

Studie

Bilanzierung des CO₂-Footprints

des Pilotprojekts in Mosambik zum Schutz der Mangrovenwäler
von Hilfswerk International



Wien, März 2021

Inhalt

1.	Zusammenfassung	3
2.	Einleitung	5
3.	Methodische Ansätze zur ökologischen Relevanzenerhebung	6
4.	Ziel und Untersuchungsrahmen	7
5.	Sachbilanz	7
6.	Wirkungsabschätzung und Ergebnisse	8
7.	Abschätzung der Klimawirksamkeit von Mangrovenwäldern	8
7.1	Gesamte Klimawirksamkeit des Projektes „Schutz der Mangrovenwälder“	10
8.	Schlussfolgerungen und Empfehlungen	12
9	Literaturverzeichnis.....	13

Impressum

Autor: DI Philipp Hietler

pulswerk GmbH, Beratungsunternehmen des Österreichischen Ökologie-Instituts

Seidengasse 13/3, A - 1070 Wien

pulswerk

pulswerk wurde 2012 vom Österreichischen Ökologie-Institut gemeinsam mit neun Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern gegründet. Das Ökologie-Institut forscht für eine nachhaltige Entwicklung unserer Gesellschaft, pulswerk berät Unternehmen und Politik bei der Planung und Umsetzung nachhaltiger Lösungen.

Auftraggeber:
Hilfswerk International

Ansprechperson:

Mag. Bianca Weissel

Email: bianca.weissel@hilfswerk-international.at

Tel: +43 676 8787 60 110

Das Projekt wurde im Rahmen des Programms OekoBusiness Wien von der Stadt Wien unterstützt.


OekoBusiness Wien

1. Zusammenfassung

Das Hilfswerk International schützt durch das Projekt „Schutz der Mangrovenwälder - Nahrungssicherheit und Umweltschutz“ in Sofala in Mosambik die dortigen Mangrovenwälder. Diese sind durch Abholzung, Überfischung und Brandrodung stark gefährdet. Das Ziel ist es, stark degradierte Gebiete wiederherzustellen und dort die Mangrovenwälder aufzuforsten.

Österreich bzw. Europa bekennen sich zum Pariser Klimaabkommen, um eine Dekarbonisierung der Gesellschaft zu erreichen. Vor diesem Hintergrund spielen Maßnahmen einer Kohlenstoffspeicherung eine große Rolle. Mangroven binden und speichern sehr große Mengen an Kohlenstoff in deren Biomasse und im Boden, wenn diese zerstört werden dann wandeln sich diese von einem Kohlenstoffspeicher zu einer Kohlenstoffquelle.

Das Ziel der vorliegenden Untersuchung ist eine Berechnung des CO₂-Fußabdrucks für die Wiederaufforstung eines Hektar der Mangrovenwälder in Mosambik im Rahmen des Pilotprojektes des Hilfswerk International. Weiters soll zusätzlich eine Abschätzung der Klimawirksamkeit eines Hektars bzw. eines Mangrovenbaumes auf Basis von vorhandener Literatur getroffen werden.

Es hat sich gezeigt, dass es so gut wie keinerlei klimarelevante Arbeitsprozesse gibt bzw. nur Transportmittel auf sehr kurzer Distanz für die Aufforstungen benötigt werden. Betriebsmittel wie bspw. Dünger oder Pestizide werden nicht verwendet. Die Aufforstung passiert zu einem sehr großen Teil manuell.

Die Aufforstung eines Hektars Mangrovenwald in Mosambik im Rahmen des Projektes des Hilfswerk International verursacht in Summe 280 kg CO₂-eq. Pro gepflanztem Baum bedeutet dies rd. 0,1 kg CO₂-eq.

Die Abschätzung der Klimawirksamkeit der Mangrovenwälder in Mosambik (Provinz Sofala) bzw. die Fähigkeit dieser Bäume Kohlenstoff einzulagern und langfristig zu binden, basiert auf Studien und seriösen Quellen.

Die Kohlenstoffspeicherung beginnt mit der Aufnahme des Kohlenstoffs durch die Pflanze durch Photosynthese und endet mit der Freisetzung zurück in die Atmosphäre durch bspw. Abbauprozesse oder Verbrennung¹.

Die erhobene Klimawirksamkeit der Mangrovenwälder zeigt, dass ein Hektar Mangroven innerhalb der durchschnittlichen Lebensdauer von 25 Jahren rd. 725.000 kg Kohlenstoff speichert. Pro Baum bedeutet dies, dass in etwa 290 kg Kohlenstoff über die Lebensspanne gespeichert wird und für das Gesamtprojekt, indem 275 ha an Mangroven aufgeforstet wurden, rd. 199.000 Tonnen.

Bei der Berücksichtigung der für die Aufforstung einmalig verursachten CO₂-eq. von 0,1 kg pro Baum bzw. rd. 280 kg CO₂-eq pro Hektar oder 77.000 kg CO₂-eq. für das Gesamtprojekt.

Bei einem nachhaltigen und dauerhaften Erhalt der Mangroven bzw. wenn keine Landnutzungsänderungen der aufgeforsteten Flächen erfolgt, kann der gespeicherte Kohlenstoff langfristig im Boden gehalten.

¹ European Commission (2017): PEFCR Guidance document, - Guidance for the development of Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCRs). Version 6.3. Brussels

Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Folgende Schlussfolgerungen wurden auf Basis der Ergebnisse formuliert:

- Der CO₂-Fußabdruck für die Aufforstung von Mangroven ist sehr gering.
- Der größte Teil der Arbeitsprozesse für die Aufforstung wird manuell durchgeführt und es werden keine Düngemittel oder Pestizide dafür benötigt.
- Die einzigen klimarelevanten Aufwendungen sind der Transport der Pflanzen zum Ort der Aufforstung.
- Mangroven sind in der Lage große Mengen an Kohlenstoff zu speichern.
- Der von den Mangroven gespeicherte Kohlenstoff kann langfristig im Boden gespeichert werden.
- Funktionierende Mangrovenwälder können einen entscheidenden Faktor bei Maßnahmen gegen den Klimawandel spielen.

Auf Basis der Ergebnisse formulieren die Autoren folgende Empfehlungen:

- Die Arbeitsprozesse bei der Aufforstung sollten aufgrund des geringen CO₂-Footprints beibehalten werden.
- Auf Düngemittel (insbesondere Mineraldünger) sowie Pestizide sollten aufgrund einer Erhöhung des CO₂-Footprints abgesehen werden.
- Die Aufforstung der Mangrovenwälder auf stark degradierten Standorten sollte aufgrund der positiven Klimawirksamkeit forciert werden.
- Aufgeforstete Mangrovenwälder sollten dauerhaft und nachhaltig bewirtschaftet werden bzw. keine Landnutzungsänderungen durchgeführt werden, damit der gespeicherte Kohlenstoff langfristig gehalten werden kann.

2. Einleitung

Das Hilfswerk International schützt durch das Projekt „Schutz der Mangrovenwälder - Nahrungssicherheit und Umweltschutz“ in Sofala in Mosambik die dortigen Mangrovenwälder. Diese sind durch Abholzung, Überfischung und Brandrodung stark gefährdet. Das Ziel ist es, stark degradierte Gebiete wiederherzustellen und dort die Mangrovenwälder aufzuforsten. Im Rahmen dieses Projektes wurden im Jahr 2020, innerhalb von 30 Monaten, 112 Baumschulen gegründet und rd. 275 ha an Mangrovenwälder wieder aufgeforstet.



Abbildung 1: Mangrovenwald in Sofalas Mosambik (Quelle: www.hilfswerk.at)

Das Ökosystem der Mangrovenwälder ist sehr wichtig für die Bevölkerung, weil der Großteil der Nahrungsmittel für die Menschen an der Küste von Sofala in den Mangroven produziert wird.²

Neben diesen Aspekten bieten Mangroven eine Vielzahl an Ökosystemleistungen. Dadurch profitieren die dort lebenden Menschen sowie die Biodiversität. Weiters spielen diese Ökosysteme eine wichtige Rolle bei der Stabilisierung der Sedimente und der Reduzierung der Erosion von Küstengebieten (Kauffman und Bhomia 2017).

Österreich bzw. Europa bekennen sich zum Pariser Klimaabkommen, um eine Dekarbonisierung der Gesellschaft zu erreichen. Das Europäische Parlament nahm kürzlich mit großer Mehrheit eine Resolution zur Erklärung eines Klimanotstands für Europa an. Dies unterstreicht die Dringlichkeit des Klimawandels und fordert konkrete Maßnahmen zur Gegensteuerung. Vor diesem Hintergrund werden Diskussionen über Nachhaltigkeit, Umweltschutz und Klimawirksamkeit des eigenen Verhaltens, von Produkten und Dienstleistungen immer interessanter und wichtiger als je zuvor. Vor diesem Hintergrund spielen Maßnahmen einer Kohlenstoffspeicherung eine große Rolle. Mangroven binden und speichern sehr große Mengen an Kohlenstoff in deren Biomasse und im Boden, wenn diese zerstört werden dann wandeln sich diese von einem Kohlenstoffspeicher zu einer Kohlenstoffquelle.

² www.hilfswerk.at

3. Methodische Ansätze zur ökologischen Relevanzerhebung

Die Bilanzierung des **CO₂-Footprints** (Bewertung der CO₂-Bilanz) von Produkten oder Prozessen ist an eine Ökobilanz nach ISO 14044 sowie der „Product Environmental Footprint Category 1 Rules Guidance³“ angelehnt. Die Bilanzierung des CO₂-Footprints ist ein Verfahren zur Erfassung und Bewertung von CO₂-Äquivalenten von Produkten, Prozessen, Dienstleistungen etc. über den gesamten Lebensweg.

Die Durchführung einer CO₂-Bilanzierung ist angelehnt an den Rahmennormen einer Ökobilanz gem. ISO 14044⁴ und umfasst vier Arbeitsschritte:

1. **Festlegung des Ziels und Untersuchungsrahmens**
2. **Sachbilanz**
3. **Wirkungsabschätzung**
4. **Auswertung**

Um Bilanzen eines Produktes zu berechnen, müssen Zielvorgaben, funktionelle Einheit und Systemgrenzen gewählt werden.

Mit der Zielvorgabe wird die detaillierte Beschreibung von Ziel und Gegenstand der Untersuchung gefordert und das Erkenntnisinteresse präzise definiert. Im Zuge der Zieldefinition wird auch die funktionelle Einheit als Maß für den Nutzen des Produktionssystems festgelegt.

Im Zuge der **Zieldefinition sind auch die Systemgrenzen zu definieren**, um den zeitlichen und räumlichen Geltungsbereich abschätzen zu können. Grundlage einer sorgfältigen Bilanz muss eine möglichst vollständige Erfassung der vor- und nachgeschalteten Prozesse sein, wobei der Wahl der Abschneidekriterien eine wichtige Rolle zukommt.

Bei der Aufstellung der **Sachbilanz, werden sämtliche Input-Output-Flüsse** entlang des Lebensweges des untersuchten Produktes ermittelt und zusammengestellt.

Die anschließende **Wirkungsabschätzung** besteht aus der Zuordnung der, in der Sachbilanz erstellten Stoffflüsse zu einzelnen Wirkungspotentialen (im vorliegenden Fall ist dies der Treibhauseffekt in Kohlendioxid-Äquivalenten (CO_{2eq.})). Die Klimarelevanz beschränkt sich bei der Berechnung und Auswertung allein auf den Wirkungsindikator Einfluss auf das Klima durch das Treibhauspotential (Global Warming Potential, GWP).

Bei der **Auswertung** wird die Wirkungsabschätzung bzw. Ergebnisse der Bilanzierung interpretiert, Schlussfolgerungen und Empfehlungen abgeleitet sowie eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt.

³ European Commission (2017): PEFCR Guidance document, - Guidance for the development of Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCRs). Version 6.3. Brussels

⁴ DIN EN ISO 14044, 2006: Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen.

4. Ziel und Untersuchungsrahmen

Das Ziel der vorliegenden Untersuchung ist eine Berechnung des CO₂-Fußabdrucks für die Wiederaufforstung eines Hektar der Mangrovenwälder in Mosambik im Rahmen des Pilotprojektes des Hilfswerk International. Weiters soll zusätzlich eine Abschätzung der Klimawirksamkeit eines Hektars bzw. eines Mangrovenbaumes auf Basis von vorhandener Literatur getroffen werden.

Bei der Berechnung der CO₂-eq., die durch die Aufforstungstätigkeiten entstehen, wurden sämtliche klimarelevanten Arbeitsprozesse und Betriebsmittel berücksichtigt.

Die Samen werden in den Mangrovenwäldern der Küstenregion während der entsprechenden Reifezeit (Dezember bis Mai) geerntet. Alle Aktivitäten werden manuell durchgeführt. Die ersten Triebe entstehen innerhalb von 15 Tagen nach der Saat und in 90 bis 120 Tagen erfolgt die Auspflanzung.

Im Falle der Aufforstung mit direkter Pflanzung der Mangroven wird zuerst das Land für die Aufforstung auf seine Eignung untersucht, vorbereitet und vermessen. Daraufhin folgt die Sammlung der Samen und deren direkte Pflanzung.

5. Sachbilanz

Bisher werden für die Aufzucht kein Substrat, Dünger und keine Pestizide verwendet, weil die Pflanzen nicht von Schädlingen und Krankheiten befallen werden. Die Pflanzen werden in Baumschulen in Küstennähe gezüchtet, wo es einfach ist, für das Wachstum von Mangrovenpflanzen geeigneten Boden zu finden. Diese Setzlinge, die zur Auspflanzung kommen, werden in Kisten oder im Falle des Saatguts in Säcken, mit Schubkarre für kurze Strecken und im Boot für lange Strecken transportiert. Die einzigen klimarelevanten Arbeitsprozesse sind somit der Transport mit motorisierten Fahrzeugen oder Booten.

Die Anzahl der Pflanzen pro Hektar ist variabel. Es wird hier angenommen, dass bei einem Pflanzabstand von 2 Metern rd. 2.500 Bäume gepflanzt werden können. Diese Zahl deckt sich auch ganz gut mit Werten aus Studien.

Folgende Klimarelevante Punkte wurden bei der Berechnung der CO₂-Bilanz berücksichtigt:

- Für die Aussaat bzw. das Pflanzen der Setzlinge wird ein Motorboot benötigt. Dieses kann 500 Pflanzen transportieren und benötigt pro Einsatz rd. 20 Liter Treibstoff.
- Für den Transport der Pflanzen zum Motorboot wird ein Auto bzw. Pick Up benötigt. Die Distanz von der Baumschule zum Boot beträgt rd. 2 km. Der Treibstoffverbrauch liegt bei 10 Liter pro 100 km und es können 2.000 Pflanzen transportiert werden.

Es hat sich im Rahmen der Sachbilanz grundsätzlich gezeigt, dass es so gut wie keinerlei klimarelevante Arbeitsprozesse gibt bzw. nur Transportmittel auf sehr kurzer Distanz für die Aufforstungen benötigt werden. Betriebsmittel wie bspw. Dünger oder Pestizide werden nicht verwendet. Die Aufforstung passiert zu einem sehr großen Teil manuell.

Die verwendeten Daten wurden durch einen Fragebogen und Recherchetätigkeiten erhoben und durch Datensätze der Datenbank Ecoinvent 3 bzw. der DIN EN 16258 ergänzt. Folgende Tabelle zeigt die Sachbilanz:

Bezeichnung	Kennzahlen
Motorboot (Transport von 500 Pflanzen)	20 Liter Treibstoff
Auto bzw. Pick Up (Transport von 2.000 Pflanzen)	10 Liter Treibstoff auf 100 Kilometer

Tabelle 1: Daten zur Berechnung der CO₂-Bilanz

6. Wirkungsabschätzung und Ergebnisse

Im folgenden Kapitel werden die berechneten Ergebnisse der Auswirkungen der Wiederaufforstung eines Hektars bzw. eines Mangrovenbaumes beschrieben.

Die Aufforstung eines Hektars Mangrovenwald in Mosambik im Rahmen des Projektes des Hilfswerk International verursacht in Summe 280 kg CO₂-eq. Pro gepflanztem Baum bedeutet dies rd. 0,1 kg CO₂-eq.

Auf Basis des sehr geringen CO₂-Footprints und der Tatsache, dass so gut wie keine klimawirksamen Arbeitsprozesse oder Maschinen für die Aufforstung der Mangrovenwälder benötigt werden, wird von einer Sensitivitätsanalyse abgesehen.

7. Abschätzung der Klimawirksamkeit von Mangrovenwäldern

Die Kohlenstoffspeicherung beginnt mit der Aufnahme des Kohlenstoffs durch die Pflanze durch Photosynthese und endet mit der Freisetzung zurück in die Atmosphäre durch bspw. Abbauprozesse oder Verbrennung⁵.

Die Abschätzung der Klimawirksamkeit der Mangrovenwälder in Mosambik (Provinz Sofala) bzw. die Fähigkeit dieser Bäume Kohlenstoff einzulagern und langfristig zu binden, basiert auf Studien und seriösen Quellen. Diese wurden mit wissenschaftlichen Datenbanken sowie Desktoprecherchen gesucht.

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass Klimawirksamkeiten von Mangrovenwäldern noch wenig untersucht ist. Weiters schwanken die Werte für der Speicherung des Organischen Kohlenstoffes zwischen den Standorten und Regionen. Ein weiterer Einflussfaktor ist dabei die Zusammensetzung der einzelnen Baumarten in einem Mangrovenwald sowie Alter, Anzahl des Bestandes, Baumhöhe und Brusthöhendurchmesser. Bezüglich der durchschnittlichen Lebensdauer von Mangroven wird von 25 Jahren ausgegangen⁶, wobei auch hier Studien fehlen.

Mangroven haben die Eigenschaft, dass diese den größten Teil des eingelagerten Kohlenstoffes in den Boden abgeben und somit langfristig speichern können. Der organisch reiche Boden reicht von 0,5 m bis zu mehr als 3 m Tiefe und ist verantwortlich für bis zu 98 % der Kohlenstoffspeicherung. (Donato et al. 2011).

Für die Ermittlung des für die Region durchschnittlichen Wertes der Kohlenstoffspeicherung der Mangrovenwälder wurden rd. 20 Werte aus Studien herangezogen. Diese haben die Kohlenstoffgehalte von Mangrovenwäldern in Afrika untersucht. Die Daten bewegen sich zwischen rd. 2.000 Tonnen bis rd. 160 Tonnen organischen Kohlenstoffes. In der nachfolgenden Abbildung sind die Einzelwerte aus den Studien sowie der daraus gebildete und für die Abschätzung herangezogene Mittelwert dargestellt. Die verwendeten Studien sind im Anhang aufgelistet.

⁵ European Commission (2017): PEFCR Guidance document, - Guidance for the 13 development of Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCRs). Version 6.3. Brussels

⁶ <https://mama-earth.de/2020/08/19/juli-august-2020/>, abgerufen am 26.02.2021

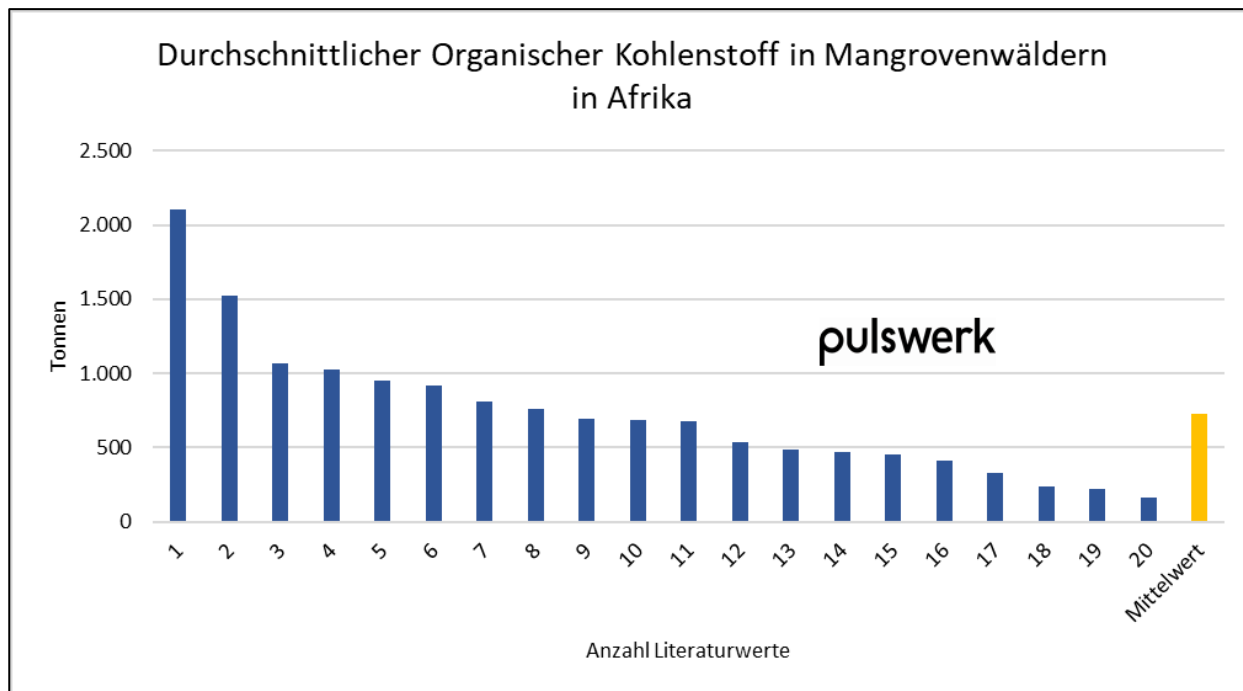


Abbildung 2: Durchschnittlicher Organischer Kohlenstoff in Mangrovenwäldern aus der Literatur

(Quellen: (Donato et al. 2011), (Siteo et al. 2014), (Stringer et al. 2015), (Jong Cleyndert et al. 2020), (Lupembe 2014), (Alavaisha und Mangora 2016), (Musyoka 2015), (Adotey 2015), (Gordon N Ajonina et al. 2014), (Benson et al. 2017), (Johnson et al. 2020), (Kauffman et al. 2020), (Kauffman und Bhomia 2017))

Der daraus gebildete und für die Abschätzung herangezogene Mittelwert der Speicherung des Kohlenstoffes in den Mangrovenwäldern ergibt rd. **725.000 Kilogramm Kohlenstoff pro Hektar**. Daten und Werte zu einzelnen Bäumen gibt es nicht. Allerdings kann errechnet werden, dass **jeder Baum** (bei einer Bestandsdichte von 2.500 Bäumen) über seine Lebensdauer **rd. 290 kg Kohlenstoff** aus der Atmosphäre speichert, bei einem einmaligen Aufwand von rd. 0,1 kg CO₂-eq. pro Baum. Der aller größte Teil des Kohlenstoffs wird in den Boden eingelagert und ist somit eine CO₂-Senke.

In der Literatur ist immer wieder zu finden, dass Mangroven sehr schnell wachsen. Dies hat sich auch im Zuge der Datenerhebung der vorliegenden Studien bestätigt. Es ist zwar davon auszugehen, dass in den ersten Lebensjahren noch nicht all zu viel Kohlenstoff eingelagert wird. Dies sollte sich allerdings in weniger Jahre ändern.

7.1 Gesamte Klimawirksamkeit des Projektes „Schutz der Mangrovenwälder“

Die Wiederaufforstung der Mangrovenwälder wurde im vorliegenden Projekt in Mosambik innerhalb von 30 Monaten im Jahr 2020 durchgeführt. Dabei wurden 112 Baumschulen gegründet und eine degradierte Fläche von **275 ha an Mangrovenwäldern wieder aufgeforstet**.

Im Rahmen des Projektes wurden für die Aufforstung der Mangroven rd. 77 Tonnen CO₂-eq. durch die Tätigkeiten verursacht. Demgegenüber steht ein **potenzieller Kohlenstoffspeicher von rd. 199.000 Tonnen**.

Bei einer Darstellung von emittierten CO₂-eq. aus alltäglichen Tätigkeiten der Österreicherinnen und Österreicher und zur besseren Verständlichkeit der Klimawirksamkeit von Mangroven können folgende Vergleiche herangezogen werden:

Tätigkeit/Energiebedarf	Bezugsgröße (Kohlenstoffeinlagerung für...)	Beschreibung	Größenordnung
Autofahren pro Person	Rd. 1.300 km	Strecke von Wien nach Bregenz und zurück	Speicherung pro Baum
	Rd. 3,3 Mio. km	Rd. 80-mal Erdumrundung	Speicherung pro Hektar
	Rd. 900 Mio. km	Rd. 22.000-mal Erdumrundung	Speicherung für das Gesamtprojekt
Stromverbrauch pro Haushalt	Rd. 1.200 kwh	Stromverbrauch von rd. einem halben Haushalt.	Speicherung pro Baum
	Rd. 2,9 Mio. kwh	Stromverbrauch von rd. 1.000 Haushalte.	Speicherung pro Hektar
	Rd. 800 Mio. kwh	Stromverbrauch von rd. 280.000 Haushalten .	Speicherung für das Gesamtprojekt
Flugreisen ⁷ pro Person	Rd. 230 kg CO ₂ -eq.	CO ₂ -Äquivalente für einen Hin- und Rückflug von Wien nach Venedig	Speicherung pro Baum
	Rd. 12.500 kg CO ₂ -eq	CO ₂ -Äquivalente für 58-mal Hin- und Rückflug von Wien nach Sydney	Speicherung pro Hektar
	Rd. 12.500 kg CO ₂ -eq	CO ₂ -Äquivalente für 16.000-mal Hin- und Rückflug von Wien nach Sydney	Speicherung für das Gesamtprojekt

Tabelle 2: Darstellung der Klimawirksamkeit der Mangroven im Vergleich zu alltäglichen Tätigkeiten

⁷ Die Vergleiche bei den verursachten CO₂-Äquivalenten bei Flugreisen stammen von www.atmosfair.de.

In Tabelle 2 wurden die Klimawirksamkeit der Mangroven im Vergleich zu durchschnittlichen Autofahrten, Stromverbrauch oder Flugreisen dargestellt.

Das bedeutet, dass ein Mangrovenbaum in etwa so viel Kohlenstoff speichern kann, dass durch eine Autofahrt einer Österreicherin oder Österreich von Wien nach Bregenz und wieder zurück emittiert wird. Auf einen Hektar bezogen könnten die von einer Person verursachten Emissionen, die bei einer 80-maligen Erdumrundung entstehen, theoretisch kompensiert werden. Auf das Gesamtprojekt bezogen würde dies sogar eine 22.000-malige Erdumrundung mit dem Auto bedeuten.

Die Erzeugung des in Österreich verwendeten Strommix verursacht je Kilowattstunde (kWh) CO₂-Äquivalente. Ein Mangrovenbaum ist in der Lage, die jährlichen CO₂-Emissionen, die durch den Stromverbrauch eines halben Haushalts in Österreich entstehen, theoretisch zu speichern. Bezogen auf einen Hektar Mangrovenwald würde dies eine Kompensation des jährlichen Strombedarfs von durchschnittlich 1.000 österreichischen Haushalten bedeuten. Das Gesamtprojekt ist demnach ein potenzieller Ausgleich der verursachten CO₂-Äquivalente des jährlichen Stromverbrauchs von rd. 280.000 österreichischen Haushalten.

Flugreisen verursachen in aller Regel sehr große Mengen an Treibhausgasemissionen. Bei einer Flugreise von Wien nach Venedig entstehen pro Person rd. 230 kg CO₂-eq. für einen Hin- und Rückflug. Ein Mangrovenbaum kann somit diese Flugreise theoretisch kompensieren. Bei der Betrachtung des Kohlenstoffspeichers eines Hektars Mangrovenbäume können die Treibhausgasemissionen einer Person für 58 Hin- und Rückflüge von Wien nach Sydney gespeichert werden oder sogar 16.000 Hin- und Rückflüge von Wien nach Sydney bezogen auf das Gesamtprojekt.

8. Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die Ergebnisse der CO₂-Bilanz zeigen, dass die Aufforstung der Mangrovenwälder in Sofala in Mosambik einen sehr geringen CO₂-Footprint haben und verursacht pro aufgeforsteten Hektar rd. 280 kg CO₂-eq. bzw. rd. 0,1 kg CO₂-eq. pro gepflanztem Baum oder rd. 77.000 kg CO₂-eq bezogen auf das Gesamtprojekt.

Die erhobene Klimawirksamkeit der Mangrovenwälder zeigt, dass ein Hektar Mangroven innerhalb der durchschnittlichen Lebensdauer von 25 Jahren rd. 725.000 kg Kohlenstoff speichert. Pro Baum bedeutet dies, dass in etwa 290 kg Kohlenstoff über die Lebensspanne gespeichert wird. Bezogen auf das Gesamtprojekt indem innerhalb von 30 Monaten rd. 275 ha wieder aufgeforstet wurden, bedeutet das ein theoretischer Kohlenstoffspeicher in den kommen Jahren und Jahrzehnten von r. 199.000 Tonnen.

Bei einem nachhaltigen und dauerhaften Erhalt der Mangroven bzw. wenn keine Landnutzungsänderungen der aufgeforsteten Flächen erfolgt, kann der gespeicherte Kohlenstoff langfristig im Boden gehalten werden.

Folgende Schlussfolgerungen wurden auf Basis der Ergebnisse formuliert:

- Der CO₂-Fußabdruck für die Aufforstung von Mangroven ist sehr gering.
- Der größte Teil der Arbeitsprozesse für die Aufforstung wird manuell durchgeführt und es werden keine Düngemittel oder Pestizide dafür benötigt.
- Die einzigen klimarelevanten Aufwendungen sind der Transport der Pflanzen zum Ort der Aufforstung.
- Mangroven sind in der Lage große Mengen an Kohlenstoff zu speichern.
- Der von den Mangroven gespeicherte Kohlenstoff kann langfristig im Boden gespeichert werden.
- Funktionierende Mangrovenwälder können einen entscheidenden Faktor bei Maßnahmen gegen den Klimawandel spielen.

Auf Basis der Ergebnisse formulieren die Autoren folgende Empfehlungen:

- Die Arbeitsprozesse bei der Aufforstung sollten aufgrund des geringen CO₂-Footprints beibehalten werden.
- Auf Düngemittel (insbesondere Mineraldünger) sowie Pestizide sollten aufgrund einer Erhöhung des CO₂-Footprints weiter abgesehen werden.
- Die Aufforstung der Mangrovenwälder auf stark degradierten Standorten sollte aufgrund der positiven Klimawirksamkeit forciert werden.
- Aufgeforstete Mangrovenwälder sollten dauerhaft und nachhaltig bewirtschaftet werden bzw. keine Landnutzungsänderungen durchgeführt werden, damit der gespeicherte Kohlenstoff langfristig gehalten werden kann.

9 Literaturverzeichnis

- Adotey, Joshua (2015): Carbon stock assessment in the Kakum and Amanzule Estuary Mangrove forests, Ghana. Carbon stock assessment in the Kakum and Amanzule Estuary Mangrove forests, Ghana. University of Cape Coast. Online verfügbar unter <https://erl.ucc.edu.gh/jspui/handle/123456789/3167>.
- Alavaisha, Edmond; Mangora, Mwita M. (2016): Carbon Stocks in the Small Estuarine Mangroves of Geza and Mtimbwani, Tanga, Tanzania. In: *International Journal of Forestry Research* 2016, S. 1–11. DOI: 10.1155/2016/2068283.
- Benson, Lisa; Glass, Leah; Jones, Trevor; Ravaoarinarotsihoarana, Lalao; Rakotomahazo, Cicelin (2017): Mangrove Carbon Stocks and Ecosystem Cover Dynamics in Southwest Madagascar and the Implications for Local Management. In: *Forests* 8 (6), S. 190. DOI: 10.3390/f8060190.
- Donato, Daniel C.; Kauffman, J. Boone; Murdiyarsa, Daniel; Kurnianto, Sofyan; Stidham, Melanie; Kanninen, Markku (2011): Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. In: *Nature Geosci* 4 (5), S. 293–297. DOI: 10.1038/ngeo1123.
- Gordon N Ajonina; James Kairo; Gabriel Grimsditch; Thomas Sembres; J Kairo (2014): Assessment of Mangrove Carbon Stocks in Cameroon, Gabon, the Republic of Congo (RoC) and the Democratic Republic of Congo (DRC) Including their Potential for Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation (REDD+). In: Salif Diop, Jean-Paul Barousseau und Cyr Descamps (Hg.): *The Land/Ocean Interactions in the Coastal Zone of West and Central Africa*. Cham: Springer International Publishing (Estuaries of the World), S. 177–189.
- Johnson, Jaime L.; Raw, Jacqueline L.; Adams, Janine B. (2020): First report on carbon storage in a warm-temperate mangrove forest in South Africa. In: *Estuarine Coastal and Shelf Science* 235, S. 106566. DOI: 10.1016/j.ecss.2019.106566.
- Jong Cleyndert, Georgia de; Cuni-Sanchez, Aida; Seki, Hamidu A.; Shirima, Deo D.; Munishi, Pantaleo K. T.; Burgess, Neil et al. (2020): The effects of seaward distance on above and below ground carbon stocks in estuarine mangrove ecosystems. In: *Carbon Balance Manage* 15 (1), S. 27. DOI: 10.1186/s13021-020-00161-4.
- Kauffman, J. Boone; Adame, Maria Fernanda; Arifanti, Virni Budi; Schile-Beers, Lisa M.; Bernardino, Angelo F.; Bhomia, Rupesh K. et al. (2020): Total ecosystem carbon stocks of mangroves across broad global environmental and physical gradients (90). Online verfügbar unter <https://www.fs.fed.us/psw/pubs/60025>.
- Kauffman, J. Boone; Bhomia, Rupesh K. (2017): Ecosystem carbon stocks of mangroves across broad environmental gradients in West-Central Africa: Global and regional comparisons. In: *PLOS ONE* 12 (11), e0187749. DOI: 10.1371/journal.pone.0187749.
- Lupembe, I. B. (2014): Carbon stocks in the mangrove ecosystem of Rufiji river delta, Rufiji district, Tanzania. Carbon stocks in the mangrove ecosystem of Rufiji river delta, Rufiji district, Tanzania. Sokoine University of Agriculture; Sokoine University of AgricultureUR - <http://41.73.194.134:8080/xmlui/handle/123456789/501?show=full>.
- Musyoka, Nicole M. (2015): Carbon Stocks and Sequestration Potentials in Managed Mangrove Plantations of Gazi Bay, Kenya. Carbon Stocks and Sequestration Potentials in Managed Mangrove Plantations of Gazi Bay, Kenya. University of Nairobi. Online verfügbar unter <http://erepository.uonbi.ac.ke/handle/11295/97089>.
- Sitoe, Almeida; Mandlate, Luís; Guedes, Benard (2014): Biomass and Carbon Stocks of Sofala Bay Mangrove Forests. In: *Forests* 5 (8), S. 1967–1981. DOI: 10.3390/f5081967.
- Stringer, Christina E.; Trettin, Carl C.; Zarnoch, Stanley J.; Tang, Wenwu (2015): Carbon stocks of mangroves within the Zambezi River Delta, Mozambique. In: *Forest Ecology and Management* 354, S. 139–148. DOI: 10.1016/j.foreco.2015.06.027.