

Weiterentwicklung des „Stockholmer Modells“ in Deutschland

zur Vitalisierung von Stadtbäumen und urbanem Grün mit Substraten aus Schotter, Kompost und Pflanzenkohle

Abschlussbericht



16.06.2025

gefördert durch



Deutsche
Bundesstiftung Umwelt

www.dbu.de

Weiterentwicklung des „Stockholmer Modells“ in Deutschland zur Vitalisierung von Stadtbäumen und urbanem Grün mit Substraten aus Schotter, Kompost und Pflanzenkohle

Abschlussbericht

Bewilligungsempfänger:

Carbuna AG, Memmingen

Projektpartner:

EcoTopic AB, Kolmården, Schweden

Projektlaufzeit: 19.12.2022 bis 31.01.2025

Gefördert durch: DBU Deutsche Bundesstiftung Umwelt

Autor*innen:

Benedikt Zimmermann (Carbuna AG)

David Bregulla (Carbuna AG)

Mattias Gustafsson (EcoTopic AB)

Jacqueline Hellmann (EcoTopic AB)

Fotos auf der Titelseite:

BV „Quartiersplatz“ in Wiesbaden (links), und BV „Heilig Kreuz Ort“ in Rottweil (rechts)

Inhalt

1	Kurzzusammenfassung (Projektkennblatt)	9
1.1	Zielsetzung und Anlass des Vorhabens	9
1.2	Arbeitsschritte und Methoden.....	9
1.3	Öffentlichkeitsarbeit und Wissenstransfer	9
1.4	Ergebnisse und Diskussion	10
1.5	Fazit	10
1.6	Kooperationspartner und Förderung	10
2	Einleitung und Ziele	11
2.1	Projektziele	13
3	Lessons learned & Erfolgskriterien aus Schweden.....	14
3.1	Betrachtung der Situation in Schweden.....	14
3.2	Besondere Bedeutung der Filterleistung von Substraten	21
3.3	Erfolgskriterien in Schweden	25
4	Einsatz von Struktursubstraten in Deutschland	26
4.1	Zielgruppenanalyse Deutschland und bisherige Umsetzungen	26
4.2	Bisherige Verbreitung des schwedischen Ansatzes in DACH	29
4.3	Befragung von Stakeholdern in Deutschland.....	29
4.4	Umsetzungshemmnisse in Deutschland.....	30
4.5	Pflanzenkohleeinsatz im Kontext deutscher Regelwerke	33
4.5.1	Entwicklung von FLL-konformen Substraten mit Pflanzenkohle.....	34
4.5.2	Kooperation mit der HAWK Göttingen zur Untersuchung der Rolle von Pflanzenkohle in Substraten.....	35
4.5.3	Abwasserrechtliche Situation	37
4.5.4	Eintrag von Tausalz und anderen Schadstoffen	37
4.5.5	Abgrenzung und Kombination von Zuständigkeiten zwischen Straßenbau, Grünflächen und Abwasserbehandlung	38

5	Wirtschaftlichkeit und CO ₂ -Bilanz	39
5.1	Wirtschaftlichkeit Szenarien-Vergleich	39
5.2	Ermittlung Treibhausgasbilanz mittels EPD	43
5.2.1	Negative Emissionen durch Pflanzenkohle und deren Anrechnung	43
5.2.2	Erfassung von EPD-Daten	45
5.2.3	Abschätzung der Ökobilanz eines Struktursubstrats.....	46
5.2.4	Ökobilanz aus der Literatur	48
6	Wissenstransfer und Erfahrungsverbreitung.....	49
6.1	Informationsmaterial und Handbücher	49
6.2	Beschreibung und Charakterisierung von Substratezepturen	51
6.3	Demonstrationsinstallationen unter Verwendung von urbanen Substraten mit Pflanzenkohle in Pilot-/Pionierstädten.....	55
6.3.1	Berlin: Renaturierung von Grünflächen.....	56
6.3.2	Freiburg im Breisgau: Baumgrubensanierung, Pflanzung neuer Bäume und Revitalisierung von Bestandsbäumen.....	57
6.3.3	Graz: Pflanzung neuer Bäume	59
6.3.4	Magdeburg: Pflanzung neuer Bäume und Anlage von Versickerungsflächen bzw. Staudenbeeten	60
6.3.5	Marburg: Neupflanzung eines Großbaumes	61
6.3.6	Rottweil: Pflanzung neuer Bäume	61
6.3.7	Wiesbaden: Pflanzung neuer Bäume	62
6.3.8	Memmingen: Pflanzkübel mit Struktursubstrat und Pflanzenkohle	62
7	Fazit.....	66
8	Ausblick.....	67
	Quellenverzeichnis	69
	Anhang A: Anwendungen/Rezepturen	i
	Anhang B: Bauzeichnungen	iii

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kolmakadam ist der schwedische Begriff für „Pflanzenkohle-Schotter“. Auf dem linken Foto die grobere Mischung für den erweiterten Wurzelraum, rechts auf dem Foto die feinere Mischung für Pflanzgruben, Beete, Fassadenbegrünungen, Kübelpflanzungen und vieles mehr.	15
Abbildung 2: Eine Seite des Parkhauses in Malmö in der Totalen (Foto links), rechts ein genauerer Blick auf die verwendeten Wandmodule nebst Bepflanzung.	16
Abbildung 3: Tiny Forest in Malmö, links, schwarz umrandet die Hälfte mit dem Pflanzenkohle-Substrat.	16
Abbildung 4: Im Boden gepflanzte Fassadenbegrünung in Malmö (Foto links) sowie das verwendete Pflanzenkohle-Substrat (Foto rechts).	17
Abbildung 5: Auch unter dem Holzdeck befindet sich eine Schicht aus Splitt, Pflanzenkohle und Kompost, über diese wird auch das Dachwasser verteilt (Foto links). Rechts eine mit demselben Substrat revitalisierte Grünfläche mit Bäumen.	17
Abbildung 6: Die umliegenden Flächen entwässern in das Regenbeet - so kommt es hier regelmäßig zu kurzzeitigem Wasserstau und die gepflanzten Stauden werden ausreichend versorgt.	18
Abbildung 7: Im Hintergrund zu erkennen: Die schon erwähnten Module zur Fassadenbegrünung.	19
Abbildung 8: Das Stockholmer System wie es sich inzwischen darstellt. Es bildet die Grundlage für die Etablierung im deutschsprachigen Raum in verschiedenen, meist lokaleren Auslegungen. Komplettiert wird es durch die Vitalisierung im Bestand, siehe hierzu Abbildung 9.	20
Abbildung 9: Ein genauerer Blick auf das Modul „Vitalisierung im Bestand“ des Stockholmer Systems.	21
Abbildung 10: PFOS und PFAS im Grundwasser beim Flughafen Växjö in Småland, Schweden nach Filtration durch Pflanzenkohle. Nr. 5 ist die grobe Holzkohle CPK20. Versuchsdurchführung: Ecotopic.	22
Abbildung 11: PFOS und PFAS von Regenwasser beim Flughafen Kalmar, Schweden nach Filtration durch Pflanzenkohle. Nr. 5 ist die grobe Holzkohle CPK20. Versuchsdurchführung: Ecotopic.	22
Abbildung 12: Phosphat und Stickstoff im Grundwasser beim Flughafen Växjö in Småland, Schweden nach Filtration durch Pflanzenkohle. Nr. 5 ist die grobe Holzkohle CPK20. Versuchsdurchführung: Ecotopic.	23
Abbildung 13: Phosphat und Stickstoff von Regenwasser beim Flughafen Kalmar, Schweden nach Filtration durch Pflanzenkohle. Nr. 5 ist die grobe Holzkohle CPK20. Versuchsdurchführung: Ecotopic.	24
Abbildung 14: Verbleibende Menge PFAS nach Behandlung mit Pflanzenkohle, Erstellt durch Eriksson, Celma, Wiberg, Dahlberg & Persson.	24

Abbildung 15: Kostenentwicklung kumuliert, reine Bau/Pflanzkosten, grafisch.....	42
Abbildung 16: Zwei Beispiele eines Stands der Carbuna AG – links bei den Deutschen Baumpflegetagen Augsburg (2024), rechts bei den Dresdner Stadtbaumtagen (2025).....	54
Abbildung 17: Der Carbuna-Speaker-Corner der Carbuna AG bei den Deutschen Baumpflegetagen Augsburg (2024), stilgerecht mit Kiste und Publikum.....	54
Abbildung 18: Vorträge vor großem (Geisenheim 2024) und kleinem (Calw 2024) Publikum.....	55
Abbildung 19: Renaturierung einer großen Grünfläche an der Jungferneide.	57
Abbildung 20: Bauvorhaben am Mathilde-Otto-Platz in Freiburg im Breisgau.	58
Abbildung 21: Revitalisierung von Bestandsbäumen in Freiburg im Breisgau.....	58
Abbildung 22: Neu gepflanzte Bäume in Graz am Bauvorhaben „Am Steinfeld + MSL-Straße“. Mit freundlicher Genehmigung der Fedl Garten- und Landschaftsplanung GmbH.....	59
Abbildung 23: Schwammstadt-Grafik des Stockholmer Systems, hier mit dem Wasser- und dem Kohlenstoffkreislauf. Mit freundlicher Genehmigung der Stadt Graz und des Graphikers Gernot Passath.	60
Abbildung 24: Das „Magdeburger Baumquartier“ am Nicolaiplatz (links) und an der Kaiser-Otto-Brücke (mittig). Mit freundlicher Genehmigung der Landschaftsarchitektin Kriewald.	61
Abbildung 25: Großbaumpflanzung an der Elisabethkirche in Marburg.	61
Abbildung 26: Bauvorhaben „Heilig Kreuz Ort“ in Rottweil. Mit freundlicher Genehmigung des Büros faktorgrün.	62
Abbildung 27: Bauvorhaben „Quartiersplatz“ in Wiesbaden. Mit freundlicher Genehmigung des Büros exedra.	62
Abbildung 28: Vier der fünf Container in Memmingen Ende April. Zwei Wochen nach Pflanzung haben alle Bäume Blätter ausgetrieben.....	64
Abbildung 29: Mitte Mai 2025: Beim Nachfüllen des leicht abgesenkten/nachverdichteten Substrats zeigt sich, dass die Stauden gut ins Substrat eingewachsen sind. Alle Bäume entwickeln sich einwandfrei.....	65

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Daten zu Kostenentwicklung in Abbildung 15	42
Tabelle 2: EPD- und Ökobilanz-Daten von Komponenten für Stadtbaumsubstrate.....	46
Tabelle 3: Treibhausgasbilanz eine Struktursubstrats mit je 7,5% Pflanzenkohle und Kompost (ohne Transport)	47
Tabelle 4: Wissenstransfer und Erfahrungsverbreitung – Wege und Methoden während und über die Projektlaufzeit hinaus.	52

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Beschreibung
AMA	Allmän Material- och Arbetsbeskrivning, Allgemeine Material und Arbeitsbeschreibung
BCR	Biochar Carbon Removal, CO ₂ -Entzug durch Speicherung von Pflanzenkohle
BECCS	Bioenergy with Carbon Capture and Storage, eine Negativemissionstechnologie
BGG	BlueGreenGrey, ein multifunktionales System zur Straßenraumgestaltung
BGS	BlueGreenStreets, Forschungsprojekt und toolbox zu blau-grüner Infrastruktur
CO ₂	Kohlendioxid, das relevanteste Treibhausgas
CO ₂ -e	CO ₂ -Äquivalente, teilweise auch CO ₂ -eq geschrieben zur Normierung von Treibhausgasen
CPK 20	Carbuna Pflanzenkohle 0-20 mm. Produktbezeichnung der Carbuna AG
CRCF	Carbon Removals and Carbon Farming, zuvor Carbon Removal Certification Framework
DACCS	Direct Air Capture with Carbon Capture and Storage, eine Negativemissionstechnologie
DACH	Region Deutschland, Österreich und Schweiz
DüMV	Düngemittelverordnung (Deutschland)
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
EBC	European Biochar Certificate, freiwilliges Qualitätszertifikat für Pflanzenkohle
ECHA	Europäische Chemikalienagentur
EN 15804	Eine Europeanorm für die Anwendung von EPD in Baustoffen
EPD	Environmental Product Declaration, eine Form der Ökobilanz bzw. Umweltdeklaration
EU	Europäische Union
FLL	Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V.
GaLaBau	Garten- und Landschaftsbau
GWP	Global Warming Potential, Treibhausgaspotential, eine Wirkungskategorie in Ökobilanzen
HAWK	Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst, hier Göttingen
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change, der Weltklimarat
ISO 14040	Die Basisnorm für Ökobilanzen
KPK 100	Kompost-Pflanzenkohle, 100% Pflanzenkohle. Produktbezeichnung der Carbuna AG
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, eine Familie organischer Schadstoffe
PFAS	Per- und polyfluorierte Alkylverbindungen, auch als „Ewigkeitschemikalien“ bekannt
PFOS	Perfluorooctansulfonsäure, persistente, giftige Substanz die in Löschschaum genutzt wurde
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals; nach Verordnung (EG) Nr. 1907/2006, die EU-Chemikalienverordnung
VO 2019/1009	EU-Düngeprodukteverordnung

1 Kurzzusammenfassung (Projektkennblatt)

1.1 Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Von Stockholm aus hat sich eine Bauweise für klimaresiliente Schwammstädte in großen Teilen Schwedens verbreitet. Dieses Stockholmer Modell, oder besser Stockholmer System umfasst mittlerweile mehr als nur den Bau von Pflanzgruben für Bäume und hat sich zu einem System für den Erhalt und die Erweiterung von Stadtgrün sowie die Speicherung, Filtration und Ableitung von Regenwasser etabliert. Ziel dieses Projekts ist es, das Wissen zum Stockholmer System auf die Anwendung in deutschen Städten zu übertragen. Dazu werden das Handbuch der Stadt Stockholm für Pflanzgruben und weitere wichtige Dokumente ins Deutsche übersetzt. Ebenso wird der aktuelle Entwicklungsstand des Systems in Schweden dokumentiert. Am Ende werden Maßnahmen diskutiert, die bei der Umsetzung und Adaption des Stockholmer Systems für deutsche Städte nötig sein können.

1.2 Arbeitsschritte und Methoden

Zunächst werden die verfügbaren Dokumente aus Schweden erfasst und studiert. Bei einer Studienreise nach Schweden werden anschließend die aktuellen Weiterentwicklungen des Systems mit Expert*innen vor Ort dokumentiert. Aus diesen Erkenntnissen werden die deutschen Übersetzungen und aktuelle Dokumente abgeleitet. Anschließend wird die aktuelle Situation zum Thema Stadtgrün und Schwammstadt in Deutschland analysiert. Daraus werden Maßnahmen und Pilotprojekte abgeleitet, die wiederum dokumentiert werden. Das Projekt wird durch eine Analyse der Wirtschaftlichkeit und der Treibhausgasbilanz begleitet.

1.3 Öffentlichkeitsarbeit und Wissenstransfer

Wissenstransfer ist ein entscheidendes Element dieses Projekts. Das ins Deutsche übersetzte Handbuch wird kostenlos zur Verfügung gestellt. Die Erkenntnisse werden auf Fachmessen und Fachvorträgen geteilt sowie in Fachberatungen direkt angewendet.

1.4 Ergebnisse und Diskussion

Das Stockholmer System lässt sich ohne wesentliche Änderungen auf deutsche Städte übertragen. Die rechtlichen Hürden beim Einsatz sind gering, aber Normen sollten künftig erweitert werden, um den Einsatz des Stockholmer Systems zu erleichtern. Die im Projekt durchgeführten Leuchtturmprojekte helfen bei der Entwicklung der neuen Normen. Viele Städte möchten individuelle Änderungen am Stockholmer System einbringen, die sich aber oft noch bewähren müssen. Dies könnte auf absehbare Zeit dazu führen, dass das Stockholmer System in Deutschland eine eigene DNA entwickelt und sich spezifische Entwicklungsstränge ableiten.

1.5 Fazit

Angesichts der sich beschleunigenden Erderwärmung und den schweren Auswirkungen von Hitze und Starkregen in Städten, besteht ein hoher Handlungsdruck zur Mitigation von Klimafolgen. Hierfür bietet das Stockholmer System sehr gut geeignete Lösungen. Das Projekt könnte einen wichtigen Beitrag zur Adaption des Stockholmer Systems in Deutschland und den deutschsprachigen Ländern leisten.

1.6 Kooperationspartner und Förderung

Das Projekt wurde von verschiedenen Kommunen sowie zahlreichen Partnern aus Wirtschaft und Forschung unterstützt. Darüber hinaus hat sich ein weiterhin wachsendes Netzwerk aus verschiedensten Planungsbüros und Fachleuten regelmäßig überaus konstruktiv eingebracht. Gefördert wurde das Projekt von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) unter dem Aktenzeichen: Az: 38453/01-23

2 Einleitung und Ziele

Das Stockholmer System, das auch unter dem Namen Stockholmer Modell bekannt ist, ist eine Methode zur Pflanzung von Stadtbegrünung, insbesondere von Bäumen, aber auch von Grünflächen und anderem urbanen Grün. Das Stockholmer System ist in Schweden mittlerweile weit über Stockholm hinaus verbreitet und hat sich in zahlreichen schwedischen Städten¹ als primäre Bauweise für Baumgruben und ähnliche Grünanlagen durchgesetzt. Das System bestimmt die Größe und Bauform der städtischen Grünflächen, die Art und Weise wie gebaut wird und welche Substrate zum Einsatz kommen. Die sogenannten Struktursubstrate bestehen aus Schotter, Kompost und Pflanzenkohle, gewöhnliche Erde kommt im System nicht zum Einsatz. Die Flächen des Stockholmer Systems werden in der Regel so angelegt, dass Regenwasser von Straßen, Bürgersteigen, Parkplätzen, Dächern und anderen überbauten Flächen in die Struktursubstrate eingeleitet wird. Die stabilen Hohlräume zwischen den einzelnen Schotterkörnern bieten Raum für Baumwurzeln, gewährleisten den Gasaustausch mit der Umgebungsluft und im so geschaffenen Volumen kann das eingeleitete Wasser eine gewisse Zeit gespeichert werden. Die vorübergehende Speicherung von Regenwasser soll nicht nur die Verweilzeit des Wassers im Untergrund nach dem Prinzip der Schwammstadt erhöhen, sondern dient auch der Abfuhr und einer gewissen Filtration von großen Regenwassermengen, sodass die Kanalisation bei Starkregen entlastet wird. Auch sind diese Struktursubstrate je nach Bauweise stabil genug, um überbaut und als Fahrbahn oder Parkplätze genutzt zu werden.

Die Relevanz für das Projekt ergibt sich aus den zunehmenden Herausforderungen des Klimawandels, besonders in Städten. Städte heizen sich durch Bebauung und Versiegelung im Klimawandel noch wesentlich stärker auf als die restlichen Landesteile, zumal sich Hitze auch für längere Zeit und beispielsweise nachts im Stadtgebiet hält und Abkühlungswege, wie Frischluftschneisen oft gestört sind. Diese Hitze belastet die Bevölkerung und führt zu zahlreichen negativen Konsequenzen, unter anderem einer hohen Sterblichkeit unter kranken und älteren Menschen während Hitzewellen. Auch Flora und Fauna werden durch Hitze und Dürre extrem belastet. Dürreperioden halten inzwischen länger an, während gleichzeitig Starkregenereignisse und Überflutungen zunehmen. Daraus ergeben sich die Anforderungen an ein leistungsfähiges Regenwasser-Management.

¹ u.a. Malmö, Göteborg, Lund, Uppsala

Urbanes Grün hilft dabei, der Aufheizung entgegenzuwirken, da es Flächen verschattet und durch Evaporation von Wasser erheblich zur Kühlung der Umgebung beiträgt. Gleichzeitig sind Pflanzen in der Stadt besonders der Dürre und Hitze ausgesetzt, oft auch bedingt durch zu kleine Wurzelzonen und verdichtete Böden, sodass sie unzureichend mit Wasser, Luft und Nährstoffen versorgt sind. Dies führt zu Schäden, Minderwachstum und vorzeitigem Ausfall des urbanen Grüns, mit besonders drastischen Folgen bei Bäumen, die im Optimalfall eine besonders große Ökosystemdienstleistung im urbanen Bereich liefern. Neben mangelndem Wurzelraum, Verdichtungen und Wassermangel spielen auch Schadstoffbelastungen, z.B. durch Auftausalz, Reifenabrieb und Hundeurin eine wichtige Rolle bei der Schädigung von Stadtgrün. Hinzu kommen Schäden durch häufige Bauarbeiten und ein allgemeiner Rückgang der Biodiversität.

Als Lösung der beschriebenen Probleme gilt die Schwammstadt, die eine Vielzahl von Konzepten und Maßnahmen beinhaltet. Eine scharfe Definition, was eine Schwammstadt ausmacht, gibt es nicht, sie hat zahlreiche Ausprägungen und Interpretationen. Im Kern geht es um den Umgang mit Wasser, konkret um die Pufferung und Speicherung von Wasser, sowie die Behandlung von Starkregen, in Verbindung mit einer Ausweitung des Stadtgrüns. Seit den 1990er Jahren arbeiten Städte mit Grobschotter für Baumpflanzungen. Zu den Vorreitern gehören Städte in den Niederlanden, die Universität Hannover und die Stadt Osnabrück. Dem Grobschotter wurde zunächst konventionelle Pflanzerde in geringeren Mengen hinzugefügt. Derartige Struktursubstrate auf Basis von Gestein ermöglichen es, belastbare Verkehrsflächen zu schaffen, die dennoch gleichzeitig den Wurzeln Ausbreitungsmöglichkeiten bieten und Belüftung erlauben.

Auf Basis dieser Idee entwickelte die schwedische Hauptstadt Stockholm nach und nach ein eigenes System. Hierbei wurden zum Beispiel Belüftungsbrunnen eingeführt, um auch bei versiegelten Oberflächen den Gasaustausch zwischen Wurzelzone und der Atmosphäre zu gewährleisten. Ein wichtiges Augenmerk wurde auf die Aufnahme von Regenwasser gelegt, um Wasser von der Straße abzuführen, die Kanalisation zu entlasten und den Niederschlag besser den Bäumen zur Verfügung zu stellen. Im Jahr 2009 begannen die Expertinnen und Experten in Stockholm damit, diesem Substrat teilweise Pflanzenkohle und Kompost hinzuzufügen. Nachdem diese Tests sehr vielversprechend verliefen, entschied sich die Stadtverwaltung ab 2014 alle neuen Baumpflanzungen im Straßenbereich unter der Verwendung von Struktursubstraten mit Pflanzenkohle durchzuführen. Ebenso wurde dieses bewährte Substrat mit Pflanzenkohle für die Sanierung von Bestandsbäumen und bestehenden Pflanzgruben eingeführt. Auch in Regenbeeten, auf Versickerungsflächen und Grünflächen, sowie bei der Gebäudebegrünung werden Varianten dieses Substrats mit Pflanzenkohle genutzt.

In Deutschland wurde zu Projektbeginn bereits umfangreich über Schwammstadtkonzepte berichtet und vielerorts wurden schon verschiedene Maßnahmen umgesetzt. Jedoch waren die Struktursubstrate des Stockholmer Systems zu Projektbeginn in Deutschland entweder unbekannt oder wurden von manchen Expert*innen kritisch betrachtet, als System, das vor allen auf die Situation in Skandinavien zugeschnitten sei. In Österreich gab es zu Projektbeginn bereits umfangreichere Aktivitäten in den Städten Wien und Graz, die jeweils lokal angepasste Varianten des Stockholmer Systems umsetzen, ebenso in Zürich in der Schweiz.

Eine Hypothese dieses Projekts ist, dass das Fehlen von Handbüchern, Beschreibungen und Dokumentationen ein wesentlicher Grund dafür ist, warum eine Verbreitung des Systems in Deutschland zu Projektbeginn bisher weitestgehend ausgeblieben war.

2.1 Projektziele

Hauptziel des Projekts ist es, das Stockholmer System und damit den Einsatz von Pflanzenkohle in urbanen Pflanzsubstraten in Deutschland voranzutreiben. Bei urbanen Pflanzsubstraten stehen Pflanzgruben für Bäume im Zentrum, aber auch andere Systeme, wie Regenbeete und Dachbegrünung werden betrachtet. Aus dem Hauptziel ergeben sich mehrere Unterziele.

Zunächst sollen die Handbücher und Dokumente aus Schweden gesammelt werden. Ergänzend sollen aber auch spezifische Erfahrungen und (noch) nicht dokumentiertes Wissen vor Ort in Erfahrung gebracht werden. Anschließend soll die Ausgangssituation in Deutschland erfasst werden, um die Hemmnisse zu identifizieren und mögliche Lösungswege aufzuzeigen. Anschließend sollen Maßnahmen ausgearbeitet und umgesetzt werden, um den Einsatz von Struktursubstraten mit Pflanzenkohle in Deutschland auszuweiten. Dieses Unterziel umfasst die Übersetzung und Erstellung von Handbüchern und Informationsmaterial, die öffentlich und kostenlos bereitgestellt werden können. Darüber hinaus soll das Konzept in Workshops, Seminaren und über andere Kanäle bekannt gemacht werden. Zuletzt sollen Pilotprojekte zur Umsetzung in Deutschland angestoßen und umgesetzt werden.

3 Lessons learned & Erfolgskriterien aus Schweden

Dank der engen Zusammenarbeit mit der Stadt Stockholm sowie mit dem Projektpartner Ecotopic, die regelmäßig als Berater für die Stadt Stockholm agieren, standen für das Projekt Erfahrungswissen aus erster Hand und teilweise unveröffentlichte Dokumentationen zur Verfügung. Als Grundlage für das Projekt diente das Handbuch „Växtbäddar i Stockholms stad – en handbok 2017“ sowie dessen offizielle englische Übersetzung „Plant beds in the City of Stockholm – a handbook 2017“, die auf das Jahr 2022 datiert ist, aber aufgrund von Problemen mit der Barrierefreiheit bisher nicht über die Homepage der Stadt Stockholm verfügbar ist. Zu diesem Handbuch standen auch weitere Anhänge auf Schwedisch zur Verfügung.

3.1 Betrachtung der Situation in Schweden

Zur Einarbeitung in das Projekt wurden im Jahr 2023 gemeinsam mit Kollegen von Ecotopic Baustellen und Orte in Schweden besucht, an denen sich das Stockholmer System gerade in der Umsetzung befand, oder schon fertiggestellt wurde. Ein Schwerpunkt lag hierbei auf Südschweden und insbesondere auf Malmö. Während des Besuchs vor Ort wurden unterschiedliche Systemvarianten für Struktursubstrate betrachtet und in Rezepturen für die Anwendung in Baumgruben, Regenbeeten, Magerrasen und Gebäudebegrünung festgehalten.

Los ging es mit einer Besichtigung des Mischplatzes der Firma Biokolprodukt Global AB (Abbildung 1). Diese Firma ist für das Tagesgeschäft der von unserem DBU-Projektpartner EcoTopic AB entwickelten Ideen und Substrate zuständig. Der Mischplatz befindet sich auf dem Gelände einer anderen Firma mit der Biokolprodukt in den Bereichen Rohstoffbezug, Substratentwicklung und -produktion, Ausschreibung, Akquise und Logistik zusammenarbeitet.



Abbildung 1: Kolmakadam ist der schwedische Begriff für „Pflanzenkohle-Schotter“. Auf dem linken Foto die grobere Mischung für den erweiterten Wurzelraum, rechts auf dem Foto die feinere Mischung für Pflanzgruben, Beete, Fassadenbegrünungen, Kübelpflanzungen und vieles mehr.

In Malmö wurde ein städtisches Parkhaus (Abbildung 2) besucht, an dessen Fassade das zum damaligen Zeitpunkt größte Projekt im Bereich Fassadenbegrünung angebracht ist. An dieser Fassadenbegrünung wurde mit Wandmodulen gearbeitet, die mit leichtem Pflanzenkohle-Substrat gefüllt sind und durch deren perforierbare Front direkt gepflanzt werden kann. Die standortspezifische Bepflanzung des Projektes hat der schwedische Landschaftsgärtner Peter Korn (Klinta Trädgård, Hör) geplant und umgesetzt [1].

Des Weiteren konnten in Malmö ein urbaner Tiny Forest (Abbildung 3), sowie weitere schon umgesetzte Projekte besichtigt werden. Dieser Mikrowald wurde hälftig mit zwei unterschiedlichen Substratlösungen angelegt – einmal mit (Abbildung 3 links) und einmal ohne (rechts) Pflanzenkohle. Anhand einer Luftaufnahme nach dem Hitzesommer 2018 ist deutlich zu erkennen, dass die Hälfte mit Pflanzenkohle die Trockenheit deutlich besser verkraftet hat.



Abbildung 2: Eine Seite des Parkhauses in Malmö in der Totalen (Foto links), rechts ein genauerer Blick auf die verwendeten Wandmodule nebst Bepflanzung.



Abbildung 3: Tiny Forest in Malmö, links, schwarz umrandet die Hälfte mit dem Pflanzenkohle-Substrat.

Schließlich wurde eine weitere, begrünte Fassade, eine Innenhofbepflanzung mit Bäumen und Stauden sowie eine revitalisierte Baumgruppe in Malmö besichtigt (Abbildung 4 und Abbildung 5). Dort wurde überall die bewährte Mischung aus Splitt, Pflanzenkohle und Schotter eingesetzt.



Abbildung 4: Im Boden gepflanzte Fassadenbegrünung in Malmö (Foto links) sowie das verwendete Pflanzenkohle-Substrat (Foto rechts).



Abbildung 5: Auch unter dem Holzdeck befindet sich eine Schicht aus Splitt, Pflanzenkohle und Kompost, über diese wird auch das Dachwasser verteilt (Foto links). Rechts eine mit demselben Substrat revitalisierte Grünfläche mit Bäumen.

In Landskrona konnte eine Baustelle besichtigt werden, bei der gerade ein Teilabschnitt mit Regenbeet nach dem BlueGreenGrey-System (BGG) [2] angelegt wurde (Abbildung 6).



Abbildung 6: Die umliegenden Flächen entwässern in das Regenbeet - so kommt es hier regelmäßig zu kurzzeitigem Wasserstau und die gepflanzten Stauden werden ausreichend versorgt.

Während des gesamten Aufenthaltes und in einem zusätzlich veranschlagten Arbeitstreffen kam es zu intensivem Austausch bezüglich der in Stockholm, Malmö und darüber hinaus verwendeten Substratrezepturen. Dieser Austausch bildete die Grundlage für die Entwicklung der deutschen Anwendungsinformationen der Carbuna AG, siehe Kapitel 6.2 und Anhang A.

Zum Schluss des Besuchs in Schweden wurde der Landschaftsgärtner Peter Korn in seinem Garten Klinta Trädgård in Höör besucht. In einem sehr anschaulichen Rundgang erklärten er und sein Team uns viel über die Herangehensweise von Peter Korn – von der Natur lernen, ein Augenmerk auf die Wurzelentwicklung werfen und mit so wenig Nährstoffen wie möglich mit einer angepassten Pflanzenauswahl jedem Standort und jedem Bauvorhaben gerecht werden. Er arbeitet schon sehr lange mit trockenheitsresistenten Pflanzen, mineralischen Substraten für Stauden und die Gebäudebegrünung – sowie mit Pflanzenkohle, von der er sehr überzeugt ist. Auf seinem Gelände experimentiert er vor allen Dingen mit verschiedensten Substraten und Rezepturen für die Dachbegrünung und für Staudenbeete (Abbildung 7).



Abbildung 7: Im Hintergrund zu erkennen: Die schon erwähnten Module zur Fassadenbegrünung.

Insgesamt wurden in Schweden Interviews mit 15 Stakeholdern geführt.

Die Grundlage für Bauvorhaben in Schweden ist die AMA (übersetzt: Allgemeine Material und Arbeitsbeschreibung). Hierbei handelt es sich nicht um einen Gesetzestext, sondern um einen freiwilligen Standard, der jedoch die Einhaltung aller geltenden Gesetze sicherstellt [3]. AMA ist in Schweden so weit verbreitet, dass eine Abweichung davon in Ausschreibungen und Dokumentationen explizit erwähnt werden muss.

Ausgehend von den gesammelten Eindrücken und Erfahrungen sowie dem dadurch zu Beginn des DBU-Projekts initiierten Wissenstransfers nach Deutschland ergab sich schnell ein umfassenderes Bild im Vergleich zum Stand der Dinge des aktuellen Handbuchs der Stadt Stockholm (Stand 2017) (siehe Abbildung 8). Während das Handbuch schon Themen wie die Pflanzgrubenerneuerung oder die Aufwertung von Baumstandorten auf Grünflächen behandelt, kommen andere Aspekte noch nicht zur Sprache. Auf Magerrasen und Regenbeete wird beispielsweise genauso wenig im Detail eingegangen wie auf weitere Anwendungen der Bestandsvitalisierung (siehe Abbildung 9).

Das „Stockholmer System“ im urbanen Grün

Übersicht

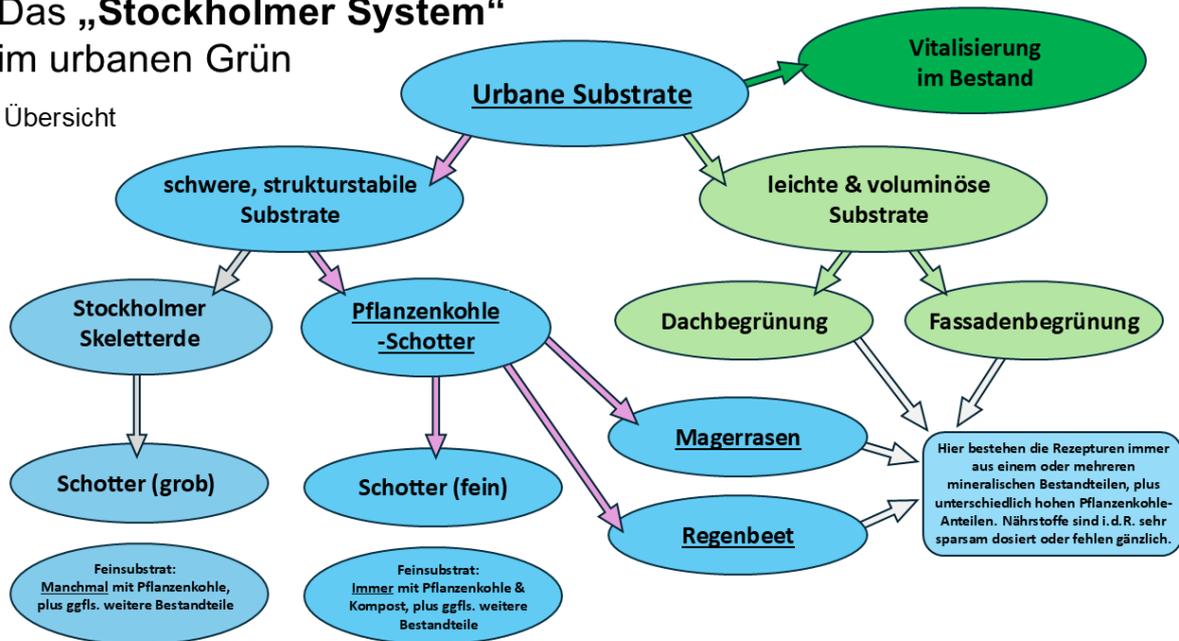


Abbildung 8: Das Stockholmer System wie es sich inzwischen darstellt. Es bildet die Grundlage für die Etablierung im deutschsprachigen Raum in verschiedenen, meist lokaleren Auslegungen. Komplettiert wird es durch die Vitalisierung im Bestand, siehe hierzu Abbildung 9.

Das ganze Modul der leichten und voluminösen Substrate wird vom Stockholmer Handbuch gar nicht dargestellt. Während der Projektlaufzeit war es zwar möglich, Erfahrungen, Wissen und Fallbeispiele aus Schweden zusammen zu stellen, nennenswerte Bauvorhaben in den Bereichen Dach- und Fassadenbegrünung zu initiieren oder zu begleiten steht jedoch noch aus. Die weitere Bearbeitung dieses Modules sollte in weiteren Arbeiten im Rahmen von Studien ausführlich beleuchtet werden.

Das „Stockholmer System“ im urbanen Grün

Vitalisierung im Bestand

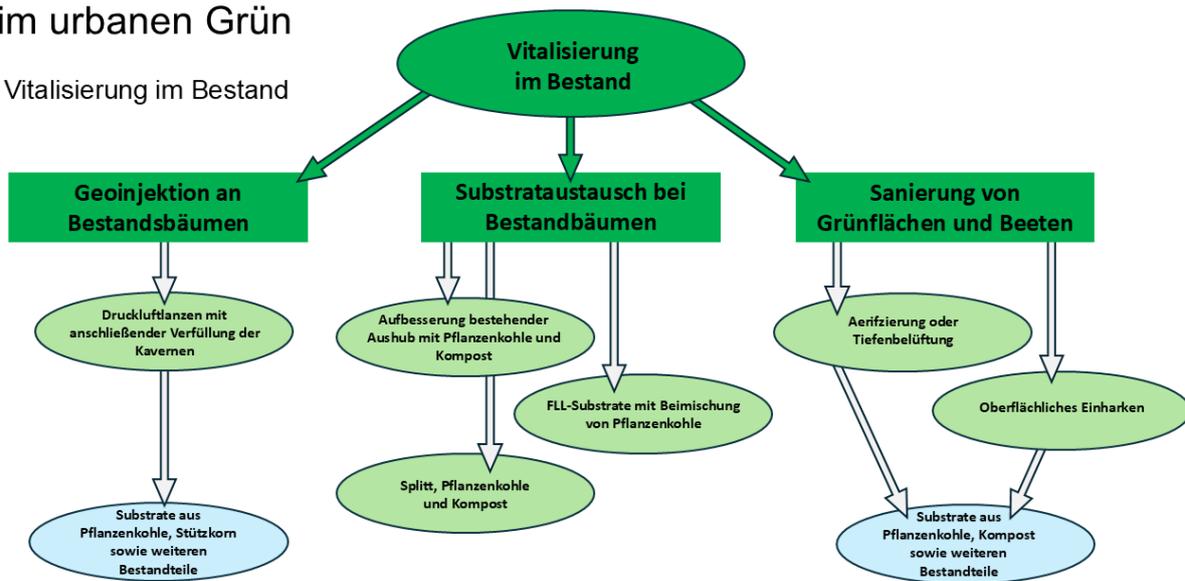


Abbildung 9: Ein genauerer Blick auf das Modul „Vitalisierung im Bestand“ des Stockholmer Systems.

3.2 Besondere Bedeutung der Filterleistung von Substraten

In Stockholm liegt bei der Anwendung von Struktursubstraten ein wichtiger Fokus auf der Filterleistung dieser Substrate. Aufgrund der geografischen Lage am Stockholmer Schärengarten zwischen dem See Mälaren und der Ostsee, spielt Wasser eine besondere Rolle in Stockholm. Ein erheblicher Teil des Stadtgebietes sind Wasserflächen. Die Stadt Stockholm bekennt sich daher zu ihrer Verantwortung, die eigenen und umliegenden Gewässer möglichst sauber zu halten. Ein erheblicher Teil der Verschmutzungen auf Verkehrswegen kann bei Regen in die Gewässer in und um Stockholm gespült werden und droht insbesondere die Ostsee zu verunreinigen. Daher ist es wichtig, dass der Abfluss von Verkehrswegen und Dächern möglichst lange zurückgehalten und gefiltert wird. Die Pflanzenkohle in den Struktursubstraten ist hierfür besonders relevant. In einigen Bauformen werden separate Filterschichten mit Pflanzenkohle unterhalb des Struktursubstrats eingebaut. EcoTopic hat im Rahmen des Projekts mehrere Arten von Pflanzenkohle auf ihre Filterleistung untersucht. Hierbei wurde einerseits die Filterung und Abgabe von Nährstoffen, wie Stickstoff und Phosphor untersucht und andererseits die Aufnahme von Schadstoffen wie PAK und PFAS.

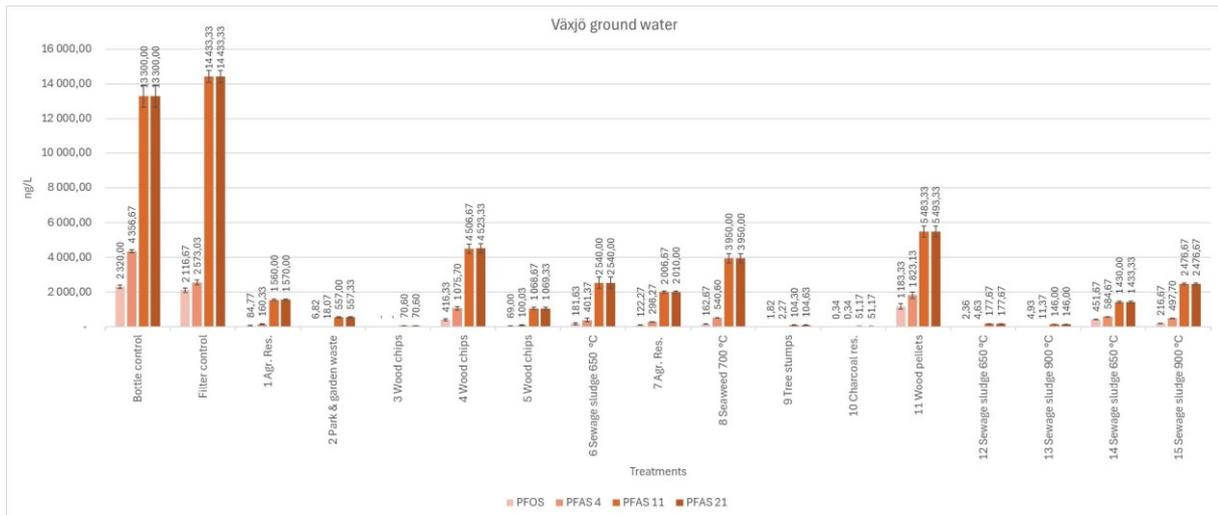


Abbildung 10: PFOS und PFAS im Grundwasser beim Flughafen Växjö in Småland, Schweden nach Filtration durch Pflanzenkohle. Nr. 5 ist die grobe Holzkohle CPK20. Versuchsdurchführung: Ecotopic

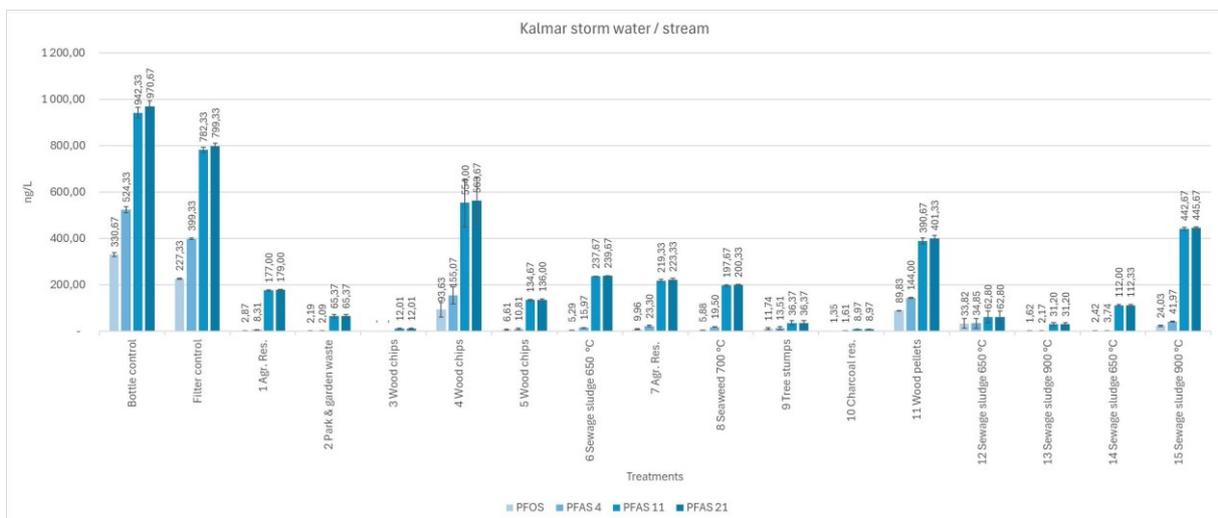


Abbildung 11: PFOS und PFAS von Regenwasser beim Flughafen Kalmar, Schweden nach Filtration durch Pflanzenkohle. Nr. 5 ist die grobe Holzkohle CPK20. Versuchsdurchführung: Ecotopic

Die Untersuchung zweier verschiedener mit PFAS verschmutzter Wässer mit jeweils drei Wiederholungen brachte ein deutlich übereinstimmendes Ergebnis zu Tage: Die verwendeten Pflanzenkohlen zeigten bei den beiden unterschiedlichen Wasserproben trotz großer Konzentrationsunterschiede der untersuchten Stoffe relativ ähnliches Verhalten. Abbildung 10 und Abbildung 11 zeigen die Mittelwerte für die Behandlungen mit drei Wiederholungen. Die Zahlen stellen Daten aus den beiden verschiedenen getesteten Wasserquellen dar.

Phosphor und Stickstoff wurden ebenfalls analysiert (Abbildung 12 und Abbildung 13), jedoch auf der Grundlage kombinierter Wiederholungen aus jeder Behandlung. Hier zeigt sich, dass sich bei Pflanzenkohlen ein Equilibrium bei der Nährstoffaufnahme einstellt und insbesondere Pflanzenkohlen aus Reststoffen oft hohe Mengen an Stickstoff und Phosphor mitbringen können, die auswaschbar sind und damit pflanzenverfügbar werden.

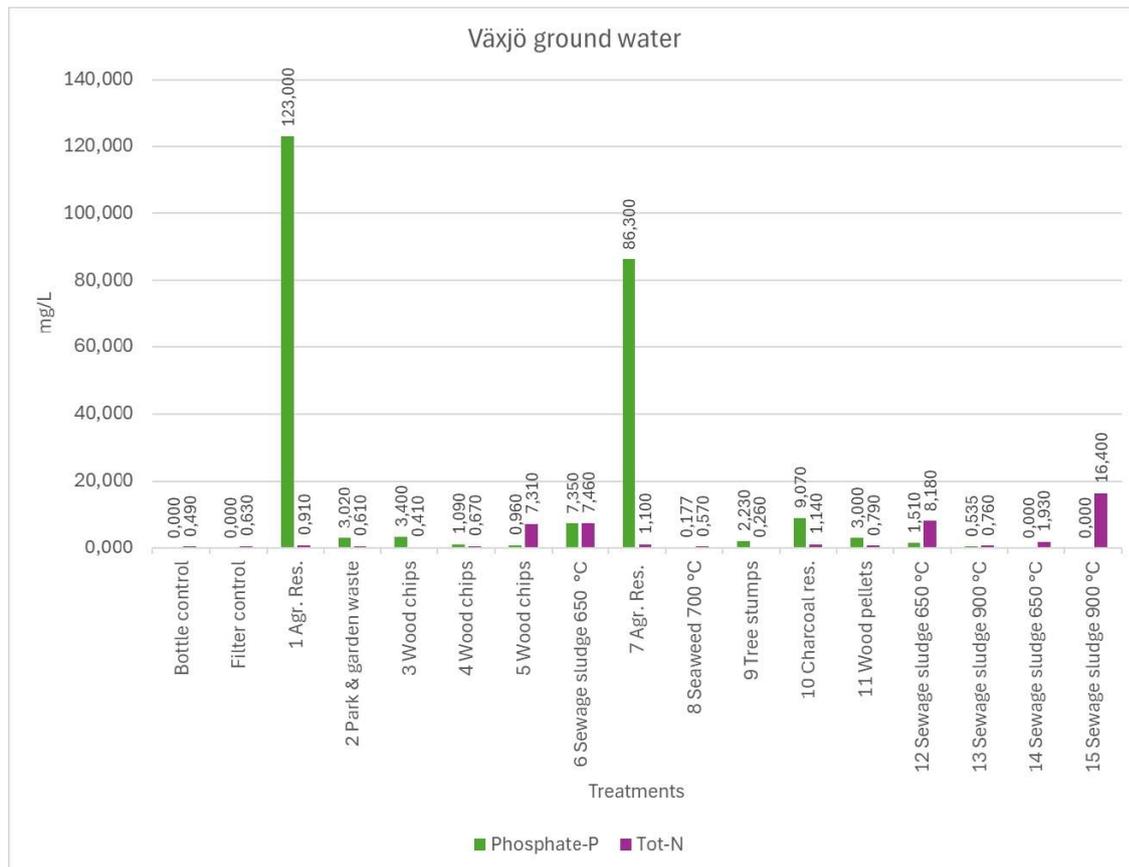


Abbildung 12: Phosphat und Stickstoff im Grundwasser beim Flughafen Växjö in Småland, Schweden nach Filtration durch Pflanzenkohle. Nr. 5 ist die grobe Holzkohle CPK20. Versuchsdurchführung: Ecotopic

Ein weiteres Ergebnis der Studie ist, dass Pflanzenkohle, die aus holzartiger Biomasse bei hoher Produktionstemperatur hergestellt wird und eine feine Korngrößenverteilung aufweist, in den Tests das beste Potenzial für die Filtration von PFAS hat (Abbildung 14). Einige Pflanzenkohlen aus Klärschlamm zeigten ebenfalls vielversprechende Ergebnisse in Hinblick auf PFAS. Bei der Filtration von Stickstoff hat aber beispielsweise eine gröbere Pflanzenkohle aus holzartiger Biomasse besser abgeschnitten als die feine Variante.

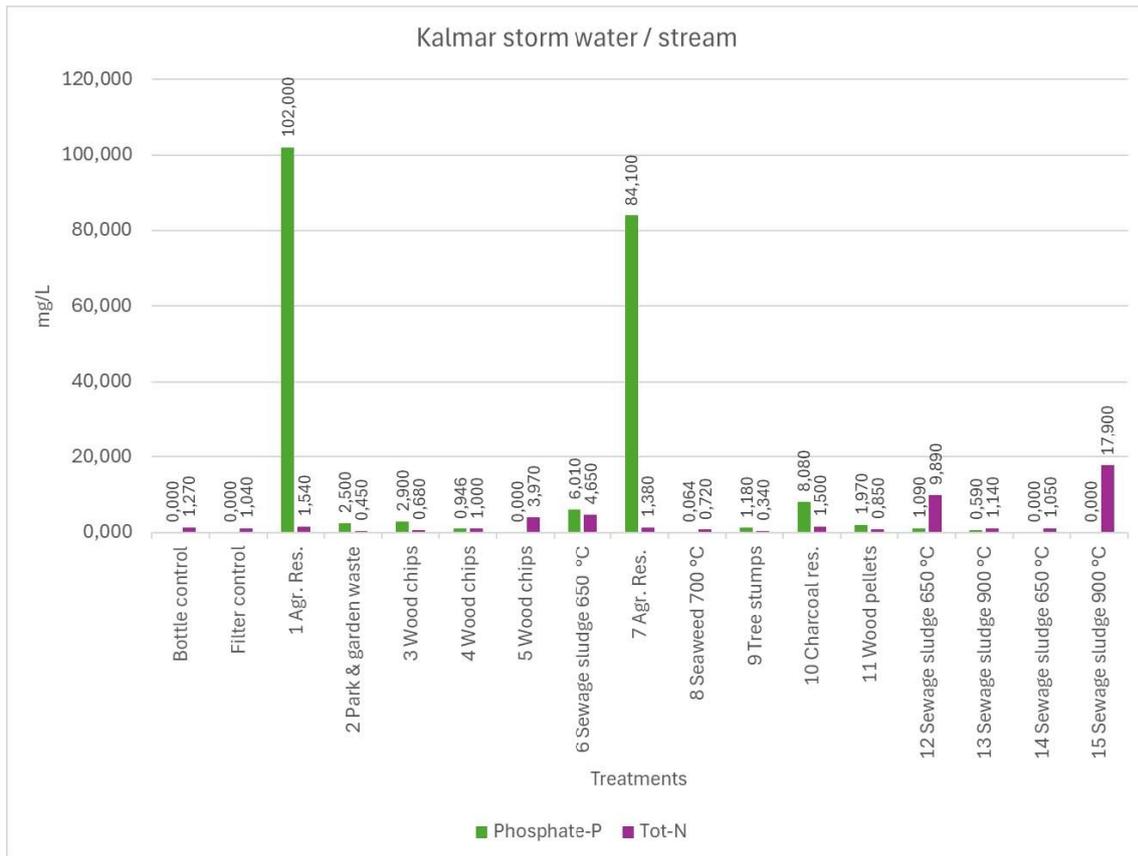


Abbildung 13: Phosphat und Stickstoff von Regenwasser beim Flughafen Kalmar, Schweden nach Filtration durch Pflanzenkohle. Nr. 5 ist die grobe Holzkohle CPK20. Versuchsdurchführung: Ecotopic

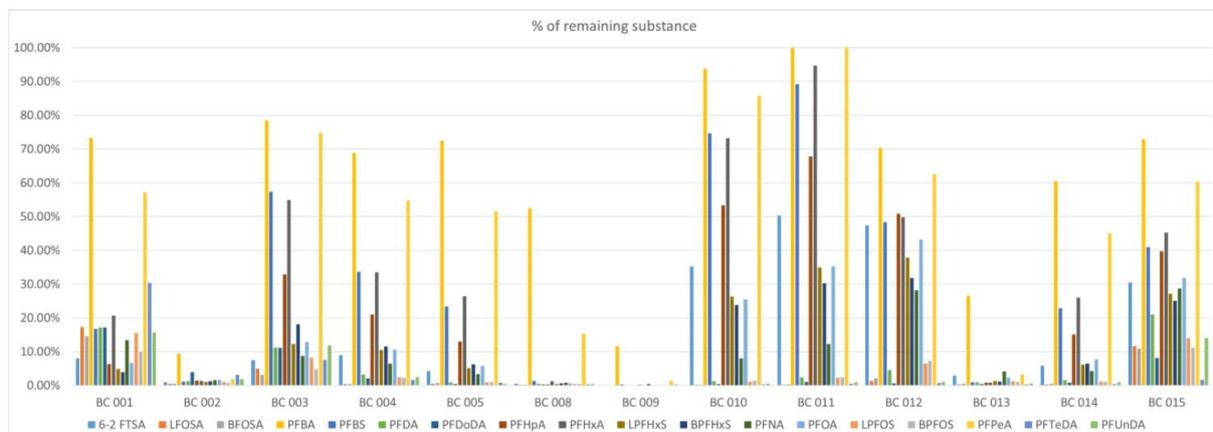


Abbildung 14: Verbleibende Menge PFAS nach Behandlung mit Pflanzenkohle, Erstellt durch Eriksson, Celma, Wiberg, Dahlberg & Persson

Schlussendlich sind jedoch weitere Untersuchungen und zusätzliche Analysen erforderlich, um zu bestätigen, welche der verschiedenen Pflanzenkohleeigenschaften tatsächlich für die Ergebnisse am wichtigsten sind.

Im Hinblick auf eine Anwendbarkeit des Stockholmer Systems in Deutschland wurde während des Projekts immer wieder von Expert*innen, die sich negativ über das Konzept äußern, mit der Meinung argumentiert, dass Stockholm deshalb einen Fokus auf Filterleistung lege, weil in der

Stadt deutlich mehr Niederschlag vorkomme als in deutschen Städten. Diese Meinung widerspricht jedoch den gemessenen Daten. So gibt es beispielsweise in Berlin und München im Jahresdurchschnitt wesentlich mehr Niederschlag als in Stockholm, und in München auch wesentlich mehr Regentage [4].

3.3 Erfolgskriterien in Schweden

Ein Verständnis dafür, dass an bestehenden Situationen und Zuständen etwas geändert werden muss, ist oftmals der Hauptgrund dafür, dass aus den Ideen einer einzelnen Person eine Idee mit größerer Reichweite wird. So war es auch mit den Anfängen der Idee zum Stockholmer System. In Stockholm gab es Anfang des Jahrtausends die breite Erkenntnis, dass es der Mehrzahl der Straßenbäume schlecht ging. Einige sehr motivierte Mitarbeiter der Stadt Stockholm, allen voran Björn Embrén, haben sich der Herausforderung gestellt, an dieser Situation etwas zu ändern. Inspiriert waren sie hierbei von ersten Erfahrungen aus weiteren skandinavischen Ländern bzgl. der Belüftung von Skeletterden, sowie von den ersten Arbeiten in Deutschland, maßgeblich in Hannover und Osnabrück. Es waren also lokale Verfechter des neuen „Stockholmer Systems“, die in den Folgejahren aus ihrer Verantwortungsposition innerhalb der Stadt heraus die Ideen weiter voranbrachten, Schritt für Schritt. Ihr Erfolg wurde auf diese Art und Weise auch über Stockholm hinaus bekannt, was zu einer weiteren Verbreitung und Verstetigung des Stockholmer Systems führte. Der klar sichtbare Erfolg in mehreren schwedischen Städten führte zu verstärkter Verbreitung – und zu verstärkter Aufmerksamkeit dem System gegenüber. Beispielsweise hat die Stadt Stockholm über das sogenannte Stockholm Biochar Project Fördermittel von Bloomberg Philanthropies erhalten, und aus diesen Mitteln wurde schließlich auch das Handbuch der Stadt in seiner Fassung von 2017 ins Englische übertragen. Nach einer gewissen Ausbreitung des Systems war und ist das Handbuch der Stadt Stockholm einer der Katalysatoren schlechthin für einen beobachtbaren Selbstläufer-Effekt des Systems. Eine anpackende „Just-do-it“-Mentalität vieler an der Ausbreitung des Systems Beteiligter, sowie keine zu strengen Vorschriften waren und sind ganz klar von Vorteil. Bis heute lebt das Stockholmer System also auch vom Mut vieler Beteiligter, in Situationen beispielhaft voranzugehen, in denen man das bisher aus verschiedenen Gründen nicht tat.

4 Einsatz von Struktursubstraten in Deutschland

Struktursubstrate für Baumgruben sind in Deutschland bereits weit verbreitet, werden jedoch meistens ohne Pflanzenkohle ausgeführt. Die in Deutschland für die Pflanzung von Stadtbäumen vorherrschende Bauweise ist die Pflanzgrube nach FLL „Empfehlungen für Baumpflanzungen“ [5]. Während die von der FLL empfohlenen Pflanzsubstrate breite Anwendung finden, werden insbesondere die Vorgaben zur Größe der Pflanzgrube häufig aus Kostengründen oder aus praktischen Gründen deutlich unterschritten.

Insbesondere bei straßennahen Rigolen, die mit Stauden und eher seltener mit Bäumen bepflanzt werden, haben sich Struktursubstrate in Deutschland bereits in sehr vielen Kommunen durchgesetzt. Für Baumpflanzungen hingegen werden dezidierte Baumsubstrate, wie das nach FLL-Richtlinien 1 und 2 zugelassene Substrat, verwendet, die eine wesentlich feinere Struktur haben als das im Stockholmer System verwendete Material. In dieser Form sind sie dadurch weniger gut geeignet für die Pufferung von Wasser bei Starkregenereignissen im Vergleich zu den Ansätzen im Stockholmer System. Ein wichtiger Faktor bei der Bewertung von Struktursubstraten in Deutschland ist der Widerstand gegen mechanische Belastungen, sprich Verkehr und ruhender Verkehr. Hier bestehen Vorgaben zur Belastbarkeit von überbaubaren Struktursubstraten.

4.1 Zielgruppenanalyse Deutschland und bisherige Umsetzungen

Ein Ziel der Stakeholder- und Zielgruppenanalyse war es herauszufinden, welche Städte besonders von Problemen betroffen sind, die durch das Stockholmer System behoben werden können. Grundsätzlich sind jedoch alle Städte in Deutschland stark betroffen, da sich Deutschland durch den Klimawandel bereits erheblich mehr erwärmt hat, als der globale Durchschnitt [6]. Die Deutsche Umwelthilfe veröffentlicht für die größten deutschen Städte jährlich einen Hitze-Check, bei dem Flächenversiegelung und Grünflächen untersucht werden [7], jedoch sind diese Zahlen zu abstrakt und aggregiert, um als Pflanzenkohle-Unternehmen daraus Kommunikation mit den besonders betroffenen Städten abzuleiten. Ein wichtiger Faktor bei der Anwendung des Stockholmer Systems ist daher im Moment eher, wie weit Städte bei der Entwicklung eines Klimaschutzkonzepts vorangeschritten sind. Hier sind größere Städte aufgrund strengerer Vorgaben tendenziell weiter fortgeschritten, jedoch spielen auch Einzelfaktoren, wie politische Ambitionen der lokalen Politik und Kompetenzen der zuständigen Stellen eine wichtige Rolle, sodass nicht pauschal bestimmte Städte als weiter fortgeschritten eingeschätzt werden können.

Die Stakeholder innerhalb der Städte können folgendermaßen hierarchisiert werden:

Politische Entscheidungen

Politische Entscheidungen sind die Grundlage für Bau- und Pflanzmaßnahmen und entscheiden auch über die Rahmenbedingungen und die Erstellungen von Konzepten für Klimaschutz, Hitzeschutz, Hochwasserschutz und andere Themen der Stadtentwicklung. Zwischen der Entscheidung zur Konzepterstellung, der Ausarbeitung eines Konzepts und der tatsächlichen Umsetzung kommt es häufig zu neuen politischen Ausrichtungen, sodass viele sinnvolle Konzepte nicht umgesetzt werden. Je nach Stadt können politische Entscheidungen sehr offen oder sehr detailliert formuliert sein, sodass den ausführenden Behörden unterschiedliche Entscheidungsspielräume zur Verfügung stehen.

Beamte und Angestellte in den Kommunen

Je nach Befugnis und Persönlichkeit haben Beamte und Angestellte in den Kommunen sehr großen, bis hin zu sehr geringem Einfluss auf Entscheidungen über die Detailausführung von Pflanz- und Baumaßnahmen. In dieser Entscheidungsphase scheitern aus unserer Erfahrung die meisten Projektideen, da eine sehr geringe Risikoaffinität vorliegt und Maßnahmen bevorzugt nach etablierten Normen und Standards durchgeführt werden. Es ist daher gerade für Pilotprojekte sehr sinnvoll, Entscheidungen auf der politischen Ebene zu treffen, sodass für die ausführende Ebene klare Handlungsanweisungen vorliegen, und eine entsprechende Umsetzung garantiert werden kann. Mittelfristig müssen Normen und Standards so erweitert werden, dass das Stockholmer System als eine etablierte Methode anerkannt ist, die von Beamten und Angestellten ohne Risiko als Handlungsoption gewählt werden kann.

Beratungsstäbe

Konzepte wie zum Klimaschutz, Bevölkerungsschutz und Wassermanagement werden oft von Stabstellen oder ähnlichen Gremien innerhalb einer Kommune betreut und von externen Agenturen umgesetzt. Während die Konzepte meist sehr gut ausgearbeitet sind, haben die Beamten und Angestellten in den Stabstellen aus unserer Erfahrung oft keine oder nahezu keine Durchsetzungsmöglichkeiten. Nicht nur sind die Umsetzungen auf politische Entscheidungen angewiesen, die Stabstellen selbst haben meist keine Mittel die Maßnahmen umzusetzen, da diese Kompetenzen in der Regel bei anderen Ämtern, wie Tiefbauamt, Abwasseramt oder Grünflächenamt liegen. Dennoch sind die Stabstellen oft die ersten Ansprechpartner*innen, wenn es um die Etablierung des Stockholmer Systems geht.

Landschaftsarchitekt*innen

Landschaftsarchitekt*innen bzw. Architekt*innen generell haben sehr großen Einfluss auf die detaillierte Umsetzung von Maßnahmen und sind auch bei der Erstellung von Konzepten äußerst relevant. Sie sind sehr wichtige Multiplikator*innen bei der Verbreitung des Stockholmer Systems in Deutschland. Über diese Gruppe der Stakeholder hat sich die Fachberatung bislang als am nachhaltigsten erwiesen.

GaLaBau-Betriebe

Die Person, die am Ende den Bagger steuert oder die Schaufel nutzt, hat sehr großen Einfluss auf die Umsetzung der Baumaßnahme. Bei zu unklaren Vorgaben oder zu lockerem Umgang mit ebendiesen kann es dazu kommen, dass wesentliche Elemente vergessen werden oder aus Absicht nicht eingebaut werden, sodass ein Bauvorhaben an mangelnder Umsetzung scheitern kann. Wichtig sind daher nicht nur konsistente, umfangreiche und zielführende Vorgaben, gerade in dieser Frühphase der Umsetzung des Stockholmer Systems sind Schulungen und Erklärungen zum System vor Ort äußerst wichtig. So wird der Erfahrungsaustausch zwischen Bauvorhaben ermöglicht und die Identifikation mit dem System gestärkt. Erfahrungen mit dem Stockholmer System können künftig ein Wettbewerbsvorteil für GaLaBau-Betriebe werden.

Privatgrundstücke

Nicht zu vernachlässigen ist der Einsatz des Stockholmer Systems auf Privatgrund, nicht zuletzt, weil sich in den Städten ein wesentlicher Anteil der Flächen in Privatbesitz befindet. Auf Großbaustellen, bei Parkplätzen oder Industrieflächen kann das Stockholmer System im großen Stil eingesetzt werden. Die kürzeren Entscheidungswege im privaten Sektor sollten zu einer deutlich schnelleren Umsetzung führen und der unternehmerische Blick auf Rentabilität und Risiko macht das System wirtschaftlich attraktiv. Die Politik sollte einerseits Voraussetzungen schaffen, die diese Bauweise ermöglichen bzw. nicht behindern und könnte andererseits im Sinne der eigenen Schutzkonzepte an private Grundbesitzer herantreten. So könnten auch diese zu Maßnahmen z.B. beim Hochwasserschutz verpflichtet werden. Probate Mittel sind beispielsweise Auflagen zum Bau von Parkplätzen, die dafür sorgen, dass Parkplätze zukünftig (gemäß Stockholmer System) Regenwasser aufnehmen und/oder versickern können müssen, anstatt es lediglich in die Kanalisation abzuleiten

4.2 Bisherige Verbreitung des schwedischen Ansatzes in DACH

Zu Projektbeginn gab es in Deutschland nur wenige kleine Ansätze nach dem Stockholmer Modell, die meist von der Carbuna AG oder Mitbewerbern auf dem Pflanzenkohlemarkt initiiert wurden. In Darmstadt wurde etwa zu diesem Zeitpunkt eine Pyrolyseanlage gebaut, die Siebüberläufe aus der Grüngutsammlung zu Pflanzenkohle verarbeiten soll und die auch im Stadtgrün eingesetzt werden sollte. Größere Verbreitung des Systems gab es zu Projektbeginn bereits in Wien, Graz und Zürich.

4.3 Befragung von Stakeholdern in Deutschland

Im Zuge der Eruiierung des Umsetzungsgrades des Stockholmer Systems im deutschsprachigen Raum wurden viele Gespräche mit führenden Expert*innen, Wissenschaftler*innen sowie Verantwortlichen in verschiedenen Kommunen geführt. Dabei ging es vor allen Dingen darum, besser einschätzen zu können, welcher Stellenwert ausgewählten Schlagwörtern und Konzepten zukommt, beispielsweise der Schwammstadt, dem Überflutungs- und Hitzeschutz, der Klimawandelanpassung, dem Stadtgrün bzw. den Stadtbäumen sowie den Struktursubstraten und der Rolle von Pflanzenkohle. Wie bekannt ist zudem das Stockholmer System? Wie wird dessen Potential, gerade in Hinblick auf den möglichen Spielraum in bestehenden Regelwerken eingeschätzt?

In diesem Zusammenhang wurde während des Projekts bei verschiedenen Anlässen mit einem der führenden Büros in Deutschland rund um das Thema Regenwasser zusammengearbeitet, der Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH aus Hoppegarten bei Berlin. Das Projekt konnte konkrete Fachberatungen in einzelnen Bauvorhaben finanzieren, sowohl gegenüber der Bauherrenschaft als auch gegenüber den Planungsbüros, insbesondere aus dem Bereich der Landschaftsarchitektur. Darüber hinaus war die Ingenieurgesellschaft Sieker ein äußerst verlässlicher und kooperativer Ansprechpartner sowohl bei Fragen rund um die Funktionsweise verschiedener Fachgremien und Arbeitskreise bei DWA und FLL, als auch bei der inhaltlichen und fachlichen Einordnung der verschiedenen Positionen rund um das Thema Schwammstadt.

4.4 Umsetzungshemmnisse in Deutschland

Um die Umsetzungshemmnisse für den Wechsel auf neue Systeme wie Schwammstadt oder die Pflanzkohlenutzung in Deutschland zu identifizieren, wurden Gespräche mit zahlreichen Verantwortlichen aus Planungs- und Architekturbüros, Kommunen, Politik sowie Landschafts-, Garten- und Tiefbau geführt.

Einer der Hauptgründe für nicht durchgeführte Maßnahmen sind fehlende finanzielle Mittel. Das Stockholmer System erfordert wesentlich größere Pflanzgruben, weshalb die Kosten pro Maßnahme deutlich höher sind als bei der Pflanzung in kleine oder bestehende Pflanzgruben. Angesichts der jährlichen Budgets kann es auf der einen Seite sein, dass eher mehrere kleine Maßnahmen finanziert werden als eine größere Umstellung, auch wenn die kleineren Maßnahmen über einen Zeitraum von mehreren Jahren höhere Kosten verursachen können als ein konsequenter, großer Umbau. Auf der anderen Seite gibt es immer mehr die Einsicht, dass Städte Klimaschutzkonzepte, Hitzeschutzkonzepte, Dürrekonzepte und Überflutungsmanagement benötigen, um mit dem im Rahmen des Klimawandels immer häufiger werdenden Extremwetter und den damit verbundenen Schadensereignissen zurechtzukommen und noch höhere Folgekosten zu vermeiden. Ebenso gab es in den letzten Jahren immer wieder großzügige Förderprogramme aus Bundesmitteln, die Maßnahmen zu großen Teilen finanzieren.

In so gut wie allen Stadtzentren ist Platzmangel ein Hindernis bei der Durchführung von Maßnahmen. Hierbei sind beim Thema Schwammstadt auch die unterirdische Infrastruktur (Fachbegriff: Sparten), wie Rohrleitungen, Kabel und Zisternen zu berücksichtigen. Die Durchsetzung von Schwammstadt-Konzepten geht oft Hand in Hand mit Konzepten zur Mobilitätswende, allein deshalb, weil in den meisten Städten erhebliche Flächen als Stell- und Verkehrsflächen für den motorisierten Individualverkehr belegt sind. Obwohl ein Umbau des Mobilitätsportfolios zahlreiche Vorteile für das Klima und der Lebensqualität in den Innenstädten bietet, löst die Ankündigung eines solchen Umbaus oft irrationale politische Reaktanz aus, da sie angeblich Autofahrern und der Wirtschaft schade. Studien zu diesem Thema zeigen jedoch immer wieder, dass eine Reduktion des motorisierten Individualverkehrs zu einer höheren Lebensqualität im betroffenen Gebiet und gesteigerten Umsätzen beim betroffenen Einzelhandel führt [8]. Daher ist es sinnvoll Maßnahmen zur Verkehrswende mit Maßnahmen der Schwammstadt zu koppeln.

Eine wichtige Erkenntnis des Projekts ist die Relevanz von freiwilligen Standards bei der Umsetzung von Bauprojekten, wie AMA in Schweden und die Standards von FLL und DWA in Deutschland. Solche Standards haben den Vorteil, dass sie den Kommunen und Projektträgern die Planung wesentlich erleichtern, da nicht alle relevanten Gesetze und Vorschriften individuell abgeprüft

werden müssen. Allerdings stellen diese Standards auch erhebliche Hürden für die Etablierung neuer Produkte und Konzepte dar. Während es in einigen Fällen möglich ist solche Produkte und Konzepte im Rahmen der bestehenden Regeln einzubetten, wie z.B. bei Pflanzenkohle in Substraten, erfordern andere eine umfangreichere Erweiterung oder Aktualisierung der bestehenden Standards. Dies kann aufgrund der langwierigen Gremienarbeit oft Jahre dauern. Auch erwarten die Normungsgremien in der Regel etablierte Praxisbeispiele, die beweisen, dass die Änderung zweckmäßig und unschädlich ist. So ist es zunächst schwierig, diese Praxisbeispiele ohne bestehende Standards umzusetzen, da hierfür ein erheblicher Überzeugungs- und Planungsaufwand entsteht, anschließend verzögert sich die Skalierung auf mehrere Jahre aufgrund des Normungsprozesses. In Fällen, in denen ein Produkt oder Konzept in die bestehenden Standards interpretiert werden kann, ist dies nicht zwangsläufig eine Garantie für Erfolg, da die neuen Alternativen nicht im Standard vorkommen und damit immer wieder zusätzlich beworben werden müssen. Auch sind viele Stakeholder außergewöhnlich skeptisch, wenn sich Neuerungen unter bestehenden Regeln zu etablieren versuchen. Hier wird gelegentlich eine Täuschungsabsicht unterstellt, da das Produkt oder Konzept nicht explizit im Standard aufgeführt wird.

Aufgrund des fehlenden Erfahrungswissens kommt es bei der Planung häufig zu Hemmnissen, insbesondere wenn keine sachkundige Person hinzugezogen wird oder ausreichend in die Planung eingebunden wird. Neben Planungsfehlern sind auch unklar formulierte Ausschreibungen ein Hemmnis für die Projektdurchführung. Bei Pflanzenkohle wurden falsch kalkulierte Mengen, unklare Bezeichnungen bezüglich Additiven und Düngern und mangelnde Kenntnis zu den erforderlichen und verfügbaren Qualitätszertifikaten beobachtet. Bei Pflanzenkohle kommt oft hinzu, dass deren Wirkung entweder komplett über- oder unterschätzt wird. Bei einer Unterschätzung der Wirkung kann es sein, dass die Pflanzenkohle im Laufe des Projekts aus der Rezeptur verschwindet, bei der Überschätzung werden Wunderwirkungen erwartet, die am Ende zu Enttäuschungen führen können. Ein ebenfalls häufig beobachtetes Phänomen bei Pflanzenkohle-Anwendern sind unrealistische Anforderungen oder ein falsches Verständnis für Parameter. So werden, statt sich auf bestehende Pflanzenkohle-Anwendungsklassen zu beziehen, teilweise bezüglich Eigenschaften wie Dichte, Kohlenstoffgehalt, Wasserhaltefähigkeit und Salzgehalt Vorgaben aus mehreren Datenblättern zusammengetragen, die am Ende keine einzige Pflanzenkohle alle erfüllen kann. Ebenso werden aufgrund fehlender Erfahrungen bestimmten messbaren Eigenschaften der Pflanzenkohle bestimmte Wirkungen zugesprochen, die sich aber nicht wissenschaftlich belegen lassen. Ein typisches Beispiel hierfür ist die spezifische Oberfläche, die ursprünglich aus der Bewertung von Aktivkohle kommt. Dieser Messwert wurde vor einigen

Jahren aus den Pflichtanalysen des EBC-Zertifikats für Pflanzenkohlen entfernt, da keine oder nur eine sehr eingeschränkte Korrelation zwischen beispielsweise der Oberfläche (die mit einem Gas gemessen wird) und Wasserspeicher- oder Wasserfiltereigenschaften besteht. Trotz der fehlenden wissenschaftlichen Untermauerung wird die Eigenschaft der spezifischen Oberfläche von vielen Pflanzenkohle-Händlern als besonderes Merkmal hervorgehoben und von manchen Anwendern als Qualitätsmerkmal herangezogen, was oftmals dem Einsatz von für bestimmte Zwecke besser geeigneten Pflanzenkohlen im Wege steht. Ein ähnliches Phänomen kann die individuelle Anpassung des Stockholmer Systems aufgrund persönlicher Vorlieben bestimmter Akteure sein. Nicht selten werden Abweichungen von erprobten Rezepturen unter dem Vorwand regionaler Besonderheiten oder Traditionen durchgeführt. Zwar ist nicht grundsätzlich auszuschließen, dass eine angepasste Rezeptur zu Verbesserungen der Eigenschaften oder Wirkung führen kann, jedoch sollten solche Abweichungen immer vorab systematisch getestet werden, bevor sie in größere Baumaßnahmen implementiert werden. Indem beispielsweise eine bestimmte Sorte Sand hinzugefügt wird, kann sich das Gefüge des Struktursubstrats so ändern, dass der erforderliche Wasserdurchfluss nicht mehr erreicht wird und damit möglicherweise eine Überschwemmung ausgelöst wird. Daher sollten individuelle Anpassungen nur unter großer Sorgfalt durchgeführt werden.

Ein letztes Hemmnis bei der Nutzung von Pflanzenkohle sind möglicherweise die Landschaftsgärtner*innen oder Bauarbeiter*innen, die die Maßnahme am Ende umsetzen. Gerade bei inhabergeführten, kleineren Landschaftsbaubetrieben kam es in der Vergangenheit vor, dass sich eine Person kurzfristig umentschieden hat, wie die Arbeiten durchgeführt werden und auf den Einsatz von Pflanzenkohle verzichtete. Dies trat insbesondere bei kleineren Versuchen auf, unabhängig davon wer vorab in die Planung integriert war. Bei größeren Projekten können mangelnde Bauanleitungen und Arbeitsanweisungen verhindern, dass die Arbeiter*innen vor Ort die Maßnahme korrekt ausführen. Auch staubige oder schwer zu verarbeitende Pflanzenkohle kann ein Hemmnis darstellen, insbesondere wenn es sich um längere oder sich wiederholende Maßnahmen handelt. Trotz der Empfehlungen aus Schweden die Substrate mit Pflanzenkohle vorzumischen, wurde in einigen Fällen die veraltete Methode des Einschwemmens von Kompost und Pflanzenkohle angewendet. Dies führt zu frustrierend langen Arbeiten, geringer Produktivität und weniger guter Vermischung der Komponenten.

Ein letztes Hemmnis ist die potenzielle Zuständigkeitsproblematik zwischen verschiedenen Behörden beim intersektionalen Thema Schwammstadt, wie in Kapitel 4.5.5 ausgeführt wird.

4.5 Pflanzkohleeinsatz im Kontext deutscher Regelwerke

Pflanzkohle für die Bodenanwendung ist in Deutschland in zwei parallel gültigen Verordnungen geregelt. In Deutschland gelten sowohl die deutsche Düngemittelverordnung DüMV [9], als auch die EU-Düngeprodukteverordnung (VO 2019/1009) [10] parallel. In der DüMV ist bisher nur die Anwendung von Holzkohle erlaubt. Sie wird in Anlage 1 unter der Ziffer „7.1.10 Holzkohle aus unbehandeltem Holz mit min. 80% Kohlenstoffgehalt“ [9]. Die Beschränkung auf 80% Kohlenstoffgehalt war ursprünglich wahrscheinlich als Schutz gegen Verunreinigungen in die Verordnung aufgenommen worden, wird aber in der Verordnung nicht durch konkrete Schadstoffgrenzwerte unterstützt. Im Jahr 2023 veröffentlichte der Wissenschaftliche Beitrag für Düngemittelfragen des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft einen Bericht, indem die Zulassung alternativer Ausgangsstoffe sowie eine Definition von Schadstoffgrenzwerten für Pflanzkohle gefordert wird [11]. Bisher wurden keine politischen Anstrengungen unternommen die DüMV in diesem Sinne zu aktualisieren. Seit 2022 ist parallel zur DüMV die EU Düngeprodukteverordnung VO 2019/1009 in Kraft. In dieser wird Pflanzkohle aus den meisten natürlichen Biomassen zugelassen und es gibt Schadstoffgrenzwerte, allerdings ist in VO 2019/1009 eine CE-Zertifizierung durch akkreditierte Prüfinstitute vorgeschrieben [10]. Vermutlich aufgrund der aufwändigen CE-Zertifizierung, der guten Verfügbarkeit und der sehr guten Pyrolysierbarkeit von Holzhackschnitzeln gibt es aktuell noch vergleichsweise wenige nach VO 2019/1009 zertifizierte Pflanzkohlen auf dem Markt. Zusätzlich gibt es in Deutschland noch die Möglichkeit für jedes Produkt aus Pflanzkohle eine Einzelzulassung zu erwirken, was aber aufgrund eines hohen Aufwands und unklarer Erfolgsaussichten kaum noch gemacht wird.

In einigen Projekten wird auch immer wieder die Bundes-Bodenschutzverordnung ins Spiel gebracht. Diese ist aber für Pflanzkohle nicht unmittelbar zuständig, da Pflanzkohle im Düngemittelrecht geregelt ist [12]. Die Bodenschutzverordnung wäre nur in Fällen von verunreinigten Böden relevant, wenn diese auch Pflanzkohle enthalten. Dieser sekundäre Fall ist jedoch für das vorliegende Projekt nicht relevant. Prinzipiell sollte jedoch immer darauf geachtet werden, dass Stoffe, die in den Boden gehen, möglichst frei von Schadstoffen sind und die mangelnde Schadstoffdefinition der DüMV für Holzkohle ist durchaus eine Fahrlässigkeit in der Gesetzgebung, die es ermöglichen würde, dass auch belastete Pflanzkohlen zum Einsatz kommen. In der Bodenschutzverordnung werden Schadstoffe in der Regel über Eluate, also Ausschwemmungen mit Wasser reguliert. Die von der Carbuna AG am häufigsten für Stadtgrünprojekte verwendete Pflanzkohle „KPK 100“ wurde einem von der Bodenschutzverordnung vorgeschriebenen Messverfahren unterzogen. Hierbei konnten nicht nur keine organischen Schadstoffe (PAK) gemessen werden, sogar die Marker, die für die Analyse

verwendet werden, wurden von dieser Pflanzenkohle vollständig ausgefiltert, sodass kein brauchbares Ergebnis erzielt werden konnte, gleichzeitig aber gezeigt wird, dass Pflanzenkohle zur Schadstofffiltration hocheffektiv sein kann. Einige Bauherren verlangen zur Sicherstellung größtmöglicher Schadstofffreiheit eine nach dem freiwilligen EBC-Standard in der Anwendungsklasse EBC-Agrobio zertifizierte Pflanzenkohle. EBC hat für die Anwendung im urbanen Grün ebenso eine Anwendungsklasse EBC-Urban [13] welche für die städtische Anwendung als uneingeschränkt geeignet eingeordnet werden kann.

Eine weitere Möglichkeit wie Pflanzenkohle in Substrate gelangen kann ist indirekt über Tierfütterung oder über Zusätze in Stalleinstreu, Gülle oder Biogasanlagen und damit über die Verwendung von Wirtschaftsdüngern. Pflanzenkohle ist in der EU als Einzelfuttermittel, also als Bestandteil eines Mischfuttermittels, zugelassen, allerdings nur in der konventionellen Landwirtschaft [14]. Dieser Pfad führt jedoch zu sehr geringen Pflanzenkohle-Konzentrationen im Wirtschaftsdünger und ist daher keine effektive Methode, um Struktursubstrate mit Pflanzenkohle anzureichern.

Alle Pflanzenkohlen in der EU gelten als Chemikalien, da sie bei der Pyrolyse eine wesentliche chemische Veränderung erfahren haben und unterliegen damit der REACH-Registrierung der Europäischen Chemieagentur ECHA. Dies gilt ab einer produzierten Menge von 1 Tonne pro Jahr und betrifft damit auch kommerzielle Kleinstanlagen.

Obwohl es sich bei der FLL „Empfehlungen für Baumpflanzungen“ um eine Empfehlung und kein Gesetzes- oder Regelwerk handelt, wird diese weit verbreitet nahezu wie ein Gesetz ausgelegt, wobei zu beachten ist, dass die Einhaltung der FLL-Empfehlung dafür sorgt, dass auch bestehende Gesetze im Bauwesen eingehalten werden.

4.5.1 Entwicklung von FLL-konformen Substraten mit Pflanzenkohle

Im Laufe des Projekts wurden in Zusammenarbeit mit einem etablierten Substrate-Hersteller Substrate mit Pflanzenkohle entwickelt, welche alle Kriterien der FLL-Regelwerke einhalten. Dies ermöglicht einerseits den unkomplizierten Einsatz von Pflanzenkohle im Rahmen bestehender Regelwerke und Planungskonzepte und zeigt andererseits auch auf, dass der Pflanzenkohleeinsatz in urbanen Substraten technisch problemlos möglich ist. Bei der gemeinsamen Substratentwicklung wurden zunächst verschiedene Rezepturen, Zusammensetzungen und Lösungsansätze diskutiert, ehe im Anschluss erste externe Laboruntersuchungen mit Probemischungen beauftragt wurden, bezüglich der gängigen FLL-Parameter für das jeweilige Substrat bzw. für die jeweilige Anwendung. Erstes Ergebnis dieser Zusammenarbeit ist ein 0/32er-

Substrat für die überbaubare Pflanzgrube nach FLL-Bauweise 2 als erstes gemeinsame Produkt, welches seither erfolgreich vermarktet wird, weitere befinden sich in Entwicklung.

4.5.2 Kooperation mit der HAWK Göttingen zur Untersuchung der Rolle von Pflanzenkohle in Substraten

Durch frühzeitige Kontakte der Carbuna AG mit Forschenden der HAWK Göttingen wurde schnell klar, dass es zu Beginn des Projekts mögliche Anknüpfungspunkte für die weitere Erforschung der Rolle von Pflanzenkohle in urbanen Substraten, speziell an Baumstandorten geben wird. Erster Schritt dieser Kooperation war eine Bachelorarbeit, die sich mit dem Thema der Kapillarität in Baumsubstraten beschäftigen sollte, sprich mit der Frage, wie Wasser in einem Substrat von unten nach oben gelangt, in Richtung der sich ausbreitenden Baumwurzeln, sodass Jungbäume von Anfang an gut versorgt sind. Dies ist eine wichtige Frage in Bezug auf die im Projekt bearbeitete Thematik, bei der es oft um den Spagat zwischen Wasserhaltung und Wasserabführung geht. Das Bachelor-Vorhaben wurde von der Carbuna AG mit dem dafür nötigen Material unterstützt.

Im Wesentlichen leitete sich der Versuchsaufbau der geplanten Bachelorarbeit ab von bereits existierenden Ideen zum Nutzen und zur Funktion so genannter Dochte, also zylindrischer Löcher unterhalb des Wurzelballens, welche mit verschiedenen Materialien gefüllt sein können und so den Wasseraufstieg bündeln sollen. Konkret sollten in der Bachelorarbeit verschiedene Substrate bzw. Substratrezepturen im identischen Verfahren unter identischen Bedingungen auf ihre Kapillarität hin getestet werden. In einer Kombination aus Wannern, Rohren und Messtechnik sollten so über den Lauf der Zeit vergleichbare Ergebnisse ermittelt werden.



Abbildung 10: Versuchsaufbau an der HAWK Göttingen zum kapillaren Aufstieg.

Zunächst kam es Seitens der HAWK zu ungeplanten Verzögerungen im Start bzw. im Ablauf des Forschungsvorhabens. Im Anschluss zeigte sich dann anhand des Verlaufs der ersten Testreihe, dass zentrale Aspekte im technischen Forschungsdesign nicht geeignet sind zur planmäßigen Durchführung der wissenschaftlichen Arbeit. Im Ergebnis hieß das, dass im Rahmen der genannten Bachelorarbeit aus Zeitgründen die Substratvariante mit der Pflanzenkohle noch nicht untersucht werden konnte, folglich liegen noch keine verwertbaren Ergebnisse vor.

Die Relevanz der Frage, wie Wasser über den so genannten kapillaren Aufstieg entgegen der Schwerkraft in Richtung Baumwurzeln wandert, ist allerdings immer noch gegeben. Im DBU-Projekt OptUrBaum (Optimierung urbaner Baumstandorte) der HAWK wird im Teil „Optimierung von Baums substraten durch den Einsatz von Pflanzenkohle“ dieser Frage in Kooperation mit der Carbuna AG erneut auf den Grund gegangen. Beim Bau der Pflanzkübel mit Struktursubstrat, das in Kapitel 6.3.8 beschrieben ist, wurden kapillare Steigsäulen vom Grund der Pflanzkübel bis zum Wurzelbereich der Jungbäume angelegt.

4.5.3 Abwasserrechtliche Situation

Die Versickerung von Niederschlagswasser wird in Deutschland durch das Arbeitsblatt DWA-A 138 geregelt. Auch hier handelt es sich um keinen Gesetzestext, sondern um einen Branchenstandard mit gesetzesartiger Wirkung, der die Einhaltung von bestehenden Gesetzen sicherstellt. Niederschlagswasser soll durch einen belebten Oberboden gefiltert werden, beispielsweise in einer bewachsenen Versickerungsmulde. Hin und wieder wird darüber diskutiert, inwiefern ein Struktursubstrat als belebter Oberboden behandelt werden kann. Jedoch ist mittlerweile klar, dass es immer das Ziel des Struktursubstrates ist, eine Bepflanzung zu ermöglichen. Dazu trägt Pflanzenkohle mit der wachstumsfördernden Wirkung und zusätzlich auch mit der Filterwirkung bei. Die Filterwirkung von Pflanzenkohle im Kontext von DWA-A-138 ist jedoch unerheblich und sollte nicht in den Vordergrund gestellt werden, da hier der belebte Oberboden das ausschlaggebende Argument ist, um eine Konformität zu erreichen.

4.5.4 Eintrag von Tausalz und anderen Schadstoffen

Schadstoffe stellen eine besondere Erschwernis für den Erhalt gesunder Stadtbaumbestände dar und können diese sowohl durch akute Beschädigung als auch durch langfristige Schwächung beeinträchtigen. Eine erhebliche Schadstoffquelle im urbanen Raum ist der Verkehr. Neben Abgasen und auslaufenden Schmier- und Kraftstoffen, sind Reifen und Bremsenabrieb, also Mikroplastik und Feinstaub eine relevante Quelle für Schadstoffe. Auch Urin, z.B. von Hunden, kann bei übermäßigem Vorkommen eine Schädwirkung entfalten. Die größte Beeinträchtigung in Deutschland geht jedoch von Tausalz (Natriumchlorid) aus, das im Winter in großen Mengen in die Pflanzgruben eingetragen wird.

In vielen Beispielen aus Schweden sind Pflanzgruben und Regenbeete an Straßenrändern so gestaltet, dass Oberflächenwasser von der Straße durch abgesenkte oder offene Bordsteine oder durch Abflussgitter direkt in die Pflanzgrube eingeleitet wird, um Überflutungen der Straße entgegenzuwirken und die Pflanzgruben zu bewässern. Expert*innen aus Deutschland erkennen bei diesem System in erster Linie die Gefahr des Eintrags großer Mengen Tausalz in den Wintermonaten. Eine Lösungsansatz zur Verringerung des Salzeintrags, dem beispielsweise in Graz nachgegangen wird, der aber in vielerlei Formen auch in deutschen Städten Einzug hält, sind Randsteine mit unterschiedlichen Höhen. Hier wird auf einfachste Art und Weise das erste und damit am stärksten belastetes Oberflächenwasser nach einem Niederschlag zunächst in die Kanalisation abgeleitet und nur bei größerem Niederschlag und damit mit geringeren Schadstoffkonzentrationen kann Wasser direkt in die Pflanzgrube gelangen. Ein weiterer

Lösungsansatz, zum Beispiel aus der Stadt Zürich, sind Bordsteine und Abflüsse mit Schiebern oder anderen beweglichen Barrieren, die im Winter geschlossen werden, um ein Eindringen von Tausalz zu verhindern. Insofern stehen für diese Thematik auch im deutschsprachigen Raum bereits etablierte Lösungen zur Verfügung.

Die mögliche Fähigkeit von Pflanzenkohle, Natriumchlorid zu filtern, ist eine der häufigsten Fragen, die durch Praktiker*innen im Projekt gestellt wurde. Während den Autor*innen keine chemische oder physikalische Eigenschaft von Pflanzenkohle bekannt ist, die Natriumchlorid unmittelbar filtern oder anderweitig adsorbieren würde, gibt es mehrere Studien, die zeigen, dass Pflanzenkohle positive Wirkungen auf das Pflanzenwachstum in Böden mit hohen Salzkonzentrationen haben kann [15], [16]. Lee et al. machen dafür einen Einfluss von Pflanzenkohle auf den Wasserhaushalt und die Kapillarität von Böden verantwortlich, wodurch Salz mittelfristig in Bereiche wandert, wo es für Pflanzen unschädlicher ist [17]. Es ist jedoch davon auszugehen, dass der Effekt stark durch die Art des Bodens beeinflusst wird, sodass empfohlen wird in künftigen Arbeiten eine Studie zum Effekt von Pflanzenkohle auf die Auswirkungen von Salz speziell in Struktursubstraten durchzuführen.

4.5.5 Abgrenzung und Kombination von Zuständigkeiten zwischen Straßenbau, Grünflächen und Abwasserbehandlung

Wie im Praxisleitfaden BlueGreenStreets (BGS) ausführlich dargelegt wird, verschwimmen beim Bau von Schwammstadt-Infrastruktur die historisch abgegrenzten Zuständigkeiten, die sich in Städten zwischen verschiedenen Abteilungen wie Tiefbau, Abwasserbewirtschaftung und Grünflächenämtern etabliert haben [18]. So ist es nicht eindeutig ersichtlich, welcher Zuständigkeit eine Baumaßnahme, wie etwa ein Regenbeet unterliegt, das an der Straße gebaut wird, mit Grünpflanzen besetzt ist und zur Ableitung und Speicherung von Regenwasser dient. Erschwerend für ein Handbuch oder Regelwerk kommt hinzu, dass die Zuständigkeiten in Deutschlands Städten nicht einheitlich geregelt sind, sondern je nach lokaler Satzung stark voneinander abweichen können. Es ist daher unerlässlich, die verschiedenen und potenziell zuständigen Gruppen in die Maßnahmen mit einzubeziehen und wo erforderlich eine klare Regelung über deren Zuständigkeiten und Pflichten zu etablieren. BGS empfiehlt ein übergreifendes Konzept, wie ein Klimaschutz- oder Schwammstadtkonzept zu etablieren, in dem die übergeordneten Zuständigkeiten klar geregelt werden können [18].

5 Wirtschaftlichkeit und CO₂-Bilanz

Für die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit und Treibhausgasbilanz werden Beispielszenarien zum Vergleich herangezogen. Der Einfachheit halber werden an dieser Stelle nur Pflanzgruben betrachtet und weitere, positive Nebeneffekte der Nutzung von Pflanzenkohle im urbanen Grün, wie die Filterung und Abführung von Oberflächenwasser (z.B. in Regenbeeten) oder die Senkung der Dichte in Dachsubstraten nicht betrachtet.

5.1 Wirtschaftlichkeit Szenarien-Vergleich

Die Pflanzgruben-Szenarien werden über einen Zeitraum von 25 Jahren berechnet. Abhängig von einer Vielzahl von Einflüssen (unter anderem der Standortbedingungen bzgl. des potenziellen Wurzelraums, der Substrateigenschaften, der Baumart, des Mikroklimas, etc.) sind 25 Jahre als Lebenszeit eines Stadt- bzw.- Straßenbaumes durchaus realistisch: Die durchschnittliche Lebenserwartung von Straßenbäumen beträgt nur ca. 25 % des Alters, welches sie an natürlichen Standorten erreichen könnten, vor allen Dingen auf Grund der extremen Bedingungen [19], [20]. Rechnet man zum von Roloff präsentierten Wissensstand (bis 2013) die Entwicklung der letzten Jahre hinzu, hat sich dieser Wert eventuell noch verschlechtert, vor allem wenn man den Baum-Neupflanzungen die Zahl der jährlichen Baum-Ausfälle, die zunehmende Erderwärmung und das immer noch weiter steigende Ausmaß an Bodenversiegelung in deutscher Kommunen gegenüberstellt.

Wie etwa Plietzsch in Bezug auf die Kosten von Neupflanzungen trefflich darstellt, ist „(e)ine gute Pflege von Jungbäumen zur Sicherstellung von deren Überleben und Funktionsfähigkeit innerhalb der ersten zehn Jahre (...) wichtiger als die Investitionen in den Unterhalt alter Bäume, wenn die Anzahl notwendiger Ersatzpflanzungen effektiv begrenzt werden soll [21]. Wenn also unterm Strich pro Jahr mehr Bäume gepflanzt werden sollen, als im selben Zeitraum ausfallen, ist laut Plietzsch ein in der Altersstruktur ausgeglichener Straßenbaumbestand entscheidend, „weil neu gepflanzte Jungbäume in den ersten Jahren der Etablierung eine größere Absterberate aufweisen als ältere Bäume [22] in [21].

An Stadtbaum-Standorten ist mit einer Kombination der unterschiedlichen, das Gedeihen von Stadtbäumen negativ beeinflussenden Faktoren zu rechnen. Gleichzeitig verweisen unter anderem Dickhaut und Eschenbach darauf, dass „das Wissen zu den Auswirkungen der anthropogenen standortbedingten Stressfaktoren, zu Schwellenwerten und auch artspezifischen Reaktionen der Bäume sowohl als Einzelfaktoren als auch (in) deren Kombination (...) bisher noch sehr

eingeschränkt (ist). Im Zuge des Klimawandels werden sich die Standortbedingungen für Stadtbäume weiter verändern (und es) ist mit zunehmender Sommertrockenheit und extremeren Niederschlagsereignissen zu rechnen.“ [23]

Das unterirdische Platzangebot, die Substratqualität (Luft, Wasser Nährstoffe), die Durchwurzelbarkeit der unmittelbaren Umgebung sowie die Qualität der verwendeten Pflanzen einerseits und die der Bauarbeiten andererseits können aktuell als ausschlaggebende Erfolgsfaktoren von urbanen Baumpflanzungen gelten. Schließlich wird in absehbarer Zeit die Filterleistung von Regenwasser und Oberflächenabfluss an und um Standorte urbanen Grüns eine zunehmende Rolle spielen, und in diesem Zusammenhang auch die Pflanzenkohle. Abschließend kann davon ausgegangen werden, dass mittelfristig die Klimabilanz des urbanen Grüns ein weiterer entscheidender Faktor werden wird, sprich inwiefern zum Beispiel ein Baumstandort auch eine Kohlenstoffsенke darstellen kann, und wenn ja in welchem Maße.

Für den Vergleich verschiedener Wirtschaftlichkeits-Berechnungen wird ein Szenario betrachtet, bei dem ein innerstädtischer Straßenzug erneuert und begrünt wird. Es wird davon ausgegangen, dass die Ausführung des Baus am Ende in allen Varianten bzgl. der Oberflächengestaltung zu einem identischen Ergebnis kommt. Aufgaben wie Asphaltieren, und sonstige Begleitarbeiten werden in allen Szenarien als identisch angenommen und daher nicht mitbetrachtet. Bei der Menge an verwendeten Substraten wird lediglich der Unterschied zwischen den Szenarien betrachtet:

- **„Basis“-Szenario:** Konventioneller Straßenbau mit angrenzender, abgetrennter Pflanzgrube (je 3 m³, insgesamt 9 m³) und 3 Bäumen mit je einer Pflanzgrube. Angenommene Lebensdauer der Bäume 15 Jahre. 6 gepflanzte Bäume über den Betrachtungszeitraum.
- **„FLL“-Szenario** mit Überbauung des Wurzelraums unter Parkplätzen, teilweise überbauter Pflanzgrube (je mindestens 12 m³, insgesamt 36 m³) und 3 Bäumen mit je einer Pflanzgrube. Angenommene Lebensdauer der Bäume 25 Jahre, 3 gepflanzte Bäume über den Betrachtungszeitraum.
- **„Stockholm System“-Szenario** mit Überbauung des Wurzelraums unter Parkplätzen und Bürgersteig mit einer gemeinsamen Pflanzgrube von 60 m³ für 3 Bäume. Angenommene Lebensdauer der Bäume 45 Jahre, 3 gepflanzte Bäume über den Betrachtungszeitraum.

Bei den Kosten im Straßenbau dominieren vor allem Personal- und Baukosten, die Materialkosten sind im Vergleich relativ gering. Die Kosten eines FLL-Substrats erhöhen sich durch die Beimischung von Pflanzenkohle um ca. 10-20% (gemischt, geliefert und eingebaut, stark abhängig

vom jeweiligen Bauvorhaben). Bezogen auf die Gesamtkosten eines Bauvorhabens bedeutet dies aber in der Regel lediglich eine zu vernachlässigende Kostensteigerung.

Lassen sich in einem Bauvorhaben durch die Ausführung einer Maßnahme im Rahmen des Stockholmer Systems an anderer Stelle Baumaßnahmen und Gebühren zur Abführung von Regenwasser, sowie in der Folge auch Kosten am Klärwerk einsparen, so sind die wirtschaftlichen Vorteile für die Bauherrnschaft noch wesentlich höher. Im Vergleich zu Maßnahmen im Bestand, die meist die Mehrheit der Maßnahmen ausmachen, können solche wirtschaftlichen Vorteile natürlich im Neubau auf effektivere Art und Weise realisiert werden.

Es kann Dickhaut und Eschenbach nur zugestimmt werden, wenn sie als Ziel für die Planung formulieren: „Besonders Stadtbäume, die mehr als 40 oder 50 Jahre gewachsen sind, können ihre Wirkung für das Stadtklima auch in Zukunft entfalten, da sie ihre Lebensfähigkeit unter Extrembedingungen insbesondere an Straßen unter Beweis gestellt haben.“ [23]

Um dieses Ziel zu erreichen ist es unerlässlich, dem urbanen Grün, hier vor allem den Straßenbäumen, den nötigen Platz einzuräumen – in den Köpfen aller Beteiligten, in den Planungen und in der Durchführung. Die Ökosystemleistung eines älteren Baumes kann als wesentlich höher als die eines jungen Baumes eingeschätzt werden. Ein älterer Baum bietet nicht nur wesentlich mehr Schatten und Kühlleistung durch Verdunstung, er bietet auch mehr Lebensraum für Biodiversität, weshalb es nicht erstrebenswert ist Jungbäume aufgrund mangelnden Wurzelraums regelmäßig zu ersetzen oder im Wachstum stark einzuschränken.

Faktoren wie dem Überflutungsschutz eines Regenbeets und den Ökosystemleistungen großer Stadtbäume können sehr hoher finanziellen Werte beigemessen werden. Dadurch könnten sehr leicht Szenarien entwickelt werden, in denen die Stockholmer System Variante mit großem Abstand wirtschaftlicher ist als die konventionelle Baumpflanzung. Ebenso werden FLL-Substrate oder alternative Struktursubstrate nach Stockholmer System oft in Bauvorhaben verwendet, in denen eine mit herkömmlicher Erde gefüllte Pflanzgrube nicht umsetzbar ist, z.B. nahe an Straßen und Parkplätzen. Für dieses Kapitel wird daher nur ein sehr einfaches Szenario berechnet, bei dem lediglich die Bau- und Ersatzkosten berücksichtigt werden. Nicht berücksichtigt werden Kosten für die Anwachs- Fertigstellungs- und Entwicklungspflege von Stadtbäumen, inflationsbedingte Preissteigerungen sowie die absehbar günstigeren Kosten für das Stockholmer System durch zukünftig stärker etablierte Lieferketten. Auch Skalierungseffekte für die Anlage mehrerer Bäume, die beim Stockholmer System in einer Baumaßnahme gemeinsam gepflanzt werden sind nicht abgebildet. Die Arbeitskosten werden aus dem GaLaBau abgeleitet und sind damit geringer als ähnliche Maßnahmen im Straßenbau.

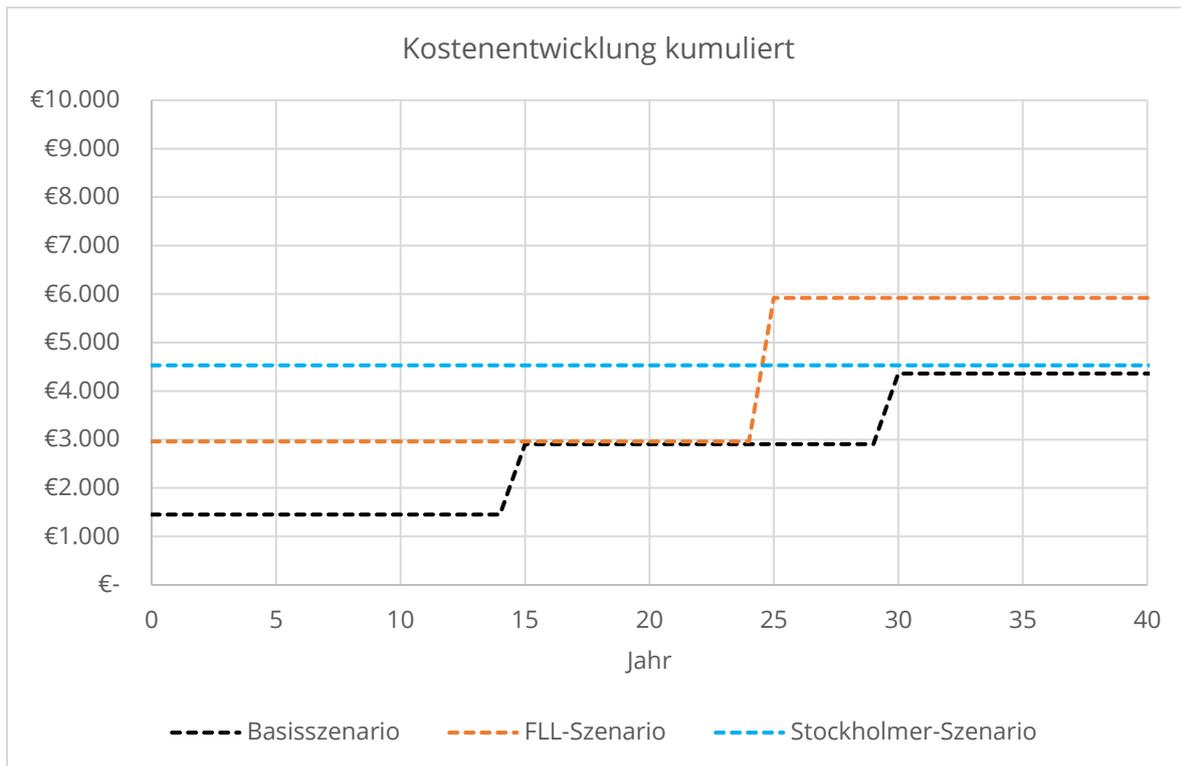


Abbildung 15: Kostenentwicklung kumuliert, reine Bau/Pflanzkosten, grafisch

Tabelle 1: Daten zu Kostenentwicklung in Abbildung 15

	Basisszenario	FLL	Stockholm
Kosten pro Baum	1.000 €	1.000 €	1.000 €
Lebensdauer Baum in Jahren	15	25	45
Größe Pflanzgrube	3 m ³	12 m ³	20 m ³
Arbeitsstunden	2	4	5
Materialkosten Pflanzgrube	- €	900 €	2.000 €
Mietkosten Bagger	100 €	200 €	250 €
Arbeitskosten	80 €	160 €	200 €
An- und Abtransport	130 €	130 €	130 €
Entsorgung	98 €	390 €	650 €
Bodenbezogene Kosten	45 €	180 €	300 €
Arbeitskosten Pflanzgrube (Summe)	453 €	1.060 €	1.530 €

Die Berechnung zeigt, dass eine Neupflanzung zu erheblichen Mehrkosten führt, sodass ein Ersatz eines Baumes den Sprung zum nächsten, höherwertigeren Verfahren direkt rechtfertigt. Selbst unter den sehr konservativ und zu Ungunsten des Stockholmer Systems gerechneten Szenarien kann es demnach wirtschaftlicher sein, Pflanzgruben nach dieser Art zu bauen. Weitere Vorteile

werden damit ohne Mehrkosten erzielt, sodass Klimaanpassungen und Schwammstadtkonzepte sehr günstig umgesetzt werden können.

5.2 Ermittlung Treibhausgasbilanz mittels EPD

Die Environmental Product Declaration (EPD) ist ein auf ISO 14040 basierender Standard zur Umweltdeklaration von Produkten und Dienstleistungen, der im Bausektor breite Anwendung findet. Dabei werden die Umweltauswirkungen über den ganzen Produktlebenszyklus von der Gewinnung von Rohstoffen, über die Nutzung, bis hin zur Entsorgung und Recycling erfasst. Die Ermittlung von Treibhausgasemissionen ist ein wichtiger, aber nicht der einzige Aspekt einer EPD, die Betrachtung im Projekt beschränkt sich jedoch auf die Treibhausgasbilanz. Die hier betrachteten Treibhausgase werden anhand ihres Beitrags zum Treibhauseffekt gewichtet, bzw. normiert und dann als CO₂-Äquivalente CO₂-e aufsummiert.

Zum Vergleich verschiedener Systeme werden in diesem Projekt öffentlich verfügbare EPD-Daten herangezogen. Es ist zu beachten, dass diese EPD-Daten auf unterschiedlichen Modellbetrachtungen und Ökobilanz-Datenbanken beruhen und daher die Vergleichbarkeit nicht immer optimal ist. Die hier abgebildeten Werte sollen als Annäherungen verstanden werden.

5.2.1 Negative Emissionen durch Pflanzenkohle und deren Anrechnung

Bei der Herstellung von Pflanzenkohle wird Biomasse, also biogener Kohlenstoff, der von Pflanzen photosynthetisch aus CO₂ hergestellt wurde, so umgewandelt, dass sich dieser Kohlenstoff überhaupt nicht mehr oder nur noch sehr langsam biologisch abbauen kann. Das heißt solange die Pflanzenkohle in eine Anwendung überführt wird, in der sie nicht verbrannt oder oxidiert wird, ist der Atmosphäre über mehrere Stufen CO₂ entzogen worden und bleibt ihr im besten Falle über geologisch lange Zeiträume entzogen. Der CO₂-Entzug durch Pflanzenkohle oder Biochar Carbon Removal (BCR) ist damit eine Technologie zur Erzeugung negativer Emissionen, wie Direct Air Capture with Carbon Capture and Storage (DACCS) oder Bioenergy and Carbon Capture and Storage (BECCS), bei denen CO₂ als verflüssigtes Gas abgeschieden und geologisch verpresst wird. Die Haltbarkeit der Pflanzenkohle ergibt sich vornehmlich aus dem Umwandlungsgrad des Kohlenstoffes in stabile Moleküle, der wiederum von der Pyrolysetemperatur sowie der Verweildauer des Ausgangsmaterials in der Pyrolyse abhängt. Diese stabilen Moleküle, wie z.B. Grafit, können petrochemisch bestimmt werden. Als geologisch stabil gilt dabei die Stoffgruppe der Inertinite. Interne Analysen bei der Carbuna AG zeigen, dass die im Stadtgrün üblicherweise

verwendeten Pflanzenkohlen aus Kohlenstoff mit einem Intertinit-Anteil von weit über 90 % bestehen, sodass die Speicherung des Kohlenstoffs als dauerhaft betrachtet werden kann.

Diese negativen Emissionen werden seit 2021 auf dem freiwilligen Zertifikate-Markt gehandelt. Anders als bei den weiterhin verwendeten Offset-Zertifikaten, bei denen nur anderweitige Emissionen eingespart werden können, sollen negative Emissionen einen tatsächlichen Ausgleich von fossilen Treibhausgasemissionen erreichen. An dieser Stelle ist wichtig, dass die globale Emissionsminderung fossiler Treibhausgase Vorrang vor dem Ausgleich durch negative Emissionen haben muss und wird. Nach Erreichung von Netto-Nullemissionen mithilfe von starker Emissionsminderung und einer gewissen Menge negativer Emissionen, sind negative Emissionen in den Szenarien des IPCC auch dafür vorgesehen bereits historisch emittierte Treibhausgase aus der Atmosphäre zu entfernen, um die Ziele zur Begrenzung der Erderwärmung einzuhalten.

Im Rahmenwerk der Europäischen Union zur Entfernung von CO₂ aus der Atmosphäre (CRCF) wird BCR eine der ersten Technologien sein, für die eine eigene Methode zur Erfassung und Bewertung des technischen CO₂-Entzugs erstellt und verabschiedet wird. Schon seit mehreren Jahren gibt es zahlreiche freiwillige Standards zu BCR, die der künftigen EU-CRCF-Methode ähneln und alle auf dem Prinzip der Ökobilanz nach ISO 14040 aufbauen. Zwar unterscheiden sich diese Methoden in Details, aber im Großen und Ganzen erzielen sie annähernd vergleichbare Ergebnisse. Einige Beispiele für diese freiwilligen Standards sind:

- Global Biochar C-sink (früher EBC C-sink)
- Puro Biochar Standard
- Reverse Biochar Standard
- Verra Biochar Standard (nur für Entwicklungsländer)

Aktuell werden diese freiwilligen Zertifikate von Unternehmen gekauft, die ihre laufenden und historischen Emissionen ausgleichen möchten. Nach aktuellem Stand (Mitte 2025) ist es in Deutschland nicht möglich, dass sich Kommunen, Länder oder die Bundesrepublik solche Zertifikate anrechnen können, es ist jedoch davon auszugehen, dass es in der weiteren Entwicklung von CRCF möglich wird, eine solche Anrechnung vorzunehmen, um beispielsweise die kommunalen Klimaziele zu erreichen. Eine Alternative zur Anrechnung auf kommunale Ebene ist die Anrechnung auf Produktebene. Hierbei ist im Bausektor die EPD nach EN 15804 der vorherrschende Standard. Prinzipiell wäre es in einer EPD möglich Emissionen durch negative Emissionen auszugleichen, aktuell wird EN 15804 allerdings so interpretiert, dass es nicht möglich ist negative Emissionen einzurechnen. Seit 2024 bemüht sich die Pflanzenkohleindustrie in Zusammenarbeit mit Ecoplatform, dem Zusammenschluss der EPD-Programmbetreiber eine

Interpretation von EN 15804 zu etablieren, die eine Anrechnung erlauben würde. Mitte 2025 steht ein Interpretationsvorschlag zur Abstimmung, der zeitnah umgesetzt werden könnte, aber zum Abschluss dieses Projektberichts ist eine Anrechnung noch nicht möglich. Da im Jahr 2027 eine komplette Überarbeitung der EPD im Bau in der EU eingeplant ist, wird voraussichtlich spätestens dann eine Integration von nachweisbar dauerhaften negativen Emissionen im Rahmen von CRCF möglich sein.

Da die Zertifikate und damit die Rechte an den Kohlenstoffsinken aktuell an Dritte verkauft werden und für deren Klimabilanzen angerechnet werden, können im Moment weder auf Ebene der lokalen Anwendenden noch auf Produktebene negative Emissionen angerechnet werden. Sollte dies erwünscht sein, können die Anwender oder die Kommunen jederzeit auch das Recht an der Kohlenstoffsinke erwerben, was bei der Carbuna AG auch schon hin und wieder der Fall war. Da es jedoch keine Anrechnungsmöglichkeit gibt, haben die Kommunen keinen Vorteil durch den Kauf der Zertifikate und jene Kommunen die Zertifikate erworben hatten, haben diese später zurückgegeben. Aus diesem Grund wird unter den aktuellen Umständen Kommunen davon abgeraten Zertifikate zu erwerben, bis die Gesetzesgrundlagen entsprechend aktualisiert sind. Stattdessen werden die Einnahmen durch Zertifikate auf dem freiwilligen Markt dazu eingesetzt, die Preise für Pflanzkohle in der Anwendung niedrig zu halten.

5.2.2 Erfassung von EPD-Daten

Die oben beschriebenen ökonomischen Szenarien sollen ebenso auf Ebene der Treibhausgase verglichen werden. Hierzu werden Daten aus öffentlich verfügbaren EPD entnommen. Insofern kein EPD verfügbar ist, werden alternativ Daten aus Ökobilanz-Studien verwendet.

Beim Einsatz von Pflanzkohle können pro Tonne Pflanzkohle über 3000 kg CO₂ abgeschieden werden. Wie jedoch in Kapitel 5.2.1 ausgeführt, werden aktuell Zertifikate an Dritte verkauft. In diesen Zertifikaten sind bereits alle Emissionen in Zusammenhang mit der Herstellung und dem Transport eingerechnet, also von den negativen Emissionen abgezogen, sodass dem Anwender null Emissionen durch die Pflanzkohlenutzung anfallen, jedoch auch keine Gutschriften angerechnet werden können. In einem hypothetischen Vergleichsszenario mit und ohne Kauf der Rechte an der Kohlenstoffsinke (Zertifikat) soll aufgezeigt werden, welchen Einfluss die Pflanzkohle auf die Ökobilanz des Projekts haben kann (Tabelle 2 und Tabelle 3).

Tabelle 2: EPD- und Ökobilanz-Daten von Komponenten für Stadtbaumsubstrate

Funktionelle Einheit 1000 kg	EPD-Module					Summe A-C	Quelle
	A1-A3	A4-A5	B1-B7	C1-C4	D		
GWP-total [kg CO ₂ e] 100a							
Pflanzkohle (mit Zertifikat)	-3050	n/a	n/a	n/a	n/a	-3050	[24]
Pflanzkohle (ohne Zertifikat)	0	0	0	0	0	0	
Schotter und Splitt	3,46	n/a	n/a	0,94	-1,36	4,4	[25]
Fertigkompost	327	n/a	n/a	n/a	n/a	0	[26]

Für Kompost wurde kein öffentliches EPD gefunden, daher wurde hier auf Daten aus einer Ökobilanz von Joseph und Stichnothe von 2023 zurückgegriffen [26]. Hierzu wurden die Boni z.B. für den Ersatz von Torf herausgerechnet und es wurde ein Mittelwert aus den beiden Fertigkomposten gezogen. Auch musste die Funktionelle Einheit auf 1000 kg normiert werden, indem die übrige Menge organische Masse nach der Kompostierung zu Fertigkompost von 300 kg auf 1000 kg hochgerechnet wurde, da in der Studie 1000 kg Ausgangsmaterial für die Kompostierung als Funktionelle Einheit angesetzt werden. Bei Kompost handelt es sich um ein Produkt aus einem Recyclingprozess. In den meisten Ökobilanz-Methoden werden die Emissionen für das Recycling, also hier die Kompostierung, dem Vorprodukt zugewiesen und das Produkt, das das recycelte Material verwendet erhält den Rohstoff ohne Umweltauswirkungen angerechnet. In diesem Fall geht der Fertigkompost mit Emissionen von 0 kg CO₂-eq in die Substratmischung ein. Bei einer Ökobilanz wird vorab definiert, ob dieses oder ein alternatives System der Zuweisung von Recycling-Emissionen verwendet wird. Für die vereinfachte Berechnung in dieser Studie werden beide Extreme der Berechnung verglichen, keine und volle Anrechnung der Treibhausgas-Emissionen der Kompostierung.

5.2.3 Abschätzung der Ökobilanz eines Struktursubstrats

Für die Mischung des Struktursubstrats wird in der Regel ein Radlader oder ähnliches schweres Gerät (Bagger, Teleskoplader, etc.) verwendet. Als Abschätzung für den Aufwand der Mischung des Substrats werden Literaturwerte von Kwak et al. (2012) verwendet, die jedoch auf der Situation in den USA aufbauen und über 10 Jahre alt sind und daher nur eine grobe Annäherung darstellen [27]. Kwak et al. gibt parametrisierte Daten für Motorlast an und schätzt ein Basisszenario ab, in dem der Radlader 40% der Zeit im Leerlauf ist. In diesem Szenario werden pro Betriebsstunde 26,41 kg CO₂-eq emittiert. In Stockholm benötigt ein Radlader zur Mischung von 100 m³ Substrat ca. 1,5 Betriebsstunden bei unbekannter Auslastung, was folglich 39,6 kg CO₂-eq entspricht. 100 m³ entsprechen ca. 180 Tonnen Substrat, damit macht das Mischen nur 0,2 kg CO₂-eq pro Tonne Substrat aus. Somit sind die Emissionen für das Mischen pro Tonne im Vergleich zu den Emissionen pro Tonne Inputstoffe nahezu vernachlässigbar gering, auch wenn das Mischgerät die doppelte

oder dreifache Energie benötigen würde. Durch die zunehmende Elektrifizierung von Baumaschinen und den Ausbau von erneuerbaren Energien ist außerdem zu erwarten, dass die direkten und indirekten Emissionen für das Mischen in Zukunft im Vergleich noch geringer werden.

In Tabelle 3 wird beispielhaft die Treibhausgasbilanz eines Substrats mit je 7,5 % Pflanzkohle und Kompost berechnet. Dabei fällt auf, dass die Emissionen von Kompost sehr deutlich ins Gewicht fallen würden, wenn sie dem Substrat angerechnet werden. Ebenso kann Pflanzkohle erhebliche Mengen CO₂-Emissionen kompensieren. So kann beispielsweise ein Kubikmeter dieses Struktursubstrats, sofern die negativen Emissionen mit gekauft werden, den Betrieb eines Diesel-Radladers für ca. 1,5 Stunden kompensieren. Ob durch die Pflanzkohleanwendung in der Pflanzgrube die Baumaßnahme klimaneutral gestaltet werden kann, hängt somit von der Größe der Pflanzgrube, der eingesetzten Pflanzkohlemenge und den weiteren Produkten und Maschinen, die für die Maßnahme verwendet werden, ab. An dieser Stelle kann aufgrund des fehlenden Zugriffs auf Ökobilanz-Datenbanken keine genauere Analyse erstellt werden.

Tabelle 3: Treibhausgasbilanz eine Struktursubstrats mit je 7,5% Pflanzkohle und Kompost (ohne Transport)

Produkt	Volumen [m ³]	Dichte [t/m ³]	Gewicht [t von 1 m ³]	Gewicht normiert auf 1 t Output [t]	GWP100 a kg CO ₂ -eq
Schotter	1	1,8	1,8	0,944	3,27
Kompost ohne Recycling-Bonus	0,088 ²	1,1	0,08	0,042	13,7
<i>Mit Recycling-Bonus</i>					0
Pflanzkohle mit Zertifikat	0,088	0,32	0,0275	0,014	-42,7
<i>ohne Zertifikate</i>					0
Mischvorgang	1		1,9075		0,2
Struktursubstrat	1 ³		2,155	1	
Kompost ohne Recycling-Bonus, Pflanzkohle ohne Zertifikat					17,17
Kompost mit Recycling-Bonus, Pflanzkohle ohne Zertifikat					3,47
Kompost ohne Recycling-Bonus, Pflanzkohle mit Zertifikat					-25,53
Kompost mit Recycling-Bonus, Pflanzkohle mit Zertifikat					-39,23

² 7,5% bezogen auf 85% Schotter, hochgerechnet auf 1 m³

³ Bei der Mischung verteilen sich die feineren Anteile so, dass das Ausgangsvolumen des Schotters nahezu exakt dem Endvolumen des Struktursubstrats entspricht

5.2.4 Ökobilanz aus der Literatur

Das Projektbudgets enthält keine Mittel für den Kauf oder die Miete von Ökobilanz-Datenbanken oder das Hinzuziehen von kommerziellen Ökobilanz-Expert*innen. Daher muss auf bestehende Studien und frei verfügbare Daten zurückgegriffen werden. Azzi et al. haben zur Verwendung von Pflanzkohle in Baum- und Dachsubstraten im Jahr 2022 eine Ökobilanz-Fallstudie für die Stadt Uppsala erstellt [28]. Darin wird der Bau eines neuen Quartiers mit Substraten nach Stockholmer System betrachtet. Die verwendeten Emissionswerte für Schotter sind nach Gesteinsgröße sehr unterschiedlich und teilweise ähnlich, teilweise aber auch erheblich geringer als in unserer Abschätzung in Kapitel 5.2.3, Kompost wird nicht mit Emissionen belegt [28]. Auf die gesamten Bauaktivitäten beim Bau des Quartiers bezogen kann der Einsatz von Pflanzkohle mit negativen Emissionen ca. 4-12% der Bau-Emissionen kompensieren [28]. In der Studie gibt es keine aufgeschlüsselten Daten dazu, welche Anteile an den gesamten Bauemissionen des Quartiers der Bau von Pflanzgruben und Gründächern hat. Es wird angenommen, dass die Treibhausgasbilanz für das Quartier aus aggregierten öffentlichen Daten übernommen wurde und keine aufgeschlüsselten Daten zu einzelnen Bauabschnitten für einen Vergleich verfügbar waren. Dass der Pflanzkohleeinsatz allein in Pflanzgruben und in einer gewissen Menge Dachsubstraten erhebliche Teile der Emissionen eines gesamten Quartiers kompensieren kann, ist jedoch ein guter Indikator dafür, dass sich große Anteile bis hin zu allen Emissionen der Baumaßnahmen für Stadtgrün nur durch Pflanzkohleeinsatz kompensieren lassen. Voraussetzung ist auch hier, dass die Rechte an der Kohlenstoffsenke der Pflanzkohle nicht an Dritte veräußert werden.

6 Wissenstransfer und Erfahrungsverbreitung

Die Übersetzung und kostenlose Bereitstellung des Handbuchs „Pflanzgruben in der Stadt Stockholm“ ist der Kern des Wissenstransfers von Schweden nach Deutschland. Neben dem Wissenstransfer bildete die Erfahrungsverbreitung einen weiteren Schwerpunkt des Projekts, um das vorhandene und gesammelte Wissen verfügbar zu machen, auf diesem Wege eine möglichst große Anzahl verschiedenster Stakeholder zu erreichen – und gemeinsam ins Handeln zu kommen. Dies geschah im Wesentlichen auf drei Wegen, flankiert von unterschiedlichen Methoden:

- Über das übersetzte Handbuch und die darin erhaltenen Informationen.
- Über selbst erstellte Informationsmaterialien und Veröffentlichungen.
- Über verschiedene, selbst entwickelte Beratungsformate.

Ein weiterer sehr wichtiger Punkt ist die Zulassung eines pflanzenkohlehaltigen FLL-Substrats als weiterer Baustein des Stockholmer Systems, wie in Kapitel 4.5.1 beschrieben. Dies ermöglicht nicht nur einen nahtlosen Einsatz unter den in Deutschland bekannten Bedingungen, sondern ist auch ein Signal an potenzielle Anwender*innen, dass Substrate mit Pflanzenkohle bedenkenlos eingesetzt werden können.

6.1 Informationsmaterial und Handbücher

Eine der umfangreichsten Arbeitspunkte im Projekt war die professionelle Übersetzung und Erstellung einer offiziellen deutschen Version des Handbuchs unter dem deutschen Titel „Pflanzgruben in der Stadt Stockholm. Ein Handbuch 2017 (Deutsch: 2024)“. Der inhaltliche Teil der Arbeit erfolgte in Zusammenarbeit mit den ursprünglichen Autor*innen und den Projektverantwortlichen der Stadt Stockholm, sodass die deutsche Ausgabe nach Fertigstellung offiziell durch die Stadt Stockholm abgenommen wurde. Es ist der explizite Wunsch der Stadt Stockholm, ihr im Handbuch gebündeltes Wissen (Stand 2017) in übersetzter Form im deutschsprachigen Raum zu verbreiten und hierfür den Inhalt und das Layout des Handbuchs 1:1 zu übernehmen. Das endgültige Layout wurde gemeinsam mit einem professionellen Grafiker erstellt und bildet in der **digitalen Version des Handbuchs**⁴ das schwedische Original und dessen Übersetzung ins Englische (2022) 1:1 ab. Aus Gründen der besseren

⁴ Download unter: <https://carbuna.com/pages/handbuch-stockholm>

Übersichtlichkeit des Handbuchs, der optimierten Verwendung zum Beispiel auf einer Baustelle sowie der verbesserten Haptik in gedruckter Form wurde bei der ersten Erstellung einer Print-Version (2024) das Layout angepasst, wieder mit professioneller Unterstützung und in Absprache mit der Stadt Stockholm.

Das Handbuch ist eine umfangreiche Sammlung von allgemeinen Erklärungen bis hin zu konkreten Handlungsanweisungen. Zielgruppe des Handbuchs sind Stadtplaner*innen, Architekt*innen, ausführende Betriebe und allgemein interessierte Urbanist*innen. Bei der Umsetzung von spezifischen Maßnahmen wird das Stockholmer Handbuch in vielen Fällen deutlich konkreter als andere Handbücher, wie etwa der BGS-Praxisleitfaden, der sich eher an Politik und Planungsbüros richtet [18]. In der späteren Praxiserfahrung hat sich jedoch gezeigt, dass Praktiker*innen noch detailliertere Anweisungen und Baupläne anfordern. Anweisungen müssen klar formuliert sein und sich idealerweise an bekannte Muster und Vorschriften halten, in denen Praktiker*innen geschult sind. Gerade wenn ein System zum ersten Mal erprobt wird und vor Ort noch kein Erfahrungswissen besteht, ist es ideal, wenn erfahrene Praktiker*innen mit eigenen Praxiserfahrungen zur Einweisung vor Ort sind. Aber auch eine gut angepasste Anleitung und Vorbesprechung ist in den meisten Fällen ausreichend, um das gewünschte Ergebnis zu erhalten. In der Praxis wurden innerhalb des Projekts auch detaillierte Bauzeichnungen (siehe 2017er-Beispiel in Anhang B) aus Schweden verwendet, die vor Ort ad-hoc übersetzt oder erklärt wurden. In zukünftigen Versionen des Handbuchs sollen die aktuellen Versionen der Bauzeichnungen (Stand 2024) auch in deutscher Sprache integriert werden.

Ursprünglich war im Projekt auch vorgesehen Animationen und Videos zu erstellen, jedoch wurde von dieser Idee aus zwei Gründen Abstand genommen. Die Zielgruppe für Videos und Animationen sind vorwiegend Laien, für welche die im Projekt erforderliche Detailtiefe an Wissen nicht hilfreich ist und die abgesehen von Publicity und einer positiven Einstellung in der Bevölkerung wenig dazu beitragen, dass sich das System in Deutschland verbreitet. Auch ist unklar inwiefern aufwendig produzierte Videos zu einem spezifischen Fachthema angesehen und verbreitet werden in der heutigen Aufmerksamkeitsökonomie, wodurch bei geringen Klickzahlen ein sehr hoher Aufwand sehr wenig Resonanz gegenübersteht. Der Aufwand zur Erstellung oder Bearbeitung von Videos und Animationen ist erheblich höher als bei Bildern und Texten und in den Arbeitspaketen waren dafür nicht genügend Mittel und Zeit allokiert. Im Vergleich hat sich das Handbuch bei Downloads und als gedrucktes Handbuch auf Messen und auf der Carbuna-Webseite sehr gut verbreitet. Die gedruckten Handbücher wurden aufgrund der geringen Auflage nur an ausgewählte Personen, die auf dem Gebiet tätig sind, ausgegeben. Die digitale Version des Handbuchs wurde im Jahr 2023 bereits 411-mal, 2024 578-mal und 2025 bisher über 195-mal heruntergeladen. Aufgrund der

hohen Qualität und der Nachfrage nach dem schriftlichen Handbuch war wenig Bedarf für die Erstellung von Videos und Animationen. Um die weitere Verbreitung des Handbuchs – und damit einhergehend des Stockholmer Systems – auch nach Ablauf des DBU-Projektes voranzubringen wird aktuell eine erneute Print-Version eruiert.

6.2 Beschreibung und Charakterisierung von Substratrezepturen

Wie auf Abbildung 8 und Abbildung 9 gut zu erkennen ist, ist eine der Erkenntnisse des Projekts, dass sich die ursprüngliche Idee der Stockholmer inzwischen regelrecht zu einem System mit unterschiedlichen Modulen bzw. Anwendungen entwickelt haben – und zwar sowohl in Schweden selbst als auch im deutschsprachigen Raum. Ging es zu Beginn der Ideenentwicklung vor allen Dingen um Stadtbäume und deren Pflanzgrubenumfeld bzw. um die Substrate, in die dieselben gepflanzt werden, umfasst sie heute jegliches städtische Grün – egal ob neu gepflanzt oder bestehendes Grün saniert wird.

Die Erfahrung während der Projektlaufzeit zeigte deutlich, dass diese unterschiedlichen Facetten die Kommunikation erheblich vereinfacht und das Stockholmer System für eine größere Zahl an Akteuren und Stakeholdern zugänglich werden lässt. Gerade in Verbindung mit Schlagwörtern wie Klimawandel oder Schwammstadt einerseits, oder der gedanklichen Brücke zu anderen System- bzw. modularen Baukastenlösungen wie BGS kommt man schneller von der Theorie zur Praxis, ins konkrete Handeln. Oftmals wird auch vom „Stockholmer Model“ gesprochen, aber in der Regel ausschließlich in Verbindung mit Stadtbäumen und Struktursubstraten. Das Modulhafte am Stockholmer System ist jedoch auch und gerade bei den Stadtbäumen und ihren Substraten ein großer Vorteil, eröffnet es doch die Möglichkeit der Kreierung lokaler Interpretationen dieses Systems, ohne dabei den Kern der ursprünglichen Idee aus den Augen zu verlieren.

Seit Beginn des Projekts haben sich im deutschsprachigen Ausland die Anwendungen von Struktursubstraten weiter etabliert, verstetigt und dort auf diese Weise nachhaltig institutionalisiert. Stellvertretend können als Beispiele die Städte Graz und Wien in Österreich sowie Winterthur und Zürich in der Schweiz genannt werden. In Deutschland ist zum Beispiel die Stadt Magdeburg eine Vorreiterin wo inzwischen vom „Magdeburger Baumquartier“ gesprochen wird, initiiert von der Landschaftsarchitektin Annett Kriewald in engem Austausch mit der Verwaltung.

Als Referenz wurden im Projekt Informationen für folgende Anwendungen erstellt (siehe Anhang A):

- Substrat für den erweiterten Wurzelraum
- Pflanzsubstrat für den oberen Teil der Pflanzgrube
- Regenbeet-Substrat
- Magerrasen-Substrat

Im sich dynamisch entwickelnden Bereich der Gebäudebegrünung (vgl. auch Abbildung 8 ff) wird bislang mit vereinfachten Präsentationsunterlagen im direkten Austausch mit Planer*innen gearbeitet, um so mittelfristig die eigene Produktentwicklung abzuschließen. Workshops, Fachartikel und Beratungen

Tabelle 4: Wissenstransfer und Erfahrungsverbreitung – Wege und Methoden während und über die Projektlaufzeit hinaus.

Wege	Methoden
„Pflanzgruben in der Stadt Stockholm. Ein Handbuch 2017 (Deutsch: 2024)“	Ausgangspunkt und Basis für den Wissenstransfer. Ob als Materialfundus, als ausgedruckter Begleiter zu Vor-Ort- und Beratungsterminen, als Bestandteil der Carbuna-Homepage, als Teil einer E-Mail-Signatur oder als Auslage bei Veranstaltungen und Messen – das Handbuch der Stadt Stockholm bewährt sich auf vielfältige Art und Weise, ganz im Sinne seiner Erfinder*innen.
„Anwendungsinformationen und Ausschreibungstexte“	Aus Gründen der Nachhaltigkeit vertreibt die Carbuna AG die einzelnen, mineralischen Rohbestandteile der verschiedenen Anwendungen im Stockholmer Systems nicht selbst, sondern lediglich so genannte „Anwendungsinformationen“. Im Zusammenspiel mit dem Handbuch einerseits und persönlichen Beratungen andererseits entstehen so passgenaue Ausschreibungstexte für das jeweilige Bauvorhaben.
„Workshops und Vorträge, Messen und Tagungen“	Bei insgesamt acht Veranstaltungen hat die Carbuna AG einen Vortragenden gestellt, in der Regel wurde hier über einen Stand das Projekt vorgestellt, zum Beispiel bei den Augsburger Baumpflegetagen, (Abbildung 16 und Abbildung 17) der

	<p>Black2GoGreen-Tagung der Hochschule Geisenheim (Abbildung 18) oder den Badenweiler Baumkulturtagen.</p> <p>Bei insgesamt 12 projektrelevanten Veranstaltungen haben die Projektleitung und/oder weitere Vertreter der Carbuna AG teilgenommen, dabei wurde jeweils das Projekt vorgestellt. Als sehr effektive Methode erwies sich die Speed-Präsentation des Handbuchs an den Messeständen der Carbuna AG. Im Ergebnis waren diese kurzen Sessions gleichwertig bis besser als kurze Workshops oder Webinare.</p>
„Beratungen“	<p>In über 100 Beratungen wurden Planungsbüros, Kommunen, Unternehmen und Forschungseinrichtungen hinsichtlich Pflanzenkohle, Stockholmer System und städtischem Grün beraten. Erfreulicherweise konnte die große Mehrzahl dieser Beratungstermine online durchgeführt werden, zumindest die Ersttermine. Dies hat die Effektivität deutlich erhöht bzgl. der Arbeitsstunden und Reisekosten im Projekt, außerdem wurden so unnötige Emissionen vermieden.</p>
„Veröffentlichungen“	<p>2023 - Fachartikel in der BI_Medien: „Einsatz von Pflanzenkohle nach dem Stockholmer System in der Stadt“⁵ [29]</p> <p>2025 – Fachartikel zum Jahresthema “Das Stockholmer System“ im Baumpflegekalender 2025⁶</p>
„Pilotprojekte“	<p>Siehe Kapitel 6.3.</p>

⁵ Direktlink: <https://bi-medien.de/fachzeitschriften/galabau/stadtgruen/stadtklima-einsatz-von-pflanzenkohle-nach-dem-stockholmer-system-in-der-stadt-g16969>

⁶ Zum Baumpflegekalender 2025: <https://www.dlv-shop.de/baumpflegekalender-2025-4838>



Abbildung 16: Zwei Beispiele eines Stands der Carbuna AG – links bei den Deutschen Baumpflegetagen Augsburg (2024), rechts bei den Dresdner Stadtbaumtagen (2025).



Abbildung 17: Der Carbuna-Speaker-Corner der Carbuna AG bei den Deutschen Baumpflegetagen Augsburg (2024), stilgerecht mit Kiste und Publikum.



Abbildung 18: Vorträge vor großem (Geisenheim 2024) und kleinem (Calw 2024) Publikum.

6.3 Demonstrationsinstallationen unter Verwendung von urbanen Substraten mit Pflanzenkohle in Pilot-/Pionierstädten

Dank des DBU-geförderten Projekts kam die Carbuna AG bereits mit über 160 Bauvorhaben in über 100 Kommunen, von sowohl öffentlichen als auch privaten Bauherren, in Kontakt. Während des Projekts wurde zu den verschiedenen Anwendungsfällen jeweils Informations- und Anschauungsmaterial erstellt. Bei den bereits fertig gestellten Bauvorhaben kam es in der Regel sowohl zu einer fachlichen als auch zu einer inhaltlichen Beratung vor Beginn des Bauvorhabens bzw. vor Beginn der konkreten Baumaßnahme. Hierbei unterschied sich das Vorgehen deutlich, je nachdem zu welcher Planungs- bzw. Fertigstellungsphase der Erstkontakt zu Stande kam. In den frühen Phasen wurde meist direkt die Bauherrenschaft beraten, in späteren Phasen dann die beratenden und planenden Büros bis hin zu direkten Beratungen der ausführenden Unternehmen direkt auf der Baustelle – mit dem Handbuch in der Hand. Am nachhaltigsten erwiesen sich regelmäßig die Termine, bei den es möglich war, die Bauherrenschaft/Kommune, die Planer*innen und die ausführenden Unternehmen in einer gemeinsamen Runde zur treffen – sei es digital oder per Vor-Ort-Termin. Arbeitszeittechnisch gesehen ist die Beratung am intensivsten, wenn sich die Chance bietet, sich von Anfang mit der gesammelten Expertise einzubringen. Mit Fortschreiten des Projekts wurden zunehmend wertvolle Erfahrungen in Theorie und Praxis zum sehr komplexen Thema der öffentlichen Ausschreibungen gemacht. Im Ergebnis liegt nun eine praxiserprobte Sammlung an Textmodulen zu jeglichen Themen rund um das Stockholmer System vor.

Praxiserprobt in dem Sinne, dass einerseits alle Beteiligten auf einen Blick verstehen, um was es im konkreten Bauvorhaben geht, und was gefordert ist. Andererseits in dem Sinne, dass über diesen Weg die Carbuna AG als einer der marktprägenden Akteure wahrgenommen wird, Tendenz steigend. Unabhängig vom Stockholmer System wurden darüber hinaus auch Erfahrungen aus erster Hand zur Funktionsweise des Ausschreibungs-Wesens in Deutschland gemacht, im Guten wie im weniger Guten. Wobei es beim Thema Ausschreibungen regelmäßig möglich ist, neue Erkenntnisse schnell und effektiv in die eigenen Abläufe zu integrieren und dieses Wissen auch mit einem wachsenden Netzwerk rund um das Thema Stockholmer System zu teilen.

Am Ende des Tages ist aber auch in diesem Sektor ein großer Teil des Erfolges davon abhängig, wie sauber eine Ausschreibung fertiggestellt wurde, und wie sich die verschiedenen Akteure im Zeitraum zwischen Veröffentlichung der Ausschreibung bis Fertigstellung des Bauvorhabens untereinander verhalten. Während in diesen Zeiträumen regelmäßig die unterschiedlichsten Erfahrungen gemacht werden konnten und weiterhin auch gemacht werden können, ist ein Ergebnis des Projekts, dass im Zweifel auch in diesen Zeiträumen noch viel Beratungsaufwand anfallen kann, ganz zu schweigen von der vertrieblichen Arbeit bis zum finalen Verschicken von Auftragsbestätigungen.

Im Folgenden sollen beispielhaft einige Bauvorhaben kurz und knapp vorgestellt werden, die jeweils als stellvertretend für einen ausgesuchten Aspekt des Stockholmer Systems betrachtet werden können, und somit als Pilotprojekte des Projekts gelten können.

6.3.1 Berlin: Renaturierung von Grünflächen

Die Jungfernheide in Berlin ist eine stark frequentierte Parkanlage. Eine große Wiese auf dem Gelände war stark verdichtet und litt unter Trockenstress. Ziel war es, auf der Wiese Wildkräuter zu etablieren. Durch die Nutzung von Pflanzenkohle sollte die Wasserspeicherfähigkeit erhöht werden, ebenso sollte die Pflanzenkohle Nährstoffe und symbiotische Wurzelpilz-Sporen mit in den Boden bringen. Die Planung der Maßnahme erfolgte durch den Biodiversitätsspezialisten Dr. Philipp Unterweger. Die Pilzsporen und ein organischer Dünger wurden durch die Carbuna AG in die Pflanzenkohle gemischt. Eine besondere Herausforderung war das Timing, da die Maßnahme aus Budgetgründen im November durchgeführt werden musste. Aus diesem Grund wurde zur Einbringung ein Aerifizierungsverfahren aus der Golfplatz-Instandhaltung gewählt. Diese erfordert, dass die Pflanzenkohle eine körnige Struktur, sowie gute Fließeigenschaften hat. Zunächst wurde das vorgemischte Pflanzenkohle-Düngeprodukt aufgebracht, dann wurden mit der Aerifizierungsmaschine bleistiftdicke Löcher aus dem Boden ausgestanzt. Mit einer Art Rechen

wurden Pflanzenkohle und Erde wieder zurück in die Löcher geschoben. Anschließend wurde ausgesät.



Abbildung 19: Renaturierung einer großen Grünfläche an der Jungfernheide.

Die Maßnahme hatte mit einigen Schwierigkeiten zu kämpfen. Die körnige, fließfähige Pflanzenkohle verbindet sich weniger gut mit der Erde als eine feine Pflanzenkohle. Durch den Zeitpunkt der Maßnahme im November dauert es lange, bis die Fläche wieder richtig bewachsen war. Außerdem konnte die Fläche für den Besucherverkehr nicht richtig abgesperrt werden, sodass die unbewachsene Erde teilweise durch Trampelpfade direkt nach der Maßnahme schon wieder verdichtet wurde. Trotz der Schwierigkeiten hat die Maßnahme zu einer deutlichen Aufwertung der Wiese geführt und die Maßnahme wurde 2024 durch die Berliner Regenwasseragentur als zukunftsweisendes Vorhaben im Bereich Schwammstadt ausgezeichnet [30].

6.3.2 Freiburg im Breisgau: Baumgrubensanierung, Pflanzung neuer Bäume und Revitalisierung von Bestandsbäumen

Im Zuge der klimaangepassten Umgestaltung des Mathilde-Otto-Platzes (Abbildung 20) kam bei den Baumgrubensanierungen und der Pflanzung neuer Bäume ein FLL-Baumsustrat mit Pflanzenkohle zum Einsatz, siehe auch Kapitel 4.5.1. Über 11 Bäume wurden neu gepflanzt, außerdem viele Kleingehölze und Stauden.



Abbildung 20: Bauvorhaben am Mathilde-Otto-Platz in Freiburg im Breisgau.



Abbildung 21: Revitalisierung von Bestandsbäumen in Freiburg im Breisgau.

Die Revitalisierung von Bestandsbäumen (Abbildung 21) durch die Technik der Geoinjektion ist ebenfalls und in zunehmendem Maße eine Anwendung im Stockholmer System, hier an einem Lindenbestand am Mundenhof, ebenfalls in Freiburg im Breisgau. Bei der Geoinjektion werden zunächst mit Hilfe von Druckluft im verdichteten Boden unterirdische Hohlräume geschaffen, welche im Anschluss mit demselben Gerät mit einem Substrat verfüllt werden. Am Schluss einer jeden Verfüllung wird das jeweilige Loch bis an die Oberkante verfüllt, hier mit der Gießkanne. Das verwendete Substrat besteht in der Regel aus bereits mit Nährstoffen beladener Pflanzenkohle, und weiteren Bestandteilen.

6.3.3 Graz: Pflanzung neuer Bäume

Seit dem Jahr 2017 wendet die Stadt Graz in Österreich das Stockholmer System an, vor allen Dingen bei Stadtbäumen. Inzwischen wurde von Seiten der Stadt ein eigenes Grazer Baumsubstrat entwickelt. Hierbei wird intensiv mit Aushubmaterial aus stadt eigenen Baustellen gearbeitet, welches dann mit Sand, Kompost und Pflanzenkohle gemischt wird, bevor es zur Neupflanzung von Bäumen verwendet wird.



Abbildung 22: Neu gepflanzte Bäume in Graz am Bauvorhaben „Am Steinfeld + MSL-Straße“. Mit freundlicher Genehmigung der Fedl Garten- und Landschaftsplanung GmbH.

Die Stadt Graz nimmt in Bezug auf die Interpretation und die lokale Anpassung des Stockholmer Systems in vielerlei Hinsicht eine Pionierposition ein und seit 2017 sind rund um das Thema wegweisende Pilot- und Forschungsprojekte entstanden. Auf zahlreichen Kommunikationskanälen wird seither auch mit eigens erstellten Informations-Materialien auf den sogenannten Grazer Weg aufmerksam gemacht.

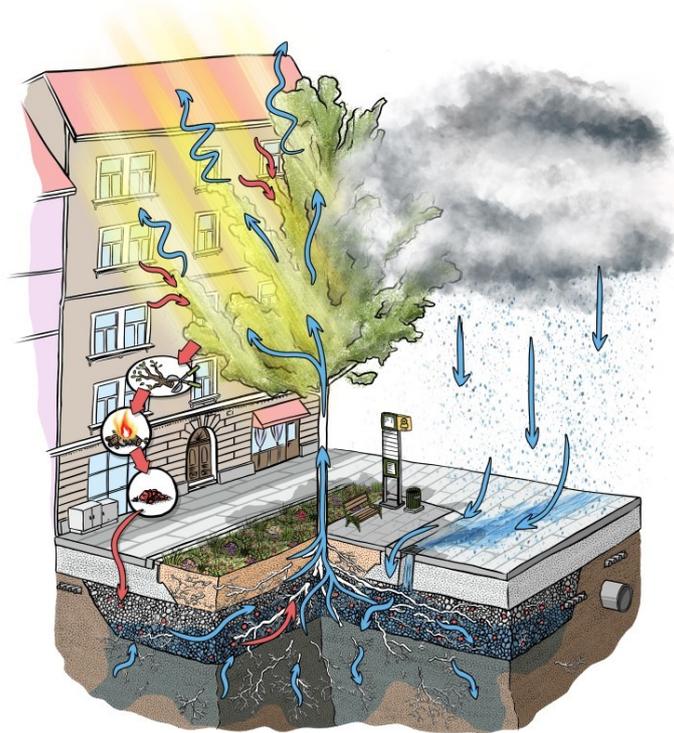


Abbildung 23: Schwammstadt-Grafik des Stockholmer Systems, hier mit dem Wasser- und dem Kohlenstoffkreislauf. Mit freundlicher Genehmigung der Stadt Graz und des Graphikers Gernot Passath.

6.3.4 Magdeburg: Pflanzung neuer Bäume und Anlage von Versickerungsflächen bzw. Staudenbeeten

Seit einigen Jahren wird auch in Magdeburg das Stockholmer System lokal angepasst und weiterentwickelt. Im Auftrag des Tiefbauamtes der Landeshauptstadt Magdeburg hat die Landschaftsarchitektin Annett Kriewald in Kooperation mit der Carbuna AG zwei Bauvorhaben realisiert und dabei – inspiriert durch das Stockholmer System – ihre eigene Bauweise entwickelt, das sogenannte Magdeburger Baumquartier. Beim Bauvorhaben „Platzgestaltung Nicolaiplatz Magdeburg“ (Abbildung 24) wurden zahlreiche neue Bäume nach dem Prinzip des Magdeburger Baumquartiers gepflanzt, mit Gehbereichen sowie einspurigen Fahrbereichen dazwischen. Im Zuge des Bauvorhabens „Ersatzneubau Strombrückenzug Magdeburg“ werden mit der von Kriewald entwickelten Bauweise Alleen-Bäume gepflanzt.



Abbildung 24: Das „Magdeburger Baumquartier“ am Nicolaipplatz (links) und an der Kaiser-Otto-Brücke (mittig). Mit freundlicher Genehmigung der Landschaftsarchitektin Kriewald.

6.3.5 Marburg: Neupflanzung eines Großbaumes

Neupflanzungen von Großbäumen, wie hier an der Elisabethkirche in Marburg (Abbildung 25), bilden einen weiteren Anwendungsfall des Stockholmer Systems. Dem neuen Baum werden durch den Einsatz von Pflanzenkohle in Kombination mit dem bestehenden Aushub und weiteren Bestandteilen optimale Wachstumsbedingungen geschaffen.



Abbildung 25: Großbaumpflanzung an der Elisabethkirche in Marburg.

6.3.6 Rottweil: Pflanzung neuer Bäume

Im Zuge des Bauvorhabens „Heilig Kreuz Ort“ (Abbildung 26) in Rottweil wurden rund um das dortige Münster unter anderem auch neue Baumstandorte angelegt. Ein Teil davon nach dem Stockholmer System, hier in der Rottweiler Interpretation durch das Landschaftsarchitektur-Büro faktorgrün. Siehe Abbildung des rechten Titelbilds des vorliegenden Projektberichts für ein Foto

der fertig gepflanzten Bäume. Mit freundlicher Genehmigung des Büros faktorgrün. Ein Teil des Dachwassers des Münsters wird zukünftig zur Bewässerung der Bäume verwendet.



Abbildung 26: Bauvorhaben „Heilig Kreuz Ort“ in Rottweil. Mit freundlicher Genehmigung des Büros faktorgrün.

6.3.7 Wiesbaden: Pflanzung neuer Bäume

Am Bauvorhaben „Quartiersplatz“ (Abbildung 27) der Wiesbadener Wohnbaugesellschaft mbH (im Baugebiet „Kärntner Viertel“) wurden im Wiesbadener Ortsteil Gräselberg Bäume nach dem Stockholmer System gepflanzt, hier in der Interpretation des Landschaftsarchitektur-Büros exedra aus Wiesbaden. An diesem Standort wird beispielsweise auch Regenwasser von privaten Grundstücksflächen zugeleitet.



Abbildung 27: Bauvorhaben „Quartiersplatz“ in Wiesbaden. Mit freundlicher Genehmigung des Büros exedra.

6.3.8 Memmingen: Pflanzkübel mit Struktursubstrat und Pflanzenkohle

Angrenzend an das Projekt wurde von der Klimainitiative Memmingen e.V. im April 2024 ein durch den Klimafonds Allgäu finanziertes und von der Carbuna AG durch Sachspenden unterstütztes lokales Projekt in Memmingen umgesetzt. Hierbei wurden fünf IBC-Container mit je 1000 Liter Inhalt zu Pflanzkübeln umgebaut und mit Holzplatten verkleidet (Abbildung 28 und Abbildung 29).

Die Container wurden mit einem Substrat nach Stockholmer System von unten nach oben in folgenden Schichten befüllt:

- 60 Liter Drainage mit Recycling-Ziegelsteinen oder Schroppen
- 400 Liter Schotter 8/11-Pflanzkohle-Mischung (4:1) als Wasserspeicher-Zone
- 335 Liter Schotter 5/8-Pflanzkohle-Kompost-Mischung (4:1:1) als Wurzel-Zone
- 5 Liter Natursand-Abdeckung zur Verringerung der Wärmeaufnahme bei Sonneneinstrahlung (Albedo)

Die Wasserspeicher- und Wurzelzone wurden durch einen Steigzylinder aus Schotter 5/8, Pflanzkohle, Natursand und feinem Ziegelsplitt (5:1:2,5:1) verbunden, der mithilfe eines 90cm-KG-Rohrs geformt und vom Boden des IBC bis direkt unter den Wurzelballen führt.

Die Container wurden mit jeweils einem Baum mit unterschiedlichen Ausgangsgrößen bepflanzt, wobei nur heimische Gewächse verwendet wurden:

- Mehlbeere, ca. 4,5 Meter hoch
- Mispel, ca. 3 Meter hoch
- Felsenbirne, ca. 1,5 Meter hoch
- Weißdorn, ca. 1,3 Meter hoch
- Kornelkirsche, ca. 1,2 Meter hoch



Abbildung 28: Vier der fünf Container in Memmingen Ende April. Zwei Wochen nach Pflanzung haben alle Bäume Blätter ausgetrieben.

Anschließend wurde die Oberfläche mit Stauden und Blumen bepflanzt, mit dem Ziel, dass die Stauden innerhalb des ersten Jahres die Oberfläche der Container überwiegend bedeckt haben. In den ersten beiden Monaten zeigten alle Pflanzen sehr gutes Wachstum und keine Mangelerscheinungen, sodass davon ausgegangen werden kann, dass auch im Laufe des Jahres ein zufriedenstellendes Ergebnis erreicht wird.

7 Fazit

Das Stockholmer System und daraus abgeleitete Varianten sind auf einem guten Weg, sich in Deutschland und allgemein im deutschsprachigen Raum langfristig zu etablieren. Im Rahmen dieses DBU-Projekts konnten konkrete Handlungsempfehlungen und Baupläne bereitgestellt werden, wie insbesondere das Handbuch „Pflanzgruben in der Stadt Stockholm“. Das Informationsmaterial stellt eine wichtige Arbeitshilfe bei der Etablierung von Leuchtturmprojekten dar. Diese Pionierprojekte sorgen dafür, dass Präzedenzfälle und Erfahrungswissen entstehen und sich so die etablierten nationalen und regionalen Standards mit gesetzartigem Charakter, wie die FLL-Richtlinien, mittelfristig an die neuen Systeme anpassen können.

Aktuell sind Projekte nach Stockholmer System oder allgemeiner mit Pflanzenkohle noch keine Selbstläufer. Zwar besteht großer Handlungsdruck bei den Kommunen und grundsätzliches Interesse sowie vergleichsweise wenig Skepsis bei den Interessierten, allerdings erfordern die zahlreichen Neuerungen beim System und den Rohstoffen umfangreiche Beratungsleistungen, mit oft mehrfachen Beratungsgesprächen, auch bei Projekten mit geringem Finanzvolumen. Aus diesem Grund ist es wichtig, weiterhin Pionierprojekte mit Drittmitteln zu unterstützen bis sich genug Wissen und Erfahrung verbreitet hat, um nachhaltiges, eigenständiges Marktwachstum zu erreichen.

Das Stockholmer System wurde mit außergewöhnlichem Einsatz durch eine kleine Gruppe Pionier*innen innerhalb der Stadt Stockholm etabliert, war seiner Zeit voraus und hat trotzdem oder gerade deshalb eine wichtige Vorbildfunktion. Die Übersetzung ins Deutsche und damit die Etablierung des Stockholmer Systems in Deutschland kommt zu einer Zeit, in der die Themen Klimaanpassungen und Schwammstadt große Aufmerksamkeit erhalten und immer mehr Städte nach Lösungen suchen und eigene Konzepte ausarbeiten. Zwar sind deutsche Städte angesichts der bereits weit fortgeschrittenen Bedrohungssituation durch Hitze, Dürren und Hochwasser bisher unzureichend aufgestellt, aber durch diesen Rückstau an längst fälligen Maßnahmen entsteht im Moment eine sehr große Nachfrage nach erprobten Lösungen. Daher ist dieses Projekt genau zum richtigen Zeitpunkt gekommen und konnte sehr nahe an der praktischen und realen Entwicklung entlang durchgeführt werden. Dadurch wird das Projekt auf absehbare Zeit entscheidende positive Auswirkungen auf die künftige Marktentwicklung haben.

8 Ausblick

Für die Carbuna AG und viele andere Marktteilnehmer wird der Einsatz von Pflanzenkohle im urbanen Bereich im Allgemeinen und im Stockholmer System im Besonderen in den kommenden Jahren immer weiter an Bedeutung gewinnen, zumal immer mehr Städte Maßnahmen zur Klimaanpassung in Form von Schwammstadt- und Stadtgrün-Konzepten umsetzen werden.

Um eine weitreichende Verbreitung des Stockholmer Systems in Deutschland zu erzielen ist es unerlässlich, dass das System in die bestehenden Regelwerke integriert wird. Dazu müssen diese Regelwerke ergänzt, angepasst und teilweise auch revidiert werden. Aktuell arbeitet die FLL beispielsweise an einem 3. Standard für Pflanzgruben. Diese Normierungsprozesse für neue und aktualisierte Standards erfordern allerdings, dass bereits langjährige Erfahrungen in nationalen Anwendungen vorliegen, in denen die Eignung der neuen Methoden evaluiert wurde. Vor diesem Hintergrund ist es elementar, weiterhin Leuchtturmprojekte im Rahmen des Stockholmer System zu etablieren. Aufgrund des offensichtlichen Handlungsdrucks, unsere Städte klimaresilienter zu gestalten sowie aufgrund vieler positiver Beispiele und den schnell ersichtlichen Vorzügen des Systems, ist es trotz oft schwieriger finanzieller Bedingungen relativ einfach, Kommunen und Partner zu finden, die sich allgemein für das Thema Schwammstadt interessieren. Daraus lassen sich vielversprechende Anknüpfungspunkte für das Stockholmer System ableiten und identifizieren. Am Ende werden möglicherweise speziell für Deutschland angepasste oder noch kleinteiliger fragmentierte, regionale Versionen eines Systems entstehen, welche unterschiedliche Aspekte des Stockholmer Systems aufgreifen, ohne das Kind explizit beim Namen zu nennen. Genauso wird sich das Stockholmer System mit der Zeit selbst weiterentwickeln, auch in anderen schwedischen Städten, sodass am Ende wahrscheinlich ein neuer Überbegriff für Systeme gefunden werden muss, die ursprünglich auf dem Stockholmer System der 2020er Jahre basieren.

Einige Aspekte des Stockholmer Systems konnten im Rahmen dieses Projekts nicht in vollem Umfang bzw. nur am Rande bearbeitet werden. Die Versuche zur Filtration von Nährstoffen und Schadstoffen zeigen interessante urbane Anwendungsfelder für Pflanzenkohle, die aber nicht unmittelbar das Stockholmer System betreffen. Filtration spielt eine wesentliche Rolle im urbanen Kontext zur Reinigung von leicht, mittel und stark belasteten Wässern. So können geeignete Pflanzenkohlen möglicherweise in der vierten Reinigungsstufe in Kläranlagen als Alternative zu Aktivkohlen genutzt werden, die wesentlich höhere Kosten und Umweltwirkungen verursachen. Ebenso ist es möglich, dass Pflanzenkohle als Rohstoff für die Herstellung von Aktivkohle dient und damit fossile Kohle ersetzt, die häufig noch als Grundlage für Aktivkohlen verwendet wird.

In ähnlicher Funktion kann Pflanzenkohle in technischen Adsorberanlagen genutzt werden, um Regenwasser und anderes Oberflächenwasser von Mikroverunreinigungen und Schadstoffen zu befreien oder in Form von Filtermatten zur Dekontamination von Wasserläufen oder Erden verwendet werden. Verschiedene Filterfunktionen von Pflanzenkohle werden in den kommenden Jahren voraussichtlich weiter erforscht werden und in die Praxis Einzug halten.

Während des Projekts wurde der Bedarf ersichtlich, eine Lösung für den übermäßigen Salzeintrag in Pflanzgruben mittels Pflanzenkohle zu finden. Obwohl technische Maßnahmen und Barrieren einen Großteil der winterlichen Salzfracht von Pflanzgruben fernhalten können, wäre es dennoch für sämtliches Stadtgrün von Vorteil, wenn Salz entweder gefiltert, ausgeschleust oder wenigstens dessen negativen Effekte auf die Pflanzen durch den Einsatz von Pflanzenkohle reduziert werden könnten. Studien aus dem Ackerbau deuten darauf hin, dass es Mechanismen im Boden gibt, bei denen Pflanzenkohle dazu beiträgt die Auswirkungen von Salz auf Pflanzen zu minimieren. Daher sollte in einer künftigen Studie ebenfalls untersucht werden, inwiefern diese oder vergleichbare Effekte in Ackerböden auch bei Struktursubstraten zum Tragen kommen oder ob es andere Effekte im Zusammenspiel von Pflanzenkohle und Salz gibt, die berücksichtigt werden müssen.

Darüber hinaus bieten die Eigenschaften von Pflanzenkohle ideale Voraussetzungen als Additiv für Deponieabdeckungen, um Deponien also zu Schließen und zu Renaturieren. Auch hier werden in den kommenden Jahren weitere Forschungen und Praxisversuche in Deutschland starten. Schließlich ergeben sich in der Kombination von Materialforschung mit urbanem Grün ebenfalls Anknüpfungspunkte für Forschung und Entwicklung, genau wie in der Verknüpfung der Bereiche Straßen- und Tiefbau mit der Schaffung weiterer realer sowie urbaner Kohlenstoffsenken.

Das Projekt hat durch die Übertragung der wertvollen Erfahrungen aus Schweden aus mehr als einem Jahrzehnt eine ausgezeichnete Grundlage für eine zügige Adaptierung in Deutschland geschaffen. So konnten zahlreiche Bauvorhaben und Versuche durchgeführt und abgeschlossen werden und lokale Anpassungen und Rezepturen entwickelt werden. Das Thema Pflanzenkohle im urbanen Bereich bietet aufgrund seiner vielfältigen Facetten auch weiterhin viel Potential für Forschung und Innovationen für künftige Projekte.

Quellenverzeichnis

- [1] P. Korn, *Peter Korn's garden: giving plants what they want*, 1. ed. Landvetter: Peter Korn, 2013.
- [2] Kent Fridell, Martin Vysoký, und Susanne Sixtensson, Hrsg., „Livable 'scapes - a handbook of Bluegreengrey systems“. edge, 30. Oktober 2023. Zugegriffen: 5. Juni 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://bluegreengrey.edges.se/>
- [3] „What is AMA? - byggbeskrivningsverige“. Zugegriffen: 5. Juni 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.byggbeskrivningsverige.se/2023/03/14/what-is-ama/>
- [4] WMO, „World Weather Information Service“, World Weather Information Service. Zugegriffen: 3. Juni 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://worldweather.wmo.int/en/city.html?cityId=187>
- [5] M. Thieme-Hack, Hrsg., „Empfehlungen für Baumpflanzungen. 1: Planung, Pflanzarbeiten, Pflege / Bearb.: Martin Thieme-Hack“, 2. Ausg. 2015., Bonn: Forschungsges. Landschaftsentwicklung Landschaftsbau, 2015.
- [6] „Klimawandel: Die wichtigsten Daten im ZDFheute-KlimaRadar“, ZDFheute. Zugegriffen: 12. Juni 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.zdfheute.de/politik/klimawandel-deutschland-welt-folgen-daten-100.html>
- [7] Markus Zipf und Hanna Buntz, „Menschen vor Hitze schützen: Weniger Grau, mehr Grün“, Deutsche Umwelthilfe e.V. Zugegriffen: 13. Juni 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.duh.de/informieren/natur-und-umwelt-vor-ort/flaechenverbrauch-eindaemmen/>
- [8] U. Bauer, M. Christ, L. Sönksen, und L. G. Pfitzinger, „Verkehrsberuhigung und Einzelhandel: Dann wird's laut“, Deutsches Institut für Urbanistik, 2025. doi: 10.34744/DIFU-POLICY-PAPERS-2025-5.
- [9] *DüMV - Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln*. 2012. Zugegriffen: 9. Juni 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.gesetze-im-internet.de/d_mv_2012/BJNR248200012.html
- [10] *Verordnung (EU) 2019/1009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. Juni 2019 mit Vorschriften für die Bereitstellung von EU-Düngeprodukten auf dem Markt*. 2022. Zugegriffen: 9. Juni 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A02019R1009-20241120>
- [11] Wissenschaftlicher Beirat für Düngungsfragen, „Biokohle in der Pflanzenproduktion – Nutzen, Grenzen und Zielkonflikte“, Bonn, Aug. 2023. Zugegriffen: 9. Juni 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Ministerium/Beiraete/duengung/biokohle-pflanzenproduktion.pdf?__blob=publicationFile&v=3
- [12] *BBodSchV - Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung*. 2021. Zugegriffen: 9. Juni 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.gesetze-im-internet.de/bbodschv_2023/BJNR271600021.html
- [13] Hans-Peter Schmidt u. a., *European Biochar Certificate (EBC) - guidelines version 9.5G*, Arbaz, Switzerland., 21. Dezember 2024. Zugegriffen: 9. Juni 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.carbon-standards.com/docs/transfer/4000093DE.pdf?t=1954746>
- [14] *Commission Regulation (EU) No 68/2013 of 16 January 2013 on the Catalogue of feed materials (Text with EEA relevance)Text with EEA relevance*. 2022. Zugegriffen: 9. Juni 2025. [Online]. Verfügbar unter: <http://data.europa.eu/eli/reg/2013/68/2022-07-24/eng>
- [15] A. Shahzadi u. a., „Effects of biochar on growth and yield of Wheat (*Triticum aestivum* L.) under salt stress“, *Sci. Rep.*, Bd. 14, Nr. 1, S. 20024, Aug. 2024, doi: 10.1038/s41598-024-70917-2.
- [16] S. Farhangi-Abriz und S. Torabian, „Effect of biochar on growth and ion contents of bean plant under saline condition“, *Environ. Sci. Pollut. Res.*, Bd. 25, Nr. 12, S. 11556–11564, Apr. 2018, doi: 10.1007/s11356-018-1446-z.

- [17] X. Lee u. a., „Use of biochar to manage soil salts and water: Effects and mechanisms“, *CATENA*, Bd. 211, S. 106018, Apr. 2022, doi: 10.1016/j.catena.2022.106018.
- [18] W. Dickhaut, Hrsg., „BlueGreenStreets: multifunktionale Straßenraumgestaltung urbaner Quartiere: Toolbox. Teil A: Praxisleitfaden / Projektleitung: Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Dickhaut“, Stand: März 2022., Hamburg: HafenCity Universität Hamburg, 2022.
- [19] A. Roloff, *Bäume in der Stadt: Besonderheiten, Funktion, Nutzen, Arten, Risiken*. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer, 2013.
- [20] Roloff, A., „Stadt- und Straßenbäume der Zukunft – welche Arten sind geeignet?“, in *Aktuelle Fragen der Stadtbaumplanung, -pflege und -verwendung*, Roloff, A., Thiel, D., und Weiß, H., Hrsg., in Forstwiss. Beiträge Tharandt Beiheft, vol. 14. Dresden, 2013, S. 173–187.
- [21] Andreas Plietzsch, „Zur Lebensdauer von Straßenbäumen in der Stadt: Wie viele Bäume sind genug?“, *Neue Landschaft*, 20. Oktober 2018. Zugegriffen: 16. Juni 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://neulandschaft.de/artikel/zur-lebensdauer-von-strassenbaeumen-in-der-stadt-wie-viele-baeume-sind-genug-5469>
- [22] L. A. Roman, J. J. Battles, und J. R. McBride, „The balance of planting and mortality in a street tree population“, *Urban Ecosyst.*, Bd. 17, Nr. 2, S. 387–404, Juni 2014, doi: 10.1007/s11252-013-0320-5.
- [23] W. Dickhaut und A. Eschenbach, Hrsg., *Entwicklungskonzept Stadtbäume: Anpassungsstrategien an sich verändernde urbane und klimatische Rahmenbedingungen*. Hamburg: HafenCity Universität Hamburg, 2019.
- [24] „EPD-IES-0012022:004 (S-P-12022) - Biochar“. Zugegriffen: 4. Juni 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://environdec.com/library/epd12022>
- [25] „EPD-IES-0022887:001 - Macadams, all-in rock, and rock fines from Tranås quarry - Kleva“. Zugegriffen: 3. Juni 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://environdec.com/library/epd22887>
- [26] B. Joseph und H. Stichnothe, „Estimating uncertainties in the life cycle assessment of composting household biowaste and urban green waste in Germany“, *J. Mater. Cycles Waste Manag.*, Bd. 25, Nr. 5, S. 3065–3080, Sep. 2023, doi: 10.1007/s10163-023-01740-6.
- [27] M. Kwak, L. Kim, O. Sarvana, H. M. Kim, P. Finamore, und H. Hazewinkel, „Life Cycle Assessment of Complex Heavy Duty Equipment“, in *ASME/ISCIE 2012 International Symposium on Flexible Automation*, St. Louis, Missouri, USA: American Society of Mechanical Engineers, Juni 2012, S. 625–635. doi: 10.1115/ISFA2012-7180.
- [28] E. S. Azzi, E. Karlton, und C. Sundberg, „Life cycle assessment of urban uses of biochar and case study in Uppsala, Sweden“, *Biochar*, Bd. 4, Nr. 1, S. 18, Dez. 2022, doi: 10.1007/s42773-022-00144-3.
- [29] David Bregulla, „Pflanzenkohle im Stockholmer System: So wird das Substrat verwendet“, *BI Medien*, Nov. 2023, Zugegriffen: 17. Juni 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://bi-medien.de/fachzeitschriften/galabau/stadtgruen/stadtklima-einsatz-von-pflanzenkohle-nach-dem-stockholmer-system-in-der-stadt-g16969>
- [30] Bezirksamt Charlottenburg-Wilmersdorf von Berlin, „„Frischzellen-Kur‘ für den Volkspark Jungfernheide: Charlottenburg-Wilmersdorf für Schwammstadt-Projekt ausgezeichnet - Berlin.de“. Zugegriffen: 16. Juni 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.berlin.de/ba-charlottenburg-wilmersdorf/aktuelles/pressemitteilungen/2024/pressemitteilung.1463370.php>

Anhang A: Anwendungen/Rezepturen



Rezepturen

Für urbane Substrate, Stockholmer System



UCS 0/8 Pflanzsubstrat

Pflanzgrube obere Schicht

Zweck: Obere Schicht in Pflanzgruben nach dem Stockholmer-System oder um den Wurzelballen. Wurzelraum-Erweiterung, Puffer bei Starkregenereignissen. Schwammstadt-Baustein. Überbaubar.

Einsatzgebiet: Zur Anlage von Grünflächen, Straßenbegleitgrün und ähnlichen urbanen Anwendungen

Vorteile: Überbaubarer Wurzelraum, Wasserspeicher und Gasaustausch. Pflanzkohle speichert Wasser und Nährstoffe im Boden. Bleibt dauerhaft erhalten. Bindet Schadstoffe und filtert Oberflächenabfluss. 100% recyclingfähig, ohne künstliche Bestandteile.

Bestandteile

- 35 vol% Splitt 0/8
- 35 vol% Ziegelsplitt 0/8
- 10 vol% Natursand
- 12,5 vol% Fertigkompost, Rottegrad V
- 12,5 vol% Pflanzkohle (Carbuna KPK 100 oder CPK5)

Weitere Hinweise: Nach Nährstoffbedarf der jeweiligen Pflanzen zusätzlich düngen. Tiefere Schichten an die spezifischen Standort- und Projektbedingungen angepasst dimensionieren.



UCS 32/90 Pflanzsubstrat

Pflanzgrube untere Schicht

Zweck: Untere Schicht in Pflanzgruben nach dem Stockholmer-System. Wurzelraum-Erweiterung, Puffer bei Starkregenereignissen als Schwammstadt-Baustein. Überbaubar

Einsatzgebiet: Zur Anlage von Grünflächen, Straßenbegleitgrün und ähnlichen urbanen Anwendungen

Vorteile: Überbaubarer Wurzelraum, Wasserspeicher und Gasaustausch. Pflanzkohle speichert Wasser und Nährstoffe im Boden und bleibt dauerhaft erhalten. Bindet Schadstoffe und filtert Oberflächenabfluss. 100% recyclingfähig, ohne künstliche Bestandteile.

Bestandteile

- 85 vol% Schotter 32/90
- 7,5 vol% Fertigkompost, Rottegrad V
- 7,5 vol% Pflanzkohle (Carbuna KPK 100 oder CPK5)

Weitere Hinweise: Als unterste Schicht in der Pflanzgrube, ca. 60cm. Diese Schicht der Pflanzgrube wird an die spezifischen Standort- und Projektbedingungen angepasst dimensioniert. Dabei sind unter anderem Fragen der Entwässerung, Oberflächengestaltung, Baumscheibenbepflanzung zu berücksichtigen.

Reine Pflanzkohle für Substrate

- CARBUNA CPK 5
- CARBUNA KPK 100

Wir finden für Sie die passende Pflanzkohle für Ihre Anwendung.

Pflanzkohle mit Dünger

- CARBUNA ATS (org. Dünger 2 N)
- CARBUNA AHC (min. Dünger 10 N)

Weitere Optionen auf Anfrage.

Individuelle Produkte

Wir mischen Pflanzkohle mit Additiven nach Ihren Vorgaben.

Sie haben Fragen zu Anwendung und Produkten? Wir beraten Sie gerne!

Ihre Plattform für
Pflanzkohle
www.carbuna.com



CARBUNA

Rezepturen

Für urbane Substrate, Stockholmer System



URS

Regenbeet-Substrat

Zweck: Regenbeete als Puffer bei Starkregenereignissen. Schwammstadt-Baustein im urbanen Grün

Einsatzgebiet: Zur Anlage von Regenbeeten, Grünflächen, Straßenbegleitgrün und für vergleichbare urbane Anwendungen

Vorteile: Pflanzenkohle speichert Wasser und Nährstoffe im Boden und bleibt dauerhaft erhalten. Stabile, offenporige Substratoberfläche nimmt Regenwasser dauerhaft zuverlässig auf. Bindet Schadstoffe und filtert Oberflächenabfluss. 100% recyclingfähig, ohne künstliche Bestandteile.

Bestandteile

65 vol% Splitt 0/8
10 vol% Gesteinsmehl
10 vol% Fertigungskompost, Rottegrad V
15 vol% Pflanzenkohle (Carbuna KPK 100 oder CPK5)

Weitere Hinweise: Als oberste Schicht im Regenbeet, ca. 40 cm. Je nach Nährstoffbedarf der jeweiligen Pflanzen zusätzlich düngen. Tiefere Schichten des Regenbeetes werden an die spezifischen Standort- und Projektbedingungen angepasst dimensioniert.



UGS

Magerrasen-Substrat

Zweck: Staudenbeete, Magerrasen-Flächen, Blühstreifen. Nicht überverdichtbar

Einsatzgebiet: Zur Anlage von Grünflächen, Straßenbegleitgrün und ähnlichen urbanen Anwendungen

Vorteile: Pflanzenkohle speichert Wasser und Nährstoffe im Boden und bleibt dauerhaft erhalten. Fördert die Etablierung eines aktiven Bodenlebens Bindet Schadstoffe und filtert Oberflächenabfluss. 100% recyclingfähig, ohne künstliche Bestandteile.

Bestandteile

65 vol% Splitt 0/8
25 vol% Natursand
10 vol% Pflanzenkohle (Carbuna KPK 100 oder CPK5)

Weitere Hinweise: Als oberste Schicht im Beet, ca. 40cm. Für Anwendungen mit Nährstoffbedarf maximal 10% Kompost beimischen oder zusätzlich düngen. Tiefere Schichten des Regenbeetes werden an die spezifischen Standort- und Projektbedingungen angepasst dimensioniert.

Sie haben Fragen zu Anwendung und Produkten? Wir beraten Sie gerne!

Weitere Informationen

Laden Sie hier kostenlose die offizielle deutsche Übersetzung des Handbuchs „Pflanzgruben in der Stadt Stockholm“ herunter:



<https://carbuna.com/pages/handbuch-stockholm>



Abschlussbericht

Weiterentwicklung des „Stockholmer Modells“ in Deutschland zur Vitalisierung von Stadtbäumen und urbanem Grün mit Substraten aus Schotter, Kompost und Pflanzenkohle

Gefördert durch: DBU Deutsche Bundesstiftung Umwelt

Autor*innen: Benedikt Zimmermann*, David Bregulla*, Mattias Gustafsson**, Jacqueline Hellmann**

Projektpartner: *CARBUNA AG; ** EcoTopic AB

gefördert durch



Deutsche
Bundesstiftung Umwelt

www.dbu.de



CARBUNA

