

URBANE WÄLDER

Ökologische Stadterneuerung durch Anlage urbaner Waldflächen
auf innerstädtischen Flächen im Nutzungswandel

Ein Beitrag zur Stadtentwicklung

Modul Stadtklima

Autoren:
Dr. Uta Moderow
Dr. Valeri Goldberg
M. Sc. Kerstin Uiboupin

Förderträger: Bundesamt für Naturschutz
Fachbetreuung: Bundesamt für Naturschutz, FG II 4.1, Jens Schiller

Hauptvorhaben: Stadt Leipzig, Dezernat Stadtentwicklung und Bau

Wissenschaftliche Begleitung: *Koordination und Leitung:*
TU Dresden, Institut für Landschaftsarchitektur,
Lehr-und Forschungsgebiet Landschaftsplanung
Beteiligte Partner:
TU Dresden, Fakultät Umweltwissenschaften, Professur für Forstbotanik
TU Dresden, Fakultät Umweltwissenschaften, Professur für Meteorologie;
Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH, Department Stadt-und
Umweltsoziologie;
Naturschutzzinstitut Region Leipzig e.V.

Projektlaufzeit: 2022 - 2024

Zitiervorschlag: Moderow, Goldberg & Uiboupin (2024): Modul Stadtklima.
Schlussbericht in der wissenschaftlichen Begleitforschung zum
Erprobungs- und Entwicklungsvorhaben der Stadt Leipzig „Urbane
Wälder“ im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz. Stand 2024.

Danksagung

Wir danken Dr. Astrid Ziemann (TU Dresden, Professur für Meteorologie) und den Studenten Marius Döbberthin und Chris Burschyk (beide TU Dresden) für ihre Hilfe und Unterstützung bei den zweitägigen mobilen Messungen. Ohne ihren zeitlich intensiven Einsatz bei hoher thermischer Belastung wären die mobilen Messungen nicht möglich gewesen. Ebenso bedanken wir uns bei Dr. Claudia Schütze sowie Dr. Uta Ködel (beide Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH, Department Monitoring- und Erkundungstechnologien) für die Unterstützung bei der Wartung der stationären Stationen sowie deren Zusammenarbeit während der mobilen Messungen. Heiko Prasse (TU Dresden, Professur für Meteorologie, danken wir für die Hilfe beim Aufbau, wieder Errichten und Abbau der stationären Stationen.

Inhalt

1	Einführung	4
1.1	Forschungsfragen.....	4
1.2	Vorgehensweise	4
1.3	Untersuchungsgebiete	5
2	Klimatische Wirkung von Stadtparks.....	5
2.1	Stand der Forschung.....	5
2.1.1	Bedeutung des Park Cool Island Effektes	6
2.1.2	Thermische Reichweite von Parks	6
2.1.3	Verteilung von Parkanlagen im urbanen Gebiet.....	7
2.2	Modellsimulationen in den Entwicklungsflächen in Leipzig	11
2.2.1	Schönauer Holz	11
2.2.2	Stadtgärtnerei Holz	13
2.2.3	Alter Plagwitzer Bahnhof.....	18
3	Stadtklimamessungen in Leipzig	22
3.1	Stationäre Messungen	22
3.2	Mobile Messungen.....	24
3.2.1	Material und Methoden.....	24
3.2.2	Ergebnisse	26
4	Zusammenfassung	30
5	Literatur.....	31

1 Einführung

Von urbanem Grün gehen eine Vielzahl von positiven Wirkungen aus. Sie haben beispielsweise Einfluss auf das urbane Klima, auf luftgetragene Schadstoffe und speichern in ihren Holzigen Bestandteilen Kohlenstoff (TYRVÄINEN et al. 2005). Auch mit den, in der ersten Projektphase angelegten, urbanen Wäldern sind solche Wirkungen verbunden. Die folgende Arbeit adressiert die klimatische Wirkung dieser Flächen, wobei deren klimatische Reichweite von besonderem Interesse ist. Diesem Thema wird sich auf verschiedene Art und Weise genähert. Initial werden Ergebnisse einer Literaturrecherche zu klimatischen Reichweiten von Parks vorgestellt, um so den Stand der Forschung aufzuzeigen und gleichzeitig, die mögliche klimatische Reichweite der Projektflächen einordnen zu können. Auf Basis von Stadtklimasimulationen wird anschließend die klimatische Reichweite der Flächen in Abhängigkeit von unterschiedlichen Entwicklungsstadien der Vegetation analysiert. Hierfür wurde das Modell ENVI-met genutzt (BRUSE 1999, SINSEL, 2022). Abschließend werden Ergebnisse von Stadtklimamessungen vorgestellt, die die klimatischen Verhältnisse auf einer Projektfläche selbst und deren Umgebung zum Gegenstand hatten.

1.1 Forschungsfragen

- Wovon hängt die Klimawirkung städtischer Parks ab?
- Lässt sich der mikroklimatische Einfluss der urbanen Wälder auf seine Umgebung mit Messungen und Modellsimulationen nachweisen?
- Welche Entwicklung der klimatischen Wirkung ist zukünftig zu erwarten?

1.2 Vorgehensweise

- Erfassung des aktuellen Zustandes der urbanen Wälder in Leipzig und seines Einflusses auf das Stadtklima mittels Messungen (mobil und stationär)
- Modellierung des Einflusses der gegenwärtigen und zukünftigen urbanen Wälder auf den ausgewählten Versuchsflächen in Leipzig auf das Stadtklima mit Hilfe des mikroskaligen dreidimensionalen Klimamodells ENVI-met (BRUSE 1999, SINSEL, 2022)
- Literaturrecherchen zur Klimawirkung (Kühlwirkung, Reichweite) urbaner Parks

1.3 Untersuchungsgebiete

Die Untersuchung zu den Wirkungen der urbanen Wälder adressieren alle drei Projektflächen, die „Stadtgärtnerei Holz“ (ehemals Alte Stadtgärtnerei; Fläche ca. 5 ha, an der Zweinaundorfer Straße) im Osten von Leipzig, das „Schönauer Holz“ (an der Neuen Leipziger Straße, Fläche ca. 4 ha) im Westen der Stadt (Leipzig-Grünau, Plattenbaugebiet) sowie den „Gleis-Grün-Zug“, eine Sukzessionsfläche auf dem Gelände des Alten Plagwitzer Bahnhofs. Im stadtplanerischen Sinne (nach Definition der Stadtplanungswerke) liegen alle Gebiete im innerstädtischen Bereich (BURKHARDT et al. 2008). Jedoch befindet sich die Neue Leipziger Straße eher in Stadtrandnähe und eine mögliche Beeinflussung durch den nahegelegenen Kulkwitzer See (westlich) ist nicht auszuschließen. Die Projektfläche Stadtgärtnerei Holz befindet sich in einer Region mit relativ hohem Grünflächenanteil (angrenzender Ostfriedhof, angrenzende Kleingartenanlage, angrenzender städtischer Wald). Das Gelände am Alten Plagwitzer Bahnhof grenzt im Osten an ein verdichtetes Gründerzeitviertel und weitet sich im Westen in die Gleisbetten des Güterbahnhofs. Damit befinden sich die drei Entwicklungsflächen in sehr unterschiedlicher städtischer Umgebung, was auf unterschiedliche Randwirkungen eines urbanen Waldes schließen lässt.

2 Klimatische Wirkung von Stadtparks

2.1 Stand der Forschung

Urbane Wälder können auf vielfältige Weise die klimatischen Bedingungen innerhalb einer Stadt auf kleinräumiger Skala positiv beeinflussen. Zu nennen wären hier vor allem die Wirkung auf die Lufttemperatur, auf die Feuchte, auf die Luftzirkulation sowie auf die Luftreinhaltung (TYRVÄINEN et al. 2005). Oft tragen urbane Bäume und Parks zu einer Reduzierung der Lufttemperatur durch Beschattung und Verdunstung bei und können so in den heißen Sommermonaten ein angenehmeres Klima auf lokaler Ebene schaffen. Unter bestimmten Bedingungen, d.h. bei einer hohen solaren Einstrahlung und gleichzeitig geringer Durchmischung der Luft kann die Lufttemperatur auch erhöht sein (Grimmond et al. 1996). Von Interesse ist auch, wie eine städtische Grünfläche beschaffen sein sollte, um einen möglichst positiven Effekt auf das urbane Klima zu haben. Um die klimatische Wirkung von urbanen Grünflächen zu analysieren, wird zumeist die Temperaturdifferenz zur bebauten Umgebung betrachtet (z.B. BONGARDT 2006; POTCHTER et al. 2006; STÜLPNAGEL 1987; SHASHUA-BAR und HOFFMAN 2000; UPMANIS et al. 1998). Städtische Parks kühlere Gebiete im städtischen Kontext darstellen können, wird in diesem Zusammenhang auch von „*Park Cool Island (PCI)*“ gesprochen.

2.1.1 Bedeutung des Park Cool Island Effektes

Der sogenannte Park-Cool-Island Effekt (auf Deutsch: Park-Kälteinsel) beschreibt im Gegensatz zur städtischen Wärmeinsel (Urban Heat Island, UHI) den Kühleffekt von städtischen Grünanlagen, der sich durch niedrigere Temperaturen im Vergleich zum urbanen bebauten Umland feststellen lässt (CHANG et al., 2007; CHEN und HIEN, 2006; SHASHUA-BAR und HOFFMAN, 2000; UPMANIS et al., 1998). Zur Bewertung dieser Wirkung wird meist die Lufttemperaturdifferenz in Bodennähe der Parkanlage zur direkten bebauten Umgebung betrachtet (BONGARDT, 2006) und als PCI-Intensität (PCII) angegeben. Die Ursache für den PCI-Effekt ist, dass die Bedingungen in einem (ausgedehnten) Park eher denen des nicht-städtischen Umlands entsprechen (BONGARDT, 2006). Insbesondere unterscheiden sich Parkflächen von der bebauten Umgebung in der Evapotranspiration, der Albedo (Reflexionsvermögen für solare Strahlung) und der Wärmespeicherung. Gleichfalls gibt es in urbanen Parks typischerweise keine anthropogene Wärmeproduktion (BONGART, 2006; SPRONKEN-SMITH, 1994). Bei der Quantifizierung des PCII werden die Begriffe Park und Grünanlage meist als gleichbedeutend verwendet, und es wird nicht zwischen öffentlichen und privaten Arealen unterschieden (BONGARDT, 2006).

2.1.2 Thermische Reichweite von Parks

Die meisten Literaturquellen zeigen, dass die PCII mit der Größe des Parks wächst (BACCI et al., 2003; CHANG et al., 2007; CHANG und LI, 2014; BARRADAS, 1991; UPMANIS et al., 1998; SUN et al., 2021; PENG et al., 2021). Nach CHANG et al. (2007) weisen Anlagen erst ab einer Größe von 12 ha zu allen betrachteten Zeitpunkten eine PCI auf. Grünareale unter 3 ha waren laut CHANG et al. (2007) in ihrem Verhalten vergleichsweise variabel und bildeten öfter auch nächtliche Wärmeinseln über alle betrachteten Zeiträume aus. Diese Werte ähneln den Ergebnissen von STÜLPNAGEL (1987), der eine Mindestgröße von 3,5 ha für Einzelsituationen und 10 ha für ein langjähriges Mittel als Grenze für eine messbare PCII feststellte. Nach SPRONKEN-SMITH (1994) spielt neben der optimalen Größe auch die Höhe der den Park umgebenden Strukturen eine Rolle. So solle ein Park die ca. 7,5-fache Breite der Höhe dieser Strukturen aufweisen, um eine optimale thermische Ausstrahlung zu erreichen (SPRONKEN-SMITH, 1994).

Mehrere Autoren geben übereinstimmend an, dass die maximale Reichweite der PCI ungefähr dieselbe Ausdehnung wie die Breite des Parks aufweist (SPRONKEN-SMITH, 1994; UPMANIS et al., 1998; SHASHUA-BAR und HOFFMAN, 2000; JÁUREGUI, 1990; CHANG und LI, 2014; SPRONKEN-SMITH und OKE, 1998).

2.1.3 Verteilung von Parkanlagen im urbanen Gebiet

Mehrere Autoren empfehlen aufgrund der nur auf kurzen Distanzen wirkenden Kühlung die potentiellen Vorteile von Parkanlagen durch viele gleichmäßig verteilte Grünanlagen (AMANI-BENI et al., 2021; SHASHUA-BAR und HOFFMAN, 2000; SPRONKEN-SMITH, 1994) nutzbar zu machen. So konnten Parks mit Ausdehnungen von 20-60 m in Tel Aviv eine Reichweite ihrer 2-4-fachen Breite entfalten, weshalb solche Parks in Abständen von ca. 100 m verteilt werden sollten. Außerdem erzeugen viele kleinere verteilte Parks eine homogenere Abkühlung von Städten (BONGARDT, 2006). Die positive Wirkung einer eher hohen Anzahl von kleineren Grünanlagen im Vergleich zu einzelnen, großen kompakten Grünanlagen heben ebenfalls SAITO ET AL. (1990,1991), HONJO UND TAKAKURA (1990,1991) sowie MAYER (1990, zitiert in TYRVÄINEN ET AL. 2005) hervor. MODEROW und GOLDBERG (2018) kommen auf Grundlage einer Simulationsstudie zu ähnlichen Ergebnissen. Darüber hinaus könnten gleichmäßig verteilten Grünanlagen zu einer gerechten Stadtplanung beitragen, sodass die Mehrheit der Bevölkerung von den positiven Effekten urbanen Grüns profitiert.

Ein weiterer potentieller Vorteil der Verteilung vieler Grünanlagen bestehe laut BONGARDT (2006) darin, dass sie womöglich zur Bildung einer häufig unterbrochenen Luftleitbahn führen könnten, durch welche kühle Luft aus dem Umland in die Stadt fließen würde. Dies hängt jedoch auch von anderen Faktoren ab, weshalb diese Wirkung nicht generell in allen Städten mit gut verteilten kleinen Stadtparks zu erreichen ist.

Abschließend gibt Tabelle 1 eine Übersicht zu verschiedenen urbaner Parks und deren klimatische Wirkung.

Tabelle 1: Klimatische Wirkung verschiedener urbaner Parkanlagen (k.A.: keine Angabe)

Stadt	Geographische Lage	Größe ha	Maximale Temperaturdifferenz zur bebauten Umgebung (PCI) K	Reichweite m	Quelle
	°N				
Dortmund	51	10,3	4,0	- ^a	BONGARDT (2006)
Berlin	52	212 ^b	4,3	0-1500	STÜLPNAGEL (1987)
München	48	130	3,5	k.A.	BRÜNDL et al. (1986) ^c
Stockholm	59	14	2,0	k.A.	JANSSON et al. (2007)
Göteborg	57	156	5,9	1100	UPMANIS et al. (1998)
Göteborg	57	3,6	2,0	30-40	UPMANIS et al. (1998)
Tel Aviv	33	0,05-1,10	3,0 ^d	~100 ^e	SHASHUA-BAR und HOFFMAN (2000)
Tel Aviv	33	2,8	3,5	k.A.	POTCHTER et al. (2006)
London	51	110	6,3	400	DOICK et al. (2014)
Osaka	35	104	2,5	k.A.	SHIGETA et al. (2015)

^a BONGARDT (2006) gibt die Fläche, in der die klimatische Wirksamkeit des Parks gegeben ist, mit der doppelten Größe der Parkgrundfläche an.

^b Beispiel Tiergarten

^c zitiert in UPMANIS et al. (1998)

^d Mittel über alle untersuchten Flächen

^e maximale Reichweite

Park	Größe [ha]	Stadt	PCI [K]	Quelle	Anmerkung*
Kleistpark	6	Berlin	1	STÜLPNAGEL (1987)	EW
Bosepark	7	Berlin	1,3	STÜLPNAGEL (1987)	EW
Thielpark	10	Berlin	1,5	STÜLPNAGEL (1987)	EW
Kleiner Tiergarten	12	Berlin	1	STÜLPNAGEL (1987)	EW
Viktoriapark	15	Berlin	0,5	STÜLPNAGEL (1987)	EW
Lietzensee mit Park	16	Berlin	0,5	STÜLPNAGEL (1987)	EW
Stadtpark Steglitz	18	Berlin	1	STÜLPNAGEL (1987)	EW
Volkspark Mariendorf	20	Berlin	0,5	STÜLPNAGEL (1987)	EW

Sausuhlesee/Friedhöfe	22	Berlin	2	STÜLPNAGEL (1987)	EW
Heinrich-Laehr- Park	30	Berlin	2,2	STÜLPNAGEL (1987)	EW
Humboldthain	30	Berlin	2,2	STÜLPNAGEL (1987)	EW
Waldfriedhof Zehlendorf	40	Berlin	1,5	STÜLPNAGEL (1987)	EW
Wald südlich Lichtenrade	48	Berlin	1,5	STÜLPNAGEL (1987)	JW
Schlossgarten, Charlottenburg	55	Berlin	2	STÜLPNAGEL (1987)	EW
Parkfriedhof Lichterfelde/Kleingärten	65	Berlin	1	STÜLPNAGEL (1987)	JW
Volkspark Hasenheide	81	Berlin	2,8	STÜLPNAGEL (1987)	EW
Kleingärten Priesterwitz/Südge lände	125	Berlin	5,4	STÜLPNAGEL (1987)	EW
Volkspark Jungfernheide	140	Berlin	1,8	STÜLPNAGEL (1987)	EW
Volkspark Rehberge	163	Berlin	3,4	STÜLPNAGEL (1987)	EW
Großer Tiergarten	212	Berlin	4,3	STÜLPNAGEL (1987)	EW
Forst Jungfernheide	250	Berlin	3,2	STÜLPNAGEL (1987)	EW
Wald nördlich Frohnau	300	Berlin	1,8	STÜLPNAGEL (1987)	EW
Tegeler Forst	1075	Berlin	4	STÜLPNAGEL (1987)	EW
Düppeler Forst	1150	Berlin	4	STÜLPNAGEL (1987)	EW
Spandauer Forst	1200	Berlin	5	STÜLPNAGEL (1987)	EW
Gubberoparken	2,4	Göteborg	1,7	UPMANIS ET AL. (1998)	EW
Slottsskogen	156	Göteborg	5,9	UPMANIS ET AL. (1998)	EW
Vasaparken	3,6	Göteborg	2	UPMANIS ET AL. (1998)	EW
Izumigaoka Park	0,24	Kumamoto (Japan)	3	IKUO ET AL. (1990)	ST
Kengun Shinto Shrine	2,25	Kumamoto (Japan)	4	IKUO ET AL. (1990)	ST
Chapultepec Park	525	Mexiko-Stadt	4	JÁUREGUI (1990)	MW

Reid Park	53	Tucson (USA)	6,8	SPRONKEN-SMITH (1994)	EW
Park B	3,5	Tel Aviv	2	POTCHTER ET AL. (2006)	EW
Park C	2,8	Tel Aviv	2,5	POTCHTER ETAL. (2006)	EW
Luis G. Urbina	9,9	Mexiko-Stadt	2,2	BARRADAS (1991)	JW
Francisco Villa	8,9	Mexiko-Stadt	1,9	BARRADAS (1991)	JW
Arboledas	3	Mexiko-Stadt	4,6	BARRADAS (1991)	JW
Tlacoquemecatl	2	Mexiko-Stadt	0,9	BARRADAS (1991)	JW
Magnolias	1,9	Mexiko-Stadt	1	BARRADAS (1991)	JW

*(EW=Einzelwert windarme Nacht, ST= Sommertag, MW=Monatswert, JW=Jahreswert)

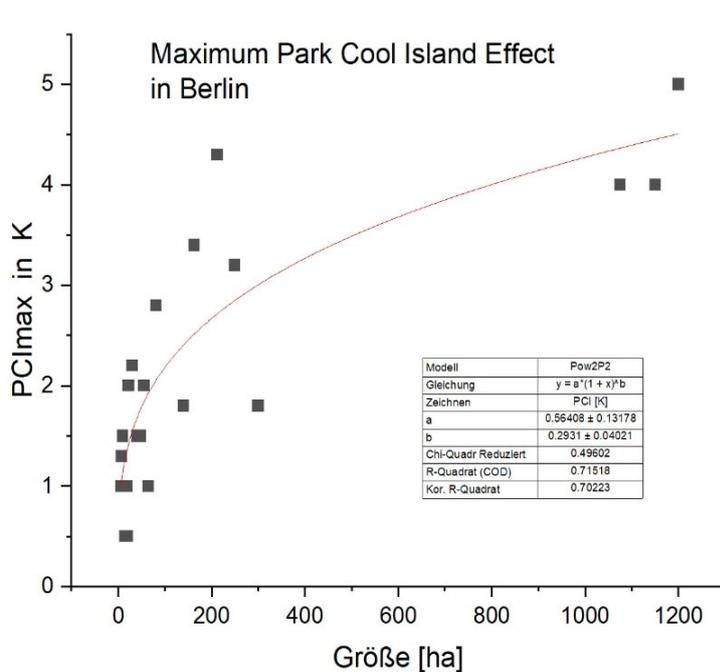


Abbildung 1: Maximaler PCI in Abhängigkeit von der Flächengröße für Stadtpark in Berlin (auf Basis der Daten von Stülpnagel (1987))

Aus den Daten für Berlin lässt sich ein statistischer Zusammenhang der Parkgröße mit dem maximalen PCI ableiten (Abbildung 1). Hier zeigt sich, dass der maximale PCI bis zu einer Flächengröße des Parks von 200 ha stark und bei größeren Parks nur noch langsam zunimmt. Wie auch andere Studien zeigen, scheint das typische Maximum des PCI für Stadtparks in Europa zwischen 4 und 5 km zu liegen.

2.2 Modellsimulationen in den Entwicklungsflächen in Leipzig

2.2.1 Schönauer Holz

Im Rahmen einer studentischen Projektarbeit (BALKENHOL, 2024) wurde die mikroklimatische Reichweite der Projektfläche „Schönauer Holz“ anhand von Modellstudien mit dem mikroskaligen Stadtklimamodell ENVI-met 5 (BRUSE 1999, SINSEL, 2022) untersucht. Dabei wurden drei unterschiedliche Zustände der Entwicklungsfläche verglichen:

- „Sandplatz“: entspricht dem Zustand nach Abriss der Plattenbauten
- „Istzustand“: entspricht dem aktuellen Entwicklungszustand der Bepflanzung gemäß projektspezifischem Pflanzplan und Vor-Ort-Besichtigungen
- „Szenario 2050“: entspricht einem angenommenen wahrscheinlichen Endzustand der Entwicklung des urbanen Waldes „Schönauer Holz“

Um die Reichweite des mikroklimatischen Einflusses der Projektfläche auf die urbane Umgebung zu bewerten, wurden Modellsimulationen für einen typischen heißen Sommertag durchgeführt. Folgende Initialisierungsdaten wurden für den Modellstart, basierend auf Messdaten der DWD-Station Leipzig-Holzhausen verwendet:

Tabelle 2: Initialisierungsdaten für die Modellsimulationen mit ENVI-met in Schönauer Holz

Parameter bzw. Messgröße	Wert
Starttermin	15.07.
Startzeit	00:00
Simulationsdauer	48 Stunden
Wind in 10 m über Grund	202.5° / 3.5 m/s
Lufttemperatur in 2 m über Grund	293.25 K
Luftfeuchte in 2 m über Grund	44 %
3D-Modelldomain (x,y,z)	168,241,28
Modellauflösung horizontal	4 m

Basierend auf dem digitalen Objektmodell und dem Baumartenkataster der Stadt Leipzig sowie Luftbild- und Vor-Ort-Aufnahmen (Abbildung 2) wurde der Flächeninputfile des Modellgebiets Schönauer Holz erstellt. Die Abbildung 3 zeigt das Beispiel für die Modellsimulation „Sandplatz“ (BALKENHOL, 2024).



Abbildung 2: Projektfläche „Schönauer Holz“ – Kartengrundlage für die Erstellung des Simulationsgebietes mit ENVI-met. Hintergrundbild: Ausschnitt Orthophoto, „Datenlizenz Deutschland – Geodaten Sachsen – Version 2.0“, Lizenztext unter www.govdata.de/dl-de/by-2-0, Datenquelle: <https://www.geodaten.sachsen.de/downloadbereich-dop-4826.html>

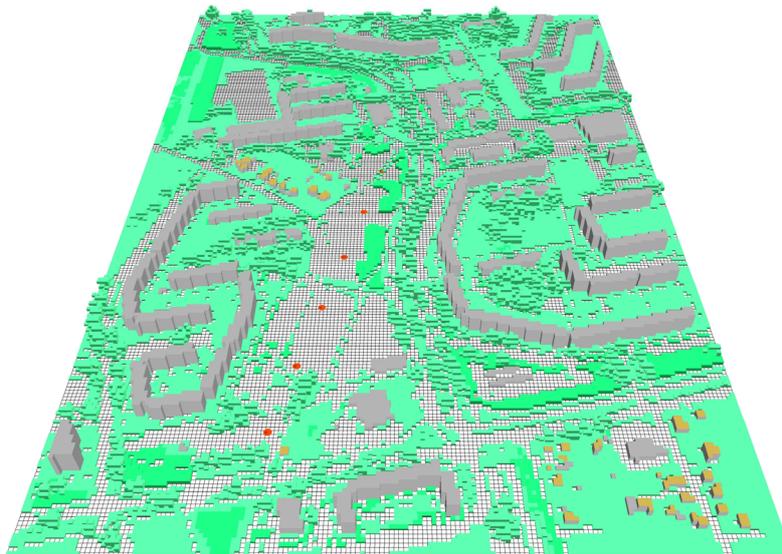


Abbildung 3: 3D-Struktur des Inputfiles „Schönauer Holz“ für die Envi-met Modellsimulation „Sandplatz“

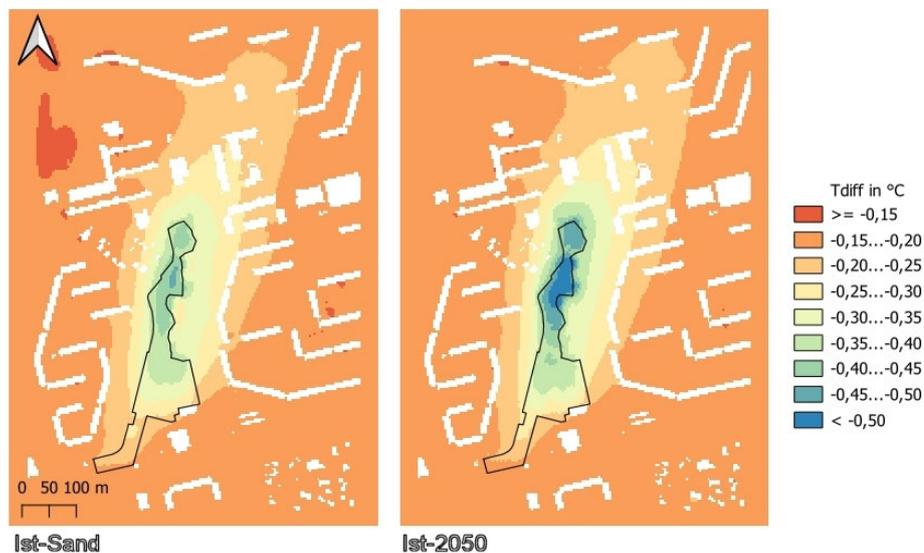


Abbildung 4: Differenz der Tagesmitteltemperatur zwischen dem Ist-Zustand bzw. dem Endzustand 2050 des urbanen Waldes im Schönauer Holz zum Zustand nach Abriss der Plattenbauten (Modellzustand „Sand“).

Zur Bewertung der Stärke und Reichweite der Mikroklimawirkung der Entwicklungsfläche wurden die Modellergebnisse der drei Modellstudien in Form von Differenzkarten verglichen. Die Abbildung 4 zeigt die Differenz der tagesgemittelten Lufttemperatur (2. Simulationstag) in 1 m über Grund zwischen den Modellsimulationen. Deutlich erkennbar ist die Abkühlung gegenüber der Sandfläche an einem Sommertag um bis zu 0,5 K. In Abhängigkeit von der gewählten Windrichtung reicht die sich abschwächende Luftkühlung durch die Gehölze bis zu 300 m in die Siedlungsflächen hinein.

2.2.2 Stadtgärtnerei Holz

Die Projektfläche Stadtgärtnerei Holz an der Zweinaundorfer Straße ist eine ehemalige Stadtgärtnerei mit alten Gebäuden und Gewächshäusern, die vor der Aufforstung abgerissen wurden. Die Gestaltung des Stadtwaldes orientiert sich am orthogonalen System der ehemaligen Anbauflächen der Gärtnerei mit dem Ziel, ein Raumerlebnis mit unterschiedlichen Gehölzkombinationen zu bieten (Urbane Wälder 2024). Durch den Rückbau und die Entsiegelung entstand eine ca. 3,8 ha große öffentlich nutzbare Waldfläche mit einer Mischung aus bis zu 5 m hohen, dichten Sträuchern und 10 m bis 15 m hohen Bäumen, siehe Abbildung 5.

Das Projektgebiet liegt in einer Region mit einem relativ hohen Grünflächenanteil. Im Südwesten des Modellgebietes befindet sich der Ostfriedhof, im Südosten der städtische Feenwald und im Süden und

Norden/Nordosten Kleingartenanlagen. Größere Wohngebiete finden sich am Rande oder außerhalb des Modellgebietes.



Abbildung 5: Untersuchungsgebiet in Leipzig Stadtgärtnerei Holz. Google Earth (2018 & 2022) Satellitenbilder (Aufnahmedaten: 09.03.2018 und 03.06.2022) des gesamten Modellgebietes (1000 m x 700 m). Der untersuchte urbane Wald ist durch rote Linien gekennzeichnet.

Ähnlich zur Projektfläche „Schönauer Holz“ wurde auch hier die mikroklimatische Reichweite des angelegten urbanen Waldes anhand von drei Szenarien mit dem Mikroklimamodell ENVI-met 5 (BRUSE 1999, SINSEL, 2022) untersucht. Die Analyse erfolgte anhand der folgenden Szenarien (siehe Abbildung 6):

- „Minimalszenario“: entspricht dem Zustand ohne Vegetation im urbanen Waldgebiet.
- „Ist-Zustand“: entspricht dem aktuellen Zustand (Vegetation, Oberfläche, Gebäude) des gesamten Untersuchungsgebietes gemäß Google Earth (2018 & 2022) Satellitenbildern und der Differenz aus Geländemodell und Höhenmodell (GeoSN 2023).
- „Zukunftsszenario“: entspricht einem visionären Zustand eines ausgewachsenen und dichten Zukunftswaldes im urbanen Waldgebiet. Das Szenario wurde unter Berücksichtigung des Vegetationswachstums im Ist-Zustand und des Lageplans des Projekts „Urbane Wälder“ (2024) erstellt.

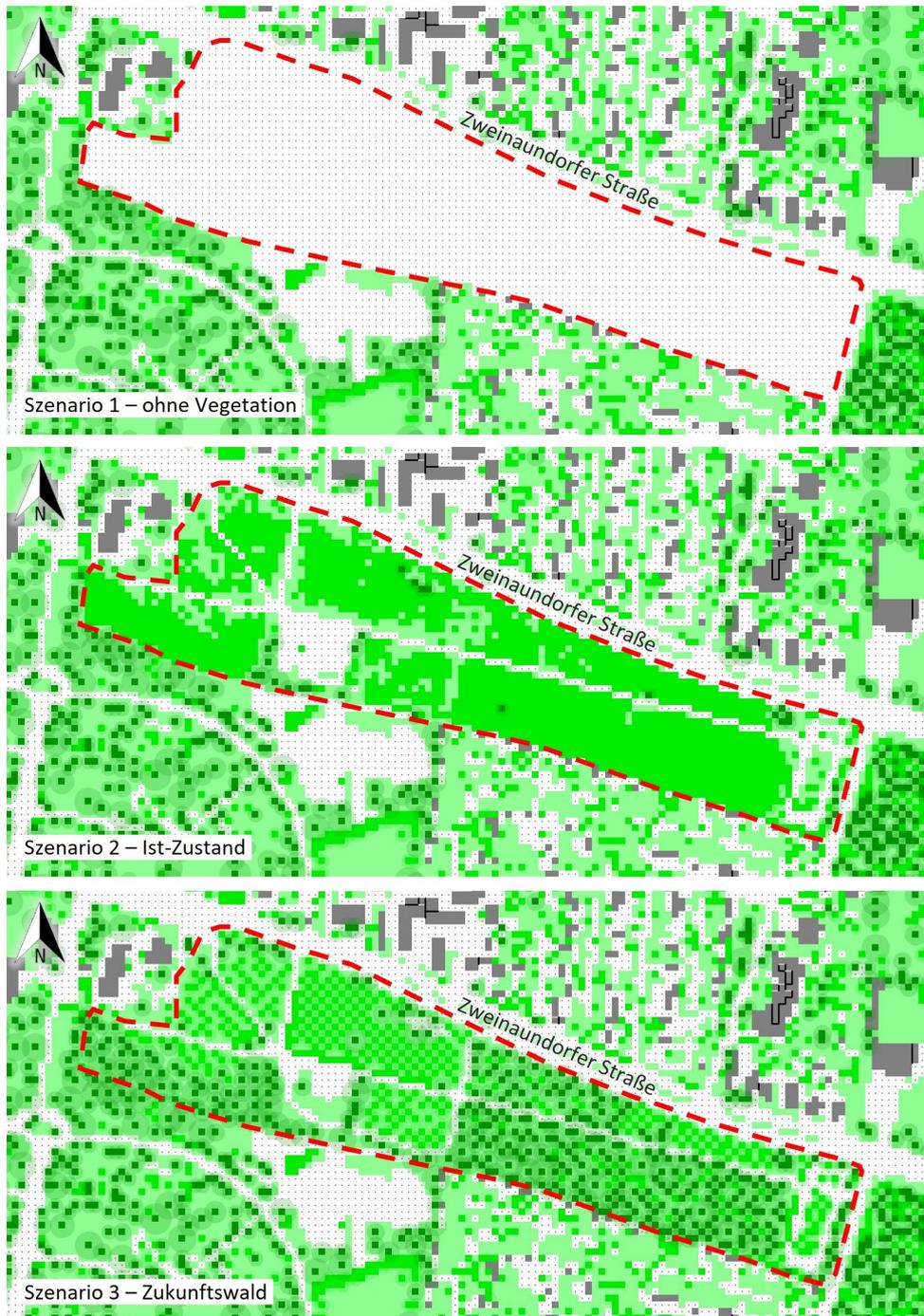


Abbildung 6: Urbaner Wald Stadtgärtnerei Holz – Implementierung des urbanen Waldes in ENVI-met.

Oben: Minimalszenario. Mitte: Ist-Zustand. Unten: Zukunftsszenario. Grüntöne; dunkelgrüne Punkte mit Kreis: Bäume ab 15 m Höhe, mittelgrüne Punkte mit Kreis: 10 m hohe Bäume, mittelgrüne Punkte ohne Kreis: 5 m hohe Bäume/Sträucher. Wiese sind hellgrün und Gebäude grau. Weiße Flächen sind versiegelte Flächen oder vegetationslose sandige Lehmböden. Der untersuchte urbane Wald ist durch rote Linien gekennzeichnet.

Um die Reichweite des mikroklimatischen Einflusses der Projektfläche auf die urbane Umgebung zu bewerten, wurden Modellsimulationen für einen typischen heißen Sommertag durchgeführt. Folgende Initialisierungsdaten wurden für den Modellstart verwendet:

Tabelle 3: Initialisierungsdaten für die Modellsimulationen mit ENVI-met in Stadtgärtnerei Holz und in Plagwitz:

Parameter bzw. Messgröße	Wert
Starttermin	20.06
Startzeit	20:00
Simulationsdauer	33 Stunden
Wind in 10 m über Grund	230° / 2 m/s
Lufttemperatur in 2m über Grund	298.15 K / 25 °C
Luftfeuchte in 2m über Grund	45%
3D-Modelldomain in Stadtgärtnerei Holz (x,y,z)	250, 175, 25
3D-Modelldomain in Plagwitz (x,y,z)	245, 343, 25
Modellauflösung horizontal	4 m
Modellauflösung vertikal	2 m in Bodennähe mit einem Anstieg von 12% ab 4 m

Diese Werte sind für das heutige Klima der betrachteten Region noch als extrem zu bezeichnen. Zukünftig werden es eher typische sommerliche Verhältnisse sein, so die derzeit laufenden Auswertungen der Klimaprojektionen des Forschungsprojektes NUKLEUS (2024).

Im Folgenden wird die klimatische Reichweite der angelegten urbanen Wälder und der zukünftigen urbanen Wälder für die Stadtgärtnerei Holz an einem heißen, wolkenlosen Sommertag ermittelt. Dafür werden die absoluten Differenzen der Lufttemperaturen in Fußgängerhöhe (1 m über Grund) zwischen dem Ist-Zustand und dem Zustand ohne Vegetation, sowie zwischen dem Ist-Zustand und dem visionären Zukunftsszenario tagsüber um 14 Uhr verglichen.

Im Modellgebiet Stadtgärtnerei Holz ist der urbane Wald bereits im Ist-Zustand mit einer Mischung aus 5 m hohen Sträuchern und 10-15 m hohen Bäumen dicht bewachsen und verbindet so den westlich gelegenen Ostfriedhof mit dem östlich gelegenen Feenwald. Dies führt zu einer großflächigen Reduktion der Lufttemperaturen um 0,4 K bis 0,7 K innerhalb des angelegten urbanen Waldes gegenüber dem Zustand ohne Vegetation, siehe Abbildung 7. Davon profitieren auch die Gebiete nordöstlich des Stadtwaldes. Bei Wind aus südwestlicher Richtung wird bis ca. 70 m vom urbanen Wald eine Abkühlung um 0,5 K, bis ca. 160 m um 0,4 K und bis ca. 300 m um 0,3 K berechnet. Im räumlichen Mittel bleibt die simulierte Temperaturabnahme im gesamten Modellgebiet bei 0,25 K.

Differenz Ist-Zustand vs. Minimalszenario, 14 Uhr

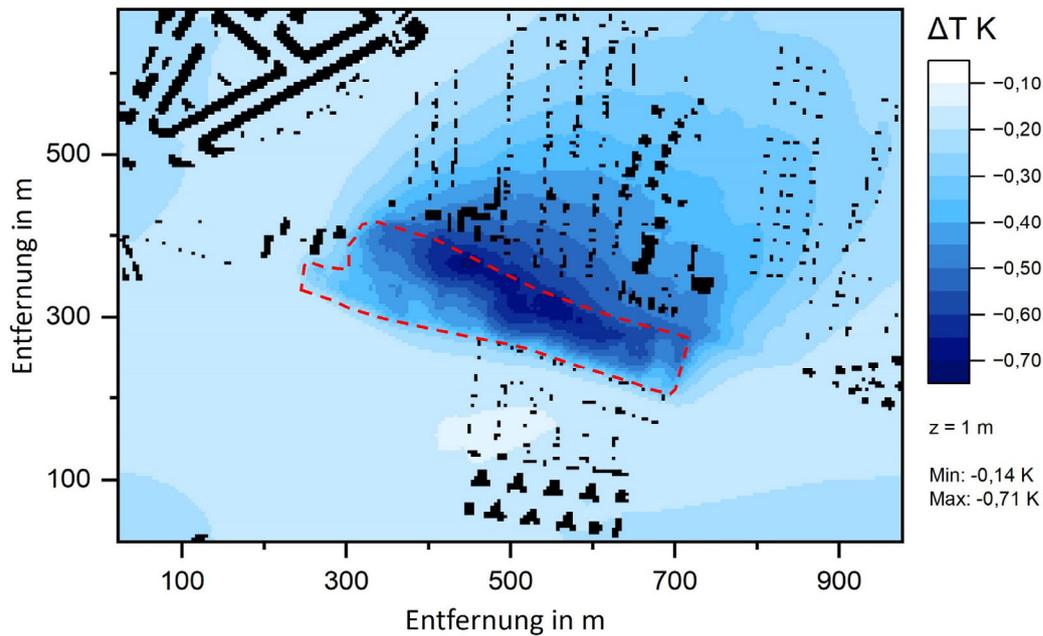


Abbildung 7: Räumliche Differenzen der Lufttemperatur im Modellgebiet Stadtgärtnerei Holz zwischen Ist-Zustand und Minimalszenario auf Fußgängerebene in 1 m Höhe um 14 Uhr. Als Referenz dient das Minimalszenario. Eigene Darstellung mit der Software Origin.

Das simulierte Zukunftsszenario zeigt tagsüber innerhalb des urbanen Waldes eine eher geringe Reduktion der Lufttemperaturen von 0,20 K bis maximal 0,35 K gegenüber dem Ist-Zustand (siehe Abbildung 8). Der zusätzliche Abkühlungseffekt von 0,2 K reicht bis knapp 30 m nach Nordosten. Im räumlichen Mittel bleibt die simulierte zusätzliche Temperaturabnahme im gesamten Modellgebiet bei 0,09 K.

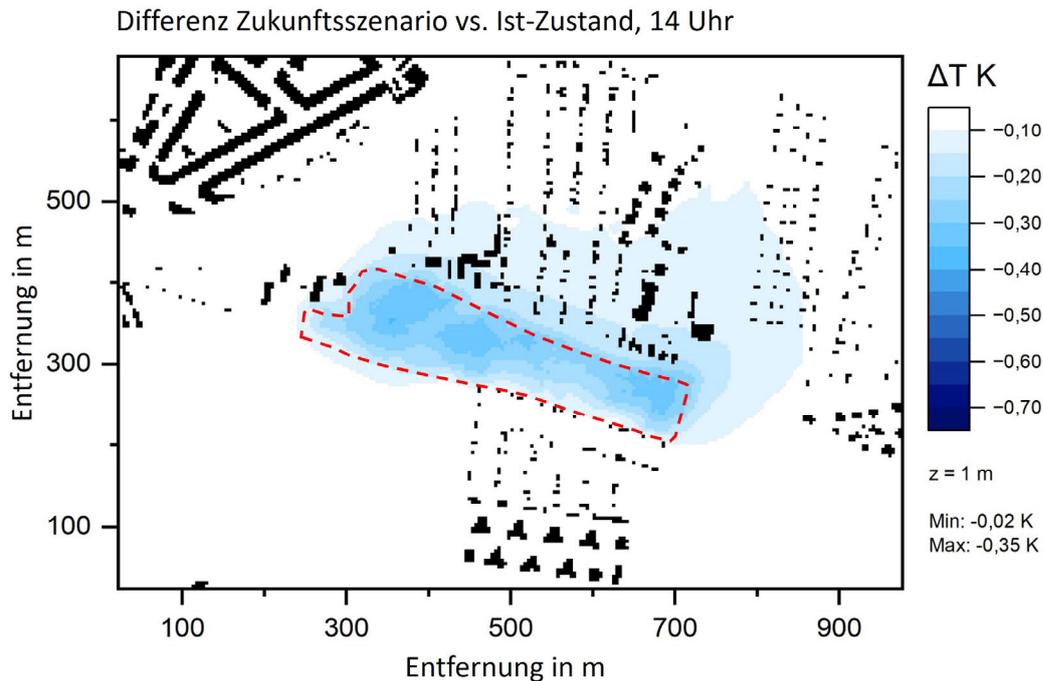


Abbildung 8: Räumliche Differenzen der Lufttemperatur im Modellgebiet Stadtgärtnerei Holz zwischen Zukunftsszenario und Ist-Zustand auf Fußgängerebene in 1 m Höhe um 14 Uhr. Als Referenz dient der Ist-Zustand. Eigene Darstellung mit Origin.

Aus den Simulationsergebnissen lässt sich ableiten, dass der in der Stadtgärtnerei Holz angelegte urbane Wald bereits in seinem jetzigen Zustand einen nachweisbaren Einfluss auf das Mikroklima innerhalb des untersuchten Waldes sowie auf das angrenzende Gebiet hat. Durch die Aufstockung des Waldes konnten die Ergebnisse weiter verbessert werden, der zusätzliche Einfluss auf die angrenzenden Gebiete blieb jedoch gering. Daraus kann gefolgert werden, dass das angelegte Waldstück, das den Ostfriedhof und den Feenwald verbindet, bereits seine Funktion erfüllt und zusammen mit den angrenzenden Wäldern den Park Cool Island (PCI) Effekt für die umliegenden Gebiete verstärkt. Die zukünftige Entwicklung des untersuchten Waldes wird diese Effekte noch verstärken.

2.2.3 Alter Plagwitzer Bahnhof

Die Modellfläche Gleis-Grün-Zug beschreibt ein ehemaliges Güterbahnhofgelände nördlich der Antonienstraße und das dazu gehörige Areal mit den stillgelegten Gleisen südlich der Antonienstraße. Durch eine Bürgerinitiative wird das Gebiet zu einem offenen und lebendigen Begegnungsraum umgestaltet (Urbane Wälder 2024). Bestandteil des Konzeptes ist auch die Entwicklung des Stadtwaldes. Dabei wurden in den letzten Jahren ca. 1,2 ha nördlich der Antonienbrücke aufgeforstet

und die weiteren ca. 5,6 ha urbanen Waldes entstehen durch natürliche Sukzessionsprozesse südlich der Antonienbrücke, siehe Abbildung 9. Derzeit befinden sich diese Wälder mit überwiegend jungen und schütterten Sträuchern und Bäumen jedoch noch am Beginn des Wachstums. Zusammen mit dem Ausbau der Parkwiese, den Spielplätzen und den verschiedenen Obst- und Gemeinschaftsgärten nördlich des urbanen Waldes entsteht ein durchgehender Grünzug in Nord-Süd-Richtung. Dieser wird durch die gründerzeitliche Wohnbebauung im Osten des Gebietes und die Industrie- und Gewerbebebauung im Westen eingefasst. Der Grünflächenanteil im Untersuchungsgebiet wird durch die Kleingartenanlagen und den Parkfriedhof Plagwitz im Westen, den Friedhof Kleinzschocher im Süden und weitere kleinere Parkanlagen im Osten des Wohngebietes erhöht.

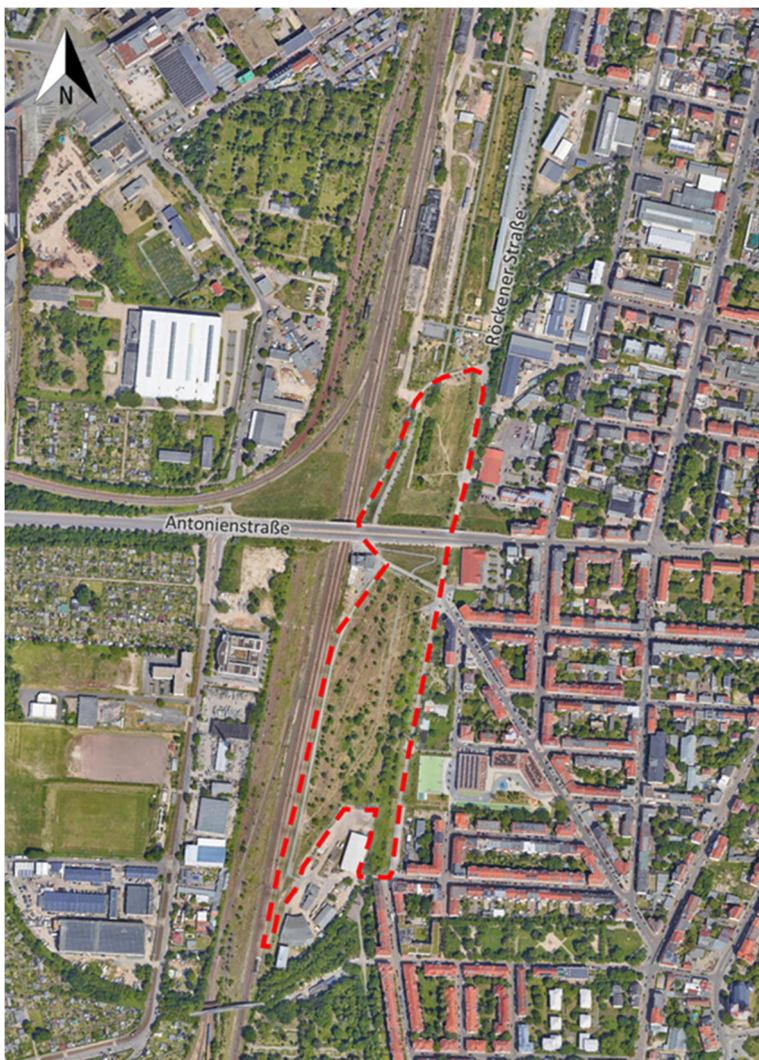


Abbildung 9: Untersuchungsgebiet in Leipzig Plagwitz. Google Earth (2022) Satellitenbild (Aufnahmedatum: 03.06.2022) des gesamten Modellgebietes (980 m x 1372 m). Der untersuchte urbane Wald ist durch rote Linien gekennzeichnet.

Analog zur Stadtgärtnerei Holz wurde ebenso die klimatische Reichweite des urbanen Waldes im Gleis-Grün-Zug am Bürgerbahnhof Plagwitz für die drei Szenarien (siehe Abbildung 10) ermittelt.

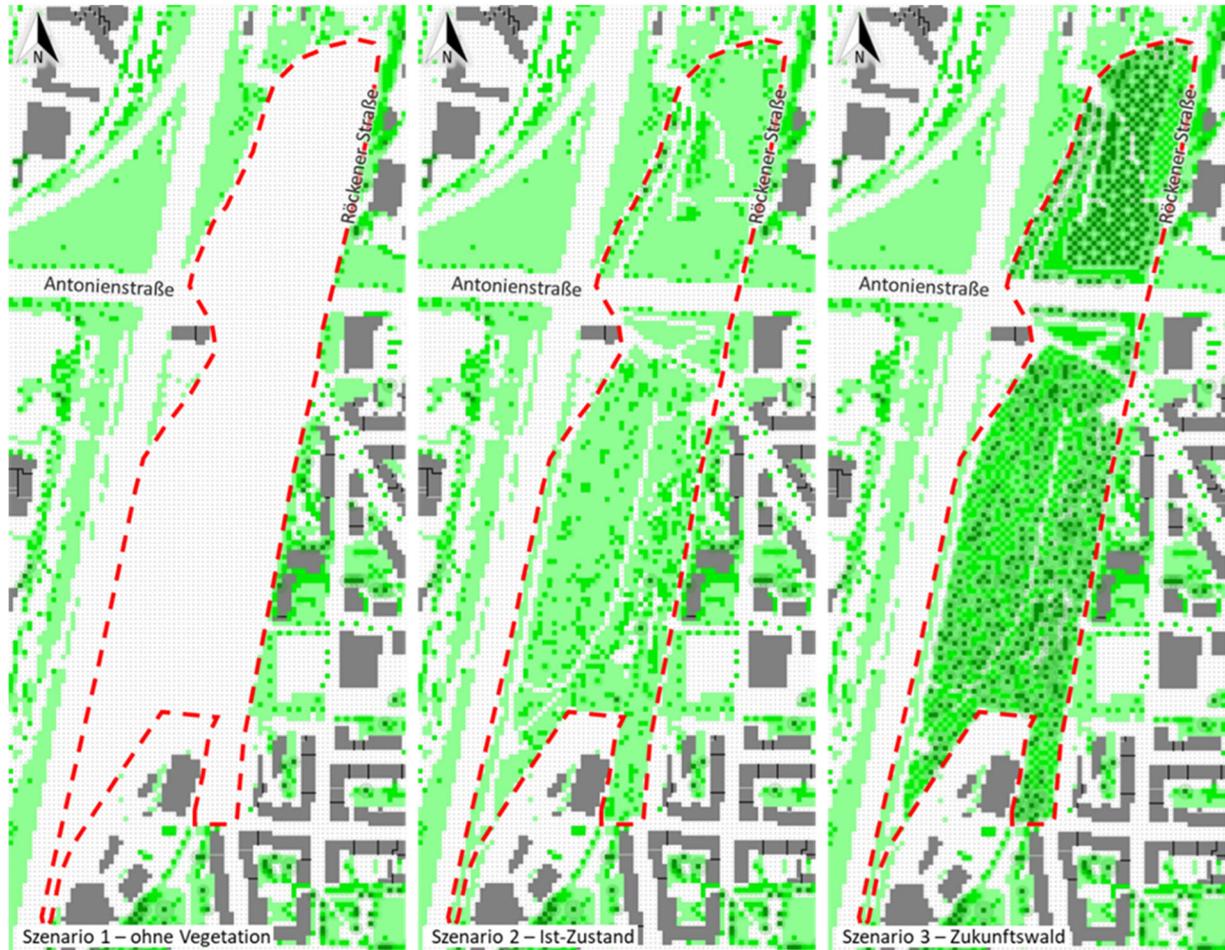


Abbildung 10: Urbaner Wald in Plagwitz – Implementierung des urbanen Waldes in ENVI-met. Links: Minimalszenario. Mitte: Ist-Zustand. Rechts: Zukunftsszenario. Grünöne; dunkelgrüne Punkte mit Kreis: Bäume ab 15 m Höhe, mittelgrüne Punkte mit Kreis: 10 m hohe Bäume, mittelgrüne Punkte ohne Kreis: 5 m hohe Bäume/Sträucher. Wiese sind hellgrün und Gebäude grau. Weiße Flächen sind versiegelte Flächen oder vegetationslose sandige Lehmböden. Der untersuchte urbane Wald ist durch rote Linien gekennzeichnet.

Die Simulationsergebnisse zeigen, dass der urbane Wald in Plagwitz die Lufttemperatur tagsüber um 14 Uhr im aktuellen Wuchsstadium um maximal 0,44 K im Vergleich zum Szenario ohne Vegetation reduziert (Abbildung 11, links). Innerhalb des untersuchten Waldes gehen die Temperaturen überwiegend um mehr als 0,2 K zurück. Der stärkste Abkühlungseffekt ist bei Südwestwind am Ostrand des urbanen Waldes zentriert und die um 0,3 K kühlere Luft reicht bis ca. 80 m in das Wohngebiet östlich des Waldes hinein. Bis zu einer Entfernung von ca. 300 m ist die Lufttemperatur

um 0,2 K reduziert. Im räumlichen Mittel bleibt die simulierte Temperaturabnahme im gesamten Modellgebiet jedoch bei ca. 0,1 K.

Die simulierten Effekte nehmen mit dem Waldwachstum zu (siehe Abbildung 11, rechts), bleiben aber im visionären Zukunftswaldszenario im Vergleich zum Ist-Zustand eher im Bereich des urbanen Waldes. Dort gibt es eine Lufttemperaturabsenkung bis maximal 0,65 K in den zentralen Waldbereichen. In den beiden Teilen des Stadtwaldes nördlich und südlich der Antonienbrücke liegt diese Abnahme jedoch großflächig über 0,4 K. In Richtung (Nord-)Osten erreicht der Abkühlungseffekt bis ca. 30 m vom Stadtwald in das Wohngebiet hinein 0,3 K und bis ca. 80 m 0,2 K. Im Zukunftsszenario bleibt die simulierte Temperaturabnahme tagsüber im räumlichen Mittel bei ca. 0,1 K.

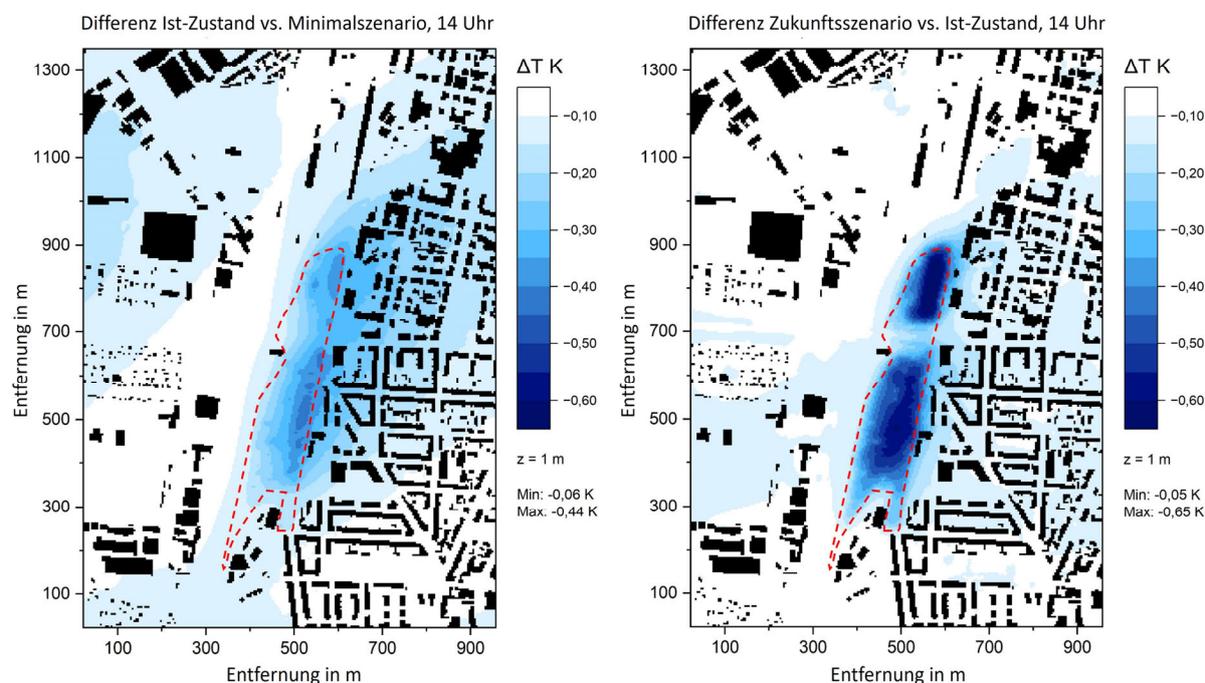


Abbildung 11: Räumliche Differenzen der Lufttemperatur im Modellgebiet Gleis-Grün-Zug am Bürgerbahnhof Plagwitz auf Fußgängerebene in 1 m Höhe um 14 Uhr. Links der Vergleich zwischen Ist-Zustand und Minimalszenario (Referenz: Minimalszenario) und rechts der Vergleich zwischen Ist-Zustand und Zukunftsszenario (Referenz: Zukunftsszenario). Eigene Darstellung mit Origin.

Obwohl der urbane Wald am Bürgerbahnhof Plagwitz in seinem jetzigen Zustand noch sehr offen und in einem frühen Wachstumsstadium mit überwiegend jungen und schütterten Sträuchern und Bäumen ist, zeigen die Simulationen, dass die kühleren Lufttemperaturen bereits im Ist-Zustand im Vergleich zum Minimalszenario fast die maximale Reichweite erzeugen. Das simulierte Zukunftsszenario mit dichterem und höherem Wald reduziert die Lufttemperaturen innerhalb des Stadtwaldes weiter, wobei sich die positiven Effekte entsprechend der vorherrschenden Hauptwindrichtung West auf den

östlichen Rand des urbanen Waldes konzentrieren und mit zunehmender Entfernung vom Wald stark abnehmen. Dies bedeutet, dass die positiven Effekte in Zukunft mit der weiteren Entwicklung des Waldes sowohl innerhalb des Waldgebietes als auch in den angrenzenden Bereichen je nach Windrichtung noch zunehmen können.

3 Stadtklimamessungen in Leipzig

3.1 Stationäre Messungen

Grundanliegen der stationären Messungen war es eine mögliche Fernwirkung des „Gleis-Grün-Zugs“ in die umgebenden Stadtgebiete zu detektieren. Jedoch gestaltete sich die Standortssuche schwierig. Geeignete Standorte lagen nicht in der Hauptwindrichtung oder waren durch Elemente, die den Luftaustausch zwischen der Projektfläche und der Umgebung behindern, abgeschirmt. Andere mögliche Standorte befanden sich zu weit von der Projektfläche, als dass ein möglicher Unterschied in der Lufttemperatur zwischen zwei stationären Messpunkten zweifelsfrei der Wirkung des urbanen Waldes zugeordnet hätte werden können. Aus diesem Grunde wurden alternativ zwei stationäre Messstationen auf dem Gebiet der Projektfläche errichtet, eine auf einem relativ freien Standort und eine in einer nahegelegenen Baumgruppe. Ziel war es hier durch mögliche Unterschiede in der Lufttemperatur war eine „Fernwirkung“ der kleinen Baumgruppe schließen zu können. Abbildung 12 gibt die Lage der Messstationen in der Projektfläche wieder und gibt einen optischen Eindruck der Messstationen.

Tabelle 4 gibt einen Überblick über die gemessenen Größen. Die Instrumentierung erfolgte für beide Stationen in gleicher Weise mit Instrumenten desselben Herstellers. Es wurde keine dauerhafte Windmessung installiert, da davon ausgegangen wurde, dass der Windmesser aufgrund seiner Erscheinung (Propeller mit sich drehender Windrichtungsfahne) am ehesten ein Ziel für Vandalismus darstellt. Jedoch wurde der Wind im Zeitraum der Messkampagne für die mobilen für zwei Tage an beiden Stationen erhoben. Alle Daten einer Station wurden mittels Datenlogger (CR1000X, Campbell Scientific, USA) zusammengeführt und **gespeichert**. Zur Stromversorgung wurden keine Solarpaneele verwandt, da hier schlechte Erfahrungen mit Vandalismus im städtischen Kontext vorlagen. Die Stationen wurden daher im Batteriebetrieb betrieben und in einem 14-tägigen Rhythmus gewartet. Der Zeitraum der stationären Messungen erstreckte sich von Anfang Juni 2023 bis Anfang September 2023 (3 Monate).



Abbildung 12: (a) Kartenausschnitt: Lage der stationären Stationen im Projektgebiet, Freilandstation und Station an Baumgruppe; (b) Blick von Punkt A nach WSW zur Freilandstation, (c) Blick von Punkt A nach NW entlang des Weges; (d) Freilandstation (Vordergrund) mit Blick auf die Station an der Baumgruppe; (e) Station an Baumgruppe. Fotos (b), (c) und (e) von Anfang Juni 2023, Foto (d) von Anfang August 2023. Hintergrundbild Karte: Ausschnitt eines Orthophotos vom (Frühjahr 2021), Datenlizenz Deutschland – Geodaten Sachsen – Version 2.0", Lizenztext unter www.govdata.de/dl-de/by-2-0, Datenquelle: <https://www.geodaten.sachsen.de/downloadbereich-dop-4826.html> am 14.04.2024

Die Freilandstation musste Anfang August teilweise neu errichtet werden, da diese umgefallen war. Der Grund für den Standverlust ist unklar (Vandalismus oder Sturmschaden). Im Zuge dieser Arbeiten wurde der Ausleger für die Strahlung und den Wind etwa 10 cm tiefer angebracht (Abbildung 12). Bevor die Stationen in Leipzig installiert wurden, wurden die Geräte einem Vergleichsexperiment über mehrere Tage unterzogen. Ziel war es die Möglichkeit zu erhalten klimatische Unterschiede von technische Bedingungen unterscheiden zu können.

Tabelle 4: Instrumentierung der stationären Stationen auf der Projektfläche „Gleis-Grün-Zug“ in Leipzig-Plagwitz

	Messhöhe über Grund	Messgerät und Hersteller
Lufttemperatur in °C	2,00 m	CS215 (Campbell Scientific, USA)
Luftfeuchte in %	2,00 m	CS215 (Campbell Scientific, USA)
Strahlung in W m ⁻²	2,50 m [#]	SP 110 (Apogee Instruments, USA)
Wind in m s ⁻¹	2,50 m [#]	05103 Young Wind Monitor (Campbell Scientific, USA)

Um klimatische Reichweiten von Grünanlagen oder Parks zu bestimmen, wird typischerweise die Differenz in der Lufttemperatur zwischen zwei Punkten betrachtet (Literatur). Eine Auswertung der Lufttemperaturdifferenzen zwischen beiden Stationen ergab kein plausibles Bild. Es wird vermutet, dass dies möglicherweise an einer unzureichenden Belüftung des Messgeräts für die Lufttemperatur der Station an der Baumgruppe gelegen hat (zu windgeschützt). Dies führte dazu, dass z. B. die gemessene Lufttemperatur der Station an der Baumgruppe am Tage trotz Beschattung durch die Bäume sehr oft höher ausfiel (teilweise um bis zu 2 K) als die gemessene Lufttemperatur an der Freilandstation. Ein Vergleich mit den Daten aus den Vergleichsmessungen ergab, dass eine Korrektur das Bild nicht grundsätzlich ändern würde, bzw. andere nicht plausible Veränderungen in den Daten bewirken würde. Ähnliche Aussagen müssen leider ebenfalls für die Strahlungsmessungen getroffen werden.

Grundsätzlich lässt sich festhalten, dass scheinbar selbst einfache Messungen unerwartete Ergebnisse und Schwierigkeiten mit sich bringen können. Sie zeigen, dass auch vorangehende Vergleichsmessungen nicht immer im ausreichendem Maße dazu beitragen können, technisch bedingte Unterschiede von klimatischen Unterschieden zu trennen.

Bei den mobilen Messungen im August 2023 wurden ebenfalls Messungen mit dem Messrucksack an den stationären Stationen vorgenommen. Dies bot den Vorteil, dass an verschiedenen Orten mit dem gleichen Messinstrument gemessen werden konnte. Jedoch kann so nicht zeitgleich an verschiedenen Orten gemessen werden. Der Vergleich der gemessenen Lufttemperaturen, die in kurzen Abständen hintereinander an den beiden stationären Stationen mit dem Messrucksack erhoben wurden, zeigen Unterschiede zwischen 0,02 K und 0,31 K (absolute Beträge). Sie liegen damit im Bereich der vom Hersteller angegebenen Genauigkeit von 0,3 °C (bei 20 °C). Dies bedeutet, die Unterschiede in der Lufttemperatur zwischen den beiden Standorten der stationären Stationen sind klein und zumeist kleiner als die herstellerseitig angegebene Genauigkeit für das verwendete Messgerät am Messrucksack (WXT520, Campbell Scientific, USA).

3.2 Mobile Messungen

Die mobilen Messungen mit einem Messrucksack fanden am 21.08.2023 und 22.08.2023 auf der Fläche „Gleis-Grün-Zug“ in Leipzig-Plagwitz statt. Es sei festgestellt, dass mit dieser Art von Messungen keine Aussage zur möglichen klimatischen Fernwirkung möglich ist, da nicht zeitgleich an verschiedenen Orten gemessen werden kann.

3.2.1 Material und Methoden

Mit einem Messrucksack wurden Daten zur Luftfeuchte, Lufttemperatur, Wind und Strahlung erhoben.

Darüber hinaus wurde auch die menschliche Hitzebelastung betrachtet, die sich aus den gemessenen Daten berechnen lässt. Hierzu wurde der universelle thermische Klimaindex (UTCI; JENDRITZKY et al., 2012)) genutzt. Der Aufbau und die Geräte des Messrucksacks sind in MODEROW et al. (2023) eingehend beschrieben.

Die Messroute begann bei der stationären Freilandstation, führte durch den sich entwickelnden urbanen Wald, in das östlich angrenzende Stadtgebiet südlich der Antonienstraße, durch das Gebiet nördlich der Antonienstraße und abschließend über den nördlichen Teil der Projektfläche wieder zu den stationären Stationen zurück (Abbildung 13). Insgesamt wurden an den zwei Messtagen elfmal die Messroute mit dem Messrucksack absolviert. Ein Messgang dauerte dabei etwa 75 – 90 min.

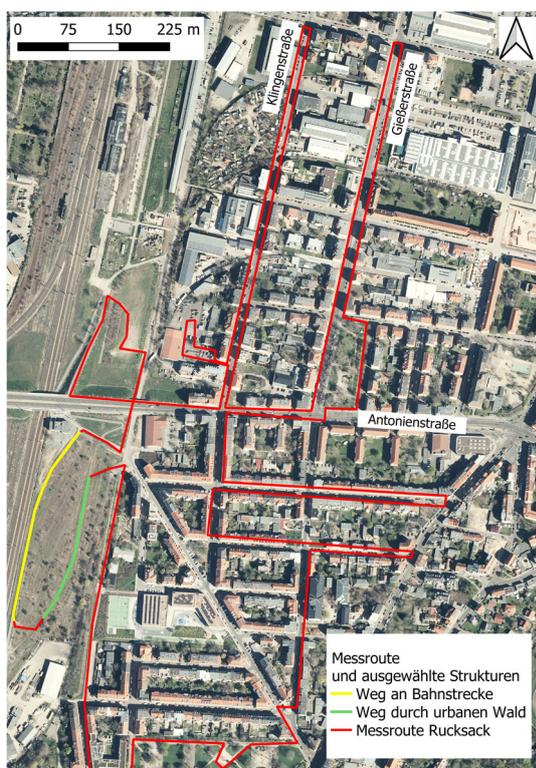


Abbildung 13: Messroute und Verortung der näher betrachteten zwei Messabschnitte. Hintergrundbild: Ausschnitt Orthophoto (Frühjahr 2021), „Datenlizenz Deutschland – Geodaten Sachsen – Version 2.0“, Lizenztext unter www.govdata.de/dl-de/by-2-0, Datenquelle: <https://www.geodaten.sachsen.de/downloadbereich-dop-4826.html> am 14.04.2024

Aufgrund hoher Feuchte in der oberen Atmosphäre kam es zu Problemen mit der GPS-Signal, sodass insbesondere die Messungen am frühen Nachmittag mit hoher Temperatur und hoher Feuchte keine räumliche Zuordnung der Messpunkte zuließen. Da die Messungen über das GPS-Signal synchronisiert wurden, bedeutet dies, dass entsprechende Streckenabschnitte in den Daten bei

unzureichendem GPS-Signal auch fehlen können.

Die grundlegenden Witterungsbedingungen sind in Abbildung 14 dargestellt. Die Maximaltemperatur lag am ersten Messtag nahe 30°C und am zweiten Messtag etwas darunter. Am späten Nachmittag des ersten Messtages (21.08.2023) kam wechselnde Bewölkung auf und ebenso ab der Mittagszeit des zweiten Messtages (22.08.2023). Dies spiegelt sich auch in den Strahlungs- und Temperaturmessungen des Messrucksacks wider (siehe Abbildung 16). Insgesamt war die Witterung an den Messtagen sehr warm und schwül, sodass ideale Bedingungen vorhanden waren, um hohe Wärmebelastungen zu erfassen.

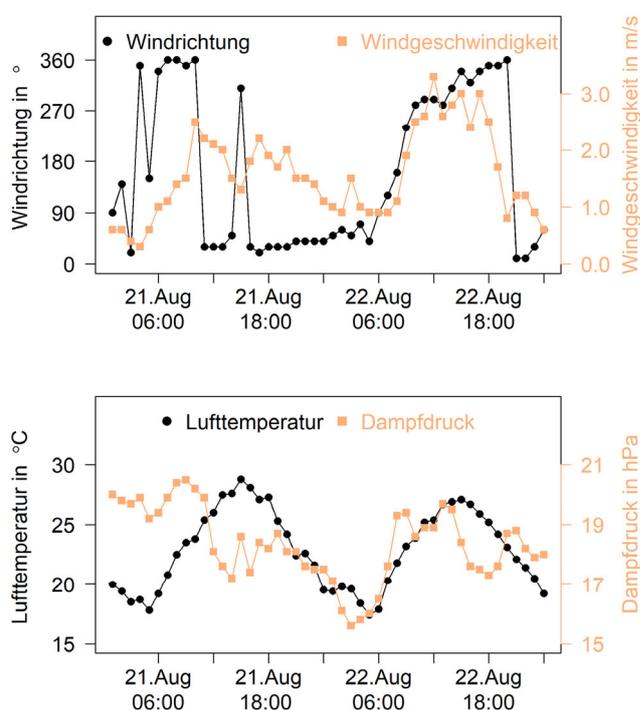


Abbildung 14: Witterungsbedingungen während der mobilen Messungen mit dem Messrucksack. Daten der Station Leipzig-Holzhausen des Deutschen Wetterdienstes.

3.2.2 Ergebnisse

Abbildung 15 (oberes Diagramm) zeigt die gemessene einfallende, kurzweilige Strahlung (KW) für zwei verschiedene Abschnitte auf der Projektfläche. Diese sind in Abbildung 34 verortet. Der Weg durch den urbanen Wald (grün) führt in etwa von Nord nach Süd. Seine Wegränder sind durch locker verteilte Vegetation gekennzeichnet, die jedoch nicht sehr hoch ist (siehe Abb. 13c). Der Weg an der Bahnstrecke weist hingegen kaum beschattende Elemente auf (siehe Abbildung 12 und Abbildung 13). Aus Abbildung 15 (oberes Diagramm) ist für den ersten Messtag (21.08.2023) ersichtlich, dass die Strahlung entlang des Weges an der Bahnstrecke (dunkelgelb) zumeist geringere Variationen

aufweist als der Weg durch den urbanen Wald (grün). Zur Mittagszeit ist jedoch die Variation für den Weg durch den urbanen Wald ebenfalls geringer, da hier die Sonne entlang des Weges einfällt und es kaum Beschattung gibt. In den Morgen und Abendstunden ist die Strahlungsvariation auch für den Weg durch den urbanen Wald (grün) größer aufgrund der beschattenden Elemente. Am zweiten Messtag (22.08.2023) sind diese Unterschiede weniger deutlich, insbesondere am Nachmittag zeigt sich, dass die Strahlung auch entlang von freien Strecken aufgrund wechselnder Bewölkung stark variieren kann.

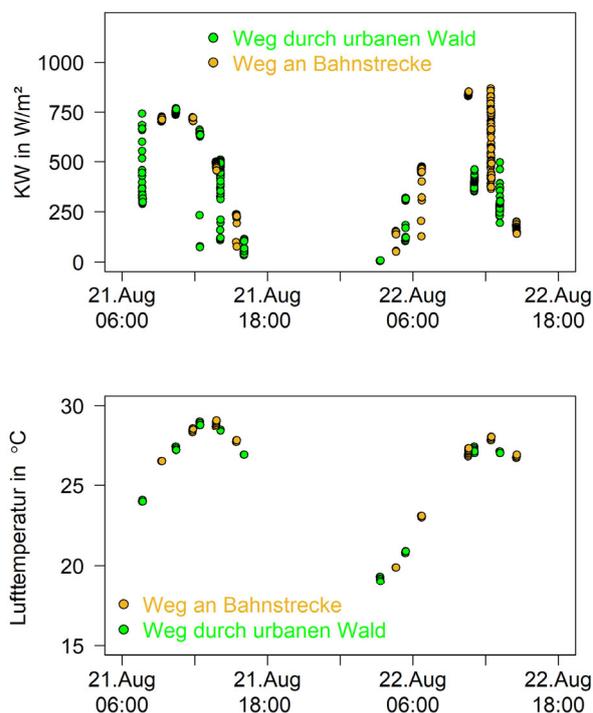


Abbildung 15: Einfallende kurzwellige Strahlung (KW) und Lufttemperatur entlang zweier ausgewählter Strecken im urbanen Wald „Gleis-Grün-Zug“ in Leipzig-Plagwitz. Zur räumlichen Verortung siehe Abbildung 13.

Aus dem unteren Diagramm von Abbildung 15 ist ersichtlich, dass die Unterschiede in der Lufttemperatur zwischen dem Weg an der Bahnstrecke und dem Weg durch den urbanen Wald nur gering sind, obwohl es Unterschiede in der Strahlung gibt.

Für die beiden Messtage wehte der Wind am Tage hauptsächlich aus nördlichen und nordwestlichen Richtungen. Zusammen mit den geringen Unterschieden in der Lufttemperatur zwischen beiden Streckenabschnitten, können lokale Unterschiede festgestellt werden, jedoch keine Aussage zu einer möglichen Fernwirkung getroffen werden.

Im folgendem soll ein Blick auf die thermische Belastung geworfen werden, wie sie die messenden Personen entlang der Messtrecke erfahren haben. Hierzu ist es wichtig, sich zu vergegenwärtigen, dass an strahlungsreichen Tagen, die thermische Belastung des Menschen stark durch die Strahlung bestimmt wird. Aufgrund der hohen Luftfeuchte, die zu feucht-schwülen Verhältnissen geführt hat, ist für die hier betrachteten Messungen auch die Luftfeuchte relevant. Der dargestellte humanbioklimatische Index UTCI wird in Grad Celsius angegeben und in verschiedene Belastungsstufen eingeteilt (Tabelle 5).

Tabelle 5: Einteilung des UTCI in Belastungsstufen (Błażejczyk et al. 2013)

UTCI in °C	Belastungsstufe
9 – 26	Kein thermischer Stress
26 – 32	Moderater Hitzestress
32 – 38	Starker Hitzestress
38 – 46	Sehr starker Hitzestress
>46	Extremer Hitzestress

Es werden zwei Zeiten betrachtet, einmal zum frühen Morgen und einmal zur späten Mittagszeit bis zum frühen Nachmittag. Beide Zeitpunkte unterscheiden sich deutlich in der Lufttemperatur und in der Strahlung.

Am Morgen des 22.08.2024 zeigt sich, dass zwischen 04:50 Uhr und 06:37 Uhr fast auf der gesamten Strecke des Messganges kein thermischer Stress vorlag. Wird der Bereich des UTCI zwischen 9°C und 26°C feiner unterteilt, so stellt sich für den morgendlichen Messgang, eine geringere Belastung im Bereich südlich der Antonienstraße als nördlich der Antonienstraße dar. Dies ist der zunehmenden Lufttemperatur und der zunehmenden Strahlung mit zunehmenden Tag während des Messganges zuzuschreiben. Es zeigt sich, dass schon sehr früh am Tag Werte der thermischen Belastung erreicht werden, die zwar im Allgemeinen noch keinen Hitzestress darstellen, sich jedoch im oberen Bereich der Belastungsstufe „Kein thermischer Stress“ bewegen.

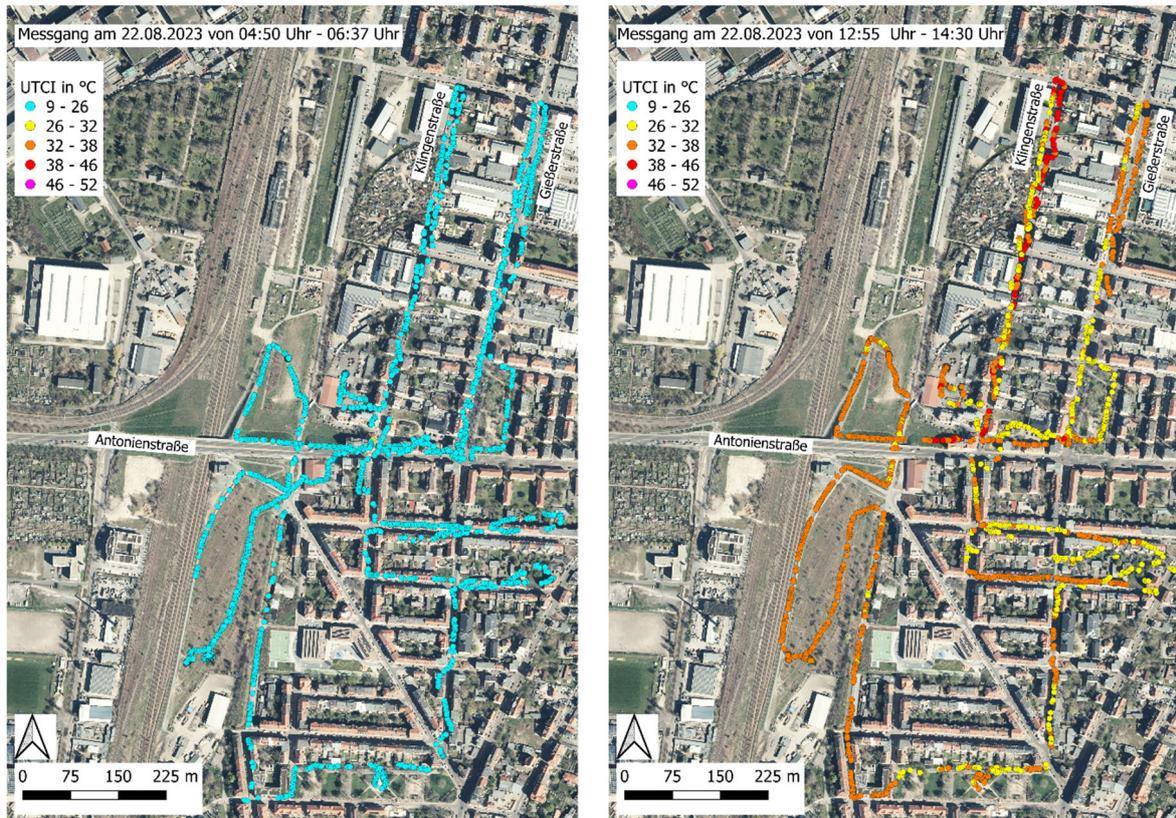


Abbildung 16: Thermische Belastung des Menschen beschrieben mit dem UTCl in Grad Celsius. Die farbige Unterscheidung der UTCl-Werte entspricht den UTCl-Belastungsstufen. Die Zeitangaben sind in Mitteleuropäischer Zeit. Hintergrundbild: Ausschnitt Orthophoto (Frühjahr 2021), „Datenlizenz Deutschland – Geodaten Sachsen – Version 2.0“, Lizenztext unter www.govdata.de/dl-de/by-2-0, Datenquelle: <https://www.geodaten.sachsen.de/downloadbereich-dop-4826.html> am 14.04.2024

Die Darstellung für die späte Mittagszeit und frühen Nachmittag (Abbildung 16, rechts) zeigt deutlich variablere Verhältnisse der thermischen Belastung. Jedoch lag zu jedem Zeitpunkt mindestens moderater Hitzestress vor. In Abhängigkeit von der Beschattung lassen sich markante Unterschiede erkennen. Für die Straßen die von Nord nach Süd verlaufen, fällt die thermische Belastung zwischen der Westseite und der Ostseite dieser Straßen unterschiedlich aus (Klingenstraße, Gießerstraße). Hier gibt es Unterschiede um bis zu zwei Belastungsstufen. Auf dem nördlichen Ende der Messroute entlang der Klingenstraße unterscheiden sich die beiden Straßenseiten in ihrer thermischen Belastung um zwei Stufen. Auf der Westseite liegt hier vorwiegend moderater Hitzestress vor (gelbe Markierung), während auf der Ostseite sehr starker Hitzestress vorliegt (rote Markierung). Diese Unterschiede in der thermischen Belastung sind auf die schattenwerfenden Gebäude zurückzuführen. Auf der Fläche des urbanen Waldes selbst ist ein starker Hitzestress zu verzeichnen. Im nördlichen Bereich der Projektfläche, nördlich der Antonienstraße ist der thermische Hitzestress vereinzelt um

eine Stufe geringer (gelbe Markierung, moderater Hitzestress). Dies ist auf schattenspende Bäume zurückzuführen. Im Vergleich zu den anderen erfassten Bereichen entlang der Messtrecke hebt sich die Projektfläche „Gleis-Grün-Zug“ (noch) nicht als ein Bereich mit geringerer thermischer Belastung hervor. Eine Ursache ist, dass es auf der Projektfläche nur wenige, sehr große verschattende Elemente gibt und die Fläche eher einen offenen als einen geschlossenen Bestand darstellt.

Abschließend lässt sich feststellen, dass die Projektfläche „Gleis-Grün-Zug“ an strahlungsintensiven Tagen derzeit eher einen Ort darstellt, der thermisch belastet ist. Ausgenommen sind Bereiche, die lokal, aufgrund des Schattenwurfs von Bäumen, eine geringere thermische Belastung aufweisen.

4 Zusammenfassung

Die Literaturstudie hat gezeigt, dass viele Studien die maximale klimatische Reichweite mit der ungefähren Ausdehnung (Breite) des Parks angeben (SPRONKEN-SMITH, 1994; UPMANIS et al., 1998; SHASHUA-BAR und HOFFMAN, 2000; JÁUREGUI, 1990; CHANG und LI, 2014; SPRONKEN-SMITH und OKE, 1998). Die, auf Basis von Stadtklimasimulationen, bestimmten klimatischen Reichweiten liegen für alle drei betrachteten Projektflächen in etwa in dieser Größenordnung, wobei die Absenkungen der Lufttemperatur auf der windabgewandten Seite weiter in das Stadtgebiet reichen als auf der windzugewandten Seite. Die absoluten Werte der Temperaturabsenkung sind jedoch klein. Die größten Temperaturänderungen sind mit zunehmenden Grün auf den Flächen selbst zu verzeichnen. Aufgrund der Simulationen und der erwarteten zukünftigen weiteren Entwicklung der Flächen, ist davon auszugehen, dass die klimatische Reichweite zukünftig noch etwas zunehmen wird, unter der Voraussetzung, dass keine Änderungen in der bebauten Umgebung eintreten.

Die stadtklimatischen Messungen konnten keine markanten Unterschiede in der Lufttemperatur auf der bemessenen Projektfläche „Gleis-Grün-Zug“ feststellen. In Bezug auf die thermische Belastung des Menschen, die tagsüber in hohem Maße von der Strahlung abhängig ist, konnten lokale positive Effekte durch Schattenwurf der Vegetation nachgewiesen werden. Jedoch weist die Fläche „Gleis-Grün-Zug“ am Tage aufgrund ihrer offenen Charakteristik zumeist (noch) hohe thermische Belastungen für den Menschen auf.

5 Literatur

- AMANI-BENI, M., ZHANG, B., XIE, G., ODGAARD, A. J. (2021): Impacts of the microclimate of a large urban park on its surrounding built environment in the summertime. *Remote Sensing*, 13(22), 4703. <https://doi.org/10.3390/rs13224703>.
- BACCI, L., MORABITO, M., RASCHI, A., UGOLINI, F. (2003): Thermohygro-metric conditions of some urban parks of Florence (Italy) and their effects on human well-being. *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/publication/268285347_Thermohygro-metric_conditions_of_som_e_urban_parks_of_Florence_Italy_and_their_effects_on_human_well-being
- BALKENHOL, J. (2024): Stadtklimatischer Einfluss der urbanen Waldfläche "Neue leipziger Strasse – Schönauer Holz". Abschlussbericht Naturressourcenprojekt, Professur Meteorologie, TU Dresden, 46 S.
- BARRADAS, V. L. (1991): Air temperature and humidity and human comfort index of some city parks of Mexico city. *International Journal Of Biometeorology*, 35(1), 24–28. <https://doi.org/10.1007/bf01040959>
- BŁAŻEJCZYK, K., JENDRITZKY, G., BRÖDE, P., FIALA, D., HAVENITH, G., EPSTEIN, Y., PSIKUTA, A., KAMPMANN, B. (2013) An introduction to the Universal Thermal Climate Index (UTCI), *Geographia Polonica*, 86, 5–10, <https://doi.org/10.7163/GPol.2013.1>.
- BONGARDT, B. (2006): Stadtklimatologische Bedeutung kleiner Parkanlagen am Beispiel des Dortmunder Westparks, *Essener Ökologische Schriften*, Band 24, Westarp-Wissenschaftsverlag.
- BRUSE, M. (1999): Die Auswirkungen kleinskaliger Umweltgestaltung auf das Mikroklima. Entwicklung des prognostischen numerischen Modells ENVI-Met zur Simulation der Wind-, Temperatur- und Feuchteverteilung in städtischen Strukturen., Universität Bochum, Bochum.
- BURKHARDT, I., Dietrich, R., Hoffmann, H. et al. (2008): Urbane Wälder: Abschlussbericht zur Voruntersuchung für das Erprobungs- und Entwicklungsvorhaben "Ökologische Stadterneuerung durch Anlage urbaner Waldflächen auf innerstädtischen Flächen im Nutzungswandel - ein Beitrag zur Stadtentwicklung". Bd. 63. *Naturschutz und Biologische Vielfalt*. Münster: Landwirtschaftsverlag.
- CHANG, C., LI, M., CHANG, S. (2007). A preliminary study on the local cool-island intensity of Taipei city parks. *Landscape And Urban Planning*, 80(4), 386–395. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2006.09.005>
- CHANG, C., LI, M. (2014): Effects of urban parks on the local urban thermal environment. *Urban Forestry & Urban Greening*, 13(4), 672–681. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2014.08.001>
- CHEN, Y., HIEN, W. N. (2006). Thermal benefits of city parks. *Energy And Buildings*, 38(2), 105– 120. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.04.003>
- DOICK, K.J., PEACE, A., HUTCHINGS, T.R. (2010): The role of one large greenspace in mitigating London's nocturnal urban heat island. *Science of the Total Environment* 493: 662-671.
- GRIMMOND, C.B.S., SOUCH, C., HUBBLE, M.D. (1996): Influence of tree cover on summertime surface energy balance fluxes, San Gabriel, Los Angeles. *Climate Research*, 6, S. 45-57.

- HONJO T., TAKAKURA, T. (1990/91): Simulation of thermal effects of urban green areas on their surrounding areas. *Energy and Buildings*: 15-16:443-446
- JÁUREGUI, E. (1990). Influence of a large urban park on temperature and convective precipitation in a tropical city. *Energy and Buildings*, 15(3–4), 457–463. [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(90\)90021-a](https://doi.org/10.1016/0378-7788(90)90021-a)
- MAYER, H. (1990): Human-biometeorologische Bewertung des Stadtklimas. In: Verein Deutscher Ingenieure, VDI-Kommission Reinhaltung der Luft (Hrsg.) *Umweltmeteorologie*. VDI-Schriftenreihe, 15, S. 87-104.
- MODEROW, U. UND GOLDBERG, V. (2018): Modul Stadtklima. Zwischenbericht in der wissenschaftlichen Begleitforschung zum Erprobungs- und Entwicklungsvorhaben der Stadt Leipzig "Urbane Wälder" im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz. Stand 2018, Professur für Meteorologie, Technische Universität Dresden, Dresden, 2018.
- MODEROW, U., ZIEMANN, A., GOLDBERG, V., SINNING, H. (2023): Thermal loads in two different urban quarters? perspectives from mobile measurements and mental maps. *Meteorologische Zeitschrift* 32, 447–470. DOI 10.1127/metz/2023/1175
- JENDRITZKY, G., DE DEAR, R., HAVENITH, G. (2012): UTCI—Why another thermal index?. *Int J Biometeorol* 56, 421–428. <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0513-7>
- PENG, J., DAN, Y., QIAO, R., LIU, Y., DONG, J., WU, J. (2021): How to quantify the cooling effect of urban parks? Linking maximum and accumulation perspectives. *Remote Sensing Of Environment*, 252, 112135. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112135>.
- POTCHTER, O., PNINIT, C., BITAN, A. (2006): Climatic behaviour of various urban parks during hot and humid summer in the Mediterranean city of Tel Aviv, Israel. *International Journal of Climatology*, 26, S. 1695-1711.
- REICHERT, T. 2024: Wirkung von Parkanlagen. Projektstudium TU Dresden, Professur Meteorologie, 29 S.
- SAITO, I., ISHIHARA, O., KATAYAMA, T. (1990/91): Study of the effect of green areas on the thermal environment in an urban area. *Energy and Buildings* 15-16: 93-498
- SHASHUA-BAR, L. UND HOFFMAN, M.E. (2000): Vegetation as a climatic component in the design of an urban street. An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees. *Energy and Buildings*, 31, S. 221-235.
- SINSEL, T. (2022): Advancements and applications of the microclimate model ENVI-met. Dissertation, Johann-Gutenberg-Universität Mainz, 256 S., <http://doi.org/10.25358/openscience-6716>.
- SPRONKEN-SMITH, R. (1994): Energetics and cooling in urban parks. University Of British Columbia. <https://doi.org/10.14288/1.0088055>
- SPRONKEN-SMITH, R., OKE, T. R. (1998): The thermal regime of urban parks in two cities with different summer climates. *International Journal Of Remote Sensing*, 19(11), 2085–2104. <https://doi.org/10.1080/014311698214884>
- STÜLPNAGEL, A. VON (1987): Klimatische Veränderungen in Ballungsgebieten unter besonderer Berücksichtigung der Ausgleichswirkung von Grünflächen, dargestellt am Beispiel von Berlin (West). Dissertation, Technische Universität Berlin.

SUN, Y., GAO, C., LI, J., GAO, M., MA, R. (2021). Assessing the cooling efficiency of urban parks using data envelopment analysis and remote sensing data. *Theoretical and Applied Climatology*, 145(3–4), 903–916. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03665-2>

TYRVÄINEN, L., PAULEIT, S., SEELAND, K. ET AL. (2005): Benefits and uses of urban forests and trees. In: Konijendijk, C.C., Nilsson, K., Randrup, T.B. et al. (Hrsg.) *Urban Forests and Trees*. Heidelberg, Springer-Verlag, S. 81-110.

UPMANIS, H., ELIASSON, I., LINDQUIST, S. (1998): The influence of green areas on nocturnal temperatures in a high latitude city (Göteborg, Sweden). *International Journal of Climatology*, 18, S. 681-700.

Internetquellen:

Google Earth (2018 & 2022): Satellitenbild, Leipzig Stadtgärtnerei Holz, 51°19'52"N, 12°25'32"E, Höhe ca. 124m. Daten der Aufnahmen 09.03.2018 und 03.06.2022. <https://earth.google.com/web/@51.33151919,12.42433162,123.81551258a,2429.50062586d,23.69158546y,0h,0t,0r/data=OgMKATA> (23.05.2024).

Google Earth (2022): Satellitenbild, Leipzig Plagwitz, 51°19'13"N, 12°19'12"E, Höhe ca. 117m. Datum der Aufnahme 03.06.2022. <https://earth.google.com/web/@51.32212439,12.32114628,117.7073961a,4199.53661938d,23.69158546y,0h,0t,0r/data=OgMKATA> (23.05.2024).

GeoSN (2023): Staatsbetrieb Geobasisinformation und Vermessung Sachsen. Digitales Geländemodell (DGM1 und DOM1). Datum der Aufnahme 01.09.2023. Verfügbar unter: <https://www.geodaten.sachsen.de/downloadbereich-digitale-hoehenmodelle-4851.html> (11.04.2024).

NUKLEUS (2024): Nutzbare lokale Klimainformation für Deutschland. <https://www-regiklim.dkrz.de/> (12.03.2024).

Urbane Wälder (2024): Modellflächen Stadtgärtnerei Holz und Gleis-Grün-Zug. Verfügbar unter: https://urbane-waelder.de/modellflaechen_stadtgaertnerei.html (22.06.2024).