

Wachstum der Linde (*Tilia cordata* MILL.) entlang eines urbanen Klimagradienten. - Vorläufige Ergebnisse am Beispiel der Stadt Berlin -

Enno Uhl

Technische Universität München, Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 2, 85354 Freising

Zusammenfassung

Am Beispiel der Winterlinde in Berlin wird untersucht, ob sich die Reaktionskinetik von Bäumen in Form langfristiger bzw. mittelfristiger Zuwachstrends und Zuwachsreaktionen auf Extremereignisse entlang eines urbanen Klimagradienten ausgehend vom Stadtzentrum hin zu Stadtrandgebieten ändert. Die Untersuchung macht sich zu Nutze, dass sich die Wuchsbedingungen der Stadtbäume aufgrund des Wärmeinseleffektes von großen Städten zwischen Stadtzentrum und Umland unterscheiden. Es wird unterstellt, dass die Wuchsbedingungen im Stadtzentrum aufgrund des höheren Trockenstresses ungünstiger sind. Entlang von Transekten, die jeweils im Zentrum beginnen und bis zu stadtnahen Wäldern verlaufen, wurden Linden jahringanalytisch untersucht. Der mittlere Radialzuwachs der Jahre 2001 bis 2011 wurde als Maß für das mittelfristige Zuwachsniveau herangezogen. Für die Analyse der Stressreaktion auf extreme Ereignisse wurde für das Jahr 1997 ein Resistenzindex berechnet. Beide Maße wurden regressionsanalytisch in Verbindung mit dem jeweiligen Abstand der Bäume vom Stadtzentrum gebracht. Die in die Untersuchung einbezogenen Probestämme der Transekte "Süd" und "West" zeigen hinsichtlich ihrer Reaktionskinetik unterschiedliche Verläufe, dies gilt sowohl hinsichtlich des Zuwachsniveaus als auch in Bezug auf das Resilienzverhalten. Die Bäume des "Süd"-Transektes verhalten sich annahmekonform, indem sie mit zunehmender Entfernung zur Stadtmitte ein höheres Zuwachsniveau und eine bessere Widerstandsfähigkeit zeigen. Dagegen zeigen die Bäume des "West"-Transektes ein entgegengesetztes Zuwachsverhalten. Folgende Analysen werden zusätzliche Parameter einschließen, die den tatsächlichen Verlauf des urbanen Klimagradienten verfeinerter wiedergeben als die reine Distanz zum Stadtzentrum, beispielsweise der Versiegelungsgrad.

Summary

The study presents preliminary results of the analysis of growth reaction of Small-leaved lime trees along an urban climate gradient in Berlin. Based on the urban heat island we assume that growth conditions tend from worse conditions within the city centre to better conditions in suburbs and surroundings. Lime trees were sampled along different transects each starting in the centre and running to the cities' edge. The mean annual radial growth of the years 2001 to 2012 was used as a measure for medium term growth level. For analysis of growth reaction patterns related to extreme events an index of resistance was calculated for the year 1997. Regression analysis showed that the trees of the south faced transect follow the assumption that trees growing more distant from the city centre have a higher growth level and better resistance. Trees of the west facing transect behaved contradictory. Further analyses will include additional parameters (i.e. degree of sealing) that better reflect the real trend of the urban climate gradient than simply the distance.

Einleitung

Der Klimawandel wird, wenn auch regional in unterschiedlichem Ausmaß, zu einer Änderung der Standorteigenschaften und damit zu geänderten Wuchsbedingungen für Waldbäume führen. Je nach Baumart und Standort sind Verbesserungen oder Verschlechterungen der Wuchsbedingungen denkbar. Die Richtung und Intensität der Wachstumsreaktionen also Folge dieser Änderungen (vgl. Abb. 1) ist für die Forstwirtschaft mit Blick auf langfristige Baumarteneignung, Wuchsleistung und Widerstandsfähigkeit von hoher Relevanz. Die Analyse der Reaktionskinetik von Bäumen auf eine allmähliche Standortverschiebung gestaltet sich aufgrund ihrer Langlebigkeit jedoch schwierig. Treibhausversuche eignen sich zwar für detaillierte Untersuchungen unter kontrollierten Bedingungen, können aber nur einen kurzen Lebensabschnitt von Bäumen beleuchten. Daher bleibt die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die gesamte Lebensspanne von Bäumen eingeschränkt. Mit Hilfe von Prognosemodellen, basierend auf der Abbildung von physiologischen Prozessen, können Produktionsraten unter unterschiedlichen Bedingungen für verschiedene Alterstufen modelliert werden. Häufig mangelt es aber an geeigneten Validierungsdaten zur Verifizierung der Ergebnisse. Am besten dokumentieren langfristige ertragskundliche Versuchsflächen, auf denen der Zuwachsverlauf bereits seit Jahrzehnten beobachtet wird, mögliche Änderungen im Zuwachsgeschehen. So lassen sich auf zahlreichen Versuchsflächen des langfristigen ertragskundlichen Versuchswesens in Bayern während der letzten 50 Jahre auf Bestandsebene Zuwachssteigerungen feststellen, deren Volumenleistung weit oberhalb der besten Ertragstafelbonität liegt (PRETZSCH 2002). Lange Beobachtungsreihen liefern damit retrospektiv wichtige Erkenntnisse über Zuwachsänderungen auf bisher stattgefundenen Standortänderungen.

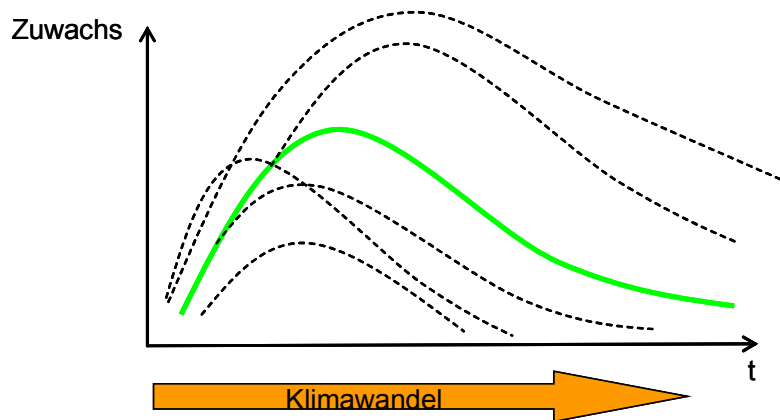


Abb.1 : Schematische Darstellung möglicher Abweichungen des Zuwachsverlaufes (gestrichelte Linien) vom "Normverlauf" (durchgezogene Linie) bei Veränderung der Standorteigenschaften durch Klimawandel.

Der im folgenden vorgestellte Versuchsansatz nutzt Metropolen als großräumige Versuchsanlage zur Analyse der Reaktionskinetik von Bäumen auf unterschiedliche Klimakonstellationen. Aufgrund einer vergleichsweise größeren Bebauungsdichte im Zentrum und anthropogen bedingter Energiefreisetzung weisen ausreichend große Städte einen klaren Gradienten verschiedener Klimaparameter vom Stadtzentrum zum Stadtumland auf. Insbesondere der Wärmeinseleffekt (LANDSBERG 1981) führt zu einer Abnahme der durchschnittlichen Jahrestemperatur von etwa 0,06 K pro Kilometer vom Stadtzentrum in Richtung Peripherie (GRAVES 2001). STÜLPNAGEL (1987) führt eine Reihe wesentlicher Ursachen für ein modifiziertes Klima in Städten auf. So besteht ein höheres Wärmeleitvermögen und eine höhere Wärmekapazität der städtischen Böden aufgrund der überwiegend verbauten Materialien Beton und Asphalt. Zusätzlich führt die baustrukturbedingte Oberflächenvergrößerung tagsüber zu verstärkter Absorption der Strahlung. Die Strahlung wird in kurzweiliger Form wieder in die Umgebung reflektiert. Neben den strukturellen, Temperatur erhöhenden Eigenschaften führen künstliche Wärmezeugung und -abgabe durch Industrie, Kraftwerke, Gebäudewärme und Verkehr zu einer zusätzlichen Erwärmung der Stadt. Gleichzeitig wird durch anthropogen verursachte Emissionen der Treibhauseffekt in der Stadt verstärkt. Geringe Vegetationsdichte und rascher Oberflächenabfluss reduziert zusätzlich die kühlende Wirkung durch Verdunstung. Städte weisen zwar im Vergleich zum Umland eine 5% bis 10% höhere Niederschlagssumme auf (HÄCKEL 2005). Je nach Oberflächenbeschaffenheit wird der überwiegende Teil jedoch rasch oberflächlich abgeleitet und über die Kanalisation abgeführt, so dass er den Pflanzen nicht zur Verfügung steht.

Die geschilderten Stadtklimaeigenschaften folgen im idealen Fall einem kontinuierlichen Gradienten vom Stadtzentrum zum Stadtumland. Die hier vorgestellte Studie hat zur Hypothese, dass sich die verändernden Bedingungen auch im Wachstum von Stadtbäumen niederschlagen, also unterschiedliche Wachstumsraten von Stadtbäumen ausgehend vom Stadtzentrum zur Peripherie auftreten müssten. Dies wird sowohl für den langfristigen Zuwachstrend als auch für die Zuwachsreaktion auf kurzfristige Extremsituationen unterstellt. Am Beispiel der Stadt Berlin werden vorläufige Ergebnisse von Jahrringanalysen der Baumart Winterlinde (*Tilia cordata* MILL.) vorgestellt. Die Analyse stützt sich auf ein Teilkollektiv aller Probestämme, welches zum Zeitpunkt der Textfassung dendrochronologisch ausgewertet war. Sie fokussiert in diesem Rahmen auf die Fragestellungen, ob sich Unterschiede im (i) mittelfristigen Zuwachsgeschehen und im (ii) Reaktionsmuster auf kurzfristige Ereignisse bei Stadtbäumen entlang eines urbanen Gradienten zeigen. Der Gradient wird dabei durch die Distanz des Einzelbaumes zum Stadtzentrum abgebildet und fungiert als unabhängige Variable.

Material und Methoden

Die Stadt Berlin gilt als die Stadt der Linden. Von den etwa 460.000 registrierten Stadtbäumen sind ca. 30% Lindenarten. Etwa die Hälfte davon wird durch die Winterlinde repräsentiert, sie ist damit der häufigste Stadtbaum in Berlin. Auch im Raum Brandenburg hat die Winterlinde einen nicht unerheblichen Anteil am natürlichen Waldaufbau. Aufgrund der Häufigkeit der Baumart und ihrer relativen Bedeutung für die Forstwirtschaft wurde die Winterlinde als Untersuchungsobjekt ausgewählt.

Durch das Stadtgebiet wurden zwei Transekte verlegt. Der eine folgt der Hauptwindrichtung von nordwestlicher Richtung nach Südosten beginnend in den Wäldern westlich von Spandau über Charlottenburg, Berlin Mitte und Treptow-Köpenick bis zum Müggelsee. Der zweite verläuft von Süden (Tempelhof) über Friedrichshain-Kreuzberg nach Berlin Mitte und dann leicht nach Osten abknickend über Lichtenberg nach Mahrzahn. Der Kreuzungspunkt beider Transekte liegt im Bereich des Moritzplatzes (Abbildung 2 links). Entlang der Transektverläufe wurden Straßen- und Parkbäume beprobt. Aufnahmeorte in stadtnahen Wäldern bilden jeweils den Endpunkt der Transekte. Über das Baumkataster der Stadtbezirke wurden dazu im Bereich der Transekte Winterlinden im

Altersbereich zwischen 60 und 80 Jahren vorausgewählt. Vor Ort wurde dann die Eignung der Bäume überprüft und die endgültige Auswahl festgelegt. Insbesondere sollten die Probestämme keine Schädigungen oder umfangreiche Kronenschnitte aufweisen. Die hier vorgestellte Analyse stützt sich auf die Probestämme der Teiltransekte Mitte-Süden und Mitte-Westen (Abbildung 2 rechts) und umfasst insgesamt 115 Linden. Sie wurden im Herbst 2011 bzw. Frühjahr 2012 beprobt.

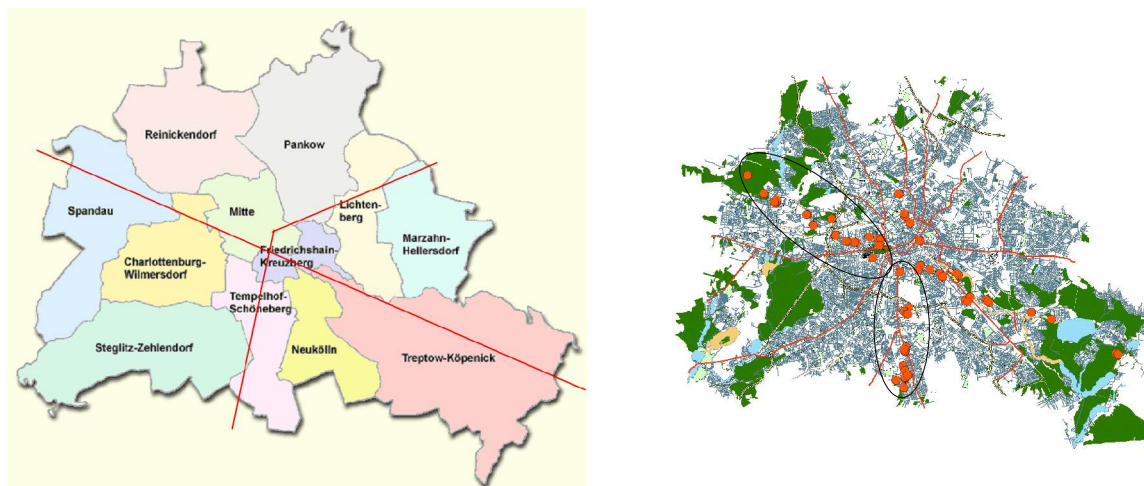


Abb. 2: Transektfestlegung für Probestandorte in Berlin (links), realisierte Probestandorte (rechts). Kreise markieren die in die Analyse einbezogenen Bäume.

Das Messprogramm umfasste die Erhebung des Brusthöhendurchmessers, der Baumhöhe sowie der Höhe des Kronenansatzes. Zusätzlich wurde die Krone in ihrer Ausdehnung in den vier Haupthimmelsrichtungen abgelotet. Desweiteren wurden Eigenschaften des Standraums wie beispielsweise die Größe der Baumscheibe (nicht versiegelte Standfläche), die Art der Standfläche (Straßenrandbaum, Lage im Mittelstreifen, Parkbaum) sowie die Koordinaten des Baumes erfasst. Zur retrospektiven Analyse des Zuwachses wurden je Baum zwei Bohrkerne, jeweils um 90° versetzt von Norden und Osten in Höhe von 1,3 m gewonnen.

Tab. 1: Kennwerte der Probestämme.

	Durchmesser	Höhe	Kronenansatz	Kronenprojektionsfläche	Distanz Brandenburger Tor
N = 115	cm	m	m	m ²	m
mean	39,7	17,5	4,7	74,7	9.045
min	16,5	9,3	2,1	19,8	1.220
max	70,1	29,1	13,7	225,9	16.202

Die Bohrkerne wurden mit einem Microtom abgeschliffen und mit Hilfe eines Digitalpositionometers nach Johann (Biritz + Hatzl GmbH, Österreich) ausgewertet. Nach einer visuellen Synchronisierung aller Jahrringserien wurden die Zuwachswerte der zwei Bohrkerne pro Baum gemittelt.

Als Stadtzentrum im Sinne der Untersuchung wurde die Lage des Brandenburger Tores festgelegt. Aus den gemessenen Koordinaten der Probestämme konnte somit die Distanz jedes Baumes zum Stadtzentrum ermittelt werden. Zur Analyse des mittel- bzw. langfristigen Zuwachsniveaus der Probestämme wurde der mittlere jährliche Radialzuwachs der letzten zehn Jahre (2001 – 2010) herangezogen. Dieser wurde mittels einfacher Regressionsanalyse (lineares Modell) in Abhängigkeit zum Baumdurchmesser und zur Entfernung des Baumes zur Stadtmitte gesetzt.

Zur Analyse der Reaktionskinetik auf Extremereignisse wurde aus den - aufgrund des unterschiedlichen Alters der Jahrringreihen zunächst trendbereinigten - Zuwachsgängen der Einzelbäume das Jahr 1997 als ein Jahr mit deutlich unterdurchschnittlichem Zuwachs identifiziert. Die Trendbereinigung erfolgte mittels eines kubischen Splines mit 50 prozentiger Frequenzreduktion bei 2/3 der Zeitreihenlänge (COOK und KAIRIUKSTIS 1992). Sodann wurde für das Jahr 1997 anhand der absoluten Jahrringzuwächse im Anhalt an LLORET et al. (2011) in Verbindung mit dem durchschnittlichen Zuwachs einer dreijährigen Vorperiode ein Index für den Zuwachseinbruch (Resistenz) ermittelt. Auch dieser Reaktionsindex wurde über einen linearen Ausgleich in Beziehung zur Baumdimension und Distanz zum Stadtzentrum gesetzt.

Ergebnisse

Zuwachstrend

Im folgenden werden die Ergebnisse jeweils getrennt nach den Transekten "Süd" und "West" dargestellt. Der langfristige Zuwachsverlauf aller erfassten Bäume zeigt im Transekt "Süd" eine insgesamt höhere Variabilität im Vergleich zum Transekt "West". In beiden Transekten zeichnet sich jedoch eine Reduzierung des Zuwachsniveaus in den letzten 20 Jahren ab (Abbildung 3).

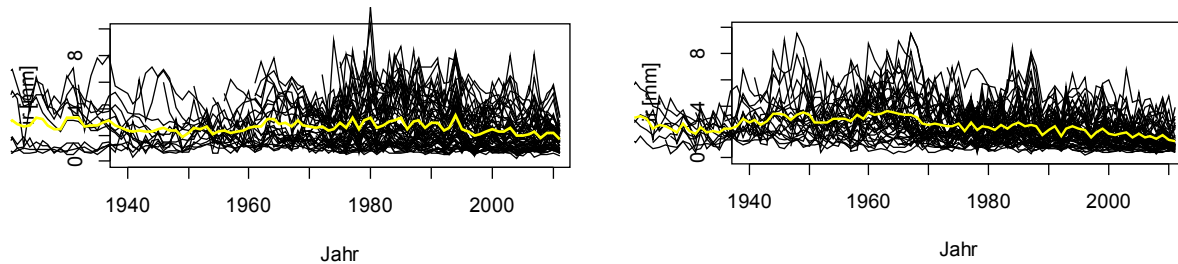


Abb. 3: Langfristige Zuwachsverläufe der Einzelbäume für das Transekt "Süd" (links) und Transekt "West" (rechts), die fett gedruckte Linie markiert den Mittelwert aus den jährlichen Zuwachswerten.

Bei der Betrachtung des mittleren Radialzuwachses der letzten zehn Jahre zeigte der Durchmesser beim regressionsanalytischen Ausgleich keinen signifikanten Einfluss auf das Ergebnis, sodass er aus dem Modell entfernt wurde. Im verbleibenden Modell

$$\text{ir.mean}_{10} = a_0 + a_1 \cdot \text{dist} + \varepsilon \quad (1)$$

ir.mean₁₀ : mittlerer jährlicher Radialzuwachs der Jahre 2001 bis 2011

a_0, a_1 : Schätzparameter

dist: Distanz des Baumes vom Stadtzentrum in m

ε : Fehlerterm

wirkt für beide Transekte die Entfernung zum Stadtzentrum signifikant auf den mittleren Zuwachs der letzten 10 Jahre. Jedoch ist die Wirkung zwischen beiden Transekten entgegengesetzt (Abbildung 4 und Tabelle 2). So nimmt der Zuwachs im Transektverlauf des südlichen Transekts von der Stadtmitte zum Stadtrand um 0,1 mm pro Kilometer zu. Hingegen sinkt im Transektverlauf "West" der Radialzuwachs um 0,06 mm pro Kilometer Entfernung zum Stadtzentrum.



Abb. 4: Scatterplot der durchschnittlichen Zuwächse der letzten 10 Jahren pro Baum (ir.mean₁₀) aufgetragen über ihre jeweilige Distanz zum Stadtzentrum, links Transekt "Süd", rechts Transekt "West".

Tab. 2: Statistische Kennwerte zur Regression nach Formel 1, links Transekt "Süd", rechts Transekt "West"

lm: ir.mean ₁₀ ~ dist	Transekt "Süd"			lm: ir.mean ₁₀ ~ dist	Transekt "West"		
	estimate	se	p-value		estimate	se	p-value
a_0	1,648	0,2880	.000	a_0	3,111	0,2030	.000
a_1	1,295 E-04	2,801 E-05	.000	a_1	-6,212 E-05	2,000 E-05	.003

Zuwachsreaktion auf Extremereignisse

Die mittel eines kubischen Splines altertrendbereinigten Zuwachsverläufe der Einzelbäume zeigen über den insgesamt erfassten Zeitraum eine ganze Reihe von deutlichen Zuwachsspitzen aber auch -depressionen. Häufig wechseln die Extremwerte in kurzen zeitlichen Intervallen (Abbildung 5). Der von Lloret et al. (2011) zur

Berechnung der Resistenz verwendete mittlere Zuwachs einer fünfjährigen Periode machte hier wenig Sinn. Die Periodenlänge wurde deshalb auf drei Jahre verkürzt. Am deutlichsten zeichnet sich das Jahr 1997 mit unterdurchschnittlichem Zuwachs über alle Bäume ab und wird hier als extreme Stresssituation betrachtet.

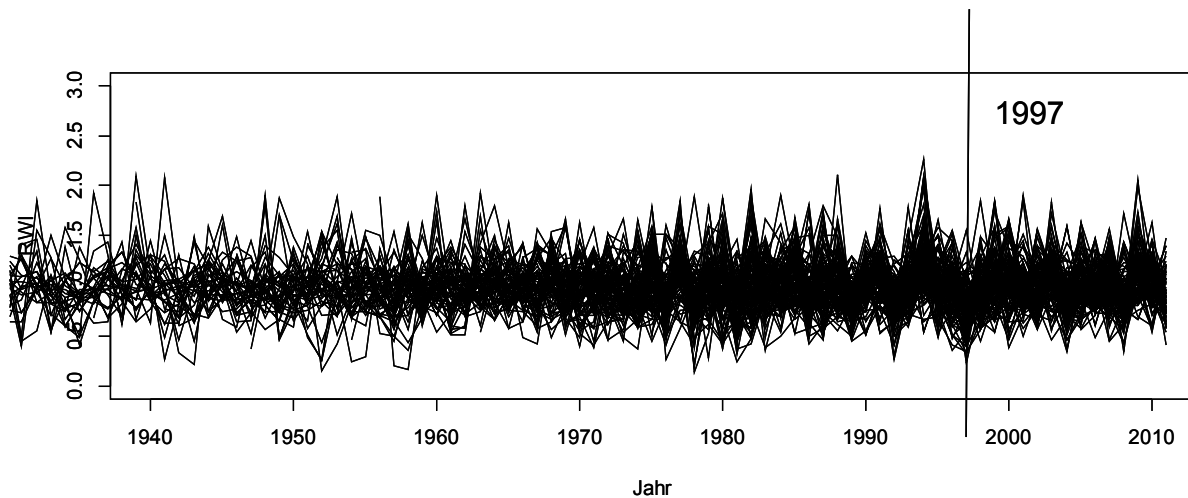


Abb. 5: Die mit Hilfe eines kubischen Splines alterstrendbereinigten Zuwachsverläufe (RWI) zeigen einen häufigen Wechsel zwischen zuwachsgünstigen und -ungünstigen Jahren.

Der Resistenzindex (R_t) relativiert den Zuwachs im Extremjahr am mittleren Zuwachs der dreijährigen Referenzperiode. Er stellt damit ein Maß für die Widerstandsfähigkeit von Bäumen gegen kurzfristige, ungünstige Wuchsbedingungen dar. Insgesamt zeigen die Bäume einen mittleren Zuwachseinbruch von 27%, mit einer Spannweite von 80% bis -190%. Die Analyse der Resistenz in Bezug auf die Entfernung des Wuchsortes vom Stadtzentrum folgt der Formel:

$$R_t = a_0 + a_1 \cdot \text{dist} + \varepsilon \quad (2)$$

R_t : mittlerer jährlicher Radialzuwachs der Jahre 2001 bis 2011

a_0, a_1 : Schätzparameter

dist: Distanz des Baumes vom Stadtzentrum in m

ε : Fehlerterm.

Für die Bäume des "Süd"-Transekts zeigt sich ein signifikanter Einfluss der Distanz auf die Reaktionskinetik. Wenn auch im niedrigen Prozentbereich, so nimmt die Widerstandsfähigkeit mit zunehmender Distanz vom Stadtzentrum zu (Abbildung 6, Tabelle 3). Die Wuchsreaktion der Bäume des "West"-Transekts auf die Extremsituation im Jahr 1997 ist nicht linear. Eine zunächst zunehmende Resistenz mit zunehmender Entfernung nimmt im äußeren Stadtbereich wieder ab. Die Distanz zeigt damit keinen signifikanten Einfluss auf die Zuwachsreaktion im Extremjahr.



Abb. 6: Scatterplot des Resistenzindex pro Baum (R_t) aufgetragen über ihre jeweilige Distanz zum Stadtzentrum, links Transekt "Süd", rechts Transekt "West".

Tab. 3: Statistische Kennwerte zur Regression nach Formel 2, links Transekt "Süd", rechts Transekt "West"

lm: $R_t \sim \text{dist}$	Transekt "Süd"		
	estimate	se	p-value
a_0	0,5793	0,0821	.000
a_1	1,686 E-05	0,00	0,0322

lm: $R_t \sim \text{dist}$	Transekt "West"		
	estimate	se	p-value
a_0	0,6997	0,0675	.000
a_1	2,052 E-06	7,226 E-06	0,777

Diskussion

Grundsätzlich verfolgt die Studie das Ziel, zu prüfen, ob sich Metropolen aufgrund ihres Stadtklimagradienten als große Klimabilabore eignen, in denen sich unterschiedliche Wachstumsreaktionen erkennen lassen. Sie untersucht lang- und kurzfristige Reaktionsmuster im Baumwachstum entlang ausgedehnter Transekte ausgehend vom Stadtzentrum bis hin zu stadtnahen Wäldern in der Peripherie.

Die Kernhypothese der Untersuchung geht von der Annahme aus, dass sich aufgrund des Stadtklimaeffektes in Städten ein Gradient von eher ungünstigen Wuchsbedingungen im Stadtzentrum zu eher günstigen Wuchsbedingungen am Stadtrand ausbildet. Getragen wird diese Annahme dadurch, dass im Stadtzentrum die Jahresdurchschnittstemperatur höher ist als in weiter außen gelegenen Stadtteilen bzw. im Umland. Auch wenn der gemessene durchschnittliche Jahresniederschlag (z.B. KERSCHGENS 1999) aufgrund des höheren Aerosolgehalts im Stadtzentrum höher ist als im Umland, steht dieses Plus der Vegetation aufgrund des versiegelungsbedingten raschen Abflusses nicht zur Verfügung. Vielmehr reduziert sich die verfügbare Wassermenge durch die Abführung des Oberflächenabflusses über die Kanalisation. In Kombination ergibt sich für Bäume im Stadtzentrum ein höherer Trockenstress als im Umland. Es wird weiter angenommen, dass witterungs- und anthropogen bedingte Faktoren, die sich begünstigend auf das Wachstum auswirken können, die vorher geschilderten Faktoren nicht kompensieren können. Begünstigende Faktoren können beispielsweise eine Verlängerung der Vegetationsperiode durch höhere Temperaturen im Stadtzentrum sein (RÖTZER 2007) oder erhöhte CO₂-Konzentrationen durch Verkehr, Industrie und Hausbrand.

Die vorläufigen Ergebnisse scheinen die Hypothese zum Teil zu belegen, zum Teil aber auch zu widerlegen. So zeichnet das untersuchte Transekt "Süd" eine signifikante Steigerung der Zuwachsraten vom Stadtzentrum zur Peripherie nach. Das Transekt "West" verhält sich gegenläufig. Bezüglich der Resistenz gegenüber Extremsituationen zeigt wiederum das Transekt "Süd" eine zunehmende Resistenz mit zunehmender Entfernung zum Stadtzentrum. Die Unabhängigkeit der gefundenen Zusammenhänge von der Baumdimension (Durchmesser) lässt hier zumindest auf einen allgemeinen Trend schließen. Die untersuchten Bäume des westlichen Transekts zeigen zunächst eine zunehmende Resistenz mit zunehmender Entfernung zur Stadtmitte, die dann im weiteren Verlauf wieder abnimmt. Dies führt schließlich zu keinem signifikanten Ergebnis. Es müssen detailliertere Analysen der jeweils herrschenden Wachstumsbedingungen folgen. Die Distanz zum Stadtzentrum reicht als erklärende Variable des Zuwachses vermutlich nicht aus. So wird beispielsweise das Temperaturregime eines Stadtbereiches im wesentlichen durch seine Bebauungsdichte beeinflusst. Im Falle von Berlin nimmt diese nicht kontinuierlich mit der Entfernung zum Stadtzentrum ab, so dass sich nichtkonzentrische Bereiche gleicher Klimakonstellation ergeben. Eine Verfeinerung des Entfernungsindex in Verbindung mit beispielsweise einem Versiegelungsindex spiegelt die jeweilige Situation sicherlich realitätsnaher wider. Es erscheint sinnvoll, weitere Faktoren in die Analyse einzubeziehen. Hydrologische Karten machen beispielsweise deutlich, dass der Flurabstand des Grundwassers in Berlin geologisch bedingt eine große Bandbreite aufweist. Das Urstromtal durchquert Berlin von südöstlicher in nordwestlicher Richtung. Die Flurabstände des Grundwassers sind hier durchgehend niedrig. Das von uns gewählte Transekt "West" folgt genau dem Verlauf des Urstromtals. Nördlich und südlich des Urstromtals grenzen Hochebenen an, die die Flurabstände des Grundwassers deutlich zunehmen lassen. Der "Süd"-Transekt startet im Urstromtal und verläuft dann auf der südlichen Hochebene.

Interessant erscheint eine detailliertere Analyse des langfristigen Zuwachsverlaufes der Bäume. Wenn die Bebauungsdichte das Klimaregime in den einzelnen Stadtbezirken beeinflusst, so muss sich in den letzten 60 Jahren auch eine Verschiebung bzw. Zunahme des Klimagradienten ergeben haben. Berlin erfuhr nach dem zweiten Weltkrieg eine Wiederaufbauphase und eine zunehmende Versiegelung zentrumsnaher Areale. Erste Hinweise auf einen möglichen Effekt der städtebaulichen Entwicklung auf das Baumwachstum zeigen die langfristigen Zuwachsverläufe der beprobten Bäume. Insbesondere in den letzten 20 Jahren scheint sich eine Niveauabsenkung des Zuwachses bemerkbar zu machen (Abbildung 3).

Die hier vorgestellte Studie ist Teil einer größeren Untersuchung. Mit dem gleichen Untersuchungsdesign wird in insgesamt sechs bis acht Metropolen weltweit das Baumwachstum entlang von urbanen Klimagradienten analysiert. Die ausgewählten Städte decken dabei die Großklimaregionen boreal, temperiert, mediterran und subtropisch ab. Grundsätzlich soll dadurch geklärt werden, ob sich die Reaktionskinetik von Bäumen entlang von urbanen Gradienten tendenziell gleichsinnig ändert. Zum anderem soll geprüft werden, ob sich die gefundenen Wachstumsreaktionen nutzbar machen lassen, um Vorhersagen zum Baumwachstum unter Klimawandel treffen zu können. Da sich der Klimawandel in den genannten Klimaregionen unterschiedlich ausprägen wird, ist auch die Kenntnis über das regionsspezifische Reaktionsmuster von Bäumen notwendig, um eine Übertragbarkeit der Ergebnisse sicher zu stellen.

Danksagung

Wir danken der Audi Stiftung für Umwelt für die finanzielle Unterstützung des Forschungsvorhabens sowie der Senats- und den Bezirksverwaltungen der Stadt Berlin für die Genehmigung der Probenahme und die freundliche Unterstützung bei der Auswahl der Probestämme.

Literaturverzeichnis

- COOK, E. R. UND KAIRIUKSTIS, L. A. (1992): *Methods of Dendrochronology*. Kluwer Academic Publisher, Dodrecht, 394 S.
- GRAVES, H. M., WATKINS, R., WESTBURY, P. AND LITTLEFAIR, P. J. (2001): *Cooling buildings in London*. BR 431, CRCLtd, London.
- HÄCKEL, H. (2005): *Meteorologie*. Ulmer Verlag, Stuttgart, 447 S.
- KERSCHGENS, M. (1999) : *Stadtklima und Luftreinhaltung*, Springer Verlag Heidelberg. 2. Auflage. VDI-Kommission Reinhaltung der Luft.
- LANDSBERG, H. (1981): *The urban Climate*. Academic Press, New York, 275 S.
- LLORET, F., KEELING, E. G., SALA, A. (2011): *Components of tree resilience: effects of successive low-growth episodes in old ponderosa pine forests*. *Oikos*, 120, 1909-1920.
- PRETZSCH, H. (2002): *Grundlagen der Waldwachstumsforschung*. Parey Buchverlag Berlin, 414 S.
- RÖTZER, TH. (2007): *Auswirkungen des Stadtklimas auf die Vegetation*. *Promet* 33(1/2): 40-45.
- STÜLPNAGEL, A. V. (1987): *Klimatische Veränderungen in Ballungsgebieten unter besonderer Berücksichtigung der Ausgleichswirkung von Grünflächen, dargestellt am Beispiel von Berlin (West)*. Dissertation an der TU Berlin