

*Betreff:***Auswertung der Erfahrungen mit der neuen Moos-Wand am
Rudolfplatz***Organisationseinheit:*

Dezernat VIII

67 Fachbereich Stadtgrün und Sport

Datum:

04.03.2024

*Beratungsfolge*Stadtbezirksrat im Stadtbezirk 310 Westliches Ringgebiet (zur
Kenntnis)*Sitzungstermin*

05.03.2024

Status

Ö

Sachverhalt:

In der Sitzung des Stadtbezirksrats am 23. Januar wurden weiterführende Fragen zu der Stellungnahme der Verwaltung (DS-Nr. 24-22834) zu der Mooswand am Rudolfplatz gestellt. Darauf antwortet die Verwaltung wie folgt:

Für die Wartung der im westlichen Ringgebiet installierten Mooswand fallen jährliche Kosten in Höhe von ca. 3.500 € brutto an.

Als Anlage wird zudem der Abschlussbericht der TU Braunschweig zur Auswertung der Mooswand zur Verfügung gestellt.

Loose

Anlage/n:

Abschlussbericht Untersuchung des Feinstaubreduktionspotentials einer Mooswand
(CityTree, Fa. Green City Solutions)

Abschlussbericht

Untersuchung des Feinstaubreduktionspotentials einer Mooswand (CityTree, Fa. Green City Solutions)



Jannik Heusinger und Stephan Weber

Klimatologie und Umweltmeteorologie, Institut für Geoökologie
Technische Universität Braunschweig
Langer Kamp 19c
38106 Braunschweig

Juni 2021

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	II
Tabellenverzeichnis	IV
Zusammenfassung	1
1. Einleitung	2
2. Material und Methoden	3
2.1. Standorte	3
2.2. Messinstrumente	4
2.2.1. Libelium Smart Environment PRO	5
2.2.2. Clarity Node-S	6
2.3. Datenauswertung	6
2.3.1. Vergleichsmessung	7
2.3.2. Luftfeuchte Korrektur	8
2.3.3. Definition von Luv/Lee Situationen	9
2.4. Datenverfügbarkeit	12
3. Ergebnisse	14
3.1. Vergleichsmessungen	14
3.2. Einfluss der Datenkorrekturen	14
3.3. Meteorologische Bedingungen	16
3.3.1. Standort Hans-Sommer-Str.	16
3.3.2. Standort Rudolfplatz	16
3.4. Gemessene Feinstaubdifferenzen	16
3.4.1. Standort Hans-Sommer-Str.	16
3.4.2. Standort Rudolfplatz	20
4. Diskussion	23
5. Fazit	25
Literaturverzeichnis	26
A. Anhang	28

Abbildungsverzeichnis

2.1.	Standort an der Hans-Sommer-Str. (a), und am Rudolfplatz (b). Die Standorte und Ausrichtung der CityTrees sind durch grüne Rechtecke gekennzeichnet.	5
2.2.	Ausrichtung des CityTrees an der Hans-Sommer Str. (a) und am Rudolfplatz (b) und schematische Darstellung der zugehörigen Luv/Lee Anströmung als grüner Pfeil und die Kontrollsituation in der kein Effekt auftreten sollte als blauer Pfeil.	10
2.3.	Schematik der eingesetzten Sensorik als Zeitstrahl über den Untersuchungszeitraum. Zur Auswertung möglicher Feinstaubdifferenzen waren ausschließlich die grün markierten Zeiträume verwendbar.	13
3.1.	Ergebnisse der Vergleichsmessung der am Standort Hans-Sommer-Str. verbauten Libelium Sensoren (OPC-N2) im Dezember 2019 (a, c, e) und der am Rudolfplatz verbauten Clarity Sensoren (Plantower 6003) im März 2021 (b, d, f).	15
3.2.	Gemessene, stündlich gemittelte PM ₁ Konzentrationen am Standort Hans-Sommer Str. mit dem Libelium Sensor vor Korrekturen (a), nach Feuchtekorrektur (b) und nach Korrektur auf Basis der Parallelmessung (c). Eine Divergenz der beiden Sensoren ist vor dem 01. September erkennbar, gekennzeichnet durch eine vertikale Linie. . . .	17
3.3.	Gemessene, stündlich gemittelte PM ₁ Konzentrationen am Rudolfplatz mit dem Clarity Sensor vor Korrekturen (a), nach Feuchtekorrektur (b) und nach Korrektur auf Basis der Parallelmessung (c). . .	18
3.4.	(a) Darstellung der Windrichtung und -geschwindigkeit, gemessen am Institut für Geoökologie, für (a) den Untersuchungszeitraum am Standort Hans-Sommer-Str. vom 22.06.2019 - 04.12.2019 und (b) den Untersuchungszeitraum am Standort Rudolfplatz vom 01.06.2020 - 15.03.2021.	19
3.5.	Darstellung der Verteilungen für Luv/Lee Situationen bei Süd- und Nordanströmung sowie für die Kontrollsituation bei West- und Ost-anströmung als Box-Whisker Diagramm am Standort Hans-Sommer-Str. Der Median wird als rote, horizontale Linie dargestellt und der Interquartilabstand (zwischen 25-75 Perzentilen) als blaue Box und Ausreißer gekennzeichnet durch rote Kreuze. Ausreißer $< -25 \text{ g m}^{-3}$ werden auf einer gestrichelten Linie angezeigt, um einen besseren Vergleich der Verteilungen zu ermöglichen.	21

Abbildungsverzeichnis

3.6.	Darstellung der Verteilungen als Box-Whisker Diagramm am Standort Rudolfplatz mit dem Median als rote, horizontale Linie, dem Interquartilabstand (zwischen 25-75 Perzentilen) als blaue Box und Ausreißer gekennzeichnet durch rote Kreuze.	22
A.1.	Meteorologische Bedingungen im Untersuchungszeitraum der Messungen am Standort Hans-Sommer-Str vom 22.06.2019 - 03.12.2019. Die meteorologischen Daten stammen von der auf dem Dach des Instituts für Geoökologie, Technische Universität Braunschweig, befindlichen Wetterstation.	29
A.2.	Meteorologische Bedingungen im Untersuchungszeitraum der Messungen am Standort Rudolfplatz vom 01.06.2020 - 15.03.2021. Die meteorologischen Daten stammen von der auf dem Dach des Instituts für Geoökologie, Technische Universität Braunschweig, befindlichen Wetterstation.	30

Tabellenverzeichnis

A.1. Ergebnisse des Wilcoxon Rangsummentests für PM_1 . Signifikante Unterschiede der Verteilungen sind durch ein „x“ gekennzeichnet. Die bei einem Filtereffekt erwarteten Ergebnisse sind grün hinterlegt, nicht erwartete Ergebnisse in rot.	31
A.2. Ergebnisse des Wilcoxon Rangsummentests für $PM_{2.5}$. Signifikante Unterschiede der Verteilungen sind durch ein „x“ gekennzeichnet. Die bei einem Filtereffekt erwarteten Ergebnisse sind grün hinterlegt, nicht erwartete Ergebnisse in rot.	31
A.3. Ergebnisse des Wilcoxon Rangsummentests für PM_{10} . Signifikante Unterschiede der Verteilungen sind durch ein „x“ gekennzeichnet. Die bei einem Filtereffekt erwarteten Ergebnisse sind grün hinterlegt, nicht erwartete Ergebnisse in rot.	32

Zusammenfassung

Im Rahmen der Aufstellung zweier mit Moos begrünter Wände in Braunschweig (CityTrees, Fa. Green City Solutions), sollte untersucht werden, inwieweit ein Feinstaubreduktionspotential der Mooswände mittels lokal erhobener Messdaten festgestellt werden kann. Die Untersuchung fand auf Basis von Messungen der PM_1 , $PM_{2.5}$ und PM_{10} Massenfraktionen statt, die im Zeitraum vom 22.06.2019 bis 25.03.2021 durch kostengünstige, optische Partikelzähler seitens des Herstellers der Mooswände erhoben wurden. Die Technische Universität Braunschweig führte keine eigenen Messungen im Rahmen dieser Studie durch. Die Sensoren waren jeweils auf der Vorder- und Rückseite der CityTrees verbaut, sodass auf Basis der Differenzenbildung aus stündlichen Messwerten der windzugewandten bzw. windabgewandten Seite der Wand (meteorologisch Luv und Lee), auf mögliche Filtereffekte von Feinstaub geschlossen werden konnte.

Eine Filterleistung der CityTrees konnte nicht gesichert nachgewiesen werden. Am Standort Hans-Sommer-Str. traten zwar bei Luv/Lee Bedingungen Differenzen in den gemessenen Feinstaubkonzentrationen auf, diese unterschieden sich mehrheitlich jedoch nicht signifikant von den Differenzen, die bei Kontrollbedingungen auftraten, d.h. bei Windrichtungen die parallel zur Wand vorlagen. Für die $PM_{2.5}$ Feinstaubfraktion ergab sich bei Südanströmung rechnerisch eine Filterleistung von 10,8% als Median. Am Standort Rudolfplatz konnte hingegen für keine der Feinstaubfraktionen eine Filterleistung nachgewiesen werden.

1. Einleitung

Die Arbeitsgruppe Klimatologie und Umweltmeteorologie der Technischen Universität Braunschweig wurde seitens der Stadt Braunschweig am 10. April 2019 beauftragt, das Feinstaub-Reduktionspotential zweier Mooswände der Fa. Green City Solutions (GCS) mit Bezug auf die Massenfraktionen PM_1 , $PM_{2.5}$ und PM_{10} zu untersuchen. Die Mooswände (CityTree) werden seit April 2019 an zwei verkehrsbelasteten Standorten in Braunschweig (Hans-Sommer Straße, Rudolfplatz) betrieben. Vereinbarungsgemäß sollten durch den Auftragnehmer Technische Universität Braunschweig keine eigenen Messdaten erhoben werden, sondern die Analyse sollte ausschließlich auf Basis der durch den Hersteller im Nahbereich der Mooswand erhobenen Daten durchgeführt werden. Das Untersuchungskonzept sah dazu vor, über einen längeren und damit statistisch belastbaren Messzeitraum Feinstaubkonzentrationen auf der windzugewandten sowie der windabgewandten Seite (meteorologisch: Luv und Lee) der Mooswand zu erheben, um aus den berechneten Feinstaubdifferenzen auf das Reduktionspotential der Mooswände schließen zu können. Der Hersteller hatte zu diesem Zweck optische Partikelspektrometer (vgl. Kap. 2.2) verbaut, die mit einer zeitlichen Auflösung von ca. 15 min die Feinstaubmassenfraktionen gemessen haben. Die eingesetzte Methodik und die Untersuchungsergebnisse werden in den folgenden Kapiteln vorgestellt und eingeordnet.

2. Material und Methoden

Im Folgenden werden die Untersuchungsstandorte, die eingesetzten Sensoren und die Methoden zur Datenauswertung beschrieben.

2.1. Standorte

Im Rahmen der Untersuchung wurden zwei CityTrees der Firma Green City Solutions am Rudolfplatz (52.2772 N, 10.5428 E) und an der Hans-Sommer-Str. (52.2772 N, 10.5428 E) in Braunschweig aufgestellt (Abb. 2.1). Die Wände an der Hans-Sommer-Str. konnten, v.a. aus Gründen der Verkehrssicherung, nicht quer zur Hauptwindrichtung aufgestellt werden. Für die Analyse der Luv/Lee Situationen führt das zu einer eingeschränkten Stichprobengröße. Bei den CityTrees handelt es sich um mobile, mit Moos bewachsene Wände bzw. Stadtmöbel. Die an beiden Seiten der Wand angebrachte Moosschicht wird bewässert und ein innerhalb der Wand installierter Ventilator kann einen Luftstrom durch die Wand erzeugen. Dieser Ventilator wird nach Aussagen des Herstellers allerdings nur alle 3 Stunden für 8 min zusammen mit dem Bewässerungssystem aktiviert (Green City Solutions, 2019a), sodass davon ausgegangen wurde, dass die übergeordnete Windströmung und nicht eine durch aktive Ventilation erzeugte Strömung entscheidend für eine Definition von Luv/Lee Bedingungen zur Untersuchung von Feinstaubdifferenzen war. Der Untersuchungszeitraum umfasste die Zeitperiode vom 22.06.2019 bis 25.03.2021 und war damit ausreichend lang, um unterschiedliche meteorologische Situationen abzudecken. Zur Definition von Luv/Lee Bedingungen wurden Daten zur Windrichtung

2. Material und Methoden

der auf dem Dach des Instituts für Geoökologie (Langer Kamp 19c) befindlichen Messstation genutzt, da diese Daten an den Standorten der CityTrees nicht erhoben wurden. Es wurde angenommen, dass die Windrichtungsdaten auf den Standort Hans-Sommer-Str. übertragbar sind, da dieser CityTree relativ frei angeströmt wird und nicht von komplexer Bebauung umgeben ist. Zudem war die horizontale Entfernung zwischen CityTree und Messstation mit rund 340 m recht gering. Die gemessenen Windrichtungen sind allerdings nur eingeschränkt auf den Standort am Rudolfplatz zu übertragen, da sich im Nahfeld des CityTrees Gebäude befinden und somit das Windfeld beeinflussen. Es wurde an dieser Stelle eine Übertragbarkeit der gemessenen Windrichtungen angenommen, wenn diese parallel zu den größeren Straßenzügen (Sackring, Hildesheimer Str.) vorlag, d.h. Südwest und Westnordwest. Auf Grund dieser Einschränkungen lag der Schwerpunkt der folgenden Analyse auf den Messungen an der Hans-Sommer-Str.

2.2. Messinstrumente

Über die Dauer der Untersuchung kamen insgesamt drei unterschiedliche, durch Green City Solutions bereitgestellte, Messinstrumente zum Einsatz: (1) das Smart Environment PRO der Firma Libelium, (2) das Node-S der Firma Clarity und (3) das Bettair Node der Firma Bettair. Die Bettair Sensoren waren allerdings nur über einen relativ kurzen Zeitraum vom 31.05.2020 bis 26.06.2020 am Standort Hans-Sommer-Str. verfügbar. Eine vom TROPOS Institut in Leipzig durchgeführte Untersuchung, dessen Ergebnisse von der Fa. Green City Solutions zur Verfügung gestellt wurden, zeigte weiterhin, dass zwischen den Messdaten der eingesetzten Bettair Sensoren größere Differenzen auftraten (Green City Solutions, 2019b). Aus diesem Grund erschien eine Auswertung der Bettair Daten nicht sinnvoll, da die Analyse zu fehlerhaften Schlüssen führen würde. Im Folgenden werden die beiden Modelle Smart Environment PRO und Node-S, deren Daten im Rahmen dieses Projekts ausgewertet wurden, näher beschrieben.

2. Material und Methoden



Abbildung 2.1.: Standort an der Hans-Sommer-Str. (a), und am Rudolfplatz (b). Die Standorte und Ausrichtung der CityTrees sind durch grüne Rechtecke gekennzeichnet.

2.2.1. Libelium Smart Environment PRO

Der OPC-N2 von Alphasense ist ein kostengünstiger, miniaturisierter, optischer Partikelzähler der im Smart Environment PRO Gerät der Firma Libelium zum Einsatz kommt. Der OPC-N2 misst - im sogenannten Streulichtverfahren - mittels eines Lasers die Anzahlgrößenverteilung von Partikeln und berechnet daraus unter Annahme einer mittleren Partikeldichte von 1650 kg m^{-3} die Massenkonzentrationen der Feinstaubfraktionen PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ und PM_{10} (Asbach et al., 2018). Das Smart Environment PRO war beidseitig am CityTree an den Standorten Hans-Sommer

2. Material und Methoden

Str. und Rudolfplatz installiert (jeweils mittig an der Oberkante der Wand).

2.2.2. Clarity Node-S

Clarity ist ein kalifornisches Startup Unternehmen, das 2014 gegründet wurde und mit seinem ersten Produkt, dem Node-S zum Zeitpunkt dieser Untersuchung noch nicht lange am Markt ist. Dementsprechend ist die verfügbare Literatur zu diesem Produkt sehr begrenzt (Ramiro et al., 2019; AQ-SPEC, 2018).

Im Node-S kommt ein kostengünstiger Partikelsensor (Plantower 6003) zum Einsatz (Ramiro et al., 2019). Dieser Sensor misst die Partikelanzahlkonzentration, ähnlich wie beim OPC-N2, mittels eines Lasers. Die kleinste, messbare Partikelgröße liegt bei $0,3\text{ }\mu\text{m}$. Die Luft wird hier mit einem kleinen Ventilator mit einer Fließgeschwindigkeit von $0,1\text{ L/min}$ über den Detektor geleitet (Ramiro et al., 2019). Die Messgenauigkeit wird mit $\pm 10\text{ }\mu\text{g m}^3$ angegeben für $\text{PM}_{2,5}$ Konzentrationen $< 100\text{ }\mu\text{g m}^3$ und mit $\pm 10\%$ für $\text{PM}_{2,5}$ Konzentrationen $> 100\text{ }\mu\text{g m}^3$. Aufgrund der relativ großen Ungenauigkeit, scheint dieser Sensor für Umweltmessungen nur bedingt geeignet zu sein (zum Vergleich: der Jahresmittelwert von $\text{PM}_{2,5}$ lag im Jahr 2020 an der Braunschweiger Verkehrsmessstation des Lufthygienischen Überwachungssystems Niedersachsens am Altewiekring bei $8\text{ }\mu\text{g m}^{-3}$ (Staatliches Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim, 2021)).

2.3. Datenauswertung

Auf die durch den Hersteller an den Mooswänden erhobenen Daten konnte seitens der Technischen Universität Braunschweig über eine webbasierte Datenbank regelmäßig zugegriffen werden. Der Zeitschritt der Datenaufnahme war bei den Libellium und den Clarity Sensoren auf 15 min eingestellt. Der tatsächliche Zeitschritt fluktuierte allerdings um 15 min , bedingt durch die eingesetzte Software. Dies hatte zur Folge, dass die Sensoren nicht synchron gemessen haben. Um dennoch eine

2. Material und Methoden

Berechnung von Feinstaubdifferenzen zu ermöglichen, wurden aus den Rohdaten stündliche Mittel gebildet, aus denen anschließend Differenzen der Feinstaubfraktionen PM_1 , $PM_{2.5}$ und PM_{10} berechnet wurden.

2.3.1. Vergleichsmessung

Libelium Smart Environment PRO

Untersuchungen von Asbach et al. (2018) und Crilley et al. (2018) haben gezeigt, dass individuelle OPC-N2 untereinander deutliche, systematische Abweichungen in den gemessenen PM_1 , $PM_{2.5}$ und PM_{10} Konzentrationen aufweisen können. Diese Abweichungen lassen sich nach einer Vergleichsmessung der individuellen Sensoren gut korrigieren. Daher wurde vom 6.12.2019 bis 13.12.2019 im Labor der Abteilung Klimatologie und Umweltmeteorologie eine Vergleichsmessung der an den Standorten Hans-Sommer Str. und Rudolfplatz eingesetzten Libelium Sensoren unter Innenraumluft sowie Außenbedingungen durchgeführt. Hierzu wurde der Zeitschritt der Messungen auf 1 Minute reduziert, um in dem relativ kurzen Zeitraum genügend Datenpunkte für die statistische Auswertung zu generieren. Bei der Durchführung der Vergleichsmessung stellte sich heraus, dass einer der am Rudolfplatz verbauten Sensoren defekt war, sodass keine Vergleichsmessung für diesen Standort durchgeführt werden konnte, da zur Prüfung der Luv-/Lee Unterschiede zwingend beide Sensoren funktionstüchtig sein müssen.

Clarity Node-S

In einer Untersuchung vom Air Quality Sensor Performance Evaluation Center (AQ-SPEC) in Kalifornien, USA wurde deutlich, dass sich die Messdaten der im Clarity Node-S Gerät verbauten Plantower 6003 Sensoren in nur geringem Maße systematisch voneinander unterscheiden (AQ-SPEC, 2018). Um diese Unterschiede für die zwei eingesetzten Sensoren zu charakterisieren, wurde eine Vergleichsmessung vom 18.03.2021 bis 25.03.2021 im Labor und auf dem Dach des Instituts für Geoökologie

2. Material und Methoden

durchgeführt. Ähnlich wie bei den Libelium Geräten, haben auch die Clarity Geräte nicht zeitlich synchron gemessen und stellen Software-seitig keine Möglichkeit zur Verfügung eine zeitliche Synchronisation durchzuführen. Weiterhin konnte hier der Zeitschritt nach Auskunft von Green City Solutions nicht weiter reduziert werden, sodass mit einer ca. 15 minütigen Frequenz gemessen wurde. Die Zeitreihen haben sich zudem gegeneinander verschoben, da ein Sensor konstant mit einer etwas höheren Frequenz gemessen hatte, weswegen eine stündliche Mittelung vorgenommen wurde um eine Vergleichbarkeit der gemessenen Feinstaubkonzentrationen zu gewährleisten. Dies verringerte die Anzahl der verfügbaren Messpunkte auf 158 pro Sensor. Dies ist aber dennoch ausreichend, um die statistischen Abweichungen der Sensoren mittels linearer Regression zu charakterisieren und eine Korrekturfunktion zu erstellen.

2.3.2. Luftfeuchte Korrektur

Optische Feinstaubsensorik neigt unter Bedingungen höherer atmosphärischer Luftfeuchtigkeit (ca. $> 65\%$ relativer Luftfeuchtigkeit) zu steigender Unsicherheit infolge eines Feuchtwachstums (hygrospkopisches Wachstum) der Partikel (Crilley et al., 2018). In diesen Fällen kann es zu sehr deutlichen Abweichungen der gemessenen Feinstaubkonzentrationen im Vergleich zu Referenzgeräten kommen (teilweise um einen Faktor > 5). Zu diesen Zeitpunkten waren die Unterschiede zwischen Messungen individueller Libelium Sensoren ebenfalls erhöht. Ein ähnlicher Zusammenhang wurde in dieser Untersuchung für die Clarity Sensoren deutlich. Daher wurde für beide Sensormodelle eine in Crilley et al. (2018) vorgeschlagene Korrektur der Messdaten angewandt, die einen Zusammenhang zwischen Partikelvolumen und relativer Luftfeuchte herstellt:

$$C = 1 + \frac{\frac{0.3}{1.65}}{-1 + \frac{1}{\alpha_w}} \quad (2.1)$$

2. Material und Methoden

mit dem Korrekturfaktor C und α_w , das durch folgende Gleichung gegeben ist:

$$\alpha_w = \frac{RH}{100} \quad (2.2)$$

mit der relativen Luftfeuchte (RH; %).

2.3.3. Definition von Luv/Lee Situationen

Standort Hans-Sommer-Str.

Am Standort Hans-Sommer Str. herrscht bei Süd- bzw. Nordanströmung eine Luv/Lee Situation d.h. Durchströmung der Mooswand, sodass gemessene Feinstaubdifferenzen in Abhängigkeit des Vorzeichens als Indiz für einen Feinstaubfilter-Effekt des CityTrees gewertet werden können (s. Abb. 2.2). Bei Ost- und Westwinden strömt die Luft hingegen parallel zur Wand des CityTrees, weshalb die Hypothese aufgestellt wurde, dass im Mittel keine Differenzen der Feinstaubfraktionen zu erwarten sind. Abweichungen der Feinstaubdifferenzen von der Null-Linie bei Ost- und Westanströmung weisen auf zufällige Fluktuationen bzw. Unsicherheiten der Feinstaubmessungen mit den eingesetzten Sensoren hin. Daher kann Ost-/Westanströmung als eine Kontrollsituation angesehen werden mit der sich die Feinstaubdifferenzen unter Luv/Lee Bedingungen einordnen lassen. Da die Anströmung der idealen Luv/Lee Bedingungen (180° bzw. 360°) zu wenig Datenpunkte für eine statistische Auswertung generieren würde, wurde ein 60° breiter Windsektor für Luv/Lee Bedingungen (d.h. 330° - 30° und 150° - 210°) definiert und dessen Auswirkungen auf die gemessenen Feinstaubdifferenzen untersucht. Für die Kontrollsituation wurde ein 10° breiter Windsektor (d.h. 85° - 95° für Ostranströmung und 265° - 275° für Westanströmung) definiert.

Am Standort Hans-Sommer-Str. wurden Feinstaubdifferenzen (ΔPM_{HS}) jeweils für

2. Material und Methoden

PM_1 , $PM_{2,5}$ und PM_{10} nach folgender Gleichung berechnet:

$$\Delta PM_{HS} = PM_{Süd} - PM_{Nord} \quad (2.3)$$

mit den an der Süd- ($PM_{Süd}$) und Nordwand (PM_{Nord}) gemessenen Feinstaubfraktionen. Somit sollte bei einem Filtereffekt des Citytrees bei Südanströmung im Mittel ein positiver ΔPM_{HS} Wert vorliegen und bei Nordanströmung ein negativer



Abbildung 2.2.: Ausrichtung des CityTrees an der Hans-Sommer Str. (a) und am Rudolfplatz (b) und schematische Darstellung der zugehörigen Luv/Lee Anströmung als grüner Pfeil und die Kontrollsituation in der kein Effekt auftreten sollte als blauer Pfeil.

2. Material und Methoden

ΔPM_{HS} Wert.

Mit einem Wilcoxon Rangsummentest wurden die Verteilungen bei Nord-, Ost-, Süd- und Westanströmungen auf statistisch signifikante Unterschiede untersucht (mit einem Signifikanzniveau von 5%). Es wurde erwartet, dass die ΔPM_{HS} Verteilung bei Ost- bzw. Westanströmung einen Median nahe 0 aufweist. Ein signifikanter Unterschied wurde hingegen zwischen Süd- und Nordanströmung und der Kontrollsituation (Ost- bzw. Westanströmung) erwartet für den Fall, dass ein Filtereffekt durch den CityTree gegeben ist.

Standort Rudolfplatz

Am Standort Rudolfplatz war die Definition von Luv/Lee durch die komplexe Bebauung im Nahfeld des CityTrees erschwert, da keine lokalen Windmessungen vorlagen. Es wurde daher angenommen, dass eine Übertragbarkeit der am IGÖ erhobenen Messdaten gegeben ist, wenn die Windrichtung ungefähr parallel zu den Hauptstraßen Hildesheimer Str. (d.h. 285°- 301°) und Sackring (d.h. 215°- 237°) vorlag. Die Längsseite des CityTrees war entlang der Achse 220° und 40° ausgerichtet. Dementsprechend wurde eine Luv/Lee Situation definiert, wenn die Anströmung der Orientierung der Hildesheimer Str. entsprach und eine Anströmung entlang des Sackrings als Kontrollsituation in der kein Filtereffekt erwartet wurde. Für die Kontrollsituation wurde ein Sektor zwischen 215° und 225° festgelegt. Da der Verkehr auf der nordwestlichen Seite des CityTrees deutlich stärker ist als auf der gegenüberliegenden Seite, wurde auch für die Kontrollsituation angenommen, dass im Mittel Differenzen in den gemessenen Feinstaubkonzentrationen auftreten würden. Ein Filtereffekt wäre somit definiert durch Differenzen der Feinstaubgradienten der Luv/Lee- und der Kontrollsituationen. Der Feinstaubgradient wurde nach folgender Gleichung berechnet:

$$\Delta PM_R = PM_{West} - PM_{Ost} \quad (2.4)$$

2. Material und Methoden

mit den an der West- (PM_{West}) und Ostseite (PM_{Ost}) gemessenen Feinstaubfraktionen. Demnach wäre im Falle eines Filtereffekts des Citytrees - bei aus Richtung der Hildesheimer Str. erfolgender Anströmung - im Mittel ein positiver ΔPM_R Wert zu erwarten.

2.4. Datenverfügbarkeit

Im Rahmen der Untersuchung hat sich gezeigt, dass die eingesetzten Smart Environment PRO Sensoren von Libelium für längerfristige Messkampagnen über mehrere Monate ungeeignet erscheinen, da es mehrfach zu Ausfällen der Sensoren kam, die zu erheblichem Datenverlust führten (s. Abb. 2.3). Aus diesem Grund wurde bei einem Treffen der Projektpartner am 19.02.2020 beschlossen, den ursprünglich vereinbarten Messzeitraum von 12 Monaten zu verlängern und weitere Sensorik einzusetzen, um die Datenverfügbarkeit zu erhöhen. In der Folge wurden im Juni 2020, nachdem es durch die einsetzende Corona Pandemie zu Verzögerungen kam, zwei Bettair Sensoren am CityTree an der Hans-Sommer-Str. installiert. Diese wurden allerdings ab Juli 2020 seitens Green City Solutions in einem weiteren Projekt benötigt und daher wieder deinstalliert. Eine Vergleichsmessung vom TROPOS Institut hatte zudem ergeben, dass die Messdaten beider Sensoren größere Abweichungen aufwiesen, weswegen auf eine Auswertung der Daten innerhalb dieses Projektes verzichtet wurde (vgl. Kap. 2.2). Im Juni 2020 wurden zudem zwei Clarity Node-S Sensoren am Standort Rudolfplatz installiert. Diese erwiesen sich über die gesamte restliche Messperiode als zuverlässig.

2. Material und Methoden

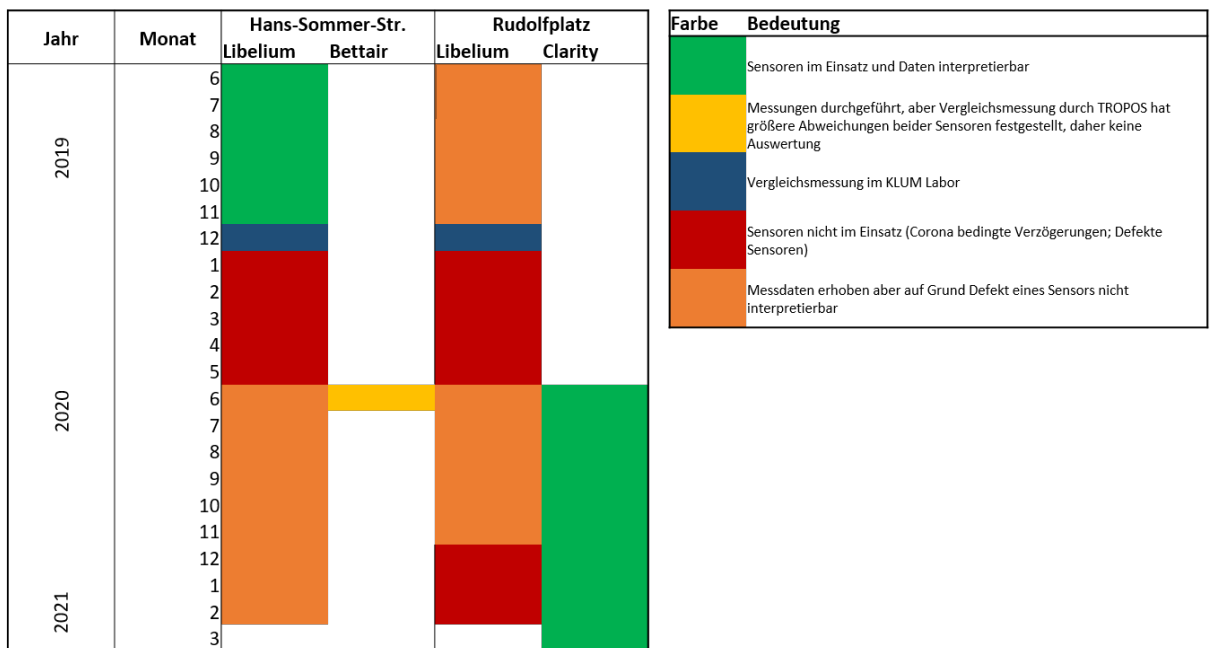


Abbildung 2.3.: Schematik der eingesetzten Sensorik als Zeitstrahl über den Untersuchungszeitraum. Zur Auswertung möglicher Feinstaubdifferenzen waren ausschließlich die grün markierten Zeiträume verwendbar.

3. Ergebnisse

3.1. Vergleichsmessungen

Die Vergleichsmessungen im Labor der Abt. Klimatologie und Umweltmeteorologie haben ergeben, dass sowohl die im Libelium Gerät verbauten OPC-N2 als auch die im Clarity Node-S Gerät verbauten Plantower 6003 Sensoren nur geringe systematische Abweichungen zeigen (s. Abb. 3.1). Die Abweichungen wurden durch die in Abb. 3.1 dargestellten Gleichungen in der Postprozessierung der Rohdaten korrigiert. Die Unsicherheit individueller Messpunkte wird durch die Streuung um die Regressionslinie charakterisiert.

3.2. Einfluss der Datenkorrekturen

Der relativ bedeutende Einfluss der Luftfeuchtekorrektur beim Libelium Sensor wird am Beispiel der PM_1 Konzentrationen deutlich (Abb. 3.2 a und b). Bei besonders hohen Abweichungen konnte keine Korrektur durchgeführt werden, weswegen diese Daten verworfen werden mussten. Zudem ist in Abb. 3.2 eine Divergenz der Messdaten vor dem 01. September 2019 erkennbar, die nach diesem Datum nicht mehr auftrat und auf einen Sensortausch hinweist. Aus diesem Grund wurden für die weitere Analyse nur die Daten vom 01. September bis zum 03. Dezember 2019 betrachtet.

Im Vergleich zum Libelium Sensor fallen die Korrekturen beim Clarity Sensor deut-

3. Ergebnisse

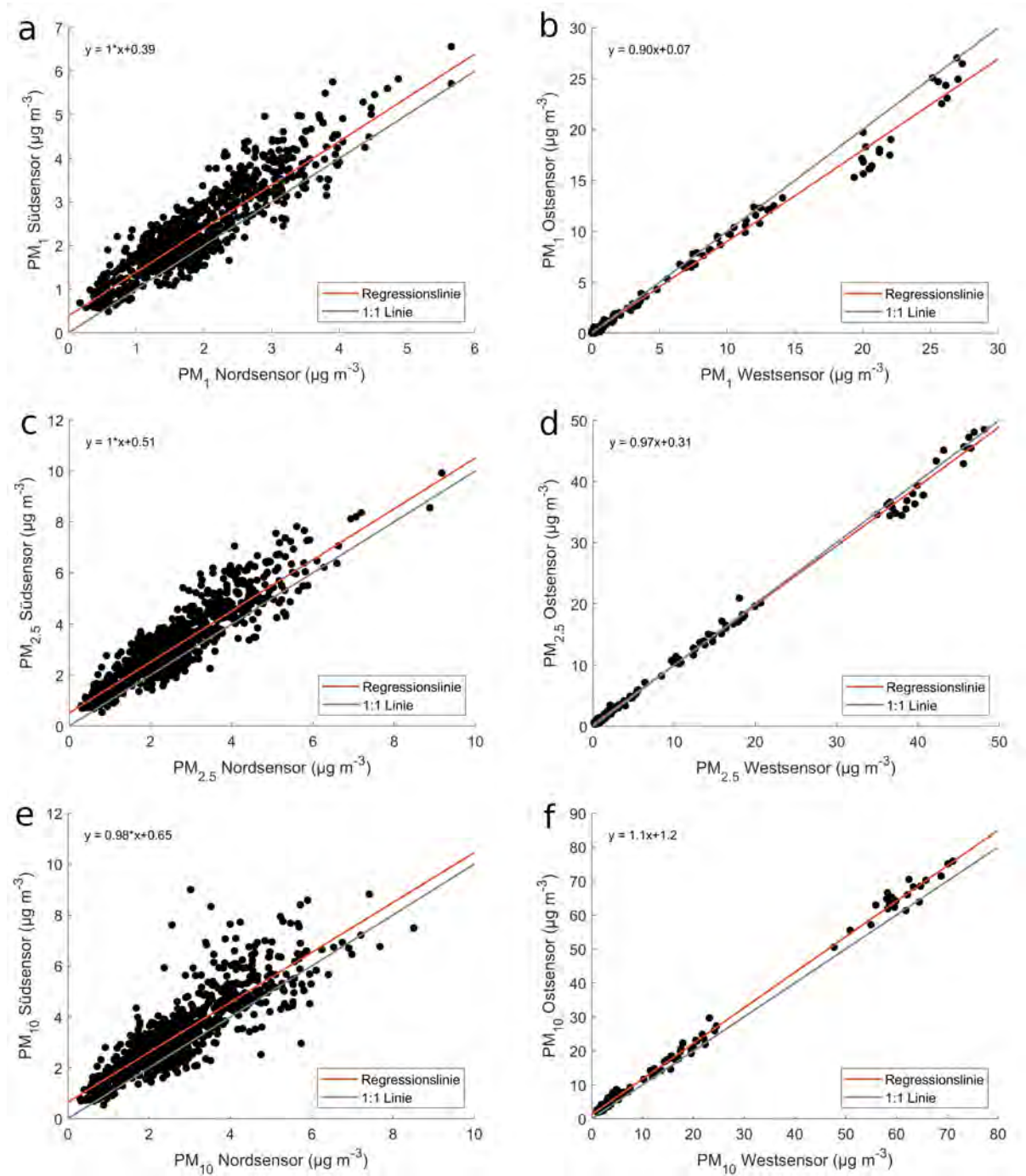


Abbildung 3.1.: Ergebnisse der Vergleichsmessung der am Standort Hans-Sommer-Str. verbauten Libelium Sensoren (OPC-N2) im Dezember 2019 (a, c, e) und der am Rudolfplatz verbauten Clarity Sensoren (Plantower 6003) im März 2021 (b, d, f).

3. Ergebnisse

lich weniger ins Gewicht (s. Abb. 3.3).

3.3. Meteorologische Bedingungen

Für die Definition von Luv/Lee Bedingungen ist die Anströmungsrichtung von entscheidender Bedeutung, auf die im Folgenden fokussiert wird. Der Verlauf weiterer meteorologischer Variablen ist im Anhang dargestellt (s. Abb. A.1 und A.2).

3.3.1. Standort Hans-Sommer-Str.

Im für den Standort Hans-Sommer-Str. relevanten Untersuchungszeitraum vom 22.06.2019 bis 04.12.2019 dominierten Windrichtungen aus Südwest und Südost (s. Abb. 3.4 a).

3.3.2. Standort Rudolfplatz

Im für den Standort Rudolfplatz relevanten Untersuchungszeitraum vom 01.06.2020 bis 15.03.2021 dominierten Windrichtungen aus Süd, Südwest und Südost (s. Abb. 3.4 b). Hieraus wird erkennbar, dass für den genannten Windsektor der Luv/Lee Bedingungen entsprach (285° - 301°) nur ein geringer Teil der Daten zur Verfügung stand (2,7% bzw. 186 Std.). Südwestliche Windrichtungen traten deutlich häufiger auf und somit standen für die Kontrollsituation (215° - 225° ; Strömung parallel zur Längsseite des CityTrees) mit 373 Std. (5,4%) mehr Datenpunkte zur Verfügung.

3.4. Gemessene Feinstaubdifferenzen

3.4.1. Standort Hans-Sommer-Str.

Die gemessenen Feinstaubdifferenzen bei Luv/Lee Situationen haben zwar zum Teil die richtige Tendenz für einen Filtereffekt, d.h. sie sind im Mittel positiv bei

3. Ergebnisse

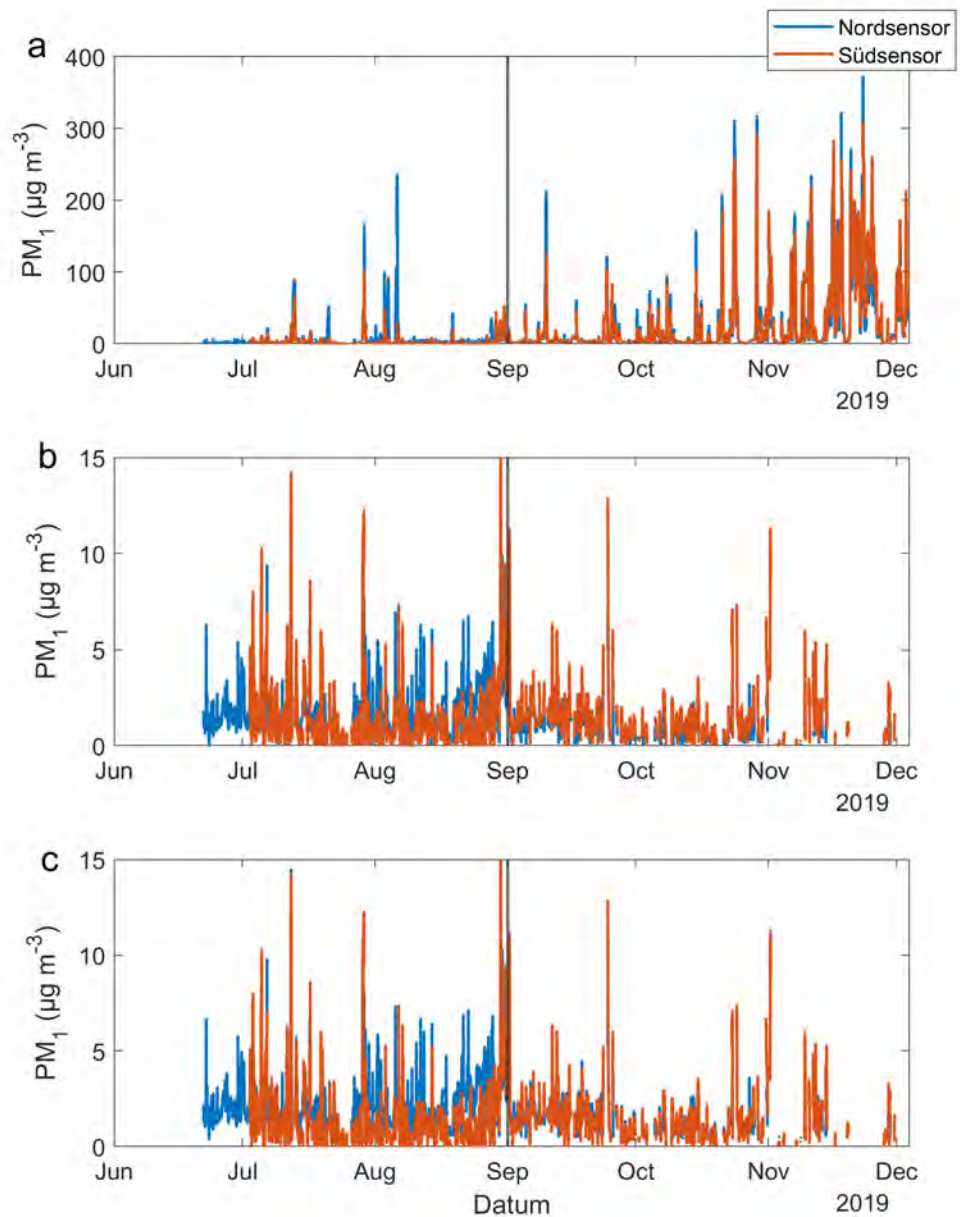


Abbildung 3.2.: Gemessene, stündlich gemittelte PM_1 Konzentrationen am Standort Hans-Sommer Str. mit dem Libelium Sensor vor Korrekturen (a), nach Feuchtekorrektur (b) und nach Korrektur auf Basis der Parallelmessung (c). Eine Divergenz der beiden Sensoren ist vor dem 01. September erkennbar, gekennzeichnet durch eine vertikale Linie.

3. Ergebnisse

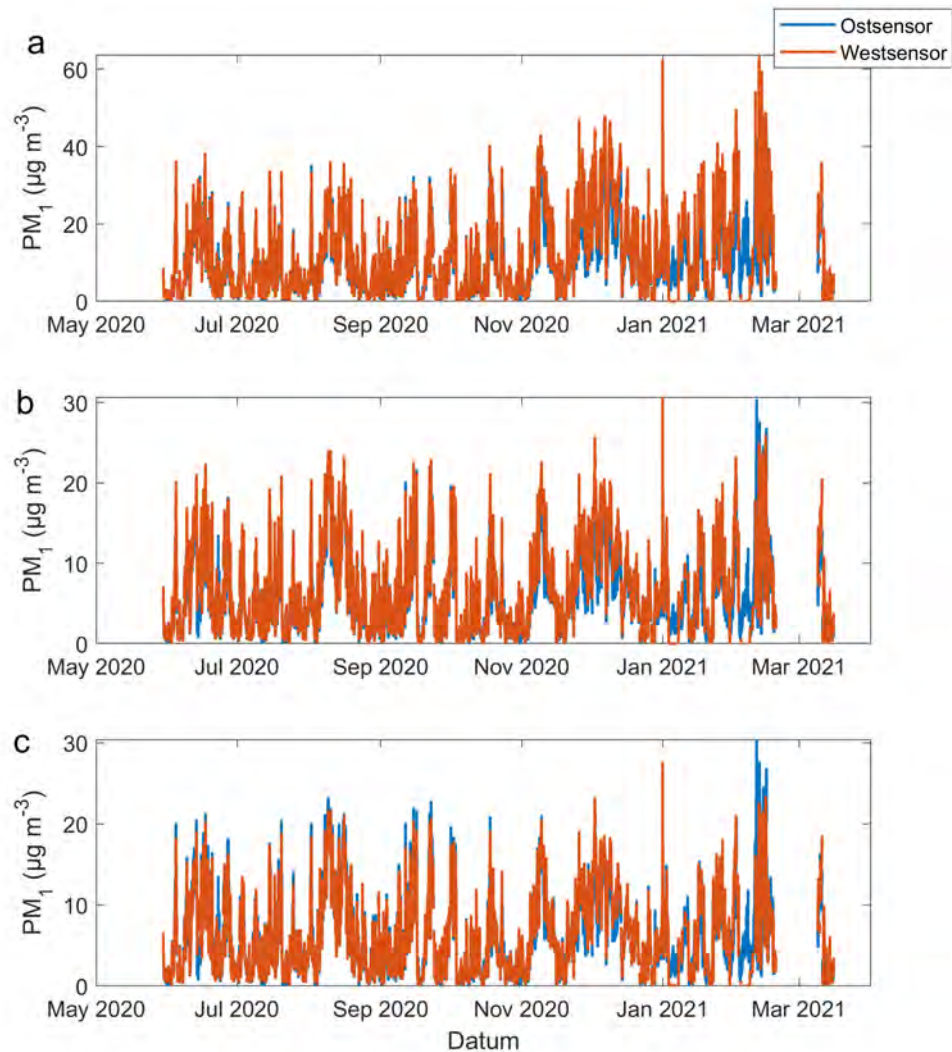


Abbildung 3.3.: Gemessene, stündlich gemittelte PM₁ Konzentrationen am Rudolfplatz mit dem Clarity Sensor vor Korrekturen (a), nach Feuchtekorrektur (b) und nach Korrektur auf Basis der Parallelmessung (c).

Südanströmung und negativ bei Nordanströmung, sie unterscheiden sich allerdings in nur geringem Maße von der Kontrollsituation bei Ost- und Westanströmung (s. Abb. 3.5). Der Wilcoxon Rangsummentest, der auf Unterschiede in Verteilungen getestet, ergab mehrheitlich keine signifikanten Differenzen zwischen der Kontrollsituation (Anströmung parallel zur Längsseite des CityTrees) und den Luv/Lee Bedi-

3. Ergebnisse

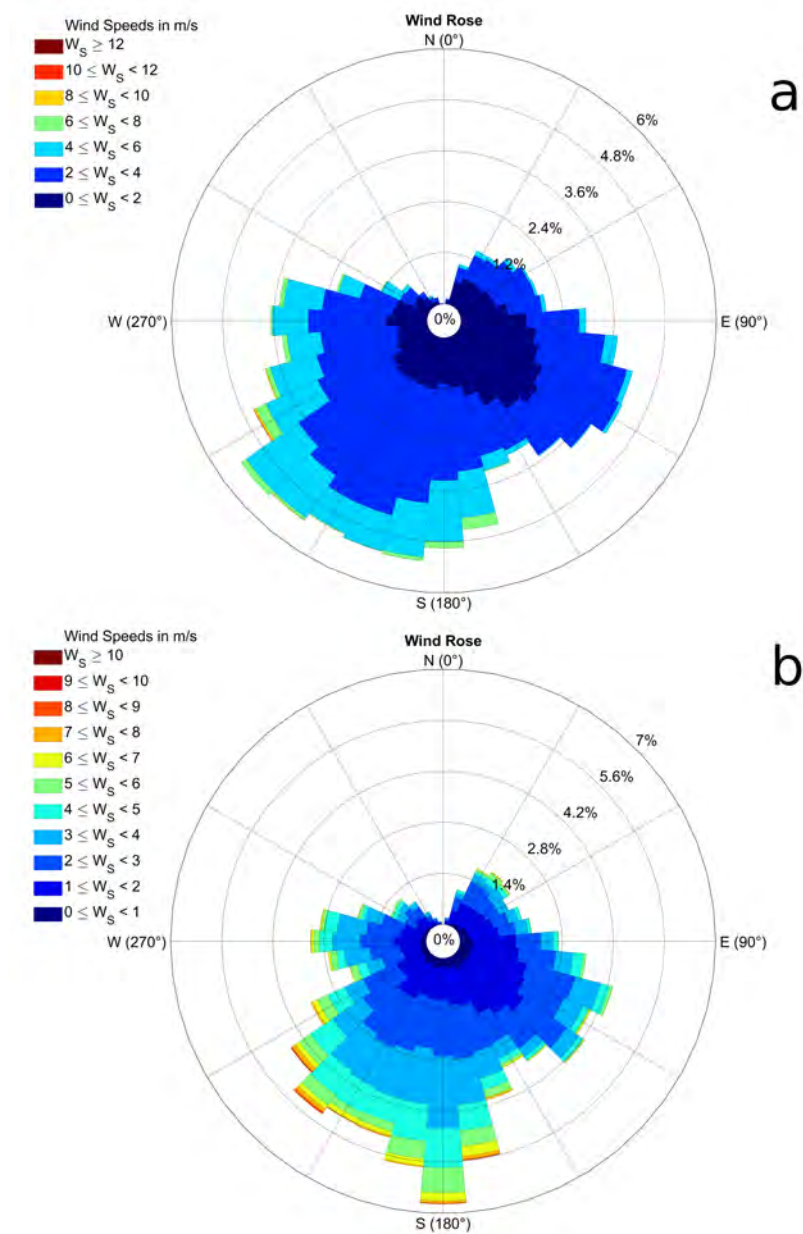


Abbildung 3.4.: (a) Darstellung der Windrichtung und -geschwindigkeit, gemessen am Institut für Geoökologie, für (a) den Untersuchungszeitraum am Standort Hans-Sommer-Str. vom 22.06.2019 - 04.12.2019 und (b) den Untersuchungszeitraum am Standort Rudolfplatz vom 01.06.2020 - 15.03.2021.

gungen (s. Tabellen A.1, A.2 und A.3). Im Falle der $PM_{2.5}$ Feinstaubfraktion ergibt sich bei Luv/Lee Bedingungen unter Südanströmung rechnerisch eine Reduktion

3. Ergebnisse

von 10,8% als Median. Hier war die höchste Abweichung von der Nulllinie sowie ein signifikanter Unterschied zur Kontrollsituation vorhanden. Allgemein ist allerdings ein Filtereffekt auf Basis der mit den Libelium Sensoren durchgeführten Messungen und unter Bezugnahme der Ergebnisse der weiteren Feinstaubfraktionen PM_1 und PM_{10} , nicht gesichert feststellbar.

3.4.2. Standort Rudolfplatz

Bei den Messungen am Rudolfplatz konnten keine signifikanten Differenzen in den Feinstaubfraktionen PM_1 , $PM_{2.5}$ und PM_{10} zwischen West- und Ostseite des CityTrees für die Luv/Lee Situation im Vergleich zur Kontrollsituation festgestellt werden (s. Abb. 3.6). Auf Basis der vorliegenden Messkampagne lässt sich für die Mooswände somit kein Feinstaubreduktionspotential ableiten.

3. Ergebnisse

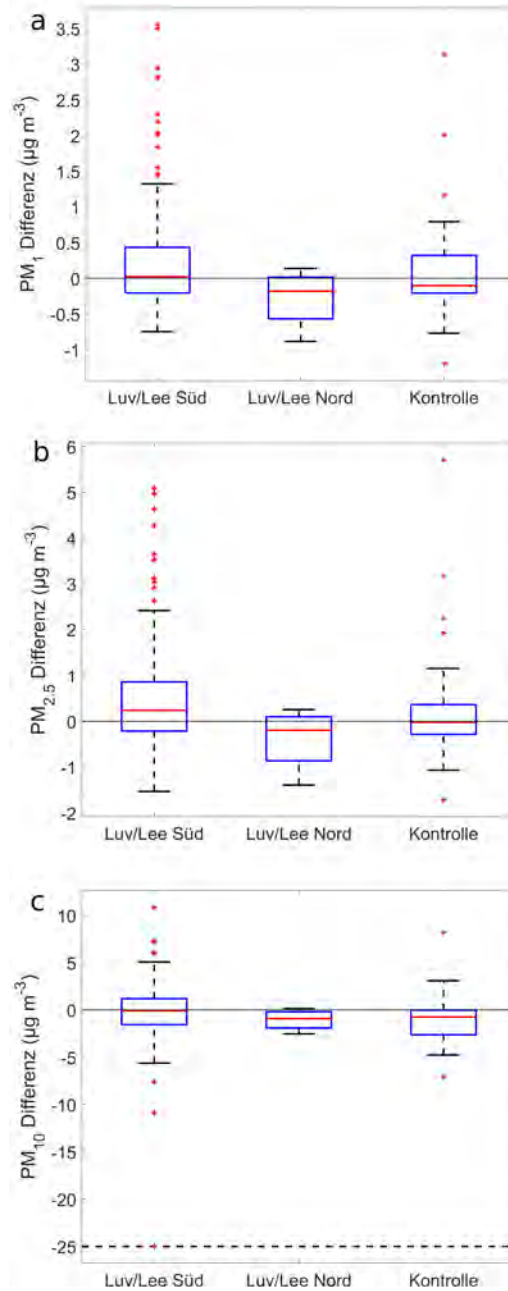


Abbildung 3.5.: Darstellung der Verteilungen für Luv/Lee Situationen bei Süd- und Nordanströmung sowie für die Kontrollsituation bei West- und Ostanströmung als Box-Whisker Diagramm am Standort Hans-Sommer-Str. Der Median wird als rote, horizontale Linie dargestellt und der Interquartilabstand (zwischen 25-75 Perzentilen) als blaue Box und Ausreißer gekennzeichnet durch rote Kreuze. Ausreißer $< -25 \text{ g m}^{-3}$ werden auf einer gestrichelten Linie angezeigt, um einen besseren Vergleich der Verteilungen zu ermöglichen.

3. Ergebnisse

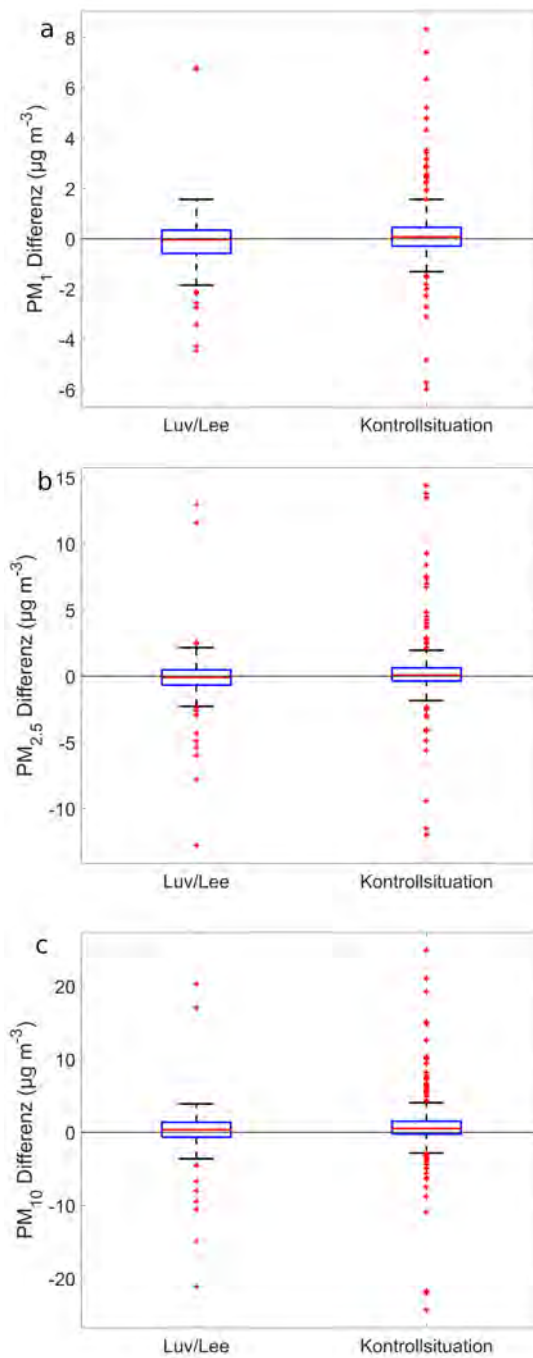


Abbildung 3.6.: Darstellung der Verteilungen als Box-Whisker Diagramm am Standort Rudolfplatz mit dem Median als rote, horizontale Linie, dem Interquartilabstand (zwischen 25-75 Perzentilen) als blaue Box und Ausreißer gekennzeichnet durch rote Kreuze.

4. Diskussion

Die Messkampagne an den Standorten Hans-Sommer-Str. und Rudolfplatz in Braunschweig hat mit der eingesetzten Messtechnik keinen (PM_1 und PM_{10}) bzw. einen geringen Feinstaubfiltereffekt im Falle von $\text{PM}_{2.5}$ mit 10,8% (für die Hans-Sommer-Str.) feststellen können. Da in der Massenfraktion $\text{PM}_{2.5}$ üblicherweise sowohl Anteile feiner submikroner Partikel ($< 1 \mu\text{m}$) aus Auspuffemissionen, als auch größere Partikel aus mechanischen Abrieb und Aufwirbelungsprozessen zu erwarten wären, ist es auffällig, dass im vorliegenden Datensatz ausschließlich die $\text{PM}_{2.5}$ Konzentrationen statistisch signifikante Differenzen aufzeigen, die beiden anderen Fraktionen jedoch nicht.

In Untersuchungen des ILK Dresden und TROPOS Leipzig konnten teilweise deutliche Reduktionspotentiale der Mooswände nachgewiesen werden (Green City Solutions, 2021). In diesen Studien zeigte sich das Reduktionspotential im Außenraum allerdings nur unter speziellen Bedingungen, d.h. mit zusätzlichen Aufbauten zur Reduktion der Windgeschwindigkeit hinter der Wand (Messkampagne in Bestensee). In einer weiteren Feldmesskampagne am Walter-Benjamin-Platz in Berlin wurde kein Filtereffekt gefunden. Messungen unter kontrollierten Randbedingungen innerhalb einer Produktionshalle in Bestensee haben hingegen einen Filtereffekt zwischen 10% bis 25% für die Feinstaubfraktion $< 1 \mu\text{m}$ und zwischen 10% bis 50% für die Feinstaubfraktionen von $1 \mu\text{m}$ bis $9 \mu\text{m}$ ergeben (Green City Solutions, 2021). Messungen unter kontrollierten Bedingungen, d.h. innerhalb eines geschlossenen Raumes scheinen auf Basis dieser Ergebnisse besser geeignet zu sein, um eine mögliche Fil-

4. Diskussion

terleistung der Mooswände zu untersuchen.

Unter Außenbedingungen, wie bei den Messungen in Braunschweig, können komplexe Strömungen und Verdünnungseffekte den Nachweis eines Filtereffektes erschweren. Zudem war die Positionierung der Sensoren an der Oberseite der Wand möglicherweise nicht geeignet, um Feinstaubdifferenzen im nahen Umfeld des City-Trees gesichert nachzuweisen. Weiterhin waren nach Angaben von Green City Solutions die Ventilatoren nur alle 3 Stunden für 8 Minuten aktiv (Green City Solutions, 2019a). Möglicherweise kann die Erhöhung der Frequenz und der Ventilationsdauer zu einer potentiell höheren Filterleistung führen.

5. Fazit

Im Rahmen dieser Untersuchung konnte eine Filterleistung der eingesetzten City-Trees nicht gesichert nachgewiesen werden. An der Hans-Sommer-Str. traten zwar bei Luv/Lee Bedingungen Differenzen in den gemessenen Feinstaubkonzentrationen auf. Diese unterschieden sich mehrheitlich aber nicht signifikant von den Differenzen, die in der Kontrollsituation auftraten, d.h. bei Windrichtungen die parallel zur Wand vorlagen. Bei der $PM_{2.5}$ Feinstaubfraktion und Südanströmung ergab sich rechnerisch eine Filterleistung von 10,8% als Median. Am Standort Rudolfplatz waren die Bedingungen zur Analyse der Filterleistung durch die komplexe Bebauung im Nahfeld der Wand erschwert. An diesem Standort konnte für keine der getesteten Feinstaubfraktionen eine Filterleistung nachgewiesen werden. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass das Messdesign, d.h. die Positionierung der Sensoren am CityTree und die eingesetzte Sensorik, nicht zum Nachweis einer potentiellen Filterleistung geeignet war. Vorherige Untersuchungen des ILK Dresden in geschlossener Umgebung und unter kontrollierten Bedingungen haben auf einen Feinstaubfiltereffekt hingewiesen (Green City Solutions, 2021).

Literaturverzeichnis

- AQ-SPEC (2018). Field evaluation clarity node pm sensor. https://assets.website-files.com/5f64f95d58facb3cb9ddca5b/5f7696edb52371cfee99d672_AQ-SPEC/%20Testing%20Report.pdf. [Online; aufgerufen am 21.04.2021].
- Asbach, C., Hellack, B., Schumacher, S., Bässler, M., Spreitzer, M., Pohl, T., Weber, K., Monz, C., Bieder, S., Schultze, T., and Others (2018). Anwendungsmöglichkeiten und Grenzen kostengünstiger Feinstaubsensoren. *Gefahrstoffe-Reinhaltung der Luft*, 6:242–250.
- Crilley, L. R., Shaw, M., Pound, R., Kramer, L. J., Price, R., Young, S., Lewis, A. C., and Pope, F. D. (2018). Evaluation of a low-cost optical particle counter (Alphasense OPC-N2) for ambient air monitoring. *Atmospheric Measurement Techniques*, 11(2):709–720.
- Green City Solutions (2019a). Persönliche Kommunikation am 22.08.2019.
- Green City Solutions (2019b). Persönliche Kommunikation am 23.02.2021.
- Green City Solutions (2021). Research overview. Technical report, Green City Solutions.
- Ramiro, E. D., Artíñano, B., Rubio, A., Figuero, I., Barreiro, M., and Fernández, J. (2019). Field assessment of low-cost particulate matter sensors against reference methods. In *2019 5th Experiment International Conference (exp. at'19)*, pages 444–448. IEEE.

Literaturverzeichnis

Staatliches Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim (2021). Luftqualitätsüberwachung in niedersachsen - jahresbericht 2020. Technical report, Staatliches Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim.

A. Anhang

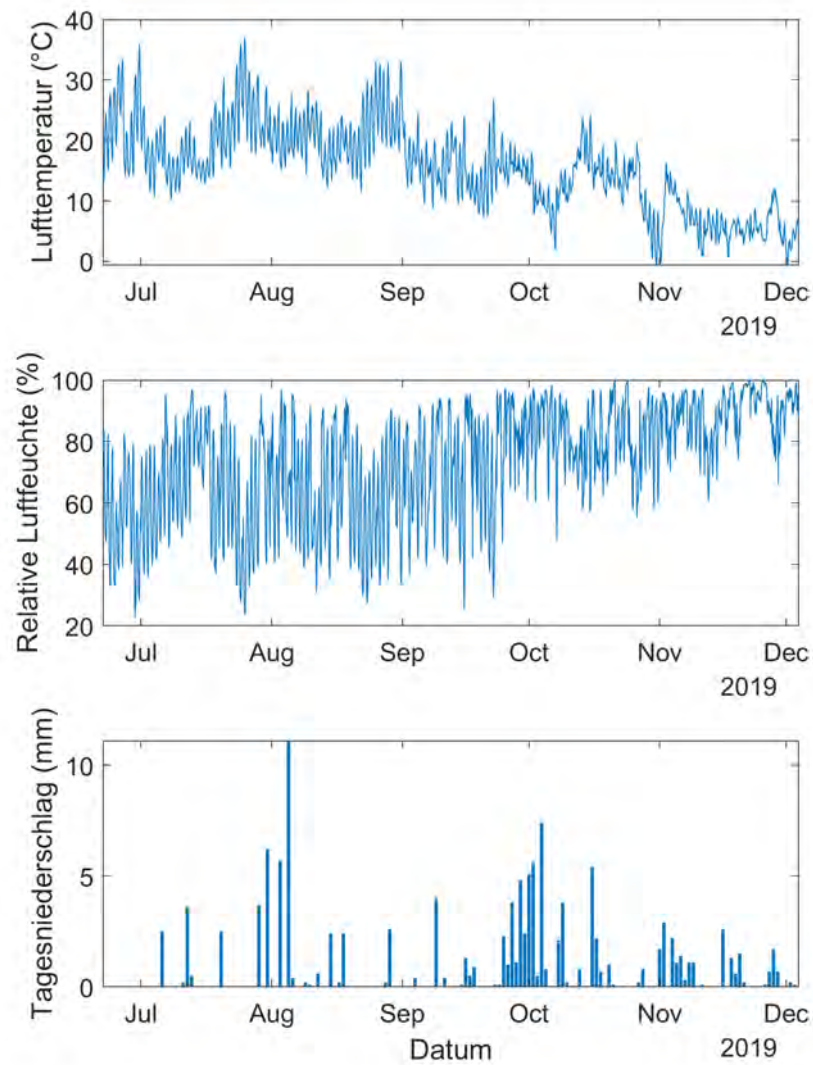


Abbildung A.1.: Meteorologische Bedingungen im Untersuchungszeitraum der Messungen am Standort Hans-Sommer-Str vom 22.06.2019 - 03.12.2019. Die meteorologischen Daten stammen von der auf dem Dach des Instituts für Geoökologie, Technische Universität Braunschweig, befindlichen Wetterstation.

A. Anhang

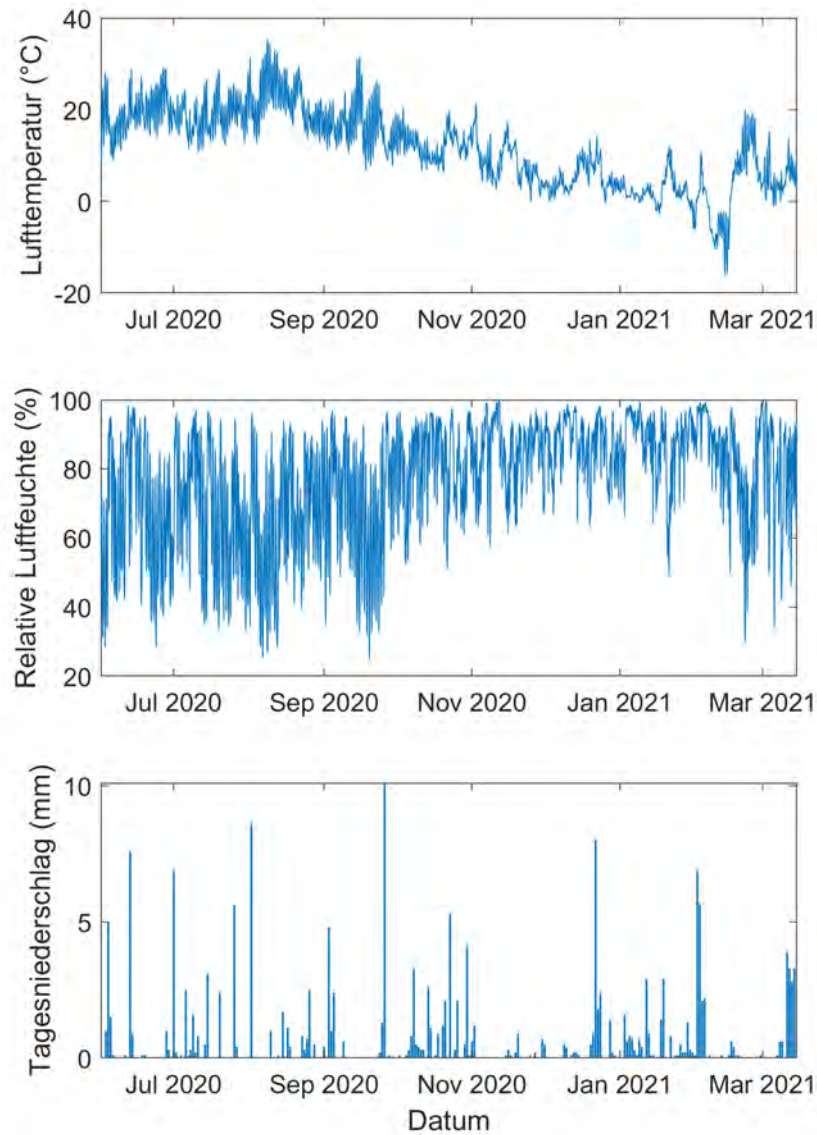


Abbildung A.2.: Meteorologische Bedingungen im Untersuchungszeitraum der Messungen am Standort Rudolfplatz vom 01.06.2020 - 15.03.2021. Die meteorologischen Daten stammen von der auf dem Dach des Instituts für Geoökologie, Technische Universität Braunschweig, befindlichen Wetterstation.

A. Anhang

Tabelle A.1.: Ergebnisse des Wilcoxon Rangsummentests für PM_1 . Signifikante Unterschiede der Verteilungen sind durch ein „x“ gekennzeichnet. Die bei einem Filtereffekt erwarteten Ergebnisse sind grün hinterlegt, nicht erwartete Ergebnisse in rot.

	Nord	Süd	Kontrolle	Anzahl Werte (n)
Nord	-	-	-	4
Süd	-	-	-	244
Kontrolle	-	-	-	41
Anzahl Werte (n)	4	244	41	289

Tabelle A.2.: Ergebnisse des Wilcoxon Rangsummentests für $PM_{2.5}$. Signifikante Unterschiede der Verteilungen sind durch ein „x“ gekennzeichnet. Die bei einem Filtereffekt erwarteten Ergebnisse sind grün hinterlegt, nicht erwartete Ergebnisse in rot.

	Nord	Süd	Kontrolle	Anzahl Werte (n)
Nord	-	-	-	4
Süd	-	-	x	244
Kontrolle	-	x	-	41
Anzahl Werte (n)	4	244	41	289

Tabelle A.3.: Ergebnisse des Wilcoxon Rangsummentests für PM₁₀. Signifikante Unterschiede der Verteilungen sind durch ein „x“ gekennzeichnet. Die bei einem Filtereffekt erwarteten Ergebnisse sind grün hinterlegt, nicht erwartete Ergebnisse in rot.

	Nord	Süd	Kontrolle	Anzahl Werte (n)
Nord	-	-	-	4
Süd	-	-	x	244
Kontrolle	-	x	-	41
Anzahl Werte (n)	4	244	41	289