenphysikalischen Eigenschaften wie Luftkapazität, Wasserspeicherfähigkeit und Wasserdurchlässigkeit (Tabelle 1 und 2).

Bei der Pflanzung hatten die Bäume im Durchschnitt einen Stammumfang von ca. 19 cm. Nach geringeren Zuwächsen im ersten Standjahr hatten die Bäume im nicht überbaubaren Substrat etwa ein Viertel höheren Zuwachs gegenüber dem überbaubaren Substrat (Abbildung 7). Auch beim Astwachs-



Abbildung 5: Wippen mit Probennahme Flaschen für die Erfassung von Sickerwasser.

Figure 5: Tipping counter with sampling bottles for detection of leachate.

tum zeigt sich ein größerer Zuwachs im nicht überbaubaren Substrat (Abbildung 8).

Die beiden Substrate (überbaubar und nicht überbaubar) unterscheiden sich sehr deutlich in ihrer Wasserhaushalts- und Stoffdynamik. Im Beobachtungszeitraum von 3 Jahren (05 2015 – 06 2018) wurden aus den Lysimetern mit überbaubarem Substrat 890 kg/ha Nitratstickstoff ( $\bar{\sigma}$  1117 mg  $\text{NO}_3/\text{l}$ ), 83 g/m<sup>2</sup> Chlorid ( $\bar{\sigma}$  232 mg Cl/l) und 15 g/m<sup>2</sup> TOC ( $\bar{\sigma}$  43 mg TOC/l) ausgetragen. Die Nitratstickstofffracht war in den ersten beiden Jahren etwa auf gleich hohem Niveau, im dritten Jahr reduzierte sie sich auf ein Drittel der Vorjahre. Die Nitratkonzentration liegt auch nach 3 Jahren über dem Grundwasserswellenwert von 45 mg/l (Abbildung 9). Die Chlorid Fracht war im ersten Jahr am höchsten mit etwa dreiviertel der Gesamtmenge, im dritten Jahr waren die Austräge nur mehr sehr gering. Der Grundwasserswellenwert für Chlorid von 180 mg/l wurde im Sickerwasser nach ca. 20 Monaten unterschritten (Abbildung 10). Aus den Lysimetern mit nicht überbaubarem Substrat wurden im Beobachtungszeitraum insgesamt 141 kg/ha Nitratstickstoff ( $\bar{\sigma}$  78 mg  $\text{NO}_3/\text{l}$ ), 237 g/m<sup>2</sup> Chlorid ( $\bar{\sigma}$  294 mg Cl/l) und 150 g/m<sup>2</sup> TOC ( $\bar{\sigma}$  186 mg TOC/l) ausgetragen. Die TOC-Konzentration im Sickerwasser war im überbaubaren Substrat am höchsten mit bis zu 400 mg/l im ersten Standjahr, sie reduzierte sich kontinuierlich im 3. Jahr auf ein Niveau von ca. 70 mg/l (Abbildung 11). Aus den Lysimetern mit nicht überbaubarem Substrat und Rindenmulch-Abdeckung wurde nur ein Viertel der Nitratstickstofffracht gegenüber dem überbaubaren Substrat



Abbildung 6: Die Standorte an der Ringstraße im Bereich der Börse mit *Celtis Australis* (linkes Bild „Stationsbereich“, rechtes Bild „Nebenfahrbahn“, aufgenommen 09. 12. 2014).

Figure 6: The sites on the Ring Street in the near of the Vienna Stock Exchange with *Celtis Australis* (left image tree-pit “tram station”, right picture tree-pit “by-road”, taken on 09. 12. 2014).

Tabelle 1: Eigenschaften des neuen Wiener Baumsubstrats für offene, nicht überbaute Pflanzgruben.

Table 1: Properties of the New Viennese Tree Substrate for open, non-buildable tree pits.

Parameter	Zu erwartende Eigenschaften	Anforderungen der FLL (2010)
Verdichtungsgrad	84%	83% - 87%
Wasserdurchlässigkeit	$\geq 5,0 \cdot 10^{-6}$ m/s	$\geq 5,0 \cdot 10^{-6}$ m/s
Wasserkapazität	$\geq 40$ Vol.-%	$\geq 25$ Vol.-%
Luftkapazität (pF1,8)	$\geq 15$ Vol.-%	$\geq 15$ Vol.-%
pH-Wert	$\leq 8,0$	5,0 – 8,5
Salzgehalt	$< 91$ mg/100 g	150 mg/100 g
Nutzbare Feldkapazität	$> 17$ mm/dm	keine
Porenvolumen	$> 43$ Vol.-%	keine

Tabelle 2: Eigenschaften des neuen Wiener Baumsubstrats für überbaute Pflanzgruben.

Table 2: Properties of the New Viennese Tree Substrate for buildable tree pits.

Parameter	Zu erwartende Eigenschaften	Anforderungen der ZTV-Vegtra-Mü (2008)
Verdichtungsgrad	95%	95% - 100%
Gesamtporenvolumen	24 Vol.-%	$> 20$ Vol.-% bei $DPr=95\%$
Wasserdurchlässigkeit	0,002 cm/s	$\geq 0,001$ cm/s bei $DPr=95\%$
Wasserkapazität	8 Vol.-% FK	$\geq 35\%$ des GPV
Luftkapazität (pF1,8)	16 Vol.-%	$\geq 10$ Vol.-% bei $DPr=95\%$
pH-Wert	$\leq 7,8$	5,0 – 8,5
Salzgehalt	107 mg/100 g	150 mg/100 g
Nutzbare Feldkapazität	5 mm/dm	keine

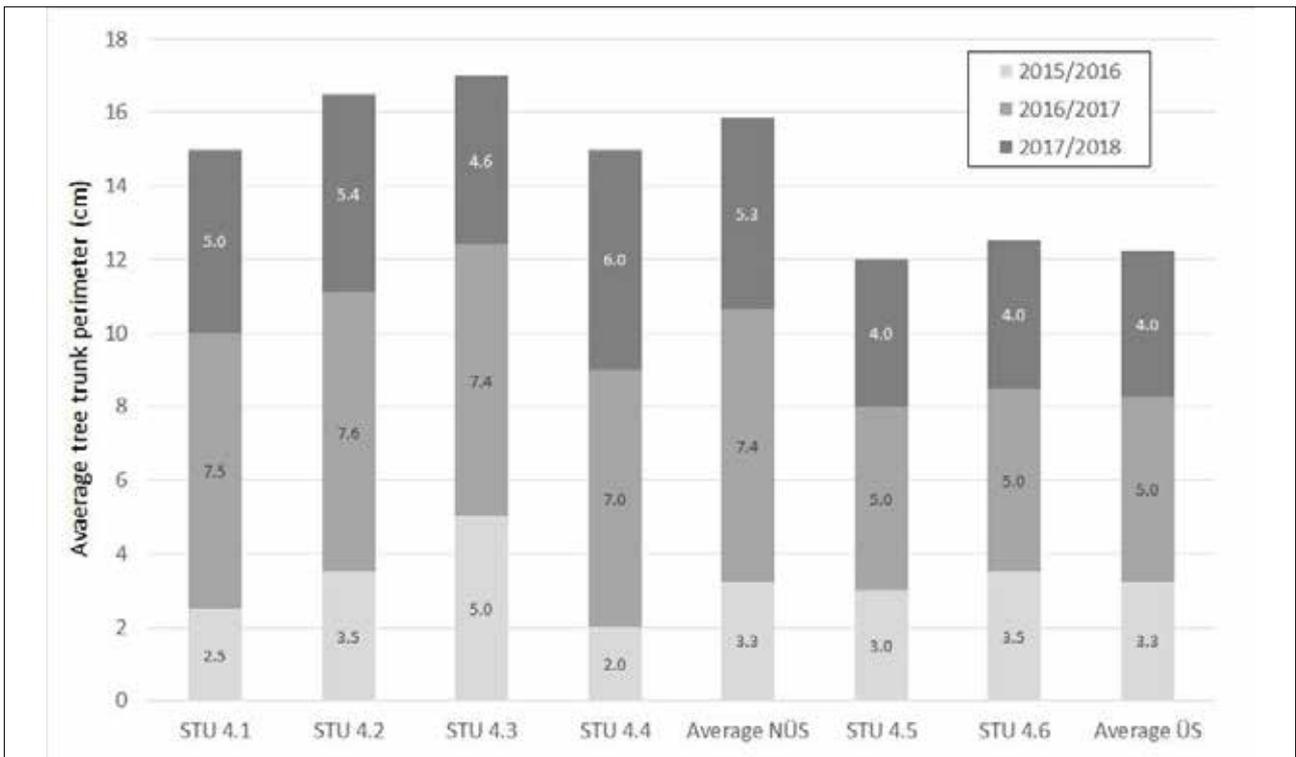


Abbildung 7: Stammumfangs seit 2015 in cm (4.1 bis 4.4 Lysimeter mit nicht überbaubarem Substrat (NÜS), 4.5 und 4.6 Lysimeter mit überbaubarem Substrat (ÜS)).

Figure 7: Tree trunk perimeter since 2015 in cm (4.1 to 4.4 lysimeter with non-buildable substrate (NÜS), 4.5 and 4.6 lysimeter with buildable substrate (ÜS)).

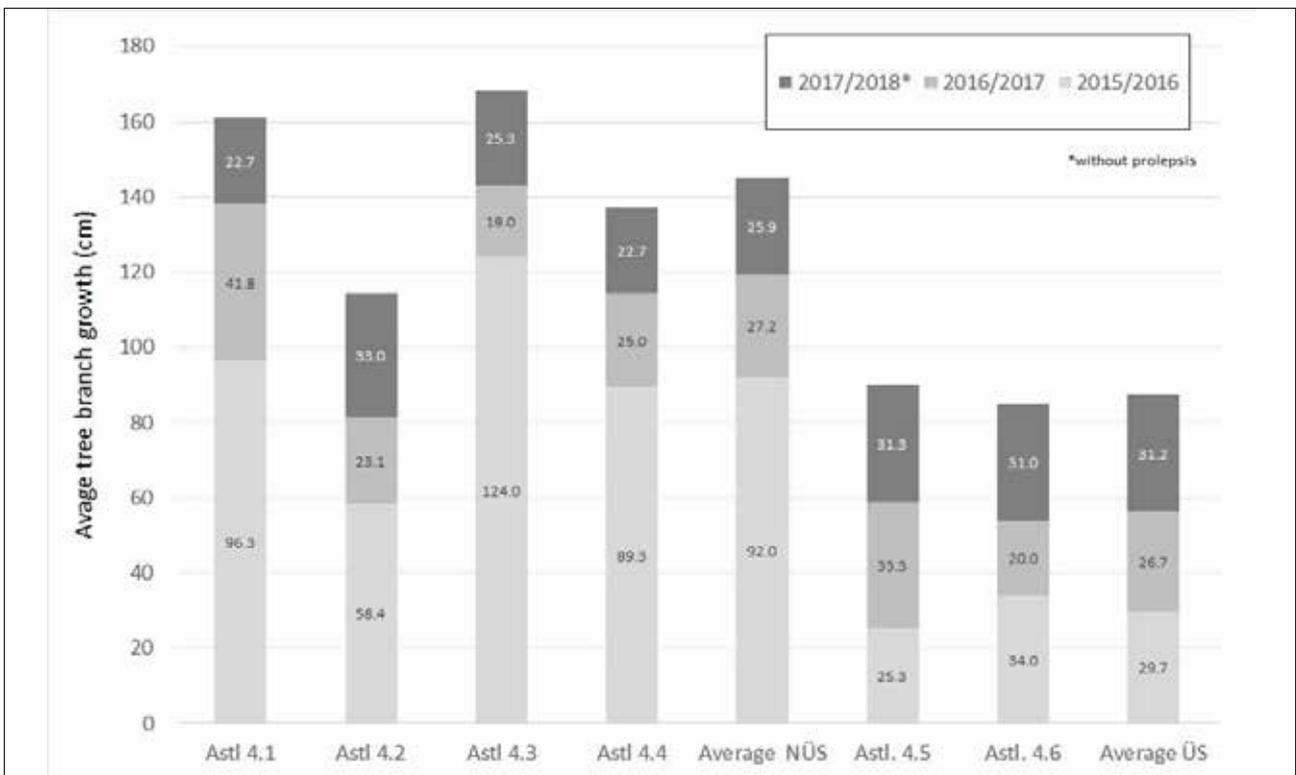


Abbildung 8: Astzuwachs seit 2015 in cm (4.1 bis 4.4 Lysimeter mit nicht überbaubarem Substrat (NÜS), 4.5 und 4.6 Lysimeter mit überbaubarem Substrat (ÜS)).

Figure 8: Tree branch growth in cm since 2015 (4.1 to 4.4 lysimeter with non-buildable substrate, 4.5 and 4.6 lysimeter with buildable substrate).

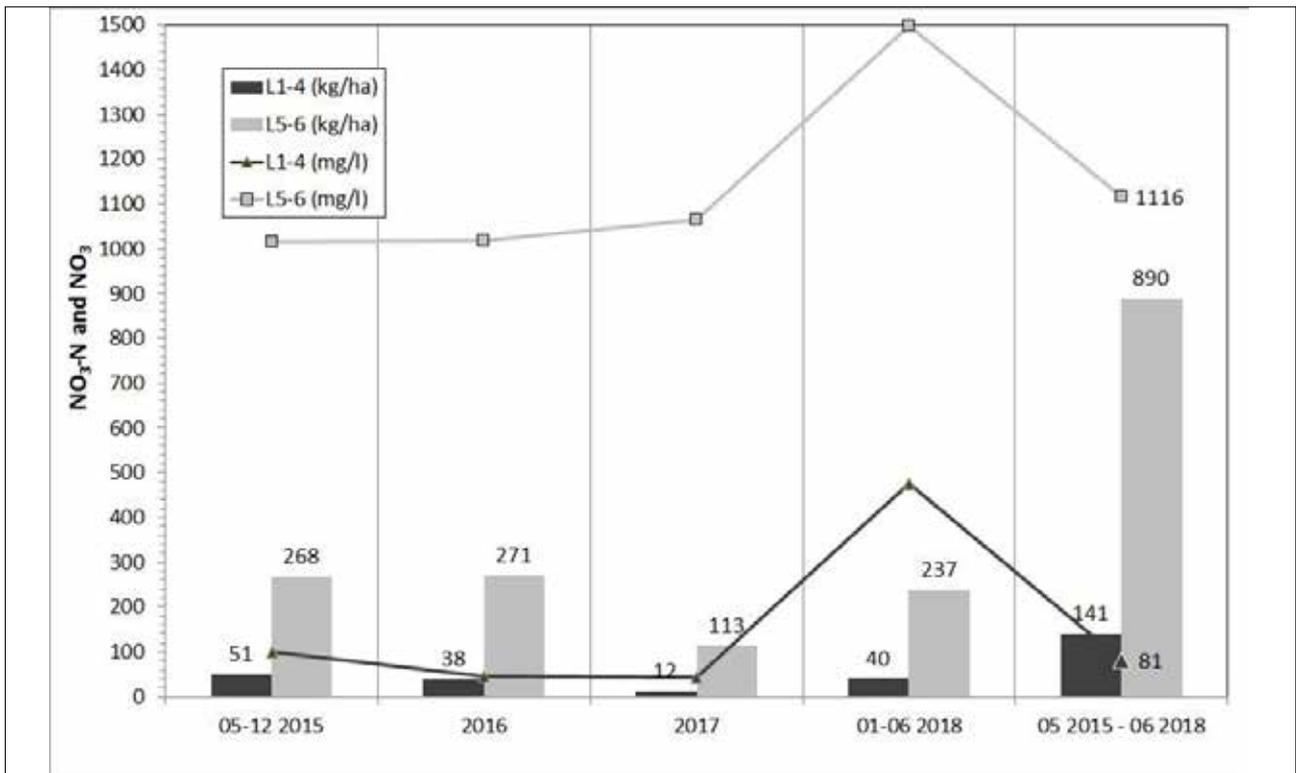


Abbildung 9: Nitrat-Stickstoff Fracht und Nitratkonzentrationen der Lysimeter (L1-4 nicht überbaubares und L5-6 überbaubares Substrat) der Beobachtungsperiode 05 2018 bis 06 2018.

Figure 9: Nitrate nitrogen load and nitrate concentrations of the lysimeter (L1-4 non-buildable and L5-6 buildable substrate) of the observation period 05 2018 to 06 2018.

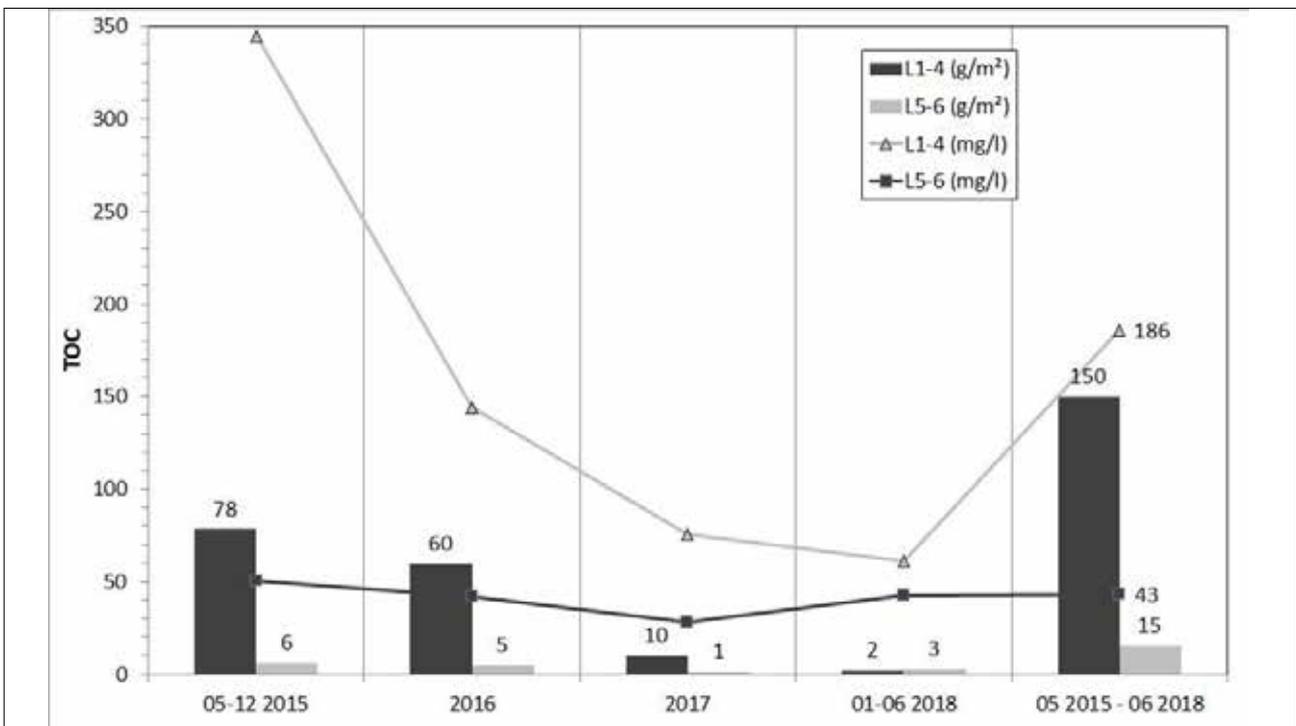


Abbildung 10: Chlorid-Fracht und Konzentrationen der Lysimeter (L1-4 nicht überbaubares und L5-6 überbaubares Substrat) der Beobachtungsperiode von 05 2018 bis 06 2018.

Figure 10: Chloride load and concentrations of the lysimeters (L1-4 non-buildable and L5-6 buildable substrate) of the observation period from 05 2018 to 06 2018.

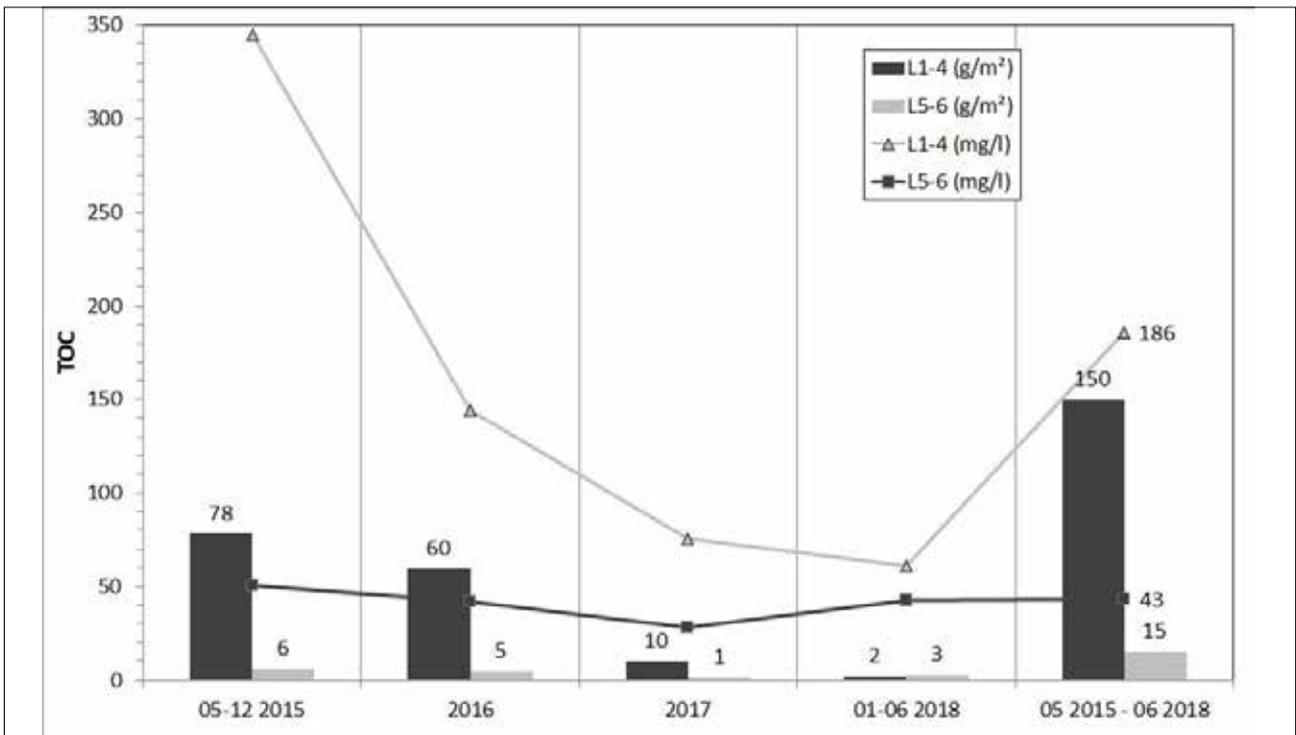


Abbildung 11: TOC-Fracht und Konzentrationen der Lysimeter (L1-4 nicht überbaubares und L5-6 überbaubares Substrat) der Beobachtungsperiode von 05 2018 bis 06 2018.

Figure 11: TOC load and concentrations of the lysimeter (L1-4 non-buildable and L5-6 buildable substrate) during the observation period from 05 2018 to 06 2018.

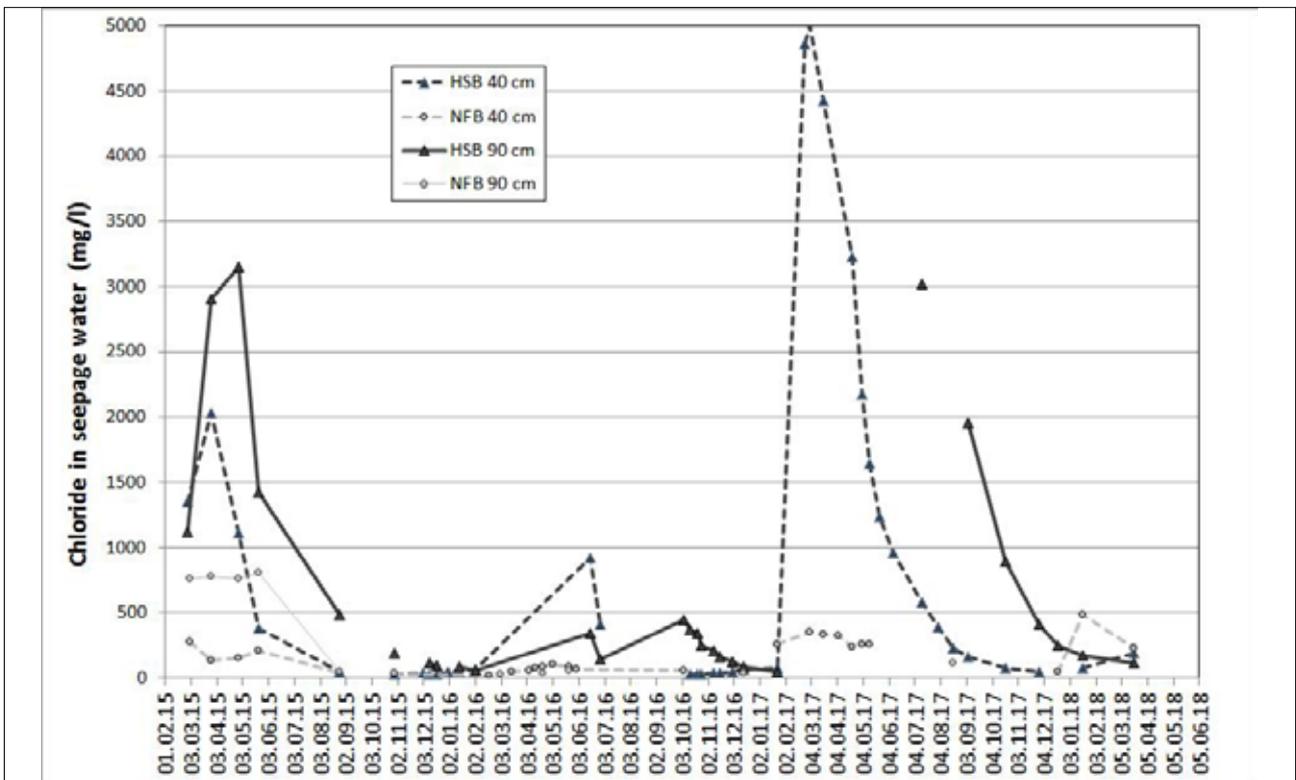


Abbildung 12: Verlauf der Chloridkonzentration im Bodenwasser der Messstellen „Haltestelle“ und „Nebenfahrbahn, mit nicht überbaubarem Substrat.

Figure 12: Chronological sequence of the chloride concentration in soil water in the measuring sites of “tram station” and “by-road” with non-buildable substrate.

ausgewaschen, obwohl im nicht überbaubaren Substrat mehr als die dreifache Kompostmenge hinzugefügt wurde. Die TOC-Fracht ist in den Lysimetern mit nicht überbaubarem Substrat im Mittel etwa 10-mal und die Chlorid-Fracht etwa 3-mal höher gegenüber den Lysimetern mit überbaubarem Substrat (*Abbildung 10-12*).

### *Freilandstandorte-Börse*

In der Baumscheibe Haltestellenbereich wurde in den Wintermonaten häufig und höhere Mengen Auftaumittel gestreut. Die Saugkerzen lieferten Bodenwasser mit deutlichen Anstiegen der Chlorid-Konzentration in den Wintermonaten. Diese sind im Haltestellenbereich um ein Vielfaches höher als in der Nebenfahrbahn (*Abbildung 12*). Der Baum im Haltestellenbereich ist im Herbst 2018 abgestorben.

### Schlussfolgerungen und Ausblick

Diese Untersuchungen aus den Baum-Lysimetern zeigen sehr deutlich eine notwendige Anpassung der Substrate, um die Austräge mit dem Sickerwasser vor allem in den ersten Standjahren auf ein grundwasserverträgliches Niveau zu reduzieren. Dazu gehört vor allem die Verwendung eines salzärmeren Komposts. Eine entsprechend lange Lagerung der Substrate vor dem Einbau ist von zusätzlichem Vorteil. Die Beigabe von Biokohle zum Kompost kann die Nähr- und Schadstoffdynamik verbessern und damit auch die Austräge reduzieren.

Funktionsfähige Stadtbäume und Stadtböden werden in Zukunft eine wesentliche klimatische Ausgleichsfunktion in den Städten übernehmen. Bäume mit entsprechender Größe sind Voraussetzungen, um diese klimatische Ausgleichsfunktion wie Schatten, Verdunstung, Filter etc. zu gewährleisten. Ein ausreichender Wurzelraum ist dafür die Grundvoraussetzung. Wurzelraum, der in den Nebenflächen der Stadtstraßen bei entsprechender poröser Bauweise vorhanden wäre. Gleichzeitig kann ein poröser Unterbau von dazu geeigneten Verkehrsflächen eine Retentionsfunktion übernehmen. Starkregenereignisse können temporär gespeichert und verzögert dem Kanalnetz und/oder der Verdunstung/Versickerung zugeführt werden. Ausführungsbeispiele aus dem europäischen Ausland zeigen dies. Es ist nun die Zeit reif, auch das Baumumfeld durch die praxistaugliche Überprüfung verschiedener Straßenraumsituationen auf die Durchwurzelbarkeit durch Stadtbäume sowie die Retentionsfunktion mit einzubeziehen.

### Literatur

- FLL (2010) Empfehlungen für Baumpflanzungen, Teil 2: Standortvorbereitungen für Neupflanzungen; Pflanzgruben und Wurzelraumerweiterung, Bauweise und Substrate. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. – FLL, Bonn.
- Murer E., Schmidt S. (2018) Monitoring der Versuchsstandorte Jägerhausgasse, Ringstraße und Sonnwendviertel von 2015 bis 2017 mit dem „Das Wiener Baums substrat“ unveröffentlichter Projektbericht.