



Advimo

**Mehr Wert.
Mehr Vertrauen.**

Stellungnahme zur Kompensationswirkung von Treibhausgasemissionen des Produktes CityTree der Firma Green City Solutions

Bericht

Stand: 27.10.2021

TÜV SÜD Advimo GmbH



Projektbeteiligte

Auftraggeber Peter Sänger Zhengliang Wu	Green City Solutions GmbH Fernstr. 27 15741 Bestensee Telefon 0049 (0)33763 222 144 E-Mail: p.saenger@mygcs.de E-Mail: z.wu@mygcs.de
Auftragnehmer Yannick Renaud	TÜV SÜD Advimo GmbH Brandsende 2-4 20095 Hamburg Telefon: 0170 8319456 E-Mail: yannick.renaud@tuvsud.com
Projektnummer Advimo	2106.039
Berichtsdatum	27.10.2021

Die erarbeiteten Ergebnisse sind urheberrechtlich geschützt. Die Analyse darf nur unter Verwendung der Copyright ungekürzt vervielfältigt werden. Eine Veröffentlichung – auch auszugsweise – Bedarf in jedem Einzelfall der schriftlichen Genehmigung.

Die hier beschriebenen Auswertungen beschreiben den gegenwärtig vereinbarten Leistungsumfang auf Grundlage der gegebenen Informationen. Weitergehende Untersuchungen bedürfen - auch nach mündlicher Absprache - der erneuten schriftlichen Beauftragung und werden gesondert in Rechnung gestellt.



Inhaltsverzeichnis

1	AUSGANGSSITUATION	2
2	GRUNDLAGEN	3
2.1	Gefilterte Stoffe des CityTree.....	3
2.2	Einfluss der gefilterten Stoffe auf die Atmosphäre	4
2.3	Eigenschaften des CityTrees	4
2.4	Kälteleistung der CityTree.....	5
2.5	Wachstum der Moose	5
3	AUSWERTUNG	6
4	ZUSAMMENFASSUNG	8
5	LITERATURVERZEICHNIS.....	9



1 Ausgangssituation

Die Firma Green City Solutions (GCS) hat ein Produkt namens CityTree entwickelt, welches die Luftqualität in Städten verbessern soll. Der CityTree ist eine Holzkonstruktion, die im Inneren eine Ventilation, eine sensorgesteuerte Befeuchtung und einen Moosfilter als Hauptkomponenten besitzt. Die Funktionsweise sieht vor, dass allen voran Partikel aus der Luft mit Hilfe des Mooses gefiltert werden. Die Partikel werden infolge von Wind und einer mechanischen Ventilation in den Filter getragen und gefiltert. Neben Partikeln werden ebenfalls weitere chemische Verbindungen wie Stickoxide gefiltert. Die durchströmte Luft wird durch die Befeuchtung abgekühlt, womit der CityTree ebenfalls eine kühlende und feuchtigkeitsanreichernde Wirkung auf seine Umgebung hat.

Aufgabenstellung in diesem Bericht ist es, zu beschreiben, inwiefern ein treibhausgassenkender Effekt seitens des CityTrees erzeugt wird. Dafür wird zum einen beschrieben, welche gefilterten Stoffe einen Einfluss auf die Klimaerwärmung haben und zum anderen aufbauend auf Literatur eine Beispielrechnung zur Reduktion des Treibhausgaspotentials durchgeführt.

2 Grundlagen

Die Grundlagen zur Einschätzung des Einflusses des CityTrees auf die Treibhausgasreduktion bestehen aus der Identifikation der gefilterten Stoffe, einer Beschreibung dieser Stoffe auf deren atmosphärischen Einfluss und letztendlich der Eigenschaften des CityTrees selbst.

2.1 Gefilterte Stoffe des CityTree

Die Quantifizierung der Filterung der Stoffe ist weder seitens des TÜV SÜDs erfolgt noch validiert worden. Diese beziehen sich aus dem Bericht (TROPOS). In (TROPOS) wird die Abscheidung von Partikelgrößen untersucht. Hierzu zählt insbesondere die Abscheidung von reinem Kohlenstoff (Ruß), der eine Partikelgröße unter 2,5 µm aufweist und im Folgenden als Black Carbon (BC) bezeichnet wird. Es ist die Filtereffizienz in Abhängigkeit der vorliegenden Konzentration im Feldversuch untersucht worden.

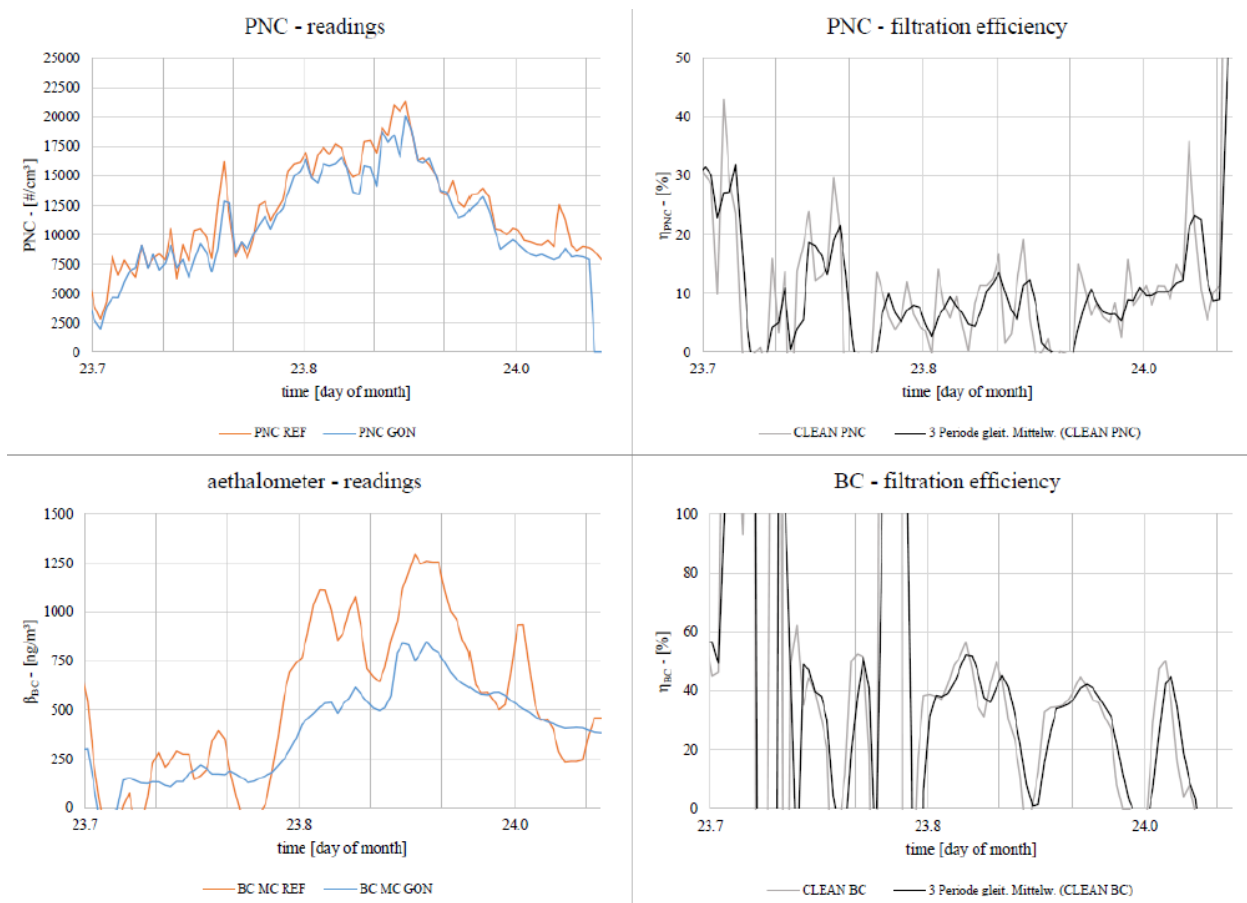


Abbildung 1: Konzentrationsvorkommen und Filtrationseffizienz von Feinstaub und reinem Kohlenstoff nach (TROPOS)

Im Ergebnis zeigt sich bei einer Konzentration von 500 ng/m³ ab time 23.8 auf der X-Achse eine Korrelation zwischen Konzentration und Filtereffizienz. Diese liegt ca. bei 25 % - 30 %, abhängig von der Belastung. Ist die Belastung höher, steigt die Filtereffizienz.



2.2 Einfluss der gefilterten Stoffe auf die Atmosphäre

BC gehört nach (IPCC, 21) zu den Short-lived climate forcers (SLCF), was Stoffe betrifft, die die Atmosphäre über einen deutlich kürzeren Zeitraum wie beispielsweise Kohlenstoffdioxid (CO₂) erwärmen. BC erwärmt die Atmosphäre, indem es die Wärmestrahlung der Sonne absorbiert und wieder an die Umgebung abgibt. Ebenso bewirken Sie einen wärmenden Effekt, indem sie auf Schneeflächen liegen bleiben und diesen verdunkeln. Der Schnee kann infolgedessen besser Energie absorbieren und dementsprechend weniger reflektieren, was zu einer Erwärmung und Schmelze des Schnees führt. Diese Effekte beschreiben die einfache Wirkung von BC in der Atmosphäre. Daneben gibt es weitere Effekte, die beispielsweise indirekt auf die Wolkenbildung einfließen. Solche Effekte sind weiterhin wenig verstanden und schwer zu beurteilen. Ebenso vermischt es sich mit anderen Aerosolen und verändert seine Eigenschaft. (T. C. Bond, 2013)

Somit unterscheiden sich Partikel und Aerosole in Ihrer atmosphärischen Wirkung von Treibhausgasen und von ihrer Langlebigkeit in der Atmosphäre. Sie absorbieren bereits die ankommende kurzwellige Strahlung direkt im Gegensatz zu Treibhausgasen, die die Strahlung, welche von der Erdoberfläche reflektiert wird, aufnehmen. Wegen dieser unterschiedlichen Effekte wird BC kein Treibhausgasäquivalent (GWP) zugeordnet. Die Diskussion, wie hoch der Einfluss ist, wird kontrovers geführt, was bereits die hohen Unsicherheiten in (IPCC I. P., 2013) zeigen. Im neusten Entwurf des Klimaberichtes wird davon gesprochen, dass sich der Effekt von BC auf den Klimawandel etwas verringert hat.

Es gibt Quellen, die eine Umrechnung des direkten Absorptionseffektes der Sonnenstrahlung von BC ins Verhältnis zu den Treibhausgaswirkungen für CO₂ setzen. Zu den Quellen zählen beispielsweise (T. C. Bond, 2013), (Bachmann, 2009) und (The World Bank, 2014). Wegen der Unsicherheit des Wirkens und des Effektes von BC in der Atmosphäre im Vergleich zu CO₂ wird ein GWP-Bereich von 120 – 1800 über 100 Jahre abgeschätzt.

Das Vorkommen von BC in der Atmosphäre wird in (A. Wiedensohler et al, 2012) und (Laurent Poulain et al, 2021) mit Werten von 3 µg/m³ – 8 µg/m³ angegeben. In der bereits geschilderten Untersuchung zur Filtereffizienz von BC ist die Range zwischen 0,25 µg/m³ – 1,25 µg/m³. In Hot-spots in Südkorea wurden für Werte von 2,6 µg/m³ – 6,3 µg/m³ gemessen BC (Sungroul Kim et al, 2017). Weitere Messungen des bayerischen Landesamtes für Umwelt haben in der Spitze ebenfalls Werte von ca. 8 µg/m³ für BC gemessen (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2006).

2.3 Eigenschaften des CityTrees

Die CityTrees werden in verschiedenen Ausführungen angeboten und können in der Geschwindigkeit der Ventilation variieren. Da die Ventilation ein wesentlicher Verbraucher des CityTrees ist, kann die Ventilation auch im Betrieb variiert werden, um z.B. in Zeiten mit geringer Luftbelastung die Ventilation zu reduzieren oder in Zeiten erhöhter Luftbelastung (z.B. in der Rush Hour) möglichst viele Partikel durch höhere Geschwindigkeiten einzusaugen und zu filtern. Für eine plausibilisierbare Aussage wird der CityTree in der folgenden Tabelle in drei Typen ausgewiesen:

Tabelle 1: Zusammenfassung der Parameter der CityTree Typen

CityTree Typ	Geschwindigkeit [m/s]	Filterfläche [m ²]	Volumenstrom [m ³ /h]	Leistung [W]
1	0,3	3,84	4147,2	58
2	0,4	3,84	5529,6	68
3	0,5	3,84	6912	80



2.4 Kälteleistung der CityTree

Von dem Institut für Luft- und Kältetechnik (ILK) ist im (ILK Dresden, 2018) unter anderem eine Untersuchung zur Kälteleistung des CityTrees durchgeführt worden. Hier gilt ebenso wie bereits in 2.1, dass die Quelle vom TÜV SÜD nicht validiert wurde.

Die Daten sind in folgender Tabelle zusammengefasst:

Tabelle 2: Kennzahlen zur Untersuchung der adiabaten Kälteleistung (ILK Dresden, 2018)

Weitere Kennzahlen:

Anströmgeschwindigkeit [m/s]	0,1	0,3	0,5
Differenzdruck [Pa]	4,7	14,0	22,7
Kühlleistung [KW] pro m ² Moosfläche	0,7	1,7	2,7
Befeuchtungsleistung [kg/h] pro m ² Moosfläche	1,1	2,8	4,3

Die Kühlleistung funktioniert über die Befeuchtung der Luft, welche Wasser aufnimmt und gemäß dem Mollier-Diagramm bei stabilen Druckverhältnissen Energie abgibt, was eine Temperaturreduktion bewirkt.

2.5 Wachstum der Moose

Das Wachstum der eingesetzten Moose im CityTree wurde seitens Green City Solutions analysiert (Bahar Aciksoz Robert Sängler, 2020). Dabei wurde im Messstand festgestellt, dass ein CityTree mit einer Ventilierung von 0,3 m/s ca. 6,35 kg – 7,73 kg CO₂ pro Jahr absorbieren kann. Viele Parameter beeinflussen die CO₂-Aufnahmefähigkeit der Moose und eine Bilanzierung ist schwierig. Jedoch sind die von GCS durchgeführten Messungen mit anderen Forschungsergebnissen, wie z.B. von (Wang et al, 2017) vergleichbar und valide. Weder die Messmethodik noch die Ergebnisse sind seitens des TÜV SÜD validiert worden.



3 Auswertung

Zur Ermittlung der Reduzierung des Treibhauspotentials werden diejenigen Stoffe untersucht, die nachweislich ein GWP haben. In dem vorliegenden Fall des CityTrees gibt es eine Abschätzung für das GWP von BC, welches hier genutzt wird. Durch die Filterleistung der Moose des CityTrees kann über das Jahr gesehen ein quantifiziertes Treibhausgaspotential berechnet werden.

Dies erfolgt mit Hilfe des Volumenstromes, der Laufzeit des CityTrees über das Jahr, der Filtereffizienz sowie der umgebenden Konzentration des Treibhausgases. Daraus lässt sich dann ein Massenstrom der gefilterten Stoffe berechnen.

$$\dot{m} = \dot{V} * h * \eta * \tilde{c} \quad (1)$$

\dot{m} : Gefilterter Massenstrom pro Jahr [kg/a]

\dot{V} : Volumenstrom des CityTrees [m³/h]

h : Laufzeit im Jahr 8760 h/a

η : Filtereffizienz

\tilde{c} : Durchschnittliche Konzentration [kg/m³]

Die aufgenommene Masse wird mit dem Treibhausgaspotentials (GWP) multipliziert:

$$\dot{m}_{Co2e} = \dot{m} * GWP \quad (2)$$

GWP : Global Warming Potential des entsprechenden Stoffes

\dot{m}_{Co2e} : Treibhausgasreduzierung innerhalb eines Jahres

Als weitere CO₂-Senke ist das Wachstum der Moose zu berücksichtigen. Hier wird direkt CO₂ aus der Luft gezogen und eine Masse pro Jahr angenommen, weswegen keine Umrechnungen mittels GWP stattfinden muss.

Die mechanische Ventilation des CityTrees benötigt elektrische Energie. Diese kann wiederum mit dem derzeitigen Strommix in Deutschland ein Treibhausgasäquivalent pro benötigter kWh haben, sofern es nicht mit Ökostrom betrieben wird. Daher werden die Ergebnisse aus (2) und der Wirkung durchs Wachstum noch subtrahiert mit dem Wert, der durch den Betrieb der CityTree emittiert wird:

$$\dot{m}_{Co2e} = P * h * CO2ekWh \quad (3)$$

P : Leistung CityTree [W]

h : Laufzeit im Jahr 8760 h/a

$CO2ekWh$: Deutscher Strommix 366 gCO₂/kWh nach (Umweltbundesamt, 2021)



Stand: 27.10.2021

Werden die Volumenströme aus Tabelle 1, die Stromverbräuche mit und ohne Ökostrom, einem unteren und oberen Abscheidegrad, der abhängig von der Konzentration ist, die Minima und Maxima der hergeleiteten GWP von 120 – 1800 sowie für die umgebende Konzentration von BC ein unterer bzw. oberer Grenzwert von 0,0000000005 kg/m³ und 0,000000008 kg/m³ berücksichtigt und in Formel (1) und (2) eingesetzt und mit (3) subtrahiert, ergeben sich jeweils Ergebnisse für ein minimales und maximiertes Szenario. Die Werte sind in den folgenden Tabellen zusammengefasst.

Tabelle 3: GWP des Stromverbrauches infolge der Ventilation und der CO2-Aufnahme des Moores

CityTree Typ	Leistung	Stromverbrauch	CO2-Emissionen Stromverbrauch	CO2-Verbrauch Wachstum
	[W]	[kWh/a]	[kgCO2e/a]	[kgCO2e/a]
1	58	508,08	186	7,04
1	58	508,08	Ökostrom	7,04
2	68	596	218	7,04
2	68	596	Ökostrom	7,04
3	80	701	256	7,04
3	80	701	Ökostrom	7,04

Tabelle 4: GWP Senke und GWP Gesamtbilanz

CityTree	Volumenstrom [m ³ /h]	BC Konzentration [kg/m ³]	Abscheidegrad [-]	GWP [-]	GWP Senke [kgCO2e/a]	Gesamtbilanz [kgCO2e/a]
1	4147,2	0,0000000005	0,25	120	0,54	-178
1	4147,2	0,0000000080	0,4	1800	209,26	216
2	5529,6	0,0000000005	0,25	120	0,73	-210
2	5529,6	0,0000000080	0,4	1800	279,01	285
3	6912	0,0000000005	0,25	120	0,91	-249
3	6912	0,0000000080	0,4	1800	348,76	355



4 Zusammenfassung

Die Analyse zeigt, dass für den CityTree nach den Richtlinien der IPCC kein direktes GWP nachzuweisen ist, da kein Treibhausgas von dem CityTree herausgefiltert wird. Der CityTree filtert eher Partikel und es konnte gezeigt werden, dass dazu ebenfalls Black Carbon zählt. Anschließend ist mit Hilfe einer Literaturrecherche versucht worden, ein GWP sowie eine Umgebungskonzentration für Black Carbon zu ermitteln. Es gibt Veröffentlichungen, die eine Analogie zwischen der Absorption der Strahlung von Partikeln wie Black Carbon und dem Treibhauseffekt von CO₂ entwickelt haben. Insgesamt hat die Bezifferung des Effektes von Black Carbon auf die Atmosphäre Unsicherheiten, weswegen eine mögliche Range von 120 – 1800 identifiziert wurde. Um abschließend die Höhe der gefilterten CO₂-Äquivalente zu berechnen ist eine Konzentration von Black Carbon notwendig. Die Recherche ergab Werte von 500 ng/m³ – 8000 ng/m³ in vielbefahrenen Großstädten.

Mit diesen Werten ist versucht worden eine Masse an gefilterten CO₂-Äquivalenten für den Betrieb von drei unterschiedlichen CityTree Betriebsweisen mit jeweils 8 Modulen zu ermitteln. Mit den Werten des recherchierten GWP und der Konzentration von Black Carbon zeigt sich, dass die Menge an gefilterten CO₂-Äquivalenten nicht ausreicht, um die entstandenen CO₂-Emissionen infolge des Stromverbrauches, für dessen Erzeugung die CO₂-Emissionen des deutschen Strommix angenommen wurden, im Betrieb zu kompensieren. Unter der reinen Betrachtung des CityTree als GWP Senke werden je nach Modell ca. 209,26 kgCO₂e/a – 348,76 kgCO₂e/a aus der Luft gefiltert. Mit der Annahme des Einsatzes von Ökostrom kann so ein positiver Klimaeffekt errechnet werden.

Genauere Ergebnisse würde eine Messung der gefilterten BC übers Jahr mit gleichzeitiger Messung des verbrauchten Stromes liefern.

Ebenso ist die Analogie zur Herleitung eines GWP von Black Carbon so nicht im IPCC Bericht enthalten. Es besteht eine Berechnung, die die Effekte in der Atmosphäre von Black Carbon auf die Emissionsmetrik des GWP auf einen Zeitraum von 100 Jahren vergleichen lässt, jedoch sollte diese Übertragung generell vorsichtig bedacht werden. (T. C. Bond, 2013)

Auch ist bei der Analyse von Klimawandelauswirkungen verschiedener Stoffe zu begutachten, ob die Emissionsmetrik mit GWP die passendste ist. Andere Emissionsmetriken wie das Global Temperature Potential (GTP) könnten für eine entsprechende Region oder Schlussfolgerungen passender sein. Eine Kombination aus GTP und GWP könnten beispielsweise die Wirkung von kurzlebigen Treibhausgasen gegenüber der Entfernung von CO₂-Molekülen vergleichbarer machen. (IPCC, 21)

Dies zeigt, dass die Auswirkungen auf den Klimawandel verschiedener Stoffe unterschiedlich bewertet werden kann und der Vergleich mit dem Effekt von CO₂ aufgrund der unterschiedlichen Effekte in der Atmosphäre weiterhin Bestandteil der Forschung sind.

Im neusten IPCC Assessment Report (AR6) wird darauf hingewiesen, dass der Einfluss von BC auf die Erwärmung der Atmosphäre eher verringert hat im Gegensatz zu dem letzten Assessment Report (AR5).



5 Literaturverzeichnis

- A. Wiedensohler et al, W. B. (2012). *Effekt der Umweltzone auf die Konzentration des schwarzen Kohlenstoffs (Ruß) an der Straße.*
- Bachmann, J. (2009). *BLACK CARBON: A Science/Policy Primer.*
- Bahar Aciksoz Robert Sängler, g. (2020). *Results of CO2 gas exchange LI-6800 measurements.*
- Bayerisches Landesamt für Umwelt. (2006). *Messbericht über Luftschadstoffmessungen in der Landshuter Allee (München).*
- ILK Dresden, I. (2018).
- ILK Dresden, I. (2019). *NOx-Abscheidungsmessung.*
- IPCC. (21). *Climate Change The Physical Science Basis.* Intergovernmental Panel Climate.
- IPCC, I. P. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.).
- Laurent Poulain et al, B. F. (2021). *Source apportionment and impact of long-range transport on carbonaceous aerosol particles in central Germany during HCCT-2010.*
- Sungroul Kim et al, S. Y. (2017). *Spatiotemporal Association of Real-Time Concentrations of Black Carbon (BC) with Fine Particulate Matters (PM 2.5) in Urban Hotspots of South Korea.*
- T. C. Bond, S. J. (2013). *Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment.*
- The World Bank. (2014). *Reducing Black Carbon Emissions from Diesel Vehicles: Impacts, Control Strategies, and Cost-Benefit Analysis.*
- Toshihiko Takemura & Kentaroh Suzuki. (2019). *Weak global warming mitigation by reducing black carbon emissions.*
- TROPOS, L. I. (kein Datum). *Summary of determined filter efficiency of different City Tree campaigns.*
- Umweltbundesamt. (2021).
- Wang et al, B. M. (2017). *Comparisons of photosynthesis-related traits of 27 abundant or subordinate bryophyte species in a subalpine old-growth.* Ecol Evol. doi:10.1002/ece3.3277