

4.5 Modellvorhaben 2: Feldversuch zur Untersuchung einer Revitalisierung im Schlossgarten Charlottenburg Berlin

Im Projekt sollen Aspekte der Revitalisierung sowohl auf Basis einer fundierten Archiv- und Recherchearbeit als auch mittels eines Feldversuches beleuchtet werden. Gerade da die regionalen Klima- und Standortverhältnisse für die untersuchten Baumarten für eine Revitalisierung entscheidend sind, können durch Feldversuche ganz gezielt wichtige Erkenntnisse zur Vorgehensweise, der Ausführung und eine Abschätzung der Wirkung der verwendeten Methoden und der gewählten Substrate gewonnen werden.

Die Hypothese in diesem Versuch geht davon aus, dass die Vitalität der Pflanzen aufgrund von Wassermangel zunehmend zurückgeht. Der Wassermangel lässt sich auf die sandigen Bodeneigenschaften und die geringen Jahresniederschläge im Berlin-Brandenburger Raum zurückführen und wird wahrscheinlich durch Klimaeffekte seit Längerem verstärkt. Durch eine Verbesserung des Bodens mittels einzubringender Zusatzstoffe soll nun die Pufferkapazität verstärkt werden und damit die Vitalität wieder zunehmen. Als Ansatz für eine Revitalisierung wurde ein Bodeninjektionsverfahren gewählt. Mit dem Feldversuch soll untersucht werden, ob sich die Verwendung der gewählten Substrate auf die Vitalität positiv auswirkt. Ab welchem Zeitraum ist eine positive Wirkung festzustellen? Gibt es Unterschiede zwischen den Wirkungen der einzelnen Substrate? Im Speziellen soll geklärt werden, ob die Substrate zu einer weniger angespannten Stresssituation und zu einer Förderung des Wachstums beitragen können.

4.5.1 Standort und Baumart

Mithilfe des Baumkatasters der SPSG erfolgte im Herbst des Jahres 2015 eine Vorauswahl möglicher Standorte und Baumarten für den Versuch. Die Kriterien dafür waren das Vorhandensein einer ausreichend hohen Anzahl von Altbäumen, die der gleichen Art angehören und sich in einem ähnlichen Altersspektrum befinden, unter ähnlichen Standortbedingungen wachsen und ein seit Langem ähnliches Pflegemanagement erfahren. Weiterhin sollte die gewählte Art übergreifend zu den zehn häufigsten Baumarten in den Parks und Gärten gehören. Eine weitere Bedingung war, dass mindestens zehn Bäume im gleichen Areal (vergleichbare Bestandsstruktur, Konkurrenzsituation und Standortbedingungen) vorhanden sein sollten und eine Möglichkeit der Zufahrt zur Fläche gegeben ist. Dafür wurden die Parks, bzw. Parkbereiche Sanssouci, Sanssouci-Ruinenberg, Pfaueninsel, Neuer Garten und Charlottenburg durch die Baumkataster geprüft. Unter diesen Prämissen erwies sich der Standort der parterrebegleitenden, zweireihigen Lindenalleen im Schlossgarten Charlottenburg für den Revitalisierungsversuch als geeignet. Die Vorteile hierfür waren die Homogenität der Bäume hinsichtlich des Alters, der Höhe und des Durchmessers, der Pflege und dem Schnitt sowie die relative Ähnlichkeit der Boden- und Standortverhältnisse. Die Gattung Linde (*Tilia*) weist übergreifend eine starke Präsenz in den Parks und Gärten auf und die dazugehörigen Arten *Tilia platyphyllos* und *Tilia cordata* zählen hinsichtlich ihrer Anzahl und historischen Bedeutung zu den Leitarten vieler Anlagen (KÜHN et al., 2017). Nach einer Prüfung vor Ort und der freundlichen Unterstützung durch den zuständigen Fachbereichsleiter Herrn Klein konnte die westliche der zwei Baumreihen im süd-westlichen Bereich der parterrebegleitenden alleé double für die Versuchsreihe verwendet werden. Die dort befindlichen Winter-Linden (*Tilia cordata*) wurden in

der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts gepflanzt. Um ein homogenes Gesamtbild der Kronenform und der Baumhöhen zu erreichen, werden sie in mehrjährigen Abständen im Feinastbereich wiederkehrend beschnitten. Für die Bäume konnten Höhlungen und Morschungen im Stamm sowie teilweise ein schwacher und spärlicher Austrieb festgestellt werden. Einige der in regelmäßigen Abständen gepflanzten Alleebäume waren zu Beginn der Untersuchungen bereits abgestorben. Unterhalb der Baumreihen ist ein Rasen angelegt.

4.5.2 Injiziertes Substrat

Zur Untersuchung der möglichen Steigerung der Vitalität von Altbaumbeständen wurden drei Substratvarianten in den Unterboden der ausgewählten Testbäume in eine Tiefe zwischen 40 bis 50 cm eingebracht. Die Basisdaten für die Substrate finden sich in Tabelle 2. Die organisch-mineralische Variante Terrafit 1 ist eine speziell für trockene, sandige, durchlässige Böden erstellte Mischung (terra fit GmbH). Laut Angaben des Herstellers soll eine signifikante und dauerhafte Verbesserung der Wasserversorgung und eine verbesserte Nährstoffversorgung über mehrere Jahre erreicht werden (terra fit GmbH). Das vorwiegend aus organischen Komponenten bestehende Substrat Palaterra® PBA Profi-Spezial-Mischung wurde in Anlehnung an die „Terra Preta do Indio“ hergestellt und zielt auf die Steigerung des Humusgehaltes des Bodens, der Nährstoffgehalte, des Porenvolumens

Tabelle 2: Übersicht über die injizierten Substratvarianten.

Substrat	Terrafit 1 Mischung für trockene Böden	Palaterra® PBA Profi-Spezial Mischung	Zeoplant
Lieferant	terra fit GmbH	Palaterra Betriebs- und Beteiligungsgesellschaft mbH	Schomaker Gartenprodukte
Ideale Anwendungszeit	Februar–November bei Temperatur > 6 °C	Keine Angaben	Keine Angaben
Gesamtstickstoff (N)	1,5 %	0,5 %	0,15 %
Gesamtphosphat (P ₂ O ₅)	0,5 %	0,3 %	P = 0,069 %
Gesamtkaliumoxid (K ₂ O)	1,0 %	1,2 %	K = 0,72 %
Organische Substanz	11,0 %	38,0 %	2 %

und der Wasserhaltekapazität ab (Palaterra Betriebs- und Beteiligungsgesellschaft mbH). Zeoplant ist ein mineralisches Gemisch, das aus einem feingemahlten Rhyolith besteht und zu einer dauerhaften, starken Verbesserung der Wasserhaltekapazität führen soll (Waterstick Konzept & Vertrieb).

Die Substratvarianten wurden mittels eines Druckluft-Injektionsverfahrens eingepresst (siehe Abbildung 3). Die Baumauswahl für die Versuchsplanung und nachgeordnete

Datenauswertung für die insgesamt 16 Bäume erfolgte anhand der statistischen Vorgehensweise „Blockbildung und Randomisierung“ (SACHS & HEDDERICH, 2006). Weiterhin wurden die Leitungspläne der Gartenanlage berücksichtigt. Zu Beginn des Feldversuches wurden für alle ausgewählten Bäume die Höhen, die Durchmesser und die Kronenradien vermessen. Die drei Substratvarianten wurden nacheinander mit je sechs Einstichen in Kreisform um die Bäume herum injiziert. Pro Quadratmeter Kronenschirmfläche erfolgte dabei eine Injektion mit einer Menge von 650 ml Substrat. Die Mengen konnten durch die Einzugswalze des Geräts dosiert werden. Vorbereitend wurden die Substrate Zeoplant und Palaterra mittels eines Rundsiebes auf Korngrößen unter 4 mm gesiebt, um Verstopfungen während des Injektionsvorganges zu vermeiden. Im Bereich der Kronenschirmfläche wurde jeder Baum zwei Tage vor der Injektion ca. 20 min durchdringend gewässert.

4.5.3 Methodisches Vorgehen zur Evaluierung des Injektionsversuchs

Für die Evaluation des Injektionsversuchs wurden Anfang Mai für die 16 Versuchsbäume (12 Bäume mit Substraten und 4 Bäume der Nullvariante) Umfangsdendrometer des Typs DC-3 in 1,30 m Höhe angebracht (Ecomatik, Dachau). Diese Geräte zeichnen die Umfangänderung in halbstündlichen Intervallen auf. Um Störungen und Beschädigungen durch Vandalismus, Mäharbeiten etc. zu minimieren, wurden die Kabel zu den Datenloggern im Gelände oberflächennah vergraben. Es wurden jeweils vier Dendrometer an einen Datenlogger angeschlossen. Die Daten werden seitdem alle zwei bis drei Wochen ausgelesen.

Durch das Fachgebiet Klimatologie der TU Berlin wurde auf der Fläche eine meteorologische Messstation installiert, die die Parameter Lufttemperatur, relative Luftfeuchtigkeit jeweils in ein und zwei Metern Höhe, die Niederschlagsmenge, die Bodentemperatur und der volumetrische Bodenwassergehalt in 10 und 30 cm Bodentiefe sowie die Windrichtung und die Windgeschwindigkeit in 30 min Intervallen aufzeichnet.

Zusätzlich zum Monitoring des Umfangs wurden Evaluierungsmethoden zur Erfolgskontrolle genutzt, die Aussagen zum kurzfristigen, täglichen und wöchentlichen Reaktionsverhalten erlauben. Eine hierfür genutzte Methode war das regelmäßige Ermitteln der Blattwasserpotenziale mit einer Scholander Bombe (PMS Instruments, Corvallis, Oregon). Dafür werden die beiden Vegetationsperioden 2016 und 2017 genutzt. Die Blattwasserpotenziale lassen Aussagen zur Reaktion der Bäume unter Witterungsstress und auf die Erholung nach Phasen von Stress zu (KORN, 2016). Von Juni bis Ende August 2016 und ebenso ab Juni 2017 wurden die Blattwasserpotenziale zur Vordämmerungszeit (pre-dawn) nachts in der Zeit von 02:00 bis 04:00 Uhr und zur Mittagszeit in der Zeit von 13:00 bis 14:30 Uhr in diskontinuierlichen Abständen in Abhängigkeit von den Witterungsbedingungen gemessen. Es wurden fünf gesunde Blätter aus den oberen, peripheren Kronenteilen pro Baum pro Messung verwendet.

Um zu untersuchen, ob mit der Bodeninjektion eine Verbesserung der Belaubungsdichte verbunden ist, wurde der Belaubungsindex für jeden Messbaum ebenfalls für die Jahre 2016 und 2017 ermittelt. Die Ergebnisse der beiden Messperioden für die Jahre 2016 und 2017 werden für die Auswertung gegenübergestellt und statistisch aufgearbeitet. Da die Messungen zum Stand der Drucklegung (Juli 2017) noch nicht abgeschlossen waren, können im Folgenden nur erste Zwischenergebnisse aus dem Jahr 2016 vorgestellt werden.

4.5.4 Ergebnisse

Durchmessermonitoring

Beispielhaft für die insgesamt 16 untersuchten Bäume im Schlosspark Charlottenburg sind die vier Bäume für einen der vier Untersuchungsplots in Abbildung 4 dargestellt. Die Zuwachswerte wurden von Messfehlern und Korrekturstellungen bereinigt. Aufgrund einer besseren Vergleichbarkeit wurden die Zeitreihen unterschiedlich skaliert. Im Durchmessererlauf ergibt sich ein typischer Rhythmus der Umfangänderung mit einer Quellung von abends bis in die Zeit des Sonnenaufgangs und einer Schrumpfung zur Tageszeit durch den Wasserverlust durch die Transpiration der Blätter. Für das Jahr 2016 lässt die Durchmesserentwicklung eine sehr angespannte Situation der Wasserversorgung erkennen. Obwohl einzelne Niederschläge beispielsweise vom 16. bis zum 20. Juni oder am 7. August eine Quellung und Aufsättigung des Holzkörpers und damit eine leichte Erholung der angespannten Wasserhaushaltssituation der Bäume bewirkten, konnte über die gesamte Vegetationsperiode ab dem 01.06.2016 bis zum 30.09.2016 kein Durchmesserzuwachs mehr registriert werden (Abbildung 4). Auch wird die Amplitude des Tagesganges zwischen Quellung und Schrumpfung mit zunehmender Trockenheit kleiner, wie beispielsweise von Anfang bis Mitte Juni oder von Ende August bis Ende September. In einer Gesamtbetrachtung der Einzelauswertungen für das Jahr 2016 lässt sich feststellen, dass es hinsichtlich des Durchmesserzuwachses keine signifikanten Unterschiede – weder in einem Vergleich der vier Substratvarianten untereinander, noch in einem Vergleich zur Nullvariante – gab. Vielmehr ist für alle Bäume unabhängig vom injizierten Bodensubstrat ein mittelfristiger Trend einer Schrumpfung des Stammdurchmessers über die Vegetationsperiode bis in den Herbst zu beobachten. Dies ist sehr bemerkenswert, da kein Wachstum nachgewiesen werden konnte und damit anzunehmen ist, dass für das Jahr 2016

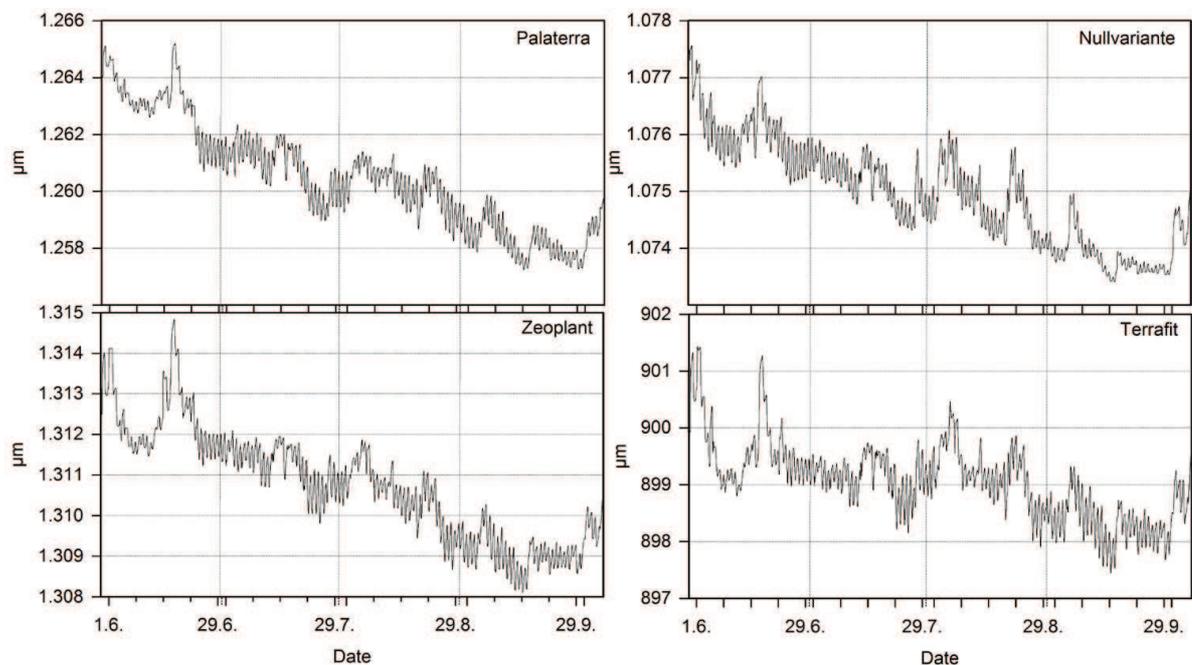


Abbildung 4: Durchmesserentwicklung der Linden (*Tilia* ssp.) im Schlosspark Charlottenburg für die vier Substratvarianten für vier Bäume im Zeitraum vom 01.06. bis zum 30.09.2016 (ein bis vier Monate nach der Bodeninjektion im April).

kein Jahrring gebildet wurde. Eine Aufsättigung auf das Niveau vom Mai 2016 wurde erst wieder Ende November nach dem Laubfall und den häufigen Niederschlagsereignissen von Mitte September bis November des Jahres 2016 erreicht. Dieser Trend zur Erholung deutete sich in Abbildung 4 ab Mitte September an. Eine abschließende Aufbereitung der Zeitreihen für die Jahre 2016 und 2017 und die Korrelationsanalyse zum Klima erfolgt nach Abschluss der Messungen 2017.

Blattwasserpotenziale

Der Trend der Blattwasserpotenziale bestätigt die angespannte Wasserversorgung für die Linden im Jahr 2016. In Abbildung 5 wird dies am Beispiel für die Nullvariante und die Variante Palaterra verdeutlicht. Die Werte der Minimum-Blattwasserpotenziale (Ψ_{\min}) verringern sich bis Ende August. In und nach Regenereignissen findet zwar eine Erholung der Blattwasserpotenziale statt, wie am 13. und 14. Juli, was aber den Gesamttrend zu negativeren Blattwasserpotenzialen nicht ändert (Abbildung 5).

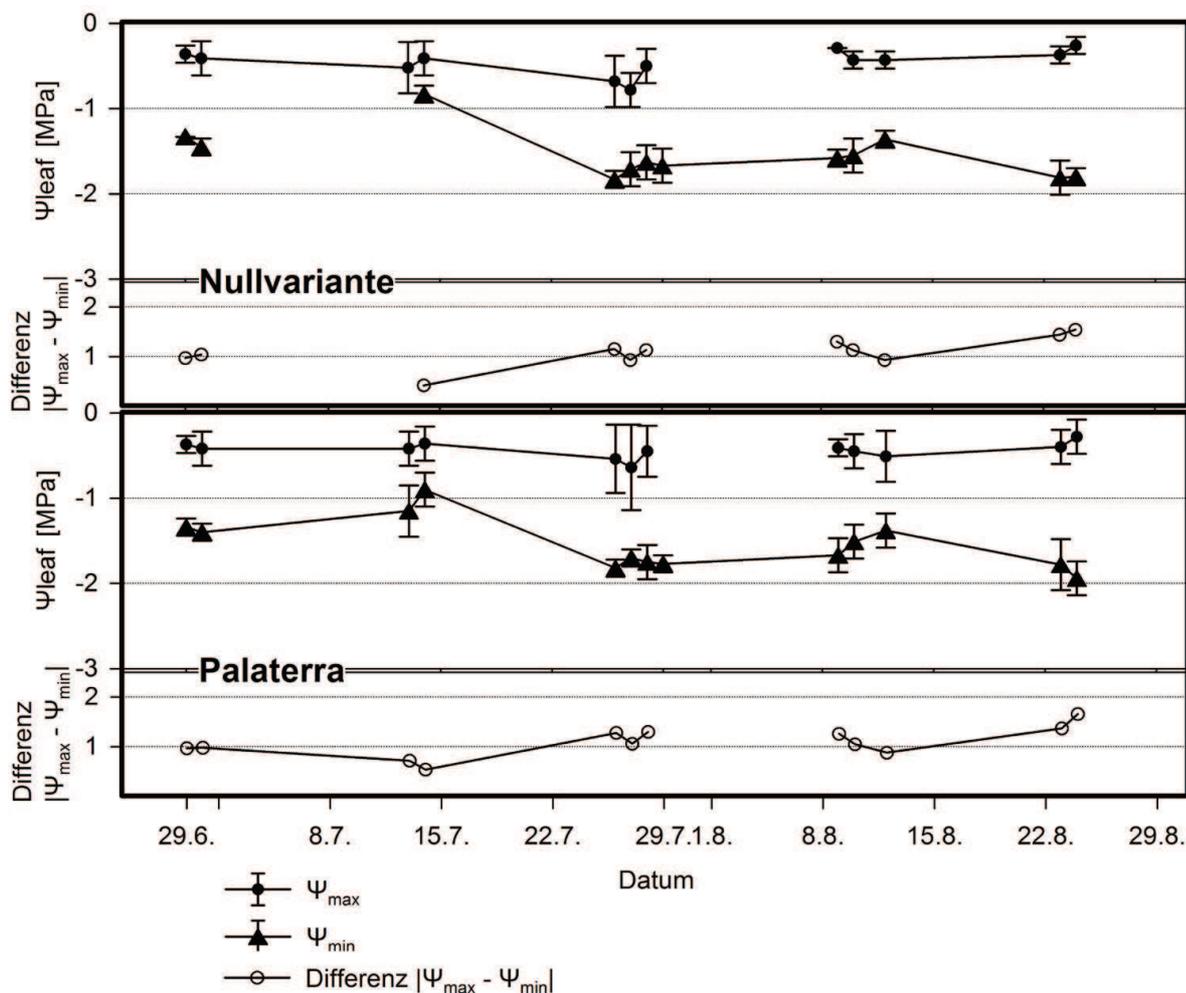


Abbildung 5: Entwicklung der Blattwasserpotenziale in der Messperiode von Juni bis August und der dazugehörigen Differenz der Werte am Beispiel für die Substratvarianten Nullvariante und Palaterra. Ψ (griechischer Buchstabe Psi; Ψ_{\max} = Pre-dawn-Blattwasserpotenzial; Ψ_{\min} = Mittags-Blattwasserpotenzial).

Für jeden Messtag und für eine Periode der Erholung (13. bis 14. Juli) sowie für eine Periode der höchsten Temperaturen und geringsten Luftfeuchtigkeit für die Messperiode (26. bis 29. Juli) wurde separat für die Werte Ψ_{\min} (Minimum-Blattwasserpotenziale, Messung des Blattwasserpotenzials zur Mittagszeit) und Ψ_{\max} (pre-dawn Blattwasserpotenzial, Messung des Blattwasserpotenzials zur Nachtzeit) als auch für die Differenzen getestet, ob sich die Bäume in ihren Blattwasserpotenzialen zwischen den Substratvarianten signifikant unterscheiden. Dafür wurde zunächst mit dem Shapiro-Wilk-Test ($P \leq 0.05$) untersucht (SHAPIRO & WILK, 1965), ob die Daten normalverteilt waren. Eine Normalverteilung der Daten war nicht gegeben, sodass anschließend der nichtparametrische Test nach Kruskal und Wallis verwendet wurde, um Unterschiede zu identifizieren. Es wurden an keinem Messtag und in keiner der gewählten Perioden Unterschiede in den Werten von Ψ_{\min} und Ψ_{\max} zwischen den Substratvarianten inklusive der Nullvariante gefunden. Die Blattwasserpotenziale im Jahr 2016 unterschieden sich nicht signifikant voneinander.

Im zweiten Schritt der Analyse wurde untersucht, inwieweit die Blattwasserpotenziale mit den Klimavariablen korrelieren. Korrelationskoeffizienten können die Stärke eines Zusammenhangs zwischen zwei oder mehreren Variablen beschreiben. Je höher oder niedriger sie sind, desto stärker ist der Zusammenhang zwischen zwei Variablen. Korrelationskoeffizienten bewegen sich im Bereich zwischen -1 und +1. Hierzu wurde der Spearman'sche Rangkorrelationskoeffizient berechnet. Die Korrelationskoeffizienten zum Ψ_{\max} zeigen erwartungsgemäß die geringsten Zusammenhänge, da die Bäume zur Nachtzeit nicht transpirieren. Dagegen korrelieren die Luftfeuchtigkeit bzw. das Wasserdampfdruck-sättigungsdefizit (VPD) zur Nachtzeit signifikant mit dem Wasserpotenzial, was die Bedeutung dieser Variablen für die Aufsättigung der Bäume mit Wasser belegt. Für die Korrelationen von Ψ_{\min} und den Klimavariablen Lufttemperatur, relative Luftfeuchtigkeit und VPD konnten für alle Substratvarianten signifikante Zusammenhänge berechnet werden. Hohe Temperaturen und geringe Luftfeuchtigkeit führen so signifikant zu einer Verringerung des Blattwasserpotenzials. Der Baum versucht unter diesen Bedingungen so verstärkt auf die Reserven des Bodenwassers zurückzugreifen. Die starke Bedeutung des Bodenwasserhaushalts auf der Fläche wurde durch die Messungen eindeutig und signifikant nachgewiesen. So bewegen sich die Spearman'schen Korrelationskoeffizienten für Ψ_{\min} zwischen -0,52 bis -0,81.

Tabelle 3: Spearman'sche Rangkorrelationskoeffizienten und Signifikanz von Ψ_{\min} bzw. Ψ_{\max} und den Klimavariablen Lufttemperatur (Temp. Luft.), relative Luftfeuchtigkeit (Relat. Luftf.), Wasserdampfdruck-sättigungsdefizit (VPD) und volumetrischem Bodenwassergehalt (vol. Bodenw.). Signifikante Zusammenhänge auf dem 95 %-Level sind mit Sternchen (*) markiert.

Ψ_{\max}	Temp. Luft.	Relat. Luftf.	VPD	Vol. Bodenw.
Zeoplant	0,10	0,44*	-0,45*	0,63*
TerraFit	-0,31*	0,49*	-0,43*	0,76*
Nullvariante	-0,29*	0,30*	-0,39	0,65*
Palaterra	0,03	0,16	-0,16	0,38
Ψ_{\min}				
Zeoplant	-0,63*	0,38*	-0,51*	-0,81*
TerraFit	-0,58*	0,44*	-0,56*	-0,56*
Nullvariante	-0,62*	0,43*	-0,56*	-0,52*
Palaterra	-0,62*	0,38*	-0,54*	-0,69*

Die Korrelationskoeffizienten sind bis auf eine Ausnahme für Ψ_{\max} für die Substratvariante Palaterra stets signifikant. Hohe Werte des volumetrischen Bodenwassergehaltes zur Nacht korrelieren signifikant positiv zu Ψ_{\max} und signifikant negativ zu Ψ_{\min} . Diese Zusammenhänge sind sehr interessant, da es den Rückschluss zulässt, dass die Linden in Phasen einer hohen Bodenfeuchtigkeit ihr Blattwasserpotenzial zur Mittagszeit absenken, um die nun vorhandenen Wasserreserven besser zu erschließen, während sie bei trockenen Bodenbedingungen ihre Stomata schließen und die Blattwasserpotenziale nicht absenken. Die Lindenbäume der Substrate Zeoplant, Terrafit und die Nullvariante zeigen ein sehr ähnliches Verhalten des Ψ_{\max} von dem die Variante Palaterra stark abweicht. Für die Varianten Palaterra wurden für Ψ_{\max} zu keinem der Variablen signifikante Korrelationen berechnet, was bedeutet, dass die Bäume keine signifikante Abhängigkeit von den nächtlichen Witterungsbedingungen zeigen. Inwieweit sich die Ergebnisse für das Jahr 2017 bestätigen lassen, wird die Auswertung der Messperiode zeigen.

4.5.5 Diskussion des vorgenommenen Feldversuchs

Wie der im Projekt durchgeführte Feldversuch zeigt, kann eine Wirksamkeit der Maßnahmen zur Revitalisierung nicht innerhalb weniger Monate nach der Durchführung beurteilt werden. Dies lässt sich zum einen mit einer verringerten Reaktionsgeschwindigkeit der Bäume mit zunehmendem Alter erklären (GUERICKE, 2001), zum anderen wurden in den Wochen nach der Maßnahme nur sehr geringe Niederschlagsmengen aufgezeichnet. Die verwendeten Substrate können ihre Wirksamkeit jedoch erst nach einer intensiven, länger anhaltenden Befeuchtung hinsichtlich der Verbesserung der Wasserhaltekapazität zeigen. Dies war ab dem Herbst 2016 und verstärkt im Sommer 2017 mehrfach durch die wiederkehrenden starken Regenfälle der Fall, sodass mit Unterschieden in der Vitalitätsentwicklung ab dem Jahr 2017 und in den Folgejahren zu rechnen ist. Es ließ sich zwar optisch in der Auswertung der grafischen Darstellungen eine Veränderung der Amplituden bei Intensivierung der Trockenheit feststellen, aber noch keine Unterschiede zwischen Substratvarianten und Nullvarianten belegen. Zudem steht zu vermuten, dass der turnusgemäße intensive Kronenschnitt der Parterre-Linden im Winter vor der Bodeninjektion für das „Nullwachstum“ und dem daraus resultierenden Mangel an Unterschieden mit verantwortlich sein könnte. Die gespeicherten Assimilate konnten nur in einem geringen Umfang in die Jahrringneubildung investiert werden, da die Aktivierung der verbleibenden Proventiv- und Adventivknospen für den Blattaustrieb und die erneute Assimilatproduktion vorrangig waren. Traumatische Ereignisse wie eine vollständige Entlaubung lassen sich häufig in einem sehr geringem Radialzuwachs im aktuellen und teilweise auch in den Folgejahren (negative Weiserjahre) oder gar in ausfallenden Jahrringen wiederfinden (SCHWEINGRUBER, 1983). Dies lässt sich auch durch das dendrometrische Monitoring an den Versuchsbäumen bestätigen, das für keinen der Versuchsbäume einen nachweisbaren Radialzuwachs im Jahr 2016 registrieren konnte.

Die Blattwasserpotenziale weisen eine signifikant starke Abhängigkeit mit dem Witterungsgeschehen auf. Besonders deutlich zeichnet sich die starke Korrelation zum volumetrischen Bodenwassergehalt ab. Dies lässt schlussfolgern, dass eine Revitalisierung auf trockenen, sandigen Böden mittels Verfahren zur Aufwertung der physikalisch-chemischen Bodenzusammensetzung ein erfolgversprechender Ansatz ist.

Der im Schlossgarten Charlottenburg in Berlin angelegte Feldversuch zur Bodeninjektion

– mit dem Ziel die verschiedenen Substrate hinsichtlich ihrer Wirkung auf den Zuwachs, die Belaubungsdichte und den Wasserhaushalt zu untersuchen – wird in den nächsten Jahren wichtige Erkenntnisse zur Wirksamkeit der Bodenhilfsstoffe liefern. Wie die Zeitreihen der Durchmesseränderung über das Jahr 2016 anzeigen, reicht die Auswertung des bisherigen Monitorings für einen Zeitraum von zwei bis vier Monaten nach der Durchführung für eine Evaluierung keinesfalls aus. Um die Datenbasis für eine profunde, mehrjährige Auswertung zu schaffen, ist eine Weiterführung der Datenerhebung notwendig. Die durch das Projekt initiierte Anlage hat hierzu die Grundlagen geschaffen. Eine Ausweitung der Versuchsreihen auf weitere Standorte mit weiteren Baumarten ist zu empfehlen.