

Veloplus Umweltstudie

Vergleich von CO₂eq-Emissionen verschiedener Fahrrad Produktionsszenarien

Informationen

Verfasser: [REDACTED]
Kontakt ETH juniors: [REDACTED]
Kontakt Veloplus: Christoph Ruprecht
Abgabedatum: 29. September 2020

Zusammenfassung

Die vorliegende Umweltstudie hat das Ziel, die Treibhausgase zu berechnen, welche über den Lebenszyklus eines Fahrrads ausgestossen werden. Gemäss dem Konzept einer Ökobilanz wurden alle relevanten Prozessschritte von der Rohstoffförderung bis zum Recycling identifiziert und mithilfe von wissenschaftlichen Daten quantifiziert. Zudem wurden verschiedene Materialien für die Produktion von Rahmen und Gabel des Fahrrads verglichen, sowie verschiedene geographische Logistikszenerarien der Wertschöpfungskette erarbeitet.

Das Szenario mit einer Basis aus sekundärem Stahl und kompletter Produktion in Europa stösst gemäss der vorliegenden Studie ab Erstkauf mit 121 kgCO₂eq am wenigsten Emissionen aus. Hierbei ist zu beachten, dass ein Grossteil der Emissionen durch die Einzelteile verursacht wird, da diese hauptsächlich aus primärem Aluminium bestehen und dessen Raffinerie besonders energieintensiv ist. Über die gesamte Lebensdauer eines Fahrrads werden diese Einzelteile häufig ersetzt. Dieser regelmässige Unterhalt erhöht somit die Emissionen des Fahrrads auf 597 kgCO₂eq. Das für Veloplus am wahrscheinlichste Produktionsszenario – Rahmen und Gabel aus primärem Stahl und komplette Produktion in Asien – ist mit 140 kgCO₂eq ab Erstkauf (616 kgCO₂eq inklusive Unterhalt), eines der Szenarien mit den tiefsten Emissionen.

Abschliessend enthält diese Studie Vergleiche des Fahrrads zu anderen Transportmitteln, Vorschläge zur Erweiterung der Berechnungen, sowie Vergleiche zu Emissionen anderer Produkte und einer Empfehlung zur Emissionskompensation.

Inhaltsverzeichnis

Informationen	1
Zusammenfassung	1
Abbildungenverzeichnis	3
Tabellenverzeichnis	3
1. Einführung	4
2. Szenarien und Prozessschritte	5
3. Methodik und Annahmen	6
3.1 Vergleich der Rahmenmaterialien	6
3.2 Emissionen durch Verarbeitung (Rohr- und Rahmenproduktion und Montage)	6
3.3 Emissionen durch Einzelteile und deren Unterhalt	6
3.4 Emissionen durch Recycling	7
3.5 Emissionen durch Transportprozesse	7
3.6 Logistikszzenarien	8
3.7 Vergleich von Transportmitteln	8
4. Resultate	8
4.1 Vergleich der Rahmenmaterialien	9
4.2 Vergleich der Logistikszzenarien	9
4.3 Vergleich aller Szenarien	10
4.3.1 Allgemeiner Vergleich	10
4.3.2 Emissionen ohne Unterhalt	11
4.3 Szenario A	11
4.3.1 Gesamte Lebensdauer inklusive Unterhalt	11
4.3.2 Vergleich Unterhalt und Neukauf	12
4.4 Vergleich von Transportmitteln	13
5. Fazit	14
6. Empfehlungen	14
6.1 Mögliche Vergleiche zur Kommunikation	14
6.1.1 Transportmittelvergleiche	15
6.1.2 Konsumvergleiche	16
6.2 Erweiterungspotential	16
6.3 Kompensationsempfehlung	17

Abbildungenverzeichnis

Abbildung 1: Konzept der Ökobilanz.

Abbildung 2: Wertschöpfungskette der Materialien eines Fahrrads

Abbildung 3: Vergleich der Emissionen durch die Extraktion und Raffinerie der jeweiligen Basismaterialien. Die Szenarien sind in Tabelle 1 beschrieben.

Abbildung 4: Vergleich der Logistikszenerien. Die Szenarien sind in Tabelle 1 beschrieben.

Abbildung 5: Vergleich der Emissionen ab Erstkauf (ohne Unterhalt). «Basis E&F» betrifft die Extraktion und Raffinerie der entsprechenden Rohmaterialien. Die Szenarien sind in Tabelle 1 beschrieben.

Abbildung 6: Emissionen der Prozessschritte eines Fahrrads nach Szenario A (Basis aus primärem Stahl aus China, Produktion in Taiwan, 20 Jahre Lebensdauer), welches total 616 kgCO₂eq produziert. «Basis E&F» bezeichnet die Extraktion und Raffinerie der Basismaterialien.

Abbildung 7: Vergleich der Emissionen zwischen regelmässigem Neukauf und jährlichem Unterhalt anhand Szenario A über 20 Jahre gerechnet.

Abbildung 8: Vergleich der Emissionen pro Personenkilometer verschiedener Transportmittel.

Abbildung 9: Vergleich der Distanzen, die mit verschiedenen Transportmitteln zurückgelegt werden müssen, bis dieselben Emissionen produziert wurden wie für ein Szenario A Fahrrad ohne Unterhalt.

Abbildung 10: Vergleich von keiner Kompensation (links), Emissionsreduktionszertifikaten (mitte) und Carbon-Removal-Zertifikaten. Abbildung stammt von einem Blogartikel von auf puro.earth.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht aller Szenarien der Wertschöpfungskette. «LD» steht für die Lebensdauer der Basis in Jahren.

Die Abkürzungen der Länder sind wie folgt: China (CHN), Taiwan (TWN), Schweiz (CHE), Brasilien (BRA), Italien (ITA), Europa allgemein (EU), Tschechien (CZE).

Tabelle 2: Vergleich der Schlussergebnisse aller Szenarien aus Tabelle 1. Die jährlichen Emissionen, sowie die Emissionen pro km sind inklusive Unterhalt. Die Berechnungen in allen Spalten, ausser «Auf 20 Jahre gerechnet», beziehen sich auf die jeweilige Lebensdauer der Basis, wie in 3.3 genannt ist.

Tabelle 3: Empfehlung für Anbieter von Carbon-Removal-Zertifikaten.

1. Einführung

Die folgende Umweltstudie befasst sich mit der Klimabelastung über den Lebenszyklus eines Fahrrads. In diesem Kontext bezeichnet der Begriff «Klimabelastung» die Menge an Emissionen (d.h. der Ausstoss) von Treibhausgasen, die zur Erderwärmung beitragen. Als Masseinheit für den Ausstoss an Treibhausgasen wurden CO₂-Äquivalente (kurz CO₂eq) verwendet. CO₂eq beschreiben das Wärmepotential verschiedener Treibhausgase (bspw. von Methan oder Stickoxiden) in Relation zu jenem von CO₂.

Als Grundlage für die Analyse wurde das Konzept der Ökobilanz gemäss der ISO Norm 140140 angewendet. Wie in Abbildung 1 gezeigt, wird hierbei ein Ziel definiert, eine Sachbilanz erstellt und deren Wirkung abgeschätzt. Diese drei Schritte sind mit einem iterativen Verfahren verbunden und werden je nach Datengrundlage und Interpretation angepasst.

Das Ziel dieser Studie ist, die emissionsreichsten Prozesse des Lebenszyklus eines Fahrrads zu identifizieren und quantifizieren. Hierbei ist ein Fokus auf die Produktion und Logistik verschiedener Rahmenmaterialien (Stahl, Aluminium, Carbon) gelegt. Zusätzlich wurden die Emissionen durch die Produktion und den Verbrauch von Einzelteilen abgeschätzt. Jeder Prozess und Transportweg der Materialien ist auf den Ausstoss von Treibhausgasen untersucht, wobei wissenschaftliche und vertrauenswürdige Publikationen als Datengrundlage dienen. Die Komplexität und Systemgrenzen der Studie sind in Abbildung 2 visualisiert.

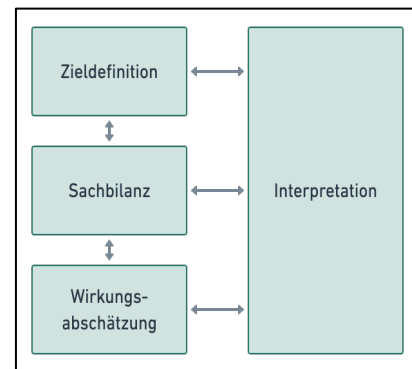


Abbildung 1: Konzept der Ökobilanz.

Aufgrund mangelnder öffentlicher Informationen, wie beispielsweise zur genauen Herkunft der Rohmaterialien, wird grundsätzlich ein "worst-case" Ansatz verwendet. Dies bedeutet, dass tendenziell höhere Emissionswerte angenommen werden, um nicht-identifizierte Prozesse indirekt miteinzubeziehen.

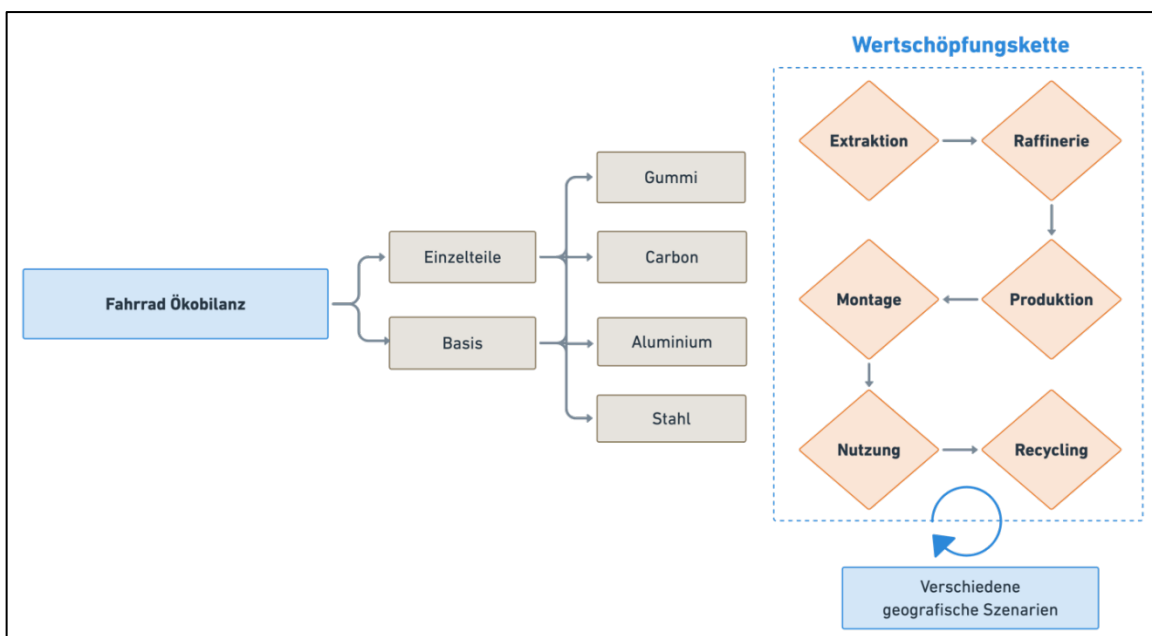


Abbildung 2: Wertschöpfungskette der Materialien eines Fahrrads

Zudem beinhaltet die Studie folgende greifbare Vergleiche, um die Emissionen über die Lebensdauer eines Fahrrads in Kontext zu setzen: Der Emissionsunterschied zwischen regelmässigem Reparieren und Neukaufen. Das Einsparpotential an Emissionen, wenn das Fahrrad gegenüber anderen Transportmitteln bevorzugt wird. Vergleiche zur Emission von verschiedenen Gütern wie bspw. Flugreisen oder Schokoladenkonsum. Alle in der Studie verwendeten Daten stammen aus öffentlich einsehbaren Quellen, welche in der beiliegenden Excel-Datei vermerkt sind.

2. Szenarien und Prozessschritte

Bei den verschiedenen Produktionsszenarien wird zwischen verschiedenen Rahmenarten und deren möglichen Transportwegen unterschieden. Ziel dieses Vergleichs ist es, herauszufinden, wie das wahrscheinlichste Produktionsszenario (Szenario A) in puncto CO₂eq Emissionen abschneidet und welche Möglichkeiten zur Verbesserung existieren. Die verschiedenen Materialien, deren Lebensdauer und geographischen Prozessketten sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Die Basis des Fahrrads besteht aus dessen Rahmen und Gabel und kann aus Stahl, Aluminium und Carbon bestehen. Beim Stahl und Aluminium kann zudem zwischen primärem und sekundärem Material unterschieden werden. Primäres Material ist Material, das direkt aus der Verarbeitung von Roherzen gewonnen wurde. Sekundäres Material hingegen stammt aus recyceltem Material.

Bei den verschiedenen Logistikszenerarien wird zwischen einer kompletten Produktion in Asien und einer Produktion hauptsächlich in Europa verglichen. Wie später in Kapitel 3.5 zur Methodik beschrieben ist, sind die Lieferketten der Szenarien nicht komplett transparent. Daher wird gemäss internen Absprachen potentiellen Produktionspartnern angenommen und so die wahrscheinlichsten Lieferketten rekonstruiert.

Für primäres Carbon wurde kein detailliertes Logistikszenerario ausgearbeitet, da dessen Lieferkette aufgrund mangelnder öffentlicher Information nicht abgeschätzt werden kann. Somit enthält das entsprechende Szenario lediglich die Emissionen durch die Produktion und Recycling der Basis. Zudem wird kein Szenario für sekundäres Carbon behandelt, da daraus keine Fahrräder produziert werden.

Die Szenarien der verschiedenen Materialien und Prozessschritte sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Der Inhalt der einzelnen Schritte ist folgendermassen:

- Extraktion: Land, in dem die Mineralien geschürft werden.
- Raffinerie: Land, in dem die Mineralien raffiniert werden.
- Rohrproduktion: Land, in dem aus raffiniertem Material Rohre geformt wird.
- Basisproduktion: Land, in dem aus den Rohren Rahmen und Gabel geformt wird.
- Montage: Land, in dem Einzelteile & Basis zum fertigen Fahrrad montiert werden.
- Verkauf: Land, in dem das Fahrrad an den/die Konsument/in verkauft wird.
- Recycling: Land, in dem das Fahrrad recycelt wird.

Tabelle 1: Übersicht aller Szenarien der Wertschöpfungskette. «LD» steht für die Lebensdauer der Basis in Jahren. Die Abkürzungen der Länder sind wie folgt: China (CHN), Taiwan (TWN), Schweiz (CHE), Brasilien (BRA), Italien (ITA), Europa allgemein (EU), Tschechien (CZE).

Szenario	Material	LD	Extr.	Raff.	Rohrpr.	Basispr.	Montage	Verkauf	Recycling
A	Stahl primär	20	CHN	CHN	TWN	TWN	TWN	CHE	CHE
B	Stahl primär	20	BRA	DEU	ITA (EU)	CZE	CZE	CHE	CHE
C	Stahl sekundär	20	-	CHN	TWN	TWN	TWN	CHE	CHE
D	Stahl sekundär	20	-	DEU	ITA (EU)	CZE	CZE	CHE	CHE
E	Alu primär	15	CHN	CHN	TWN	TWN	TWN	CHE	CHE
F	Alu sekundär	15	-	CHN	TWN	TWN	TWN	CHE	CHE
G	Carbon primär	10	-	-	-	-	-	-	-

3. Methodik und Annahmen

3.1 Vergleich der Rahmenmaterialien

Um die verschiedenen Rahmenmaterialien zu vergleichen, werden Literaturwerte zur Produktion von primären und sekundären Materialien verwendet. Bei Stahl und Aluminium wird hierbei die Extraktion der jeweiligen Mineralien (Eisenerz und Bauxit), sowie geographische Standortunterschiede miteinbezogen.

Entlang der Wertschöpfungskette der Basis und der Einzelteile, entsteht durch die verschiedenen Verarbeitungsschritte wie Verschnitt, Zerspannung und Ausschuss ein Materialverschleiss. Basierend auf internen Abschätzungen (Erfahrungswerte und Vergleich zur Metallverarbeitungsindustrie) wird dieser Verschleiss mit einem Faktor von 20% an zusätzlich benötigtem Material pro Fahrrad simuliert. Diese Abschätzung ist vergleichsweise hoch, womit der "worst-case" Ansatz angewendet wird.

3.2 Emissionen durch Verarbeitung (Rohr- und Rahmenproduktion und Montage)

Für die Basisproduktion müssen die Rohmaterialien nach der Raffinerie weiterverarbeitet werden. Zum Beispiel muss Rohstahl zuerst zu Chrom-Molybdän Stahl verarbeitet werden, anschliessend zu Rohren geschnitten und konifiziert werden, um dann zu einem Rahmen zusammengeschweisst zu werden. Für all diese Schritte wird durch Geräteinsatz (bspw. zum Schweiessen) und durch den Betrieb der Fabrik Strom verbraucht.

Für diese Studie konnten keine genauen Daten zum Energieverbrauch der einzelnen Produktionsfirmen erhoben werden. Daher wurde dieser anhand Daten aus der Automobilindustrie abgeschätzt und auf die Grösse durchschnittlicher Produzenten für Rohre, Rahmen und Montage skaliert.

3.3 Emissionen durch Einzelteile und deren Unterhalt

Zusätzlich zur Basis kommen die Emissionen durch die Nutzung von Einzelteilen hinzu. Diese Einzelteile müssen regelmässig erneuert werden, was über die Lebensdauer des Fahrrads zusätzliche Emissionen produziert. Im Folgenden wird die erste Ausstattung des Fahrrads mit Einzelteilen als "Erstkauf" bezeichnet und der Verbrauch der Einzelteile als "Unterhalt".

Für die Berechnungen werden nur Einzelteile betrachtet, die gemäss internen Erhebungen am häufigsten ersetzt werden: Kette, Kettenblätter & Kettengarnitur, Kassette, Rad, Schlauch und Reifen. Die erhobenen Daten beziehen sich hierbei auf eine durchschnittliche Nutzung des Fahrrads von 2'500 km pro Jahr.

Da der Fokus dieser Studie nicht auf der Lieferkette der Einzelteile lag, werden deren Emissionen von den Berechnungen zur Basisproduktion abgeleitet. Dabei werden für Einzelteile aus Aluminium und Stahl folgende Prozessschritte einbezogen: Extraktion, Raffinerie, Logistik und Recycling. Für Ersatzteile aus Stahl werden dabei die Resultate von Szenario A verwendet und für Ersatzteile aus Aluminium die Resultate von Szenario E. Für die Emissionen durch die Produktion des Gummis in Schlauch und Reifen wird das Resultat einer Studie zum Lebenszyklus von Gummipneus verwendet.

Um die Emissionen inklusive Unterhaltes der Einzelteile zu berechnen, wird eine durchschnittliche Lebensdauer der verschiedenen Basismaterialien angenommen und diese mit den jährlichen Emissionen durch die Einzelteile multipliziert. Für Stahl, Aluminium und Carbon wird entsprechend 20, 15 und 10 Jahre Lebensdauer angenommen (siehe Tabelle 1). Für den finalen Vergleich der Szenarien werden diese Emissionen zu den Emissionen durch den Erstkauf (Basis und Erstausrüstung mit Einzelteilen) dazu addiert (siehe Tabelle 2).

3.4 Emissionen durch Recycling

Am Ende der Nutzungsdauer kann ein Fahrrad und dessen Einzelteile recycelt werden. Hierbei werden zwar weitere Emissionen produziert, aber die Rohstoffe werden wieder in den ökonomischen Kreislauf zurückgeführt, wodurch weniger primäres Material produziert werden muss. Für die Berechnung der Emissionen durch Recycling wurde die [Circular Footprint Formula](#) (CFF) verwendet, die von der Europäischen Union (EU) für Ökobilanzen empfohlen wird.

Die CFF basiert auf dem Unterschied zwischen den Emissionen durch die Produktion von primärem und sekundärem Material, d.h., auf den Einsparungen durch den Nutzen von recyceltem Material. Zusätzlich berücksichtigt die Formel, wie viel des ursprünglich produzierten Materials wieder recycelt wird, wie hoch die Qualität des recycelten Materials ist und wie gross die Marktnachfrage nach recyceltem Material ist.

Die verwendeten Werte orientieren sich an den offiziellen Empfehlungen der EU. Beispielsweise werden für die Rücklaufquote Durchschnittswerte verwendet, da Veloplus wenn möglich retournierten Fahrräder an gemeinnützige Unternehmen weitergibt und somit weder Einfluss noch Erfahrungswerte zur Rücklaufquote hat. Zudem werden für den Energieaufwand des Recyclings, Durchschnittswerte aus der deutschen Industrie verwendet, da spezifisch für die Schweizer Industrie keine Daten vorliegen.

3.5 Emissionen durch Transportprozesse

Für die Schifffahrt werden verschiedene Emissionsfaktoren gesammelt und deren Durchschnitt zur Berechnung verwendet. Es wird davon ausgegangen, dass der Transport hauptsächlich über ein Containerschiff mit 8'000 TEU (TEU ist eine Masseinheit für die Frachtkapazität) und durchschnittlicher Ladung stattfindet. Dieselbe Methodik wird angewendet, um die Emissionen des Landtransports per Container-LKWs zu definieren. Die Distanzen zwischen zwei Standorten werden für Landwege mithilfe Google Maps und für Seewege mithilfe Ports.com berechnet.

Die Verpackungsmaterialien, in denen die jeweiligen Waren verfrachtet werden, werden in der gesamten Ökobilanz als vernachlässigbar klein betrachtet und nicht miteinberechnet. Zum Beispiel stösst Karton über

dessen gesamten Lebenszyklus ca. 300 kgCO₂eq pro Tonne Karton aus.¹ Die Produktion von primärem Stahl hingegen stösst alleine ca. 2000 kgCO₂eq pro Tonne Stahl aus.² Somit sind die Emissionen durch die Verpackungsmaterialien als verhältnismässig klein einzuschätzen.

3.6 Logistiksznarien

Aufgrund mangelnder Transparenz der Wertschöpfungskette kann für keines der Szenarien ein klarer Ursprung der Rohstoffe definiert werden. Für die Szenarien mit Fahrradproduktion in Taiwan wird die Herkunft der Materialien aus China angenommen und dort die grösste Eisenerzmine als Ursprung gewählt. Brasilien ist als Herkunftsland von Eisenerz für die Raffinerie in Deutschland gewählt, da es der grösste Eisenerzexporteur nach Deutschland ist. In Brasilien ist ebenfalls die grösste Eisenmine als Ursprung definiert. In China wird der Standort der Raffinerie nahe der Mine definiert und anschliessend eine Verschiffung über den grössten und nächstgrössten Hafen angenommen. In Deutschland wird eine Raffinerie nahe Hamburg angenommen, da dort die grössten Stahlraffinerien lokalisiert sind.

Für das Produktionsszenario in Asien wird angenommen, dass alle Schritte von der Rohrproduktion bis zur Montage direkt in Taiwan, bzw. in derselben Stadt stattfindet, da die entsprechenden Firmen ebenfalls dort lokalisiert sind. Für die Transportprozesse zwischen den einzelnen Fabriken wird eine allgemeine Transportdistanz von 25km angenommen. Für das Produktionsszenario in Europa werden mögliche Produktionspartner identifiziert und die entsprechenden Transportwege innerhalb Europas berechnet. Für alle Szenarien ist Zürich als der Verkaufsstandort gewählt. Zudem wird für das Recycling und die Szenarien mit Produktion aus sekundärem Material eine Einzugsdistanz von 100km um den gewählten Raffineriestandort angenommen.

Da für die Rahmenproduktion aus Carbon kein Logistiksznario vorhanden ist, wird der Durchschnitt der anderen Logistiksznarien als Richtwert verwendet.

3.7 Vergleich von Transportmitteln

Der Vergleich verschiedener Transportmittel basiert auf den vom Verein mobitool publizierten Emissionswerten. Diese Werte werden in Zusammenarbeit mit diversen Akteuren wie beispielsweise dem Bundesamt für Umwelt, dem Verein für nachhaltiges Wirtschaften und der SBB erarbeitet und gelten als Standard für die Ökobilanzierung der Schweizer Mobilität.

4. Resultate

Im folgenden Kapitel sind die in Tabelle 1 definierten Szenarien anhand ihrer kgCO₂eq (siehe Einführung für Definition) verglichen. Zur Vereinfachung der Interpretation sind die Buchstaben der entsprechenden Szenarien in Klammern angefügt. Betrifft eine Aussage beispielsweise Szenarien mit der Basis produziert aus sekundärem Stahl, ist dies entsprechend mit einem «(C, D)» vermerkt.

¹ Siehe Studie [Carbon Footprint Report 2019](#) von Pro Carton

² Siehe Excel Berechnungen

4.1 Vergleich der Rahmenmaterialien

Bei einer Produktion einer Basis aus primärem Material ist Stahl das am wenigsten Emissionen produzierende primäre Material mit 11 kgCO₂eq pro Basis (siehe Abbildung 3). Zudem spielt es keine Rolle, ob der Stahl in China (A) oder Deutschland (B) raffiniert wird. Eine Basis aus sekundärem Stahl produziert noch weniger Emissionen, da die Emissionen durch die Rohstoffförderung und das Verarbeiten des Eisenerzes wegfallen. Es fallen hauptsächlich Emissionen durch Stromverbrauch an, was in China zu höheren Emissionen führt als in Deutschland. Daher verursacht eine Basis aus sekundärem Stahl in China 6 kgCO₂eq (C) und in Deutschland nur 3 kgCO₂eq (D).

Eine Basis aus primärem Aluminium und in China produziert (E) stösst mit 70 kgCO₂eq fast das Sechsfache an Emissionen aus, als eine Basis aus primärem Stahl. Bei einer Basis aus sekundärem Aluminium werden lediglich 3 kgCO₂eq pro Basis produziert, weil ein Grossteil des Stromverbrauchs zur Verarbeitung von Bauxit (das Erz von Aluminium) wegfällt. Eine Basis aus Carbon produziert ca. das Achtfache der Emissionen für eine Basis aus primärem Stahl und ist damit das am meisten Emissionen produzierende Szenario. Zudem wurde bei der Berechnung der Carbonproduktion die Förderung der Rohstoffe (v.a. Erdöl) nicht miteinberechnet. Es ist daher anzunehmen, dass eine Basis aus Carbon noch mehr Emissionen produziert, als hier dargestellt wird.

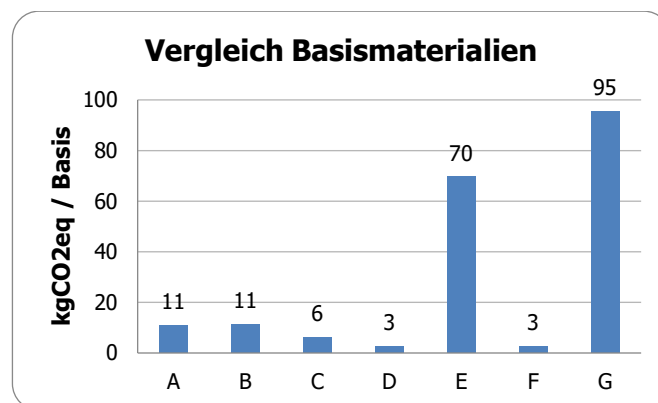


Abbildung 3: Vergleich der Emissionen durch die Extraktion und Raffinerie der jeweiligen Basismaterialien. Die Szenarien sind in Tabelle 1 beschrieben.

4.2 Vergleich der Logistikszenerien

Die Unterschiede in den Logistikszenerien sind weniger stark als jene der Rahmenmaterialien, wie in Abbildung 4 zu sehen ist. Dies hängt damit zusammen, dass die angenommenen Reisedistanzen von Stahl und Aluminium ähnlich sind und sich deren Gewichte nur leicht unterscheiden. Auffällig ist jedoch der hohe Emissionswert von Szenario B, welcher durch den langen Seetransport von Brasilien nach Deutschland und durch die vielen Landdistanzen innerhalb Europas verursacht wird.

Der Wechsel von primärem zu sekundärem Material schlägt sich in den Logistikszenerien praktisch nicht nieder (A zu C, E zu F), da die angenommenen Distanzen zwischen Mine und Raffinerie ca. gleich gross sind wie jene von Recyclingsammelstelle zur Raffinerie. Am wenigsten Emissionen werden bei der Produktion innerhalb Europas und einer Basis aus sekundärem Stahl verursacht (D), da hier lange Seetransporte wegfallen. Wie oben erwähnt wurde, sind die Emissionen von Szenario G aufgrund mangelnden Wissens der Prozesskette ein Durchschnitt der anderen Szenarien.

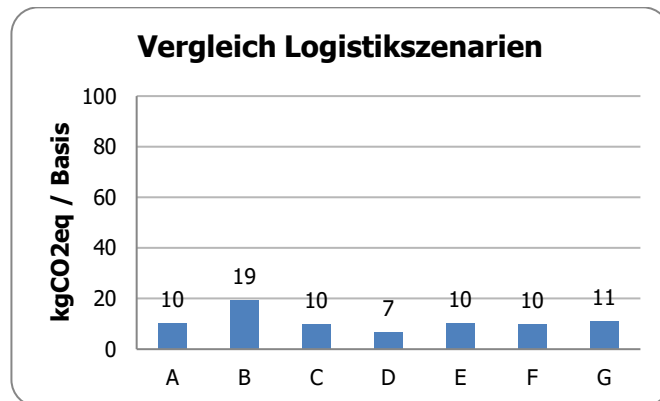


Abbildung 4: Vergleich der Logistiksznarien. Die Szenarien sind in Tabelle 1 beschrieben.

4.3 Vergleich aller Szenarien

4.3.1 Allgemeiner Vergleich

Die Resultate zum Vergleich aller Szenarien sind in Tabelle 2 aufgelistet. Alle Angaben berücksichtigen die verschiedenen geographischen Prozessketten und Lebensdauern der Basis. Die Einheit «pro Fahrrad» ist nicht auf einen einheitlichen Zeithorizont berechnet, was am Ende dieses Kapitel genauer besprochen wird.

Szenario D produziert für die gesamte Basis (Extraktion bis Recycling) mit 15 kgCO₂eq mit Abstand am wenigsten Emissionen, was auf die tiefen Emissionen durch die Produktion von sekundärem Stahl in Deutschland zurückzuführen ist. Die Basis aus Carbon (G) produziert mit 190 kgCO₂eq am meisten Emissionen.

Der Unterhalt der Szenarien wurde berechnet durch den jährlichen Verschleiss, multipliziert mit der Lebensdauer der jeweiligen Basis. Somit haben die Szenarien mit Stahlbasis inklusive Unterhalt (in Tabelle 2 unter «mit Unterhalt») die höchsten Emissionen pro Fahrrad. Bricht man diese Emissionen pro Fahrrad jedoch auf die Nutzungsdauer des jeweiligen Rahmens herunter, ändern sich die Verhältnisse (in Tabelle 2 die drei Spalten rechts).

Obwohl die Stahlszenarien über ihre lange Lebensdauer die höchsten Unterhaltsemissionen verursachen, produzieren sie am wenigsten Emissionen pro Jahr und pro km. Die lange Lebensdauer des Stahlrahmens führt dazu, dass die energieeffiziente Produktion der sekundären Aluminiumbasis kompensiert wird. In anderen Worten, die Einsparung an Emissionen durch die Produktion einer sekundären Aluminiumbasis wird durch die kürzere Lebensdauer nichtig.

Weiter haben die Szenarien mit einer Basis aus primärem Aluminium oder Carbon aufgrund kürzerer Lebensdauer und grösseren Emissionen durch die Basisproduktion deutlich höhere Emissionswerte.

Vergleicht man alle Szenarien über den Zeithorizont einer Stahlbasis, d.h. über 20 Jahre, so ergeben sich die Emissionen in der Spalte «Auf 20 Jahre gerechnet» in Tabelle 2. Da eine Basis aus Aluminium oder Carbon eine kürzere Lebensdauer hat, sind hier Neukäufe berücksichtigt. Sprich, über 20 Jahre werden in diesen Szenarien zwei Räder und 18 Jahre Unterhalt berechnet. Für die Stahlszenarien hingegen wird nur ein Rad und 19 Jahre Unterhalt berechnet. Es ist zu beachten, dass Zahlen nicht der einfachen Multiplikation der «jährlichen Emissionen» mit der jeweiligen Lebensdauer entsprechen. Die Resultate zeigen, dass die

Szenarien mit einer Basis aus primärem Aluminium oder primärem Carbon mit je ca. einer Tonne CO₂eq über 20 Jahre gesehen, mit Abstand am meisten Emissionen ausstossen.

Tabelle 2: Vergleich der Schlussergebnisse aller Szenarien aus Tabelle 1. Die jährlichen Emissionen, sowie die Emissionen pro km sind inklusive Unterhalt. Die Berechnungen in allen Spalten, ausser «Auf 20 Jahre gerechnet», beziehen sich auf die jeweilige Lebensdauer der Basis, wie in 3.3 genannt ist.

Szenario	Basis Total	Ab Erstkauf	Mit Unterhalt	Jährliche Emissionen	Distanz Emissionen	Auf 20 Jahre gerechnet
	kgCO ₂ eq/Fahrrad	kgCO ₂ eq/Fahrrad	kgCO ₂ eq/Fahrrad	kgCO ₂ eq/Jahr	kgCO ₂ eq/km	kgCO ₂ eq/20 Jahre
A	34	140	616	31	0.012	616
B	43	149	625	31	0.013	625
C	24	129	606	30	0.012	606
D	15	121	597	30	0.012	597
E	139	244	595	40	0.016	940
F	20	126	477	32	0.013	702
G	190	295	521	52	0.021	1042

4.3.2 Emissionen ohne Unterhalt

Die Erstausrüstung einer Basis mit Einzelteilen verursacht bei den meisten Szenarien den grössten Anteil an Emissionen (siehe Abbildung 5). Lediglich bei den Szenarien E und G produziert die Basis mehr Emissionen als die Erstausrüstung. Der Einfluss der Einzelteile entsteht dadurch, dass diese grösstenteils aus energieintensivem primärem Aluminium aus China bestehen. Zudem führt das Recycling von primärem Aluminium und Carbon aufgrund des Qualitätsverlustes und Energieaufwands zu hohen Emissionen.

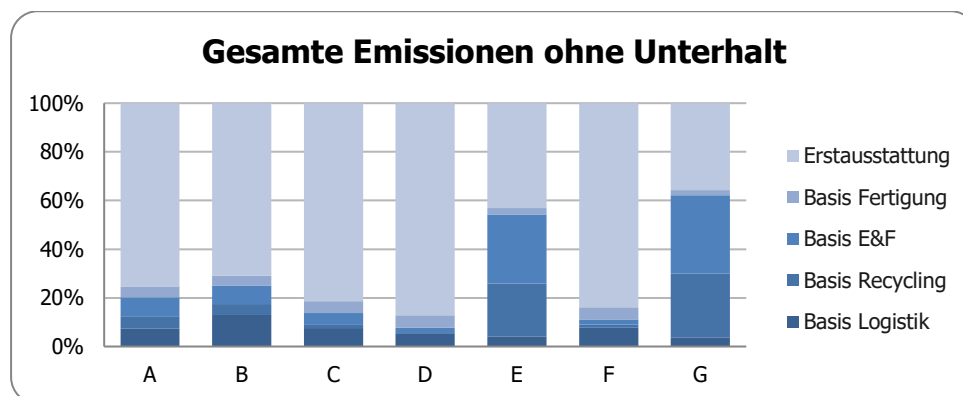


Abbildung 5: Vergleich der Emissionen ab Erstkauf (ohne Unterhalt). «Basis E&F» betrifft die Extraktion und Raffinerie der entsprechenden Rohmaterialien. Die Szenarien sind in Tabelle 1 beschrieben.

4.3 Szenario A

4.3.1 Gesamte Lebensdauer inklusive Unterhalt

Gemäss interner Abklärung ist Szenario A das wahrscheinlichste Produktionsszenario, weshalb es hier im Detail aufgezeigt wird. Wie in Abbildung 6 nochmals ersichtlich wird, stammen die meisten Emissionen von den Einzelteilen, beziehungsweise von deren Unterhalt. Über eine Lebensdauer von 20 Jahre entstehen

insgesamt 616 kgCO₂eq, wobei lediglich 34 kgCO₂eq vom Lebenszyklus (Extraktion bis Recycling) der Basis stammen. Bricht man diese 616 kgCO₂eq auf die 20 Jahre Lebensdauer und durchschnittliche Fahrdistanz herunter, so ergeben sich Emissionen von 31 kgCO₂eq pro Jahr, bzw. 12 gCO₂eq pro km (siehe Tabelle 2).

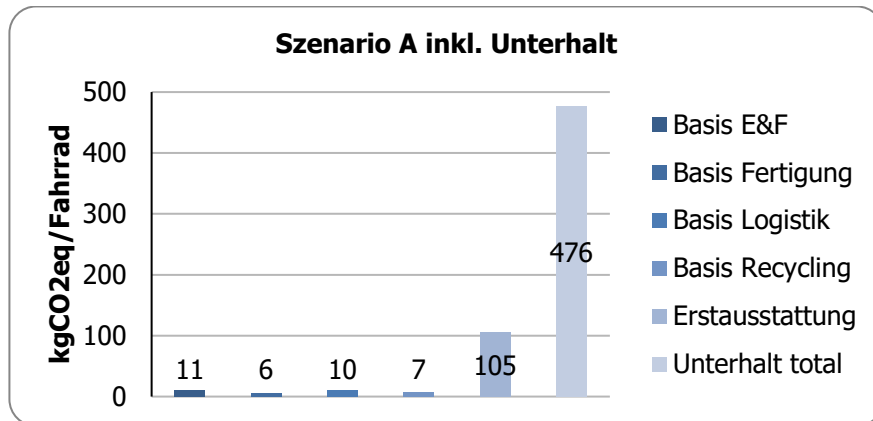


Abbildung 6: Emissionen der Prozessschritte eines Fahrrads nach Szenario A (Basis aus primärem Stahl aus China, Produktion in Taiwan, 20 Jahre Lebensdauer), welches total 616 kgCO₂eq produziert. «Basis E&F» bezeichnet die Extraktion und Raffinerie der Basismaterialien.

4.3.2 Vergleich Unterhalt und Neukauf

Da die Emissionen durch den Unterhalt der Einzelteile bestimmt wird, stellt sich die Frage, ab wann es sich lohnt ein neues Fahrrad zu kaufen, anstatt es regelmässig reparieren zu lassen (unterhalt). In Abbildung 7 ist zu sehen, wie sich für Szenario A ein regelmässiges Neukaufen ohne Unterhalt gegenüber einem einmaligen Kauf und regelmässigem Unterhalt vergleicht. Die Abbildung kann folgendermassen interpretiert werden:

- Wenn jährlich ein neues Fahrrad gekauft wird, dann werden über 20 Jahre insgesamt 4.5-mal mehr Emissionen produziert, als wenn nur ein Rad gekauft und über 20 Jahre regelmässig unterhalten wird.
- Wenn alle vier Jahre ein neues Fahrrad gekauft wird und nicht unterhalten wird, dann werden über 20 Jahre ca. gleich viele Emissionen produziert, wie wenn nur ein Rad gekauft und über 20 Jahre regelmässig unterhalten wird. Dasselbe gilt ca. für einen Neukauf alle fünf Jahre, ohne Unterhalt.
- Wenn alle zehn Jahre ein neues Fahrrad gekauft wird und nicht unterhalten wird, dann werden über 20 Jahre ca. die Hälfte der Emissionen produziert, als wenn nur ein Rad gekauft und über 20 Jahre regelmässig unterhalten wird.

Der Vergleich von einem Kauf mit Unterhalt über 20 Jahre gegenüber einem häufigen Neukaufen und zusätzlichem Unterhalt ist hier nicht dargestellt. Prinzipiell werden mehr Emissionen ausgestossen, je häufiger ein neues Fahrrad gekauft wird, da bei jedem Kauf die Emissionen der Basis dazukommen. Zum Beispiel: Für ein Neukaufen alle fünf Jahre mit regelmässigem Unterhalt werden daher über einen Zeitraum von 20 Jahren ca. anderthalb so viele Emissionen produziert, wie wenn nur ein Fahrrad gekauft und regelmässig unterhalten wird. Dies entspricht vier neuen Fahrrädern plus 16 Jahre Unterhalt im Vergleich zu einem Fahrrad plus 19 Jahre Unterhalt.

Bei diesen Berechnungen ist immer angenommen, dass das alte Fahrrad bei einem Neukauf recycelt wird. Ist dies nicht der Fall, weil das Fahrrad bspw. im privaten Keller deponiert wird, sinkt die Rücklaufquote wodurch gemäss CFF die Emissionen des Recyclings ansteigen. Durch das verhinderte Recycling der Basis werden somit die Emissionen durch häufiges Neukaufen grösser.

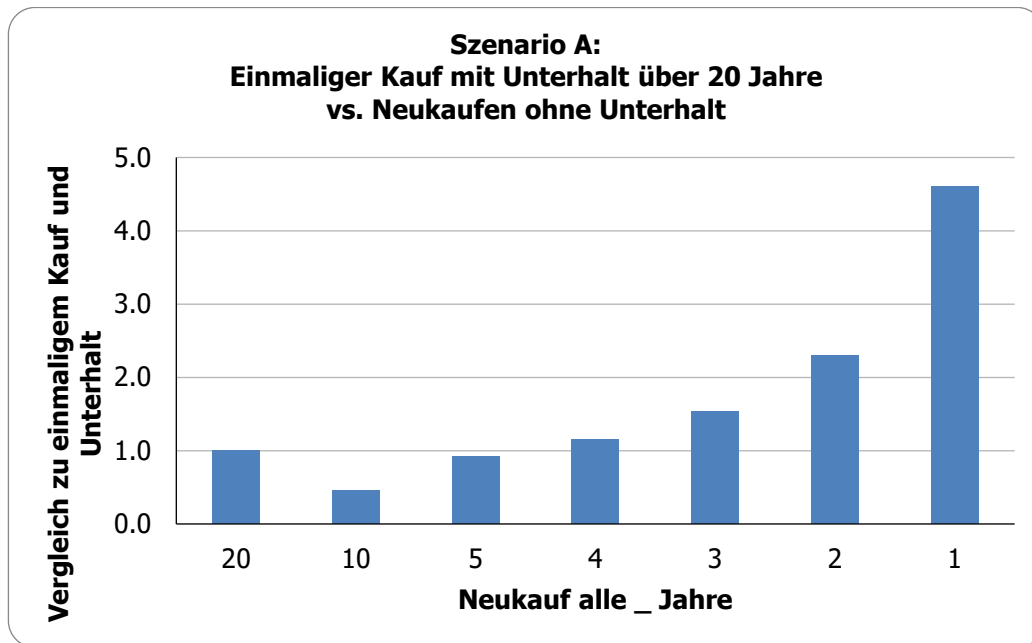


Abbildung 7: Vergleich der Emissionen zwischen regelmässigem Neukauf und jährlichem Unterhalt anhand Szenario A über 20 Jahre gerechnet.

4.4 Vergleich von Transportmitteln

Die aktive Verwendung eines Fahrrads benötigt keine direkte Energiequelle ausser der Muskelkraft der fahrenden Person. Mögliche Emissionen durch die Ernährungsweise wurden in dieser Studie weggelassen, da diese Emissionen einerseits von der Diät der Person abhängen (omnivor, vegetarisch, vegan) und andererseits auch dann anfallen, wenn die Person ein anderes Transportmittel verwendet.

Es ist zu beachten, dass diese Emissionen pro Kilometer nicht mit jenen aus Kapitel 4.3 verglichen werden können. Dort handelt es sich um die Emissionen über den gesamten Lebenszyklus eines Fahrrads, die auf eine jährliche Fahrdistanz heruntergebrochen werden. Hier handelt es sich um die zusätzlich zur Produktion, Nutzung und Entsorgung des Transportmittels hinzukommenden Emissionen durch Strom und Benzin- bzw. Dieserverbrauch.

Abbildung 8 zeigt, dass das Fahrrad keine zusätzlichen Emissionen produziert, der allgemeine ÖV bis zu 40 gCO₂eq pro Personenkilometer (pkm) produziert und der motorisierte Individualverkehr mit bis zu über 200 gCO₂eq /pkm mit Abstand am meisten Emissionen verursacht.

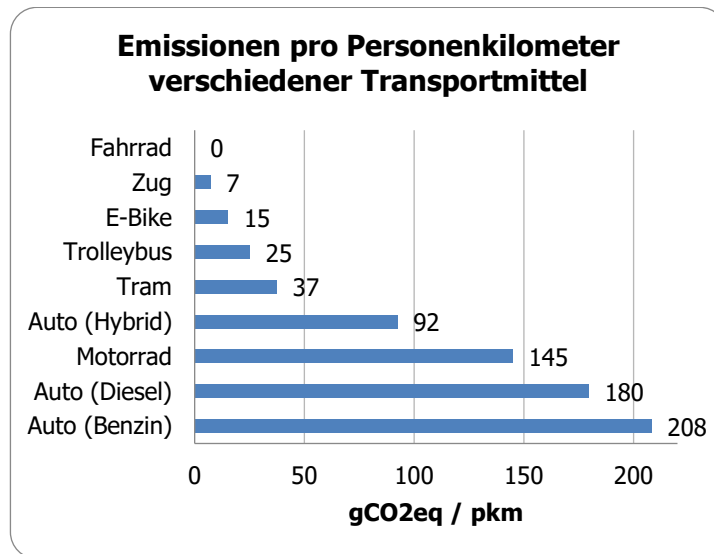


Abbildung 8: Vergleich der Emissionen pro Personenkilometer verschiedener Transportmittel.

5. Fazit

Mithilfe des Konzepts einer Ökobilanz wurde der gesamte Lebenszyklus eines Fahrrads anhand verschiedenen Produktionsszenarien verglichen. Es wurde gezeigt, dass ein Fahrrad mit Basis (Rahmen und Gabel) aus primärem Stahl und gesamter Produktion in Asien zu den Szenarien mit den tiefsten Emissionswerten gehört. Zudem wurde ersichtlich, dass auf einen Zeithorizont von 20 Jahren gerechnet die Szenarien aus primärem Aluminium und primärem Carbon fast doppelt so hoch sind, als ein Szenario mit Basis aus primärem Stahl.

Folglich ist die Wahl einer Basis aus primärem Stahl im Vergleich deutlich weniger klimabelastend. Zudem bringt Stahl weitere Vorteile, wie hohe Robustheit und eine lange Lebensdauer. Weiter wurde aufgezeigt, dass die Erstausrüstung des Fahrrads, sowie der Verschleiss und Neukauf von Einzelteilen zu den grössten Emissionsquellen im Lebenszyklus eines Fahrrads gehören. Daher ist die Wahl des Basismaterials im Vergleich zum Unterhalt der Einzelteile zweitrangig für die Emissionsbilanz eines Fahrrads. Je häufiger die Einzelteile gereinigt, geölt und gefettet werden, umso seltener müssen diese erneuert werden, was die Emissionsbilanz eines Fahrrads direkt verbessert.

6. Empfehlungen

6.1 Mögliche Vergleiche zur Kommunikation

Die folgenden Zahlenvergleiche beziehen sich auf die gesamte Lebensdauer inklusive Unterhalt eines Fahrrads, das nach Szenario A produziert wurde. In Abbildung 9 ist dargestellt, welche Distanzen mit einem Transportmittel zurückgelegt werden müssen, bis dieselbe Menge an Emissionen ausgestossen wurde, wie durch ein Szenario A Fahrrad ohne Unterhalt produziert wird. Anschliessend sind einige Vergleiche zu alltäglichen Konsumgütern aufgelistet.

Die Interpretation der gelisteten Vergleiche hängt immer von der Sichtweise und dem Argumentationsziel ab. Beispielsweise scheint der Unterschied der Emissionen über die Lebensdauer eines durchschnittlichen VWs (das 70-fache) und eines Fahrrads klein. Die Emissionswerte beziehen sich jedoch auf die jeweiligen Lebensdauern der Güter und sind nicht auf einen Zeitraum von beispielsweise 20 Jahre normiert. Zudem wird bei diesem Vergleich der Grund der Nutzung des Transportmittels nicht berücksichtigt (Einkaufen, Pendeln, Fernreisen).

Generell beziehen sich die Vergleiche der Fahrdistanzen auf die Emissionen durch den Energieverbrauch (Benzin, Diesel, Strom) und berücksichtigen weder Produktion noch Entsorgung des jeweiligen Transportmittels.

6.1.1 Transportmittelvergleiche

- Über die jeweilig gesamte Lebensdauer gerechnet, produziert ein durchschnittlicher VW ca. 70-mal mehr CO₂eq Emissionen als ein Fahrrad.
- Nach ca. 3'000 km hat ein Auto (CH-Durchschnitt) durch Benzinverbrauch gleich viel CO₂eq Emissionen ausgestossen, wie für die ganze Lebensdauer eines Fahrrads ausgestossen wird.
- Nach ca. 6'500 km hat ein eAuto (CH-Durchschnitt) durch Stromverbrauch gleich viel CO₂eq Emissionen ausgestossen, wie für die ganze Lebensdauer eines Fahrrads ausgestossen wird.
- Nach ca. 40'000 km hat ein eBike durch Stromverbrauch gleich viel CO₂eq Emissionen ausgestossen, wie für die ganze Lebensdauer eines Fahrrads ausgestossen wird.
- Ein Economy Flugpassagier Zürich - Lissabon und retour stösst ca. gleich viel CO₂eq aus, wie ein Fahrrad über seine gesamte Lebensdauer.
- Nach ca. 44 Stunden stösst das ein/e Kreuzschiffreisend/e gleich viel CO₂eq Emissionen aus, wie über die gesamte Lebensdauer eines Fahrrads ausgestossen wird.

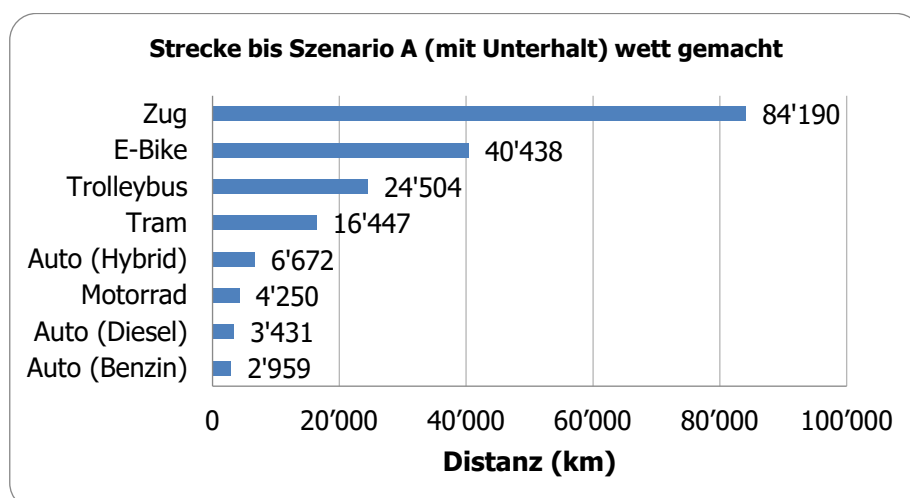


Abbildung 9: Vergleich der Distanzen, die mit verschiedenen Transportmitteln zurückgelegt werden müssen, bis dieselben Emissionen produziert wurden wie für ein Szenario A Fahrrad ohne Unterhalt.

6.1.2 Konsumvergleiche

- Nach ca. 2 Monaten stösst das Heizen eines Einfamilienhauses mit Heizöl gleich viel CO₂eq Emissionen aus, wie über die gesamte Lebensdauer eines Fahrrads ausgestossen wird
- Nach ca. einem Jahr stösst ein/e durchschnittlich/e Schweizer/in durch Rindfleischkonsum gleich viel CO₂eq Emissionen aus, wie über die gesamte Lebensdauer eines Fahrrads ausgestossen wird.
- Nach ca. 16 Monaten stösst ein/e durchschnittlich /e Schweizer/in durch Käsekonsum gleich viel CO₂eq Emissionen aus, wie über die gesamte Lebensdauer eines Fahrrads ausgestossen wird.
- Nach ca. 39 Monaten stösst ein/e durchschnittlich /e Schweizer/in durch Schokoladenkonsum gleich viel CO₂eq Emissionen aus, wie über die gesamte Lebensdauer eines Fahrrads ausgestossen wird.
- Nach ca. 48 Monaten stösst ein/e durchschnittlich /e Schweizer/in durch Kaffeeconsum gleich viel CO₂eq Emissionen aus, wie über die gesamte Lebensdauer eines Fahrrads ausgestossen wird.

6.2 Erweiterungspotential

Wie eingehend erläutert, ist eine Ökobilanz ein iteratives Verfahren, das mit neuen Informationen stetig angepasst werden kann. Es lag nicht im Rahmen dieser Studie, jeden einzelnen Produktionsschritt und Materialverbrauch im Detail zu dokumentieren. Der Vergleich mit anderen Studien³ zeigt jedoch, dass die berechneten Werte, wenn auch kleiner, in derselben Grössenordnung liegen. Für weitere Analysen und Berechnungen könnten Folge Aspekte mit abnehmender Relevanz miteinbezogen werden:

- *Informationen von Produzenten:*
Mehr Informationen zum Produktionsvolumen und Energieverbrauch der Rohrproduktion, Basisproduktion, Konifizierung und Montage sowie zu energie- und ressourcenintensiven Prozessschritten würden die bestehende Schätzung verbessern.
- *Produktion der Einzelteile und Basis in Europa:*
Die Produktion von primärem Aluminium verursacht in Deutschland ca. einen Viertel der Emissionen wie in China. Falls es logistisch realistisch ist, dass Einzelteile oder die Basis aus deutscher Produktion verwendet werden, würde dies die entsprechenden Emissionen stark reduzieren.
- *Anteil an sekundärem Material:*
Die momentanen Rechnung basieren auf der Verwendung von 100% neuem Material für Basis sowie Einzelteile. Bei der Stahlproduktion wird jedoch oft Schrott mitgeschmolzen, wodurch die Emissionen geringer ausfallen würden. Ebenso wurde angenommen, dass alle Einzelteile zu 100% aus primärem Material bestehen. Würde stattdessen teilweise sekundäres Material verwendet werden, würde sich dies stark in der Bilanz niederschlagen.
- *Durchschnittliche Herkunft berechnen:*
Die Materialien müssen nicht, wie in der Studie angenommen, von den grössten Importländern und Minen stammen. Falls genaue Informationen zur Herkunft nicht eingeholt werden können,

³ [Johnson et al. \(2014\)](#) und [Mobitool Faktoren v.2.0.2](#)

können durchschnittliche Distanzen verschiedener Minen und Importländer berechnet werden. Dies würde sich v.a. dann in der Bilanz niederschlagen, dass die Transportdistanzen im Inland grösser und daher emissionsintensiver sind, als hier angenommen wurde.

- *Unterhaltungsfrequenz:* Da der Unterhalt massgebend ist für die Emissionsbilanz, könnten verschiedene Reparaturfrequenzen miteinander verglichen werden. Beispielsweise könnte berechnet werden, wie viele Emissionen eingespart werden, wenn die Kasette nur alle fünf anstatt drei Jahre ausgetauscht wird.
- *Aluminiumszenarien in Europa:* Für ein Szenario aus primärem Aluminium, könnte man dazu annehmen, dass das benötigte Bauxit aus Guinea stammt (Guinea ist gemäss [BGR 2016](#) Hauptexporteur von Bauxit nach Deutschland).

6.3 Kompensationsempfehlung

Grundsätzlich gibt es zwei Arten von kaufbaren Zertifikaten zur Emissionskompensation: Emissionsreduktionszertifikate (ERZ) und Carbon-Removal-Zertifikate (CRZ). Die ERZ sind Zertifikate, die einem Unternehmen ausgestellt werden, wenn dieses durch zusätzliche Anstrengung seine Emissionen reduzieren kann (bspw. Umstellung eines Energieunternehmens von Kohlekraftwerk zu Solarenergie). Das Kaufen eines solchen Zertifikat führt zwar zur Reduktion der totalen Menge ausgestossener Emissionen, aber nicht zur Rückholung der ausgestossenen Emissionen. CRZ hingegen unterstützen Projekte, die aktiv Emissionen aus der Atmosphäre mit verschiedenen Technologien zurückgewinnen. Durch diese Art der Kompensation werden nicht nur die Gesamtemissionen reduziert, sondern wett gemacht. Dieser Unterschied in den netto Emissionen zwischen ERZ und CRZ ist in Abbildung 3 dargestellt.

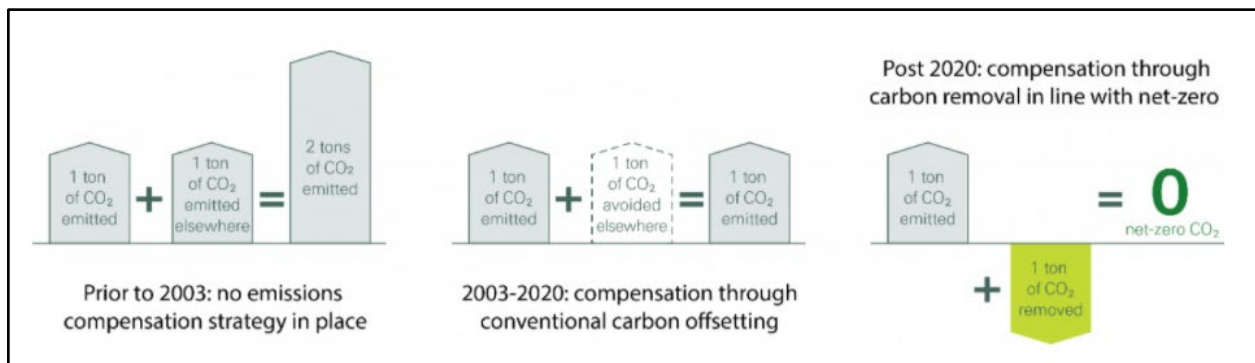


Abbildung 10: Vergleich von keiner Kompensation (links), Emissionsreduktionszertifikaten (mitte) und Carbon-Removal-Zertifikaten. Abbildung stammt von einem [Blogartikel](#) von auf [puro.earth](#).

Zu beiden Zertifikatarten gibt es diverse Vor- und Nachteile. So sind ERZ in den meisten Fällen zwar billiger, jedoch stammen sie oft aus Projekten im Ausland, deren Wirkungsgrad unklar ist. CRZ hingegen sind je nach Technologie ein Vielfaches teurer, jedoch widerspiegelt dies den tatsächlichen Aufwand, um CO₂ aus der Luft zu entfernen. Zudem gibt es mittlerweile einige zuverlässige und transparente CRZ-Anbieter, die die hohen Kosten durch Innovation herunterbringen. Auf eine genauere Unterscheidung zwischen ERZ und CRZ wird an dieser Stelle verzichtet, mehr Informationen sind auf den Webseiten [1](#) & [2](#) und in den Videos [1](#) & [2](#) zu finden.

Die folgenden Empfehlungen zum Kauf von CRZ sind inklusive Kostenberechnung in der Tabelle 3 zusammengefasst. Je nach Anbieter und Zeitpunkt des Kaufs können die abgeschätzten Kosten stark variieren. Als beste Option wird der Kauf von CRZ der Schweizer Firma First Climate ([Projekt](#) zur Bindung

von CO₂ in Biokohle in Flaach, CH) empfohlen, da dies direkt die Schweizer Innovation fördert und nach verlässlichem Standard produziert wird. Ein anderer möglicher Schweizer Anbieter für CRZ ist Climeworks (Filtern von CO₂ aus der Luft und Speicherung im Erdinnern, eher kostspielige Variante). Weiter sind die Firmen Nori (Bindung von CO₂ in Landwirtschaftsböden, USA) und Puro (verschiedene Methoden, Finnland) zu empfehlen. Alternativ können Aufforstungsprojekte von Schweizer ERZ-Anbietern (e.g. First Climate, Southpole, MyClimate) gekauft werden.

Tabelle 3: Empfehlung für Anbieter von Carbon-Removal-Zertifikaten.

Anbieter (Land)	Technologie	CHF pro tCO ₂ eq	CHF pro Fahrrad (Szenario. A ohne Unterhalt)
First Climate (CH)	Kohlenstoff durch Pyrolyse von Biomass in Biokohle speichern	60 ⁴	10
Climeworks (CH)	CO ₂ aus der Luftfiltrierung und in geologischen Reservoirs speichern	1'100	150
Nori (US)	Kohlenstoff in landwirtschaftlichen Böden anreichern	15 (+ MwSt.)	3
Puro (FI)	Mehrere (bspw. Holzbau, Biokohle)	20 bis 60	3 bis 10

⁴ Zahl entstammt der Abbildung 4.2 des [IPCC SR15](#), da der Preis von First Climate nicht öffentlich publiziert ist.