

Restauration von besitzerlosen Zürcher Velos – Ein Beitrag zur Green Economy?



Charlotte Kahmen, 6e
Maturitätsarbeit, Dezember 2021
Kantonsschule Wiedikon, Zürich

Betreuer: Pascal Beer

Abstract

Die Arbeit beschäftigt sich mit der Frage, ob die Restauration und der Verkauf von alten, besitzerlosen Fahrrädern die CO₂-Bilanz der Stadt Zürich verringern und ein Schritt hin zur Green Economy sein könnte.

Im ersten Teil konnte gezeigt werden, dass durch den Neukauf von Fahrrädern in Zürich jährlich ca. 2'360 Tonnen CO₂ produziert werden. Durch die Restauration der ca. 2'300 besitzerlosen Fahrrädern, die jährlich in der Stadt Zürich eingesammelt werden, könnten 16.5 % dieser Emissionen eingespart werden. Die umweltfreundlichste Methode ist jedoch, qualitativ hochwertige Fahrräder langjährig zu gebrauchen und sorgsam mit den Fahrrädern umzugehen.

In einem zweiten Schritt wurde mittels Selbstversuch untersucht, ob Amateur*innen besitzerlose Zürcher Velos CO₂-neutral restaurieren können. Die Restauration eines Fahrrads im Rahmen dieser Arbeit war zwar erfolgreich, doch wurden 3.337 kg CO₂-Eq durch die Verwendung neuer Veloteile produziert.

Zuletzt wurde aus Gesprächen mit Experten der Fahrradbranche abgeleitet, dass der CO₂-neutrale Wiederaufbau von alten, besitzerlosen Fahrrädern und deren anschliessender Verkauf unter den aktuellen Bedingungen wirtschaftlich nicht rentabel sind. Folglich ist es zurzeit in Zürich nicht möglich, ein Geschäft basierend auf diesem Modell und somit im Sinne der Green Economy zu führen.

Aus den drei Teilespekten dieser Arbeit lässt sich schliessen, dass die Restauration alter, besitzerloser Velos nur im privaten Rahmen oder als Zusatzangebot in Fahrradgeschäften umzusetzen ist, dies aber durchaus einen kleinen Beitrag zur Reduktion der CO₂-Emissionen der Stadt Zürich beitragen kann, wenn dafür auf den Neukauf von Fahrrädern verzichtet wird.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Ausgangslage	1
1.2	Fragestellungen	1
1.3	Vorgehen	1
1.4	Theoretische Grundlagen	2
1.4.1	The Second-Hand Effect	2
1.4.2	CO ₂ -Neutralität.....	3
1.4.3	Green Economy	3
2	CO ₂ -Emissionen durch die Fahrradproduktion.....	5
2.1	CO ₂ -Emissionen durch den Verkauf von neuen Velos in der Stadt Zürich	5
2.2	Potentielle CO ₂ -Einsparnisse durch die Restauration alter Velos	6
2.3	Fazit	8
3	Restauration eines besitzerlosen Zürcher Velos	9
3.1	Voraussetzungen: Velobeschaffung und Velogarage.....	9
3.1.1	Velobeschaffung	9
3.1.2	Velogarage	9
3.2	Bedingungen an das besitzerlose Fahrrad	9
3.3	Bedingungen an das fertige Fahrrad	10
3.4	Bestandsaufnahme und Vorgehen.....	10
3.5	Restauration	11
3.5.1	Rahmen.....	11
3.5.2	Lenker	11
3.5.3	Klingel	12
3.5.4	Schaltung vorne	13
3.5.5	Bremsen.....	14
3.5.6	Reifen und Schläuche	15
3.5.7	Vorderrad	15
3.5.8	Hinterrad	16
3.5.9	Sattel.....	17
3.5.10	Schutzbleche.....	18
3.5.11	Pedalen.....	18

3.5.12	Licht	19
3.5.13	Getränkelhalter	20
3.6	Fazit	20
4	Wirtschaftliche Rentabilität der Restauration von Secondhandfahrrädern	25
4.1	Wirtschaftliche Rentabilität.....	25
4.2	Interview mit Oliver Hungerbühler	25
4.3	Fazit	28
5	Danksagung	29
6	Literatur - und Quellenverzeichnis.....	31
6.1	Gedruckte Quellen	31
6.2	Internetquellen.....	31
6.3	Personenverzeichnis.....	32
7	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis.....	33
8	Anhang.....	35
8.1	Bestandteile des Fahrrads und ihre kg CO ₂ -Eq.....	35
8.2	Authentizitätserklärung.....	37

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Seit zwei Jahren bin ich täglich mit meinem Fahrrad auf den Zürcher Strassen und Velowegen unterwegs; immer wieder auf den gleichen Strecken. Dabei sind mir immer häufiger stehengelassene, alte, kaputte Fahrräder aufgefallen. Fahrräder, die an Geländern und Strassenlaternen angeschlossen sind, bei denen wöchentlich mehr Teile fehlen, bis nur noch das trostlose Skelett des Fahrrads übrigbleibt, und bei denen der Rost hartnäckig den Rahmen zerfrisst.

Ich habe begonnen mir Fragen zu stellen: Was passiert mit diesen alten Fahrrädern? Wie viele Fahrräder werden wohl in der Stadt Zürich jährlich eingesammelt? Sind diese vielleicht noch verwendbar? Könnte ich persönlich so ein Fahrrad wiederaufbauen und damit einen Beitrag zum Klimaschutz leisten? Welche Bedeutung hat Recycling für unsere Zukunft?

1.2 Fragestellungen

Ausgehend von diesen Überlegungen gehe ich in meiner Arbeit der Frage nach, ob die Restauration und der Verkauf von alten, besitzerlosen Fahrrädern die CO₂-Bilanz der Stadt Zürich verringern und damit ein Schritt hin zur Green Economy sein könnte.

Aus dieser Frage werden drei konkretere Fragestellungen abgeleitet:

1. Wie viel CO₂ kann die Stadt Zürich durch die Restauration und den Verkauf von alten, besitzerlosen Zürcher Fahrrädern einsparen?
2. Können Amateur*innen besitzerlose Velos CO₂-neutral restaurieren?
3. Kann es in der Stadt Zürich wirtschaftlich rentabel sein, besitzerlose Fahrräder ressourcenarm zu restaurieren und dadurch einen Schritt hin zur Green Economy machen?

1.3 Vorgehen

Diese drei Fragestellungen werden in den Kapiteln 2 bis 4 behandelt.

Um zu berechnen, wieviel CO₂ die Stadt Zürich durch die Aufarbeitung alter Fahrräder einsparen könnte (Kapitel 2), werden Daten aus der Literatur verwendet. Es wird berechnet, wieviel CO₂ bei der Produktion eines Fahrrads freigesetzt wird, wie viele Fahrräder pro Jahr in Zürich neu erworben werden und wie hoch die CO₂-Emission einzelner Veloteile ist.

Um die zweite Fragestellung (Kapitel 3) zu bearbeiten, restauriere ich als Amateurin ohne jegliche Vorkenntnisse ein altes, besitzerloses Zürcher Fahrrad mit dem Ziel, möglichst wenige Ressourcen zu verbrauchen. Als Hilfestellung und Nachschlagewerk dient mir das Fahrrad-Reparaturhandbuch *Fahrrad Reparaturen* (Hoffmann, 2014). Das Handbuch behandelt jedoch die optimale Wicklung des Lenkerbandes nicht, weshalb ich mich einer anderen Quelle bedienen musste (www1).

Ob die Restauration von besitzerlosen Velos betriebswirtschaftlich umsetzbar wäre, wird im Rahmen der dritten Fragestellung analysiert (Kapitel 4). Grundlage dieses Teils ist ein Interview mit Oliver Hungerbühler, Teamleiter der Velowerkstatt der Sozialen Einrichtungen und Betriebe der Stadt Zürich.

Die detaillierte Vorgehensweise wird im jeweiligen Kapitel noch genauer erläutert.

1.4 Theoretische Grundlagen

1.4.1 The Second-Hand Effect

Der ersten Fragestellung liegt die Annahme zu Grunde, dass man durch die Restauration alter Fahrräder CO₂-Emissionen verhindern kann.

Das Fahrrad gilt als das umweltfreundlichste Fortbewegungsmittel. Doch so gering wie früher sind weder Ressourcenverschleiss noch CO₂-Ausstoss längst nicht mehr. Veloteile werden kostengünstig unter minimen Umweltschutzstandards produziert und um die ganze Welt transportiert (Platter, 2020). Stahl und Aluminium sind die herkömmlichsten Rohstoffe für Fahrradrahmen. Stahl ist sehr schwer und daher für viele Velos ungeeignet. Um Aluminiumerz für einen einzigen Rahmen zu fördern und zu verarbeiten, werden jedoch rund 1'600 Kilowattstunden Strom benötigt (Ohliger, 2021, S. 34). Die Entsorgung der Altfahrräder verschlingt ebenfalls Energie (Platter, 2021, pers. Mit.).

Gleichzeitig wird, aufgrund von steigendem Wohlstand und der Mentalität unserer Wegwerfgesellschaft auch in der Fahrradproduktion immer weniger auf Langlebigkeit gesetzt. Heutzutage werden bevorzugt billige verschleiss- und wartungsintensive Teile verbaut; Reparaturen lohnen sich nicht mehr (Platter, 2020). Durch ein umfassendes Metallrecycling können zwar wesentlich mehr Treibhausgasemissionen eingespart werden als beispielsweise durch eine ökologischere Produktionsweise (www2), trotzdem müssen auch für Metallrecycling enorme Mengen Energie aufgewendet werden (Ohliger, 2021, S. 34).

Am meisten CO₂ kann eingespart, indem keine neuen Fahrräder gekauft und die alten nicht verschrottet werden (Platter, 2021, pers. Mit.). Anstatt alte Fahrräder zu verschrotten, können diese aufgearbeitet werden. Dadurch wird die Energie, die beim Verschrotten der Velos anfallen würde, eingespart. Um darüber hinaus bei der Aufarbeitung CO₂ einzusparen, können gebrauchte anstelle von neuen Teilen verwenden werden. Dadurch werden die Energie und Ressourcen, die durch die Produktion und den Transport von neuen Fahrradteilen anfallen würden, eingespart.

Diese beiden Prinzipien werden in der Literatur als „The Second-Hand Effect“ bezeichnet (www3):

1. Immer wenn ein gebrauchter Gegenstand gekauft wird, wird kein entsprechendes neues Produkt gekauft. Material und Emissionen, die durch den Kauf eines neuen Produkts entstehen würden, werden eingespart.
2. Da Secondhandgegenstände mindestens vorerst wiedergenutzt anstatt weggeworfen werden, können die Emissionen, die bei der Entsorgung entstehen würden, verhindert werden.

Auf Grund des „Second-Hand Effects“ wird in dieser Arbeit davon ausgegangen, dass durch die Verwendung von Secondhandteilen bei der Restauration alter Velos am meisten CO₂ eingespart werden kann.

1.4.2 CO₂-Neutralität

Die zweite Fragestellung befasst sich mit der CO₂-neutralen Restauration eines besitzerlosen Fahrrads.

CO₂-Neutralität bedeutet „[in der Summe] keine CO₂-Emission verursachend“ (www4). Jedoch hat der Weltklimarat diesen Begriff als zu vage deklariert, da die Kompensation von CO₂-Emissionen eingerechnet werden kann (www5).

Aus zwei Gründen wird der Begriff „CO₂-Neutralität“ trotzdem in dieser Arbeit verwendet:

1. CO₂ ist eine feste und messbare Größe. Eine konkrete CO₂-Bilanz kann berechnet werden und man kann Vergleiche anstellen.
2. Die Möglichkeit, das potenziell entstandene CO₂ zu kompensieren, wird nicht in diese Arbeit einbezogen.

Auf diese Arbeit bezogen bedeutet CO₂-Neutralität, dass bei der Restauration kein CO₂ durch den Einsatz von neuen Veloteilen entsteht.

CO₂-Emissionen, die beispielsweise durch die Produktion der Werkzeuge oder den Unterhalt der Velo-garage entstanden sind, werden nicht in die CO₂-Bilanz mit einbezogen.

1.4.3 Green Economy

Die dritte Fragestellung impliziert, dass Green Economy eine erstrebenswerte Wirtschaftsweise ist.

Green Economy (auch Inclusive Green Economy, IGE) ist eine zukunftsorientierte Alternative zu unserer vorherrschenden Wirtschaftsweise. Green Economy kann als Möglichkeit für ein nachhaltiges Wirtschaftswachstum verstanden werden, die CO₂-arm, ressourceneffizient und sozial verträglich ist. Sie steigert das menschliche Wohlergehen und stellt soziale Gleichheit sicher. Gleichzeitig verringert sie Kohlenstoffemissionen und Umweltverschmutzung, ermöglicht eine verbesserte Energie- und Ressourceneffizienz und verhindert den Verlust von Biodiversität und Ökosystemleistungen. Damit sollen Umweltkrisen und ökologische Knappheit verringert werden (www6, www7, www8). Für viele Ökonomen ist Green Economy der einzige Weg, um den Wohlstand langfristig mit dem Erhalt unseres Planeten vereinbar zu machen (www9).

Green Economy basiert auf drei Grundstrategien: der Effizienz-, der Suffizienz- und der Konsistenzstrategie. Die Effizienzstrategie birgt ein hohes Potenzial für Produkt- und Prozessinnovationen. Sie beschäftigt sich mit der Erhöhung der Ressourcenproduktivität und der möglichst ergiebigen Nutzung von Energie. Der Suffizienzstrategie liegt die Annahme zugrunde, dass der Verbrauch von Rohstoffen und Energie mittels Konsumverzicht verringert werden kann. Lebensqualität ist wichtiger und befriedigender als Wirtschaftswachstum und Konsum (www10).

Das dritte Grundprinzip der Green Economy ist die Konsistenzstrategie. Im Gegensatz zu unserer derzeitigen linearen Wirtschaftsweise steht im Mittelpunkt der Konsistenzstrategie der Kreislauf. Nachhaltiges Wirtschaften soll dadurch erreicht werden, dass die Ressourcen möglichst lange in Verwendung bleiben, also beispielsweise recycelt werden. Die Konsistenzstrategie setzt auf die Langlebigkeit von Produkten und Materialen und auf energiearm recycelbare Rohstoffe. Gleichzeitig fordert diese Strategie keine Änderung des Lebensstils, sondern setzt auf neue technologische Errungenschaften (www10).

Ein betriebswirtschaftlich rentables Geschäftsmodell für eine CO₂-neutrale Restauration von Zürcher Fahrrädern wäre also im Sinne der Konsistenzstrategie der Green Economy.

2 CO₂-Emissionen durch die Fahrradproduktion

2.1 CO₂-Emissionen durch den Verkauf von neuen Velos in der Stadt Zürich

Um CO₂-Emissionen zu berechnen und miteinander vergleichen zu können, wird in der Forschung die Einheit kg CO₂-Eq (oder CO₂-Eq) verwendet. Kg CO₂-Eq steht für Kilogramm Kohlendioxid-Äquivalent. Es ist eine Masseinheit, die zum Vergleich der Emissionen verschiedener Treibhausgase auf der Grundlage ihres Treibhauspotenzials verwendet wird, indem die Mengen anderer Gase in die entsprechende Masse (kg) Kohlendioxid mit demselben Treibhauspotenzial umgerechnet werden ([www11](#)).

Konkrete CO₂-Emissionen der Fahrradproduktion zu ermitteln, ist schwierig. Da kein Einheitsfahrrad existiert, gibt es auch keine CO₂-Werte, die auf jedes Fahrrad zutreffen würden. Nur schon die Rahmen können aus unterschiedlichen Materialien wie Stahl, Aluminium, Carbon, Titanium oder seit neuestem auch aus Magnesiumlegierungen (Ohliger, 2021) bestehen. Jeder dieser Rohstoffe produziert bei der Förderung und Verarbeitung unterschiedlich viel kg CO₂-Eq und hat ausserdem eine andere Lebensdauer. Leider legen die meisten Fahrradhersteller bis heute keine Daten zu den in der Produktion entstandenen CO₂-Emissionen offen (Platter, 2020). Die verfügbaren Daten zur Fahrradproduktion widersprechen sich zudem oft. Daten zu den CO₂-Emissionen einzelner Veloteile, wie zum Beispiel Pedalen oder Bremsen, existieren nicht (Hayer, 2021). Alle Daten, die im Rahmen dieser Arbeit erhoben und berechnet wurden, sind somit Annäherungen.

Um die CO₂-Emissionen des Fahrrads dennoch mit denen von anderen Fortbewegungsmitteln vergleichen zu können, wurde ein Durchschnittsfahrrad definiert. Das bilanzierte Fahrrad wiegt ca. 17 kg und besteht hauptsächlich aus Aluminium und Stahl (Leuenberger et al., 2010, S. 10).

Als Grundlage aller Berechnungen der CO₂-Emissionen dient die ecoinvent Datenbank ([www12](#)). Ecoinvent ist eine non-profit Organisation, die mit ihrer Datenbank weltweit Zugang zu qualitativ hochwertigen und erschwinglichen Daten zu Ökobilanzen und Umweltanalysen ermöglicht. Um jedoch auf diese Daten zugreifen zu können, benötigt man eine Datenlizenz, die sich nur für grosse Forschungszentren, Hochschulen oder grosse Organisationen lohnt. Laut dieser Datenbank produziert ein 17 kg schweres Fahrrad im Laufe seines Lebens durchschnittlich 142 kg CO₂-Eq. Im Datensatz werden sowohl CO₂-Emissionen, die bei der Förderung und Verarbeitung der Rohstoffe und durch die Produktion der Fahrräder in Asien entstehen, als auch der anschliessende Transport per Containerschiff von Asien nach Europa berücksichtigt (Hischier, 2021, pers. Mit.).

142 kg CO₂-Eq pro Fahrrad sind daher die Basis für die folgenden Berechnungen zu den CO₂-Emissionen, die die Bewohner*innen der Stadt Zürich durch den Kauf von neuen Fahrrädern jährlich verursachen. Aufgrund mangelnder Statistiken zu jährlichen Neuverkäufen von Fahrrädern in Zürich musste die Anzahl mit Hilfe einer Annäherung auf der Grundlage konkreter schweizweiter Verkaufszahlen berechnet werden. Es wird angenommen, dass die Verkaufszahlen mit den Bevölkerungszahlen korrelieren. Die Gesamtzahlen der Neuverkäufe in der Schweiz werden mittels Prozentsätzen in Relation zur Bevölkerung in der Stadt Zürich gesetzt.

330'696 neue Fahrräder wurden im Jahr 2020 in der Schweiz gekauft (Schweizer Fachstelle für Velos und E-Bikes, 2020). Im gleichen Zeitraum zählte die Stadt Zürich 434'736 Einwohner*innen ([www13](#));

8'670'300 Personen lebten in der Schweiz (www14). 5.01% der Schweizer Bevölkerung lebten 2020 folglich in der Stadt Zürich (Formel 1). Wenn man diesen Prozentsatz in Relation zu den Neuverkäufen von Fahrrädern stellt, ergibt sich, dass 2020 ca. 16'568 Fahrräder in Zürich gekauft wurden (Formel 2).

Um zu errechnen, wie viel kg CO₂-Eq durch den Kauf von neuen Velos durch Zürcher*innen im vergangenen Jahr verursacht wurde, werden diese Verkaufszahlen mit den CO₂-Emissionen eines Fahrrads verrechnet. Daraus ergibt sich, dass die Zürcher Bevölkerung im Jahr 2020 2'352'656 kg CO₂-Eq durch den Kauf von neuen Fahrrädern verursachte (Formel 3).

$$\text{Formel 1: } \frac{434'736}{8'670'300} = 0.0501$$

$$\text{Formel 2: } 0.0501 * 330'969 = 16'568$$

$$\text{Formel 3: } 142 \text{ kg CO2Eq} * 16'568 = 2'352'656 \text{ kg CO2Eq}$$

2.2 Potentielle CO₂-Einsparnisse durch die Restauration alter Velos

Die Entsorgung- und Recyclingstelle Zürich (ERZ) sammelt pro Jahr ca. 3'000 besitzerlose Fahrräder in der Stadt Zürich ein (Hungerbühler, 2021, pers. Mit.). Nur ungefähr 50 Velos sind davon aufgrund von Algenbehang oder übermäßigem Rostbefall unbrauchbar. Die restlichen ca. 2'950 Velos werden in die Velowerkstatt der Sozialen Einrichtungen und Betriebe geliefert. Bei ca. 5% der gelieferten Fahrräder wird im Laufe der Restauration festgestellt, dass sich die Fahrräder doch nicht mehr für den Wiederaufbau eignen. Gründe dafür sind Rahmenbrüche oder Fahrräder, bei denen Spezialteile defekt sind. Diese können zwar nicht oder nur sehr schlecht wiederaufgebaut werden, doch die noch funktions tüchtigen Teile können für die Restauration anderer Fahrräder wiederverwendet werden. Vor allem Sättel, Lenker, Bremshebel, Schutzbleche und Gepäckträger eignen sich dafür. Die restlichen ca. 2'800 Fahrräder wären grundsätzlich zu restaurieren (Hungerbühler, 2021, pers. Mit.). Würden diese an Stelle von neuen Fahrrädern verkauft, so würde sich die CO₂-Emission in der Stadt theoretisch um 397'600 kg CO₂-Eq verringern (Formel 4).

$$\text{Formel 4: } 142 \text{ kg CO2Eq} * 2'800 = 397'600 \text{ kg CO2Eq}$$

Auch wenn in der Velowerkstatt der Sozialen Einrichtungen und Betriebe eine grosse Sammlung an gebrauchten Ersatzteilen zur Verfügung steht, müssen bei der Restauration gewisse Teile so gut wie immer durch neue ersetzt werden. Aus Sicherheitsgründen werden Verschleissteile wie Bremsklötze, Bremszüge und Reifen immer erneuert. Die Lenkergriffe oder Lenkerbänder werden aus hygienischen Gründen ausgetauscht. Die CO₂-neutrale Restauration ist somit meist nicht möglich. Je nachdem, welche Qualitätsstufe das Fahrrad erreichen soll, also je nach Anforderungen an das fertige Fahrrad, werden noch mehr Teile erneuert, bis hin zu einem neu lackierten Rahmen (Hungerbühler, 2021, pers. Mit.).

Die CO₂-Emissionen dieser neuen Ersatzteile müssen nun in die CO₂-Bilanz einbezogen werden. Dazu werden die CO₂-Emissionen der Ersatzteile berechnet, die immer durch neue ersetzt werden: Bremsklötze, Bremszüge, Reifen und Lenkerband respektive -griffe.

Alle Berechnungen beruhen, aufgrund mangelnder exakter Daten, auf Schätzwerten. Auf Anraten von Frank Hayer, Bundesamt für Umwelt, wurde das Gewicht der einzelnen Fahrradteile mit den durchschnittlichen CO₂-Emissionen des Materials verrechnet, um sich den realen Werten anzunähern. Eine Grundlage dafür bildet eine Aufstellung zu den Gewichten und Materialien der einzelnen Fahrradteile von Leuenberger et al. (2010, S.11, siehe Tabelle 4 im Anhang). Angaben der kg CO₂-Eq stammen von Roland Hischier, EMPA. Werden die Gewichte mit den kg CO₂-Eq der jeweiligen Materialien multipliziert, ergeben sich die in Tabelle 4 verzeichneten Angaben zu den CO₂-Eq pro Fahrradteil. Addiert man alle die auf diese Methode erhobenen CO₂-Eq pro Fahrradteil, so ergibt sich ein Gesamtwert von 129 kg CO₂-Eq pro Fahrrad. Damit weicht der Wert dieser Berechnung nur um 13 kg (= 9.2 %) CO₂-Eq von den 142 kg CO₂-Eq aus der ecoinvent-Datenbank ab. Diese Abweichung lässt damit erklären, dass aufgrund mangelnder Daten zu den CO₂-Emissionen der unterschiedlichen Materialien geschätzt und verallgemeinert werden musste. Beispielsweise wurde angenommen, dass alle Plastikteile aus ABS bestehen, auch wenn das nicht der Realität entspricht. Da die Abweichung jedoch nur so gering ist, eignet sich die erläuterte Berechnungsmethode als Annäherung zur Erhebung der CO₂-Eq von einzelnen Fahrradteilen.

Für die drei neuen Fahrradteile Bremsklötzte, Bremszüge und Reifen wurden insgesamt 3.16 kg CO₂-Eq berechnet (Tabelle 1).

Tabelle 1: Neue Fahrradteile: Materialien, Durchschnittsgewicht (Leuenberger et al., 2010, S.11), kg CO₂-Equivalenz pro Material (Hischier, 2021, pers. Mit.) und kg CO₂-Equivalent der neuen Fahrradteile

Neue Fahrradteile	Materialien	Durchschnittsgewicht (kg)	kg CO ₂ -Eq/kg Material	kg CO ₂ -Eq	kg CO ₂ -Eq pro Fahrradteil
2 Bremszüge*	Edelstahl	0.032	4.16	0.133	0.133
4 Bremsklötzte**	Edelstahl	0.05	4.16	0.208	0.327
	Gummi	0.05	2.38	0.119	
2 Reifen & Schlauch***					2.7
Summe					3.16

* eigene Messung

** Angaben für V-Brake Economic Claws (Veloplus Velohandbuch, 2021/22, S. 247): Die vier Bremsklötzte à 25 g bestehen aus Edelstahl und Gummi. Beide Bestandteile machen durchschnittlich die Hälfte des Gewichtes aus. Insgesamt beträgt das Gewicht der Edelstahl- und Gummiteile je 50g.

*** Angaben aus Tabelle 4

Für Lenkerbänder können beispielsweise Lederprodukte der Firma Gusti Leather herangezogen werden. Da das Leder, das sie für ihre Produkte verwenden, ausschliesslich ein Nebenprodukt der Fleischindustrie und somit ein Abfallprodukt ist, sind ihre Lederprodukte 100% recycelt (www15). Damit entsteht durch die Verwendung dieser Lederprodukte kein zusätzliches CO₂. Zudem ist Leder biologisch abbaubar und langlebiger als Kunststoff. Produkte solange wie möglich zu verwenden, ist auf jeden Fall die beste Methode, um CO₂ einzusparen (Wilson-Powell, 2021, S. 103).

Folglich werden nur 3.16 kg CO₂-Eq durch die Verwendung der notwendigen neuen Teile bei der Restauration eines Fahrrads produziert. Dadurch verringert sich eine mögliche Einsparung von CO₂-Emissionen auf 138.84 kg CO₂-Eq pro verkauftes Velo (Formel 5). Hochgerechnet auf die 2'800 jährlich potentiell zu restaurierenden Fahrrädern bedeutet dies, dass die Stadt Zürich durch den Wiederaufbau jährlich 388'752 kg CO₂-Eq (Formel 6) und somit 16.5% (Formel 7) der CO₂-Emissionen, die Zürcher*innen durch den Kauf von neuen Fahrrädern produziert werden, einsparen könnte.

$$\text{Formel 5: } 142 \text{ kg CO}_2\text{-Eq} - 3.16 \text{ kg CO}_2\text{-Eq} = 138.84 \text{ kg CO}_2\text{-Eq}$$

$$\text{Formel 6: } 138.84 \text{ kg CO}_2\text{-Eq} * 2'800 = 388'752 \text{ kg CO}_2\text{-Eq}$$

$$\text{Formel 7: } \frac{388'752}{2'352'606} = 0.165$$

2.3 Fazit

Durch den Kauf von neuen Fahrrädern werden in Zürich im Jahr ca. 2'350 Tonnen CO₂ produziert (Formel 3). 16.5% dieser Emissionen könnten durch den Wiederaufbau und den Verkauf von alten besitzerlosen Fahrrädern eingespart werden. Die Realität weicht jedoch von diesen Berechnungen ab. Da effektiv nur ca. 400 der 2'800 Velos restauriert werden können (Kapitel 4.2), betragen die eingesparten CO₂-Emissionen nur noch 55'536 kg CO₂-Eq (Formel 8), was nur noch 2.4% Einsparnisse der 2'350 t CO₂-Eq entspricht (Formel 9).

$$\text{Formel 8: } 138.84 \text{ kg CO}_2\text{-Eq} * 400 = 55'536 \text{ kg CO}_2\text{-Eq}$$

$$\text{Formel 9: } \frac{55'536}{2'352'656} = 0.024$$

Obwohl beim Wiederaufbau 3.16 kg CO₂-Eq entstehen, könnte man durch die Restauration und den Verkauf besitzerloser Fahrräder 0.13% (Formel 10) beziehungsweise 0.019% (Formel 11) der durch den Zürcher Verkehr produzierten CO₂-Emissionen einsparen ([www16](#)).

$$\text{Formel 10: } \frac{388'752}{300'000'000} = 0.0013$$

$$\text{Formel 11: } \frac{55'536}{300'000'000} = 0.00019$$

Bei diesen Berechnungen handelt es sich jedoch nur um potenzielle Einsparung, da es schwierig ist auszuschliessen, dass die Produktion von neuen Fahrrädern durch den Wiederaufbau von Altfahrrädern abnimmt ([www3](#)).

3 Restauration eines besitzerlosen Zürcher Velos

3.1 Voraussetzungen: Velobeschaffung und Velogarage

3.1.1 Velobeschaffung

Dank der Unterstützung der Stadtpolizei Zürich und der Velowerkstatt der Sozialen Einrichtungen und Betriebe der Stadt Zürich (im Folgenden Velowerkstatt genannt) stellte sich die Beschaffung eines besitzerlosen Zürcher Fahrrads einfacher heraus als angenommen. Im bereits gut vorsortierten Lager der Velowerkstatt in Oerlikon durfte ich mir gratis ein passendes besitzerloses Fahrrad aussuchen. Nur 10-30% der eingesammelten Zürcher Velos werden dort gelagert und von Mitarbeiter*innen der Velowerkstatt, als Teil der Sozialen Einrichtungen und Betriebe der Stadt Zürich, wieder für das Zürcher Klientel aufgebaut und verkauft (Hungerbühler, 2021, pers. Mit.) Die Fahrräder, die mir zur Wahl standen, waren daher alle in besserem Zustand, als ich es mir für diese Arbeit ursprünglich gewünscht hatte. Zwischen den hunderten von Fahrrädern habe ich ein hellblaues Cilo aus den 1980er-Jahren gefunden, das mir passend für meine Maturarbeit erschien (Abbildung 1).

3.1.2 Velogarage

Die kleine, aber gut bestückte Velogarage der Genossenschaft Neubühl (im Folgenden Velogarage genannt) war der perfekte Ort, um das Velo zu restaurieren. Ich hatte zu jeder Zeit freien Zugang und durfte alle gebrauchten Veloteile benutzen, die die Mitglieder der Garage seit Jahren gesammelt hatten. Neben den alten Veloteilen fand ich dort auch eine grosse Sammlung an Spezialwerkzeug, Schrauben und diversen anderen Teilen, die mir den Wiederaufbau ermöglichten. Bei allen Teilen, die nicht neu verpackt oder explizit als neu gekennzeichnet waren, konnte ich davon ausgehen, dass diese Bestandteile von alten Fahrrädern sind.

3.2 Bedingungen an das besitzerlose Fahrrad

Da Amateur*innen nur beschränkte Reparaturmöglichkeiten haben, waren die Bedingungen an das besitzerlose Fahrrad eng gesteckt. Einen kaputten Rahmen zu reparieren, hätte beispielsweise ausserhalb meiner Möglichkeiten gelegen, da sowohl das Wissen als auch das Equipment fehlen. An das besitzerlose Fahrrad der Velowerkstatt wurden folgende Bedingungen gestellt:

1. Das Fahrrad ist nicht mehr funktions- und fahrtüchtig.
2. Der Rahmen selbst muss intakt sein. Er darf nicht verbeult, stark verrostet, verzogen oder auf eine andere Art defekt sein. Davon ausgenommen sind leichte Lackschäden und Kratzer.
3. Der Rahmen sollte entweder aus Stahl oder Aluminium bestehen.
4. Das Tretlager wäre optimalerweise ein Vier- oder Sechskant-Tretlager; ein französisches Tretlager ist wenn möglich zu vermeiden, da dieses die Reparatur massiv erschweren könnte.
5. Das Fahrrad muss eine Kettenfahrt und keine Nabenschaltung haben. Für Kettenfahrtungen findet man leichter Ersatzteile und die Reparatur ist einfacher.

3.3 Bedingungen an das fertige Fahrrad

„Funktionstüchtig und verkehrssicher“ waren die Hauptbedingungen, die an das restaurierte Fahrrad gestellt wurden. Gleichzeitig sollte das Endprodukt ein stimmiges Bild ergeben, denn das Aussehen des Fahrrads ist ein wichtiges Kriterium für potentielle Käufer*innen. Zudem mussten für das restaurierte Fahrrad Secondhandersatzteile der Velowerkstatt und aus der Velogarage verwendet werden. Wenn notwendig, durften neue Teile benutzt werden.

3.4 Bestandsaufnahme und Vorgehen

Der erste Schritt der Restauration war die Bestandsaufnahme, um zu evaluieren, welche Teile repariert oder ausgetauscht werden müssen. In der Legende zu Abbildung 1 sind die Makel und defekten Teile des Fahrrads aufgeführt.

Schritt für Schritt habe ich das Fahrrad auseinandergenommen, repariert und wieder zusammengebaut. Zuerst habe ich mich den Aufgaben angenommen, die mir einfach zu lösen erschienen, um Übung zu bekommen. Jeden Restaurationsschritt habe ich ausführlich dokumentiert und jeweils die benötigte Zeit (Tabelle 2) sowie die entstandenen CO₂-Emissionen (Tabelle 3) erfasst (grauer Kasten).

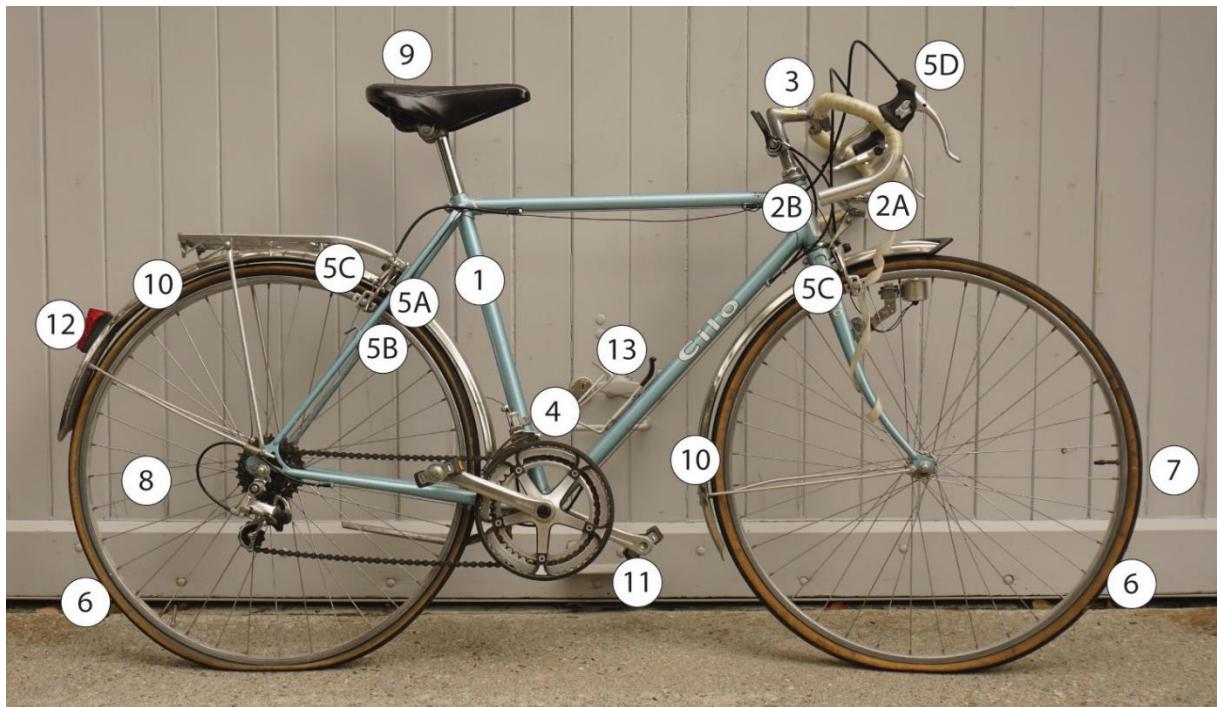


Abbildung 1: Fahrrad vor der Restauration: Makel und kaputte Teile des Fahrrads (eigenes Foto)

1	Lackschäden am Rahmen	7	Seiten- und Höhenschlag Vorderrad
2A	Kaputtes Lenkerband	8	Zerbrochene Speiche Hinterrad
2B	Lenkerstopfen fehlen	9	Sattel leicht kaputt und rostig
3	Keine Klingel vorhanden	10	Leicht verbeulte Schutzbleche vorne und hinten
4	Schaltung vorne funktioniert nicht	11	Pedalen funktionstüchtig
5A	Hinterre Bremse schwerfällig	12	Rücklicht kaputt
5B	Alte, spröde Bremsbeläge	13	Verbogener Getränkelhalter
5C	Vordere und hintere Bremse zentrieren		
5D	Spröde und kaputte Griffgummis		
6	Schlauch und Reifen spröde und rissig, die Reifen sind platt		

3.5 Restauration

3.5.1 Rahmen

Der Rahmen wies einige Lackschäden auf (Abbildung 2). Da diese aber nicht so gravierend waren, habe ich mich dazu entschieden, diese nicht auszubessern.



Abbildung 2: Lackschäden an hinterer Gabel (eigenes Foto)



Da ich die Lackschäden nicht ausgebessert habe, sind keine CO₂-Emissionen entstanden.



0 Minuten

3.5.2 Lenker

Das Lenkerband war beschädigt und teilweise notdürftig repariert (Abbildung 3, Abbildung 4), weshalb ich es entfernen musste. Danach befreite ich den Lenker von den Kleberesten des Lenkerbands und säuberte es sorgfältig. Eine Bekannte hatte mir ein neues, weisses Lenkerband aus recyceltem Leder geschenkt, welches ich mit etwas Aufwand am Lenker anbrachte (Abbildung 5). Im Fundus der Velogarage fand ich passende gebrauchte Lenkerstopfen.

Beim erstmaligen Abnehmen des Lenkers hatte ich diesen sowie die Lenkerhalterung leicht beschädigt. Zwischen Lenker und Klemme des Vorbaus befanden sich kleine Steinchen und Dreck, die beim Ausfärden des Lenkers Lenker und Lenkerhalterung verkratzten (Abbildung 6). Die beschädigte Stelle schliff ich daraufhin leicht ab.



Abbildung 3: Notdürftig geflicktes Lenkerband (eigenes Foto)



Abbildung 4: Gelöstes Lenkerband (eigenes Foto)



Abbildung 5: Reparierter Lenker (eigenes Foto)



Abbildung 6: Beschädigte Stelle am Lenker (eigenes Foto)



Bei der Restauration des Lenkers wurde kein CO₂ produziert.



105 Minuten

3.5.3 Klingel

In der Velogarage fand ich eine stilistisch passende, alte Klingel (Abbildung 7). Die Schraube der Befestigung war zu kurz, um die Klingel am Lenker zu befestigen. In der Sammlung der Velogarage fand ich aber eine passende Schraube. Ich konnte die Klingel so befestigen, dass sie die beschädigte Stelle am Lenker überdeckt (Abbildung 8).



Abbildung 7: Klingel aus Velogarage (eigenes Foto)



Abbildung 8: Klingel am Lenker befestigt (eigenes Foto)



Klingel und Schraube sind gebrauchte Gegenstände und beeinflussen die CO₂-Bilanz des Fahrrads nicht.



10 Minuten

3.5.4 Schaltung vorne

Die vordere Schaltung (Umwerfer) funktionierte nicht mehr. Die Ursache fand ich relativ schnell: In die Schaltzugumhüllung beim Tretlager war Wasser eingedrungen und der Schaltzug hatte zu rosten begonnen (Abbildung 9). Als Folge war der Schaltzug innerhalb der Aussenhülle unbeweglich, was die Beweglichkeit des Schalthebels einschränkte, sodass die Zugspannung des Schalthebels nicht an den Umwerfer weitergeleitet werden konnte.

Den Schaltzug und die Umhüllung musste ich somit ersetzen. Da ich weder einen gebrauchten Schaltzug noch gebrauchte Hüllen fand, musste ich neue verwenden. Die Schaltung einzustellen kostete mich trotz Anleitung einige Zeit. Die Feineinstellung per Schräubchen stellte sich als schwieriger heraus als gedacht, da sich der Schaltzug nach dem Feineinstellen immer wieder löste. Mit viel Geduld und Ausprobieren ist es mir jedoch gelungen, die Schaltung wieder in Betrieb zu setzen (Abbildung 10).



Abbildung 9: Rostiger Schaltzug und Aussenhülle (eigenes Foto)



Abbildung 10: Reparierter Umwerfer (eigenes Foto)



Für diesen Arbeitsschritt habe ich einen neuen Schaltzug sowie neue Schutzumhüllungen gebraucht. Somit wurden durch die Restauration 0.134 kg CO₂-Eq produziert.



110 Minuten

3.5.5 Bremsen

Das Fahrrad ist mit einer Eingelenk-Seitenzugbremse ausgestattet, welche man fast nur noch an alten Renn-, Strassen- und Tourenrädern findet. Da diese Bremsen, im Gegensatz zu neueren Modellen, über keinen Schnellspanner verfügen, ist das Einstellen der Bremsen deutlich schwieriger. Ausserdem sind die Arme nicht sehr verwindungssteif (Hoffmann, 2014, S. 126). Die Reparatur ist folglich mühsamer und zeitaufwendiger.

Die Bremszüge waren eingestaubt und schmierig, die Aderendhülsen fehlten (Abbildung 11) und die Bremsklötze hatten schon deutliche Gebrauchsspuren vorzuweisen (Abbildung 12). Bremszüge und Bremsbeläge sind Verschleissgegenstände, weshalb ich mich entschied, sie aus Sicherheitsgründen durch neue einzutauschen. Die Aussenhüllen der Bremszüge waren zum Glück noch in gutem Zustand, sodass ich sie wiederverwenden konnte.

Im Gegensatz zu den hinteren Bremsarmen funktionierten die vorderen nur schwerfällig. Über Nacht liess ich zwischen Bremsarme und Feder das Kriechöl WD40 einziehen, sodass sie am nächsten Tag wieder einwandfrei funktionierten.

Die neuen Bremsklötze (Abbildung 13) waren schnell angebracht. Bevor ich die Bremszüge samt aufgefädelten Aussenhüllen anbringen konnte, musste ich die Bremsgriffe wieder am Lenker montieren. Trotz leichter Beschädigung der Bremsgriffe war es nicht nötig, diese zu ersetzen. Die kaputte Abdeckkappe, die den Übergang zwischen Lenkergriff und Aussenhülle darstellt, ersetzte ich ohne Probleme durch eine alte aus der Velogarage. Die Bremsen stellte ich mit Hilfe des Lehrbuches (Hoffmann, 2014) ein. Das Zentrieren der Bremsen bereitete jedoch Probleme. Die Bremsschenkel reagierten nicht symmetrisch auf den Zug der Bremshebel. Beim Lösen der Bremsen bewegte sich nur der linke (vorne) beziehungsweise der rechte (hinten) Arm an seine ursprüngliche Position. Der jeweils andere Schenkel entfernte sich kaum von der Felge, was zu schleifenden Bremsen führte. Mit viel Herumprobieren, durch weiteres Fetten der Arme und erneutes Anziehen der Bremszüge waren die Bremsen am Ende zufriedenstellend eingestellt (Abbildung 14).



Abbildung 11: Vordere Bremse vor der Restaurierung (eigenes Foto)



Abbildung 12: Alte Bremsklötze mit deutlichen Gebrauchsspuren (eigenes Foto)



Abbildung 13: Neue Bremsklötze (eigenes Foto)



Abbildung 14: Vorderbremse nach der Restaurierung (eigenes Foto)



0.46 kg CO₂-Eq entstand durch die Verwendung von neuen Bremszügen (0.133 kg CO₂-Eq) und neuen Bremsklötzen (0.327 kg CO₂-Eq).



110 Minuten

3.5.6 Reifen und Schläuche

Von Anfang an war klar, dass ich Schläuche und Reifen aus Sicherheitsgründen durch neue ersetzen werde. Alte aus der Velogarage zu verwenden, kam mir zu riskant vor. Das Gummi war spröde und leicht beschädigt (Abbildung 15). Nachdem ich die alten Reifen und Schläuche entfernt hatte, versuchte ich die neuen aufzuziehen. Aufgrund der geringen Elastizität der neuen Reifen rutschten die Drähte nicht richtig über das Felgenhorn; die Reifen eierten. Durch die kontinuierliche Spannung der aufgezogenen Reifen rasteten diese aber nach einigen Tagen von selbst ein (Abbildung 16).



Abbildung 15: Spröder Vorderreifen (eigenes Foto)



Abbildung 16: Neuer Vorderreifen (eigenes Foto)



Neuen Schläuche und Reifen bestehen aus Gummi und Draht. Somit wurde durch ihre Produktion durchschnittlich 2.70 kg CO₂-Eq emittiert.



90 Minuten

3.5.7 Vorderrad

Die Seiten- und Höhenschläge im Vorderrad zu beheben war sehr zeitaufwendig und kostete viel Geduld. Eine Kabelbinderkonstruktion (Abbildung 17) half mir herauszufinden, welche Speichen gelockert beziehungsweise angezogen werden mussten. Das Hauptproblem waren die alten und verklemmten Speichennippel. Zwei Nippel waren so verklemmt mit der Felge, dass ich beim Versuch, die Speichen anzuziehen oder zu lösen, abrutschte und dabei die Kanten der Nippel zerstörte. Dadurch konnte ich sie nicht mehr drehen und musste sie ersetzen (Abbildung 18). Mit dem Auswechseln der Nippel durch gebrauchte aus der Velogarage wurde jedoch das Spannungsgleichgewicht der Speichen gestört, sodass ich die Seiten- und Höhenschläge wieder von vorne beheben musste.

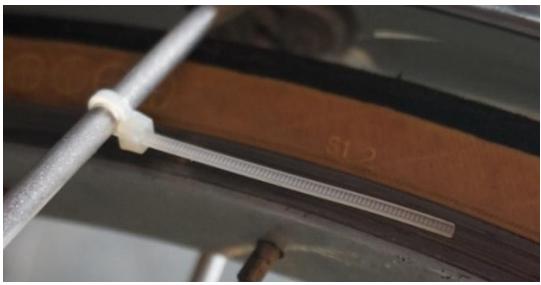


Abbildung 17: Kabelbinderkonstruktion Vorderrad (eigenes Foto)



Abbildung 18: Kaputter Nippel (links) und neuer Nippel (rechts) (eigenes Foto)



Bei der Reparatur des Vorderrades entstanden keine CO₂-Emissionen, da ich keine neuen Teile verwenden musste.



50 Minuten

3.5.8 Hinterrad

Beim Hinterrad musste ich eine zerbrochene Speiche ersetzen (Abbildung 19). Eine passende second-hand-Speiche fand ich in der Velogarage. Bevor ich jedoch die neue Speiche einsetzen konnte, musste ich, um die Narbe freizulegen, die Kassette entfernen, was mir grosse Schwierigkeiten bereitete. Da dieses Kassettenmodell nicht in dem mir vorliegenden Handbuch behandelt wurde, musste ich ohne Anleitung ausprobieren. Mehrmals öffnete ich das Radlager, legte das Kugellager frei und entfernte und säuberte die Achse, bis ich verstand, wie die Kassette abgeschraubt werden kann. Das kleinste Zahnrad ist als einziges mit dem Freilauf verschraubt und hält so die anderen Zahnräder fest. Nur mit einer weiteren helfenden Hand konnte ich genug Kraft aufbringen, um die Kassette zu entfernen. Mit etwas Kraft konnte ich schliesslich die neue Speiche einfädeln (Abbildung 20).

Auch beim Hinterrad mussten die Seiten- und Höhenschläge behoben werden. Mit einer ähnlichen Kabelbinderkonstruktion wie bei Vorderrad konnte ich das Ausmass der Schläge einschätzen (Abbildung 21). Auch beim Hinterrad musste ich einen Nippel austauschen. Das Hinterrad zu reparieren war ebenfalls eine langwierige Aufgabe.

Dadurch, dass ich das Radlager im Laufe meiner Arbeit mehrfach auf und zugeschraubt hatte, musste ich es am Ende noch einmal revidieren. Ich entfernte die Achse, säuberte das Lager und ermittelte die optimale Einstellung der Kontermutter und des Konus.



Abbildung 19: Zerbrochene Speiche im Hinterrad (eigenes Foto)



Abbildung 21: Kabelbinderkonstruktion hinten (eigenes Foto)



Abbildung 20: Hinterrad mit neuer Speiche und neuem Schlauch (eigenes Foto)



Auch bei der Reparatur des Hinterrades sind keine CO₂-Emissionen angefallen, da keine neuen Teile verwendet wurden.



220 Minuten

3.5.9 Sattel

Der ursprüngliche Sattel (Abbildung 22) war leicht beschädigt und rostig. In der Sammlung der Velogarage fand ich einen farblich passenden, gebrauchten Ledersattel, den ich ohne grosse Probleme auswechseln konnte (Abbildung 23). Die Sattelstange und das Sitzrohr befreite ich vom Rost.



Abbildung 22: Alter Sattel, leicht beschädigt (eigenes Foto)



Abbildung 23: Neuer Ledersattel (eigenes Foto)



Da der Ledersattel secondhand ist, beeinflusst er die CO₂-Bilanz nicht.



45 Minuten

3.5.10 Schutzbleche

Die Schutzbleche waren leicht verbeult und sehr verdreckt. Um die Beulen und Dellen zu entfernen, musste ich kreativ werden, denn eine Anleitung gab es in meinem Handbuch nicht. Mit Schraubenzieher, Zangen, diversen Klemmen und den Händen konnte ich die Beulen mit Erfolg entfernen (Abbildung 24, Abbildung 25). Da Schmutz den Verschleiss der Fahrradteile begünstigt oder sogar vorantreibt, säuberte ich die Schutzbleche sorgfältig.



Abbildung 24: Vorderes Schutzblech mit Delle (eigens Foto)



Abbildung 25: Vorderes Schutzblech ohne Delle (eigens Foto)



Es wurden keine neuen Schutzbleche benötigt, wodurch kein CO₂ produziert wurde.



55 Minuten

3.5.11 Pedalen

Im Fundus der Velowerkstatt der Stadt Zürich durfte ich hübsche metallene Pedale mitnehmen, um die alten Pedale auszutauschen (Abbildung 26, Abbildung 27). Nur mit grossem Kraftaufwand und einer helfenden Hand konnte ich die alten Pedale entfernen. Falsche Angaben im Handbuch zu den Gewinden der Pedale erschwerten den Prozess.

Bevor ich die neuen Pedale aufschraubte, fettete ich die Gewinde ein, um Korrosion vorzubeugen.



Abbildung 26: Alte rechte Pedale (eigenes Foto)



Abbildung 27: Neue rechte Pedale (eigenes Foto)



Die Pedale stammen von einem alten Fahrrad aus der Velowerkstatt, weshalb sie keinen Einfluss auf die CO₂-Bilanz nehmen.



20 Minuten

3.5.12 Licht

Das Vorderlicht funktionierte einwandfrei. Das Kabel des Rücklichts war jedoch beschädigt (Abbildung 28). Erfolglos versuchte ich, mit Hilfe von Isolationsklebeband das Kabel zu reparieren (Abbildung 29). Da ich das Dynamolicht nicht durch ein Batterielicht eintauschen wollte, musste ich das 2.16 m lange Kabel austauschen. Um erneute Beschädigung des Kabels vorzubeugen, verlegte ich die Kabel möglichst eng am Rahmen anliegend, entlang der Bremszüge und versteckt im Schutzblech (Abbildung 30). Die hintere, nicht mehr funktionstüchtige Glühbirne tauschte ich durch ein gebrauchtes Lämpchen aus.



Abbildung 28: Kaputtes Kabel (eigenes Foto)

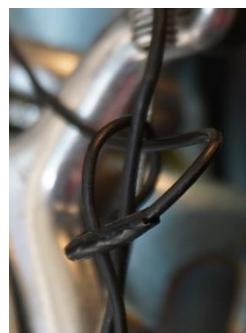


Abbildung 29: Mit Isolierband geflicktes Kabel (eigenes Foto)



Abbildung 30: Neues Kabel für Rücklicht, sicher verlegt (eigenes Foto)



Das Lämpchen ist secondhand und beeinflusst die CO₂-Bilanz nicht. Durch die Verwendung eines neuen Kabels wurden 0.043 kg CO₂-Eq produziert.



70 Minuten

3.5.13 Getränkehalter

Den Getränkehalter entfernte ich ohne Probleme. Trotz Ersatzmöglichkeiten aus der Velogarage montierte ich aus ästhetischen Gründen keinen neuen.



Ich baute keinen neuen Getränkehalter ein, weshalb keine CO₂-Emissionen entstanden sind.



5 Minuten

3.6 Fazit

Das restaurierte Fahrrad hat ein zufriedenstellendes Endprodukt ergeben (Abbildung 31). Alle Bedingungen an das Fahrrad (Kapitel 3.3) konnte ich erfüllen. Auch wenn die Lackschäden nicht ausgebessert sind und ich in Zukunft definitiv immer wieder kleine Reparaturen daran vornehmen werde, habe ich mein Ziel erreicht: Eigenhändig habe ich ohne Vorwissen dieses Fahrrad restauriert.



Abbildung 31: Fahrrad nach der Restauration (eigenes Foto)

Insgesamt 890 Minuten, also knapp 15 Stunden, habe ich für die Restauration des Fahrrads benötigt (Tabelle 2); die Zeit zur Dokumentation darin nicht eingerechnet. Mit der Restauration hat ein langer Lernprozess stattgefunden. Während ich zu Beginn noch unbeholfen und ungeschickt nur langsam Fortschritte machte, entstand gegen Ende eine Vertrautheit mit dem Fahrrad, den Werkzeugen und der Arbeit selbst. Durch die Aneignung von Wissen und Fähigkeiten zur Fahrradreparatur bin ich im Laufe des Prozesses immer geübter, schneller und gezielter vorgegangen. Ich kann daher mit Sicherheit sagen, dass ich bei einer erneuten Restauration eines alten Fahrrads schneller vorankommen würde. Die Restauration und der ganze Lernprozess haben mir sehr viel Freude bereitet.

Tabelle 2: Zeitaufwand pro Fahrradteil bei der Restauration

Fahrradteil	Zeit (Minuten)
Lenker	105
Klingel	10
Schaltung vorne	110
Bremsen	110
Reifen und Schläuche	90
Vorderrad	50
Hinterrad	220
Sattel	45
Schutzbleche	55
Pedalen	20
Licht	70
Getränkehälter	5
Summe	890

Mit Hilfe des Handbuchs konnte ich zwar viele Probleme lösen, doch mit fortschreitenden Reparaturen habe ich erkannt, dass Ausprobieren in manchen Fällen die erfolgreichere Methode ist. Zu Beginn habe ich jeden noch so kleinen Arbeitsschritt im Handbuch nachgeschlagen, nur um des Öfteren erkennen zu müssen, dass mir die Angaben bei meinem spezifischen Fahrradmodell nicht weiterhelfen. Mit der Zeit bin ich dazu übergegangen, selbst auszuprobieren und zu versuchen, die Mechanismen zu verstehen um eigene Lösungen zu finden. Ich habe Stunden damit verbracht, herumzutüfteln und auszuprobieren. Während ich anfangs sehr vorsichtig vorgegangen bin, musste ich erkennen, dass beherztes Anpacken die Probleme oft besser löst. Außerdem ist eine helfende Hand, die etwas mehr Kraft aufbringen kann, beim Lösen von eingerosteten Schrauben ebenfalls von Vorteil.

Tabelle 3: kg CO₂-Equivalent der neuen Bestandteile, die bei der Restauration verwendet wurden.

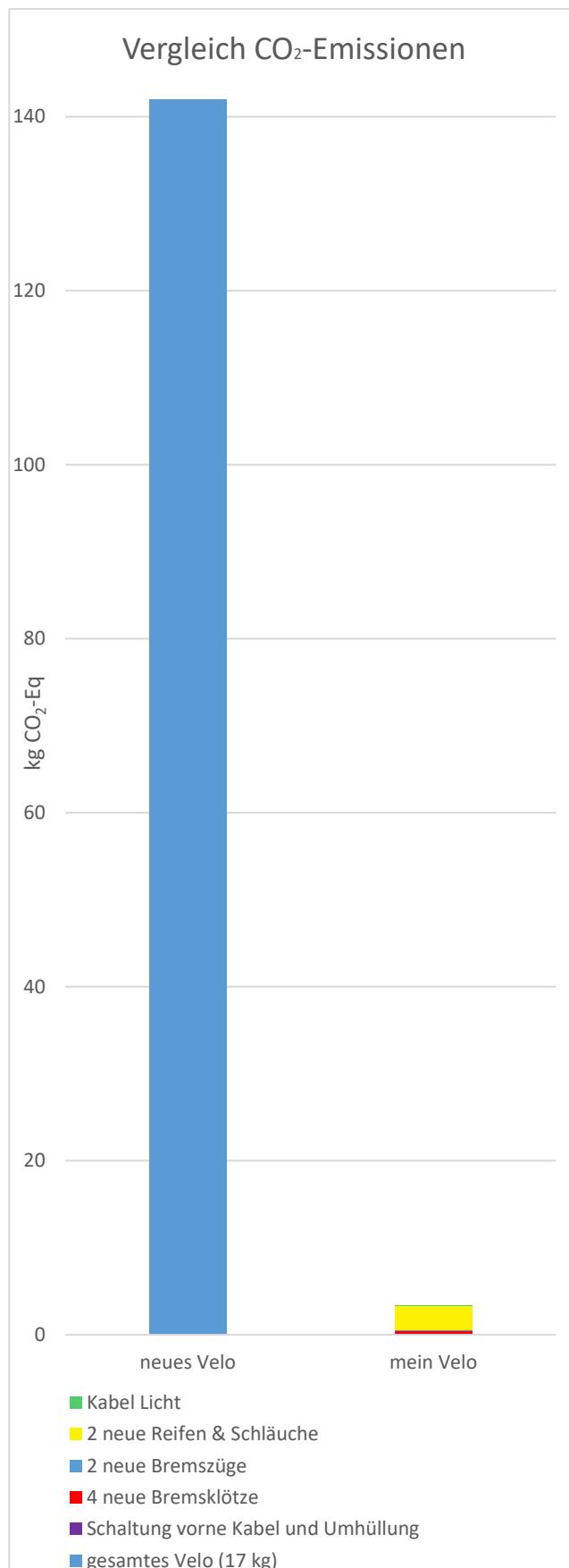
Bestandteile des Materialien Fahrrads		Durchschnitts- gewicht (kg)	kg CO ₂ - Eq/kg Ma- terial**	kg CO ₂ - Eq	kg CO ₂ -Eq pro Bestandteil
Schaltzug und Um- hüllung vorne*	Edelstahl Gummi	0.03 0.004	4.16 2.38	0.125 0.01	0.134
2 Bremszüge*	Edelstahl	0.032	4.16	0.133	0.133
4 Bremsklötze***	Edelstahl Gummi	0.05 0.05	4.16 2.38	0.208 0.119	0.327
2 Reifen & Schlauch**					2.7
Kabel Licht*	Draht	0.006	7.2	0.043	0.043
Summe					3.337

* eigene Messung

** Angaben aus Tabelle 4

*** Angaben für V-Brake Economic Claws (Veloplus Velohandbuch, 2021/22, S. 247): Die vier Bremsklötze à 25 g bestehen aus Edelstahl und Gummi. Beide Bestandteile machen durchschnittlich die Hälfte des Gewichtes aus. Insgesamt beträgt das Gewicht der Edelstahl- und Gummiteile je 50g.

Ohne die Werkzeuge vor Ort in der Velogarage und die Secondhandfahrradteile aus der Velowerkstatt der Stadt Zürich und der Velogarage wäre dieser ressourcenarme Wiederaufbau nicht möglich gewesen. Trotz guter Voraussetzungen musste ich vier alte Veloteile durch neue ersetzen. Damit wurde 3.337 kg CO₂-Eq produziert (Tabelle 3). Das Ziel der CO₂-neutralen Restauration wurde somit nicht erreicht. Um die Sicherheit gewährleisten zu können, mussten Verschleissteile wie Bremsklötze, Bremszüge und Reifen neu gekauft werden. Im Laufe eines Fahrradlebens müssen durchschnittlich 50% solcher Kunststoff- und Gummiteile ausgetauscht werden (Frischknecht et al., 2016, S. 24). Da diese Teile jedoch sehr leicht sind und vorwiegend aus Gummi bestehen, haben sie keinen grossen Einfluss auf die CO₂-Emissionen des Fahrrads. Folglich wurde durch die Restauration dieses Fahrrads trotz Einsatz von neuen Teilen 138.7 kg CO₂-Eq gegenüber einem neuen Fahrrad eingespart (Abbildung 32).



Diese geringe CO₂-Emission bei der Restaurierung darf jedoch nicht für alle besitzerlosen Velos verallgemeinert werden. Da der Zustand von jedem Fahrrad individuell ist, sind auch diese Angaben sehr individuell. Die Berechnungen treffen auf das beschriebene Fahrrad im Rahmen dieser Arbeit zu. Nicht abschätzbar ist, wie die Restaurierung verlaufen wäre, wenn ein anderes Fahrrad die Basis gewesen wäre. Auf Grund des guten Zustandes des beschriebenen Fahrrads und dadurch, dass keine Spezialteile fehlten, war der Wiederaufbau trotz einiger Mühen gut umsetzbar. Bis zu welchem Zerstörungsgrad ein Fahrrad noch reparierbar ist, ist schwierig zu sagen. Sobald jedoch Rahmenbrüche vorliegen, ist der Aufwand für die Reparatur unverhältnismässig gross. Auch bei qualitativ schlechten Fahrrädern lohnt sich der Wiederaufbau nicht (Hungerbühler, 2021, pers. Mit.).

Abbildung 32: Vergleich CO₂-Emissionen eines neuen Velos (Hirschier, 2021, pers. Mit.) und des restaurierten Velos (Tabelle 3)

4 Wirtschaftliche Rentabilität der Restauration von Secondhandfahrrädern

4.1 Wirtschaftliche Rentabilität

Um die Klimakrise abzuwenden, müssen Klimaschutz und Wirtschaft Hand in Hand gehen. Klimaschutz muss wirtschaftlich rentabel oder zumindest tragbar sein. Genau das ist das Ziel der Green Economy. Mit der Konsistenzstrategie der Green Economy, also der Fokus auf Recycling, soll die Wirtschaft nachhaltiger und ökologischer werden. Damit das Recycling alter besitzerloser Velos auf lange Sicht einen Beitrag zum Klimaschutz leistet, muss die CO₂-neutrale Restauration der Fahrräder jedoch betriebswirtschaftlich rentabel sein.

Mit der Restauration von alten, besitzerlosen Fahrrädern könnte Zürich pro Jahr mehrere hundert Tonnen CO₂ einsparen (Kapitel 2.2). Doch den Wiederaufbau als betriebswirtschaftliches Geschäftsmodell umzusetzen, würde gemäss Philipp Müller, Leiter des Fahrradgeschäfts Velo Hubertus, viele Herausforderungen mit sich bringen: Das Geschäft wäre mit grosser Wahrscheinlichkeit vor allem zu Beginn weit defizitär. Die Restauration im grossen Stil könnte sich zwar rentieren, wenn man sich einen Namen als Occasions-Fahrradgeschäft aufgebaut hat, es wäre aber ein sehr hartes Geschäft. Nach Müller bestehen die meisten Fahrradgeschäfte zwar aus Werkstatt und Verkauf, jedoch wirft die Aufarbeitung und der Verkauf von alten Velos nur wenig bis kein Umsatz ab. Die Restauration alter Fahrräder ist aus seiner Sicht nur im Sozialwesen umsetzbar. Die Finanzierung findet dort nicht durch den Verkauf, sondern durch die Ausbildung der Lernenden und Arbeitsintegration statt.

4.2 Interview mit Oliver Hungerbühler

Die Stadt Zürich unterhält eine Velowerkstatt als Teil der Sozialen Einrichtungen und Betriebe. Oliver Hungerbühler ist der Teamleiter dieser Velowerkstatt. Mit sechs Mitarbeiter*innen seines vierzigköpfigen Teams baut er unter anderem alte, besitzerlose Zürcher Velos wieder auf. Zur Frage der Wirtschaftlichkeit von Secondhandfahrrädern in der Stadt Zürich kann er auf seine langjährige Erfahrung zurückgreifen. Das Interview wurde per Telefon geführt.

Herr Hungerbühler, wie viele Fahrräder werden in der Stadt Zürich jährlich eingesammelt?

Das kann ich nur schätzen: 2020 wurden ca. 3'000 Velos vom ERZ eingesammelt. Wahrscheinlich schwankt die Zahl zwischen 2'800 und 3'100.

Welcher Anteil ist davon ganz unbrauchbar?

Das ist schwierig zu sagen. Solche Velos kommen in der Regel gar nicht bei uns an, sondern werden vom ERZ schon vorher aussortiert. Ich würde sagen, es sind ca. 50 pro Jahr und es sind dann meistens algenbehängene Velos, die aus der Limmat oder Sihl gefischt wurden. Dann gibt es immer noch Velos, die wir beginnen aufzubauen und dann merken, dass der Rahmen gebrochen ist oder dass Spezialteile kaputt sind und somit der (Material-) Aufwand für einen Wiederaufbau zu gross wäre. Diese Fahrräder können wir nur noch ausschlachten.

Was meinen Sie mit ausschlachten und wie viele Fahrräder betrifft das ungefähr?

Mit ausschlachten meine ich einfach, dass wir die noch funktionstüchtigen Teile der kaputten Fahrräder abmontieren, um damit andere Velos wieder aufzubauen. Ungefähr 5-10% der Fahrräder, die bei der Velowerkstatt ankommen, können nur noch ausgeschlachtet werden.

Wie viele der wiederaufbaubaren Fahrräder werden von euch restauriert und verkauft?

Bis 2019 haben wir jährlich ca. 900 Velos der 3'000 Fahrräder wiederaufgebaut und in unserem Laden an der Badenerstrasse oder bei unseren Fahrradversteigerungen verkauft. Mittlerweile bauen wir nur noch um die 400 Fahrräder auf.

Warum nur noch so wenige?

Mit der Covid-19-Pandemie haben wir die Versteigerungen eingestellt, sie lohnen sich nicht mehr. Wir verkaufen unsere Fahrräder nur noch in der Badenerstrasse. Dort kommen alle bequem weg. Da wir auch zunehmend in die Reparaturen der Publibikes eingebunden sind, haben wir schlicht weniger Kapazitäten, um die besitzerlosen Fahrräder aufzubauen. Ausserdem wird die Qualität der Fahrräder seit Jahren immer schlechter. Die Billigproduktion ist ein Trend, der auch in der Fahrradproduktion angekommen ist. Ein zwanzig Jahre altes Allegro kann man problemlos wiederaufbauen, da das Material qualitativ gut ist. Die Billigvelos bleiben schneller liegen und können schlechter aufgebaut werden. Bei den Reparaturen brechen beispielsweise die Schrauben ab; die Restauration fordert dann einen so hohen Materialeinsatz, dass man schnell wieder auf dem Neupreis ist. Die Reparatur rechnet sich also nicht und die Velos haben am Ende eine schlechte Qualität.

Dazu kommt, dass wir nur Velos aufbauen, die vom Schweizer Klientel auch gekauft werden. An Kunden aus Zürich kann man gut Renn-, Trekking- und Retrovelos verkaufen. Alte Mountainbikes will niemand haben. Das Aussehen spielt also eine wichtige Rolle.

Was passiert mit den restlichen noch verwendbaren Velos?

Der Rest, also ca. 2'500 Velos, werden an Velafrica gespendet. Diese Organisation baut die Fahrräder dann wieder auf. In Afrika können Mountainbikes mit einer vernünftigen Federgabel besser gebraucht werden als in Zürich.

Welche Teile müssen bei der Restauration immer durch neue ersetzt werden?

Alle Verschleissteile, denn die Sicherheit geht vor. Also alles, was die Bremsen betrifft; Bremsklötze und so weiter. Pneu und Schläuche werden auch fast immer ersetzt. Ganz selten sind diese noch in so gutem Zustand, dass wir sie wiederverwenden können. Lenkergriffe oder Lenkerband werden auch ausgetauscht, da die meistens etwas schmuddelig und unhygienisch für den*die Nachbesitzer*in sind.

Und die restlichen Teile können gut durch gebrauchte ersetzt werden?

Ja. Sättel, Lenker, Bremshebel, Schutzbleche, Gepäckträger und so weiter können gut ersetzt werden. Solange man keine Spezialteile, wie beispielsweise eine spezielle Narbenschaltung, hat, funktioniert der Aufbau durch gebrauchte Teile gut. Ein grosses Lager mit vielen Ersatzteilen ist natürlich hilfreich.

Welche Anforderungen stellt ihr an die Fahrräder, die ihr verkauft?

Wir teilen unsere restaurierten Velos in drei Qualitätsstufen ein: Basic, Standard und Top. Es muss natürlich alles funktionieren. Bei einem Basic-Velo wird aber auch mal ein noch funktionstüchtiger Pneu von einem alten Velo verwendet, den man bei einem Velo aus der Top-Kategorie ersetzen würde. Mit Lackschäden gehen wir, je nach Qualitätsstufe, unterschiedlich um. Meistens werden die Rahmen nur versiegelt, um ihn vor Rost zu schützen. Nur bei den hochwertigen Rahmen der Velos aus der Top-Kategorie können wir den Rahmen auf Wunsch hin sandstrahlen und neu lackieren, meistens lohnt es sich aber nicht. Viele Kunden wollen aber auch gar kein perfektes Velo, sondern eher eines, bei dem man keine Angst vor Diebstahl haben muss, wenn man es am Bahnhof abstellt.

Wie viel Geld könnt ihr durchschnittlich für ein wiederaufgebautes Velo verlangen?

Der Preis kommt auf die vorhin genannten Qualitätsstufen und den investierten Materialeinsatz an. Basic liegt zwischen 200-350 CHF, für ein Standart-Velo können wir zwischen 400-700 CHF verlangen. Nur etwa 5-10% aller aufgerüsteten Velos sind in der Top Kategorie, welche 800 bis 1'200 CHF kosten.

Wie viel Zeit verbringt ihr mit dem Wiederaufbau pro Velo?

Auch das ist schwierig zu sagen, es kommt auf das Fahrrad an und auf den*die Mitarbeiter*in. Mit einem schlanken Rennfahrrad, bei dem noch vieles funktioniert, ist ein geschulter Miterbeiter vielleicht einen Tag beschäftigt. Sobald das Velo neue Räder, Licht oder Spezialteile benötigt, dauert es zwei bis vier Tage. Oft weiss man am Anfang auch noch gar nicht, was einen erwartet. Die „Problem-fahrräder“ sind leider häufiger als die, bei denen alles glatt läuft. Wenn immer neue Probleme auftauchen, müssen wir aufgeben.

Kann sich aus deiner Sicht die ressourcenarme Restauration von Velos, wie ihr sie macht, betriebswirtschaftlich lohnen?

Eine so detaillierte Restauration, wie wir es machen, auf keinen Fall. Wir revidieren zum Beispiel alle Lager, was sehr aufwendig ist. Wir bekommen als Sozialbetrieb Subventionen. Reparaturen in kleinem Rahmen ohne viele neue Teile und grossem Zeitaufwand mit anschliessendem Verkauf könnten sich als Nebeneinnahmequelle vielleicht rechnen.

4.3 Fazit

Die Restauration von Secondhandfahrrädern wäre in der Stadt Zürich zurzeit kein rentables Geschäftsmodell. Die fehlende Nachfrage ist das Hauptproblem. Wenn effektiv nur 400 der 2'800 restaurierbaren Fahrräder den Ansprüchen der Zürcher Kund*innen entsprechen, lohnt sich der Wiederaufbau wirtschaftlich nicht. Die Restaurationen beanspruchen zu viel Zeit und neue Fahrräder sind zu billig. Damit kann die Restauration von Secondhandfahrrädern zwar einen sehr geringen Beitrag zur CO₂-Reduktion leisten, jedoch sind staatliche Subventionen notwendig. Die Restauration und der Verkauf von besitzerlosen Velos stellt somit zurzeit kein marktwirtschaftliches Modell nach dem Prinzip der Green Economy dar.

Möglicherweise könnte sich die Restauration in Zukunft lohnen, wenn der Ressourcenaufwand einen umweltgerechten CO₂-Preis beinhalten würde oder wenn die Möglichkeit der CO₂-Kompensation in Betracht gezogen würde. Unter welchen Bedingungen die Restauration wirtschaftlich doch tragbar wäre, könnte man errechnen. Das würde jedoch den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Ein Betriebskonzept für ein wirtschaftlich rentables Geschäftsmodell zu entwickeln, könnte das Ziel einer weiteren Arbeit darstellen.

5 Danksagung

Mein besonderer Dank geht an Oliver Hungerbühler, Leiter der Velowerkstatt der Sozialen Einrichtungen und Betriebe. Danke für deine tatkräftige Unterstützung bei der Velobeschaffung und die Zeit, die du dir für das Interview und all meine restlichen Fragen genommen hast. Ohne dich hätte ich diese Arbeit nicht umsetzen können.

Ganz herzlich danke ich Roland Hischier, Leiter Advancing Life Cycle Assessment Group der EMPA, der sogar nachts um zwölf noch auf meine Fragen geantwortet hat. Bei Andrea Freiermuth von Pro Velo Kanton Zürich, Martin Platter von Velosuisse und Frank Hayer vom BAFU möchte ich mich für ihr Engagement, die hilfreichen Tipps und die Datengrundlagen zu den CO₂-Berechnungen bedanken.

Ein grosses Dankeschön möchte ich an alle Mitglieder der Velogarage in der Genossenschaft Neubühl, Zürich, aussprechen, die mir mit Rat immer zur Seite standen. Ohne die Ersatzteile, die Werkzeuge und die Werkstatt selbst wäre mein Projekt nicht realisierbar gewesen.

Zum Schluss möchte ich meiner Familie danken. Danke für eure bedingungslose Unterstützung, die hilfreichen Tipps, eure Geduld und unermüdliche Motivation.

6 Literatur - und Quellenverzeichnis

6.1 Gedruckte Quellen

Frischknecht, Rolf [et al.] (2016): *mobitool-Grundlagenbericht. Hintergrund, Methodik, Emissionsfaktoren*, S.24.

Hoffmann, Ulf (2014): *Fahrrad Reparaturen. Alle Reparaturen Schritt für Schritt erklärt*, Stiftung Warentest, Berlin.

Leuenberger, Marianne [et al.] (2010): *Life Cycle Assessment of Two Wheel Vehicles*. S. 10-11.

Ohliger, Martin (2021): *Nachhaltigkeit beim Velofahren*, in: Bikester, Riders wanted, Frühjahr/Sommer 2021, S. 34.

Platter, Martin (2020): *Wie umweltschonend ist das Velo?*, in: Neue Zürcher Zeitung, 17.01.2020, Nr. 13, 241 Jg., S. 59.

VeloPlus Velohandbuch, Jahreskatalog 2021/22, Verkaufs- und Ratgeberkatalog des Fahrgeschäfts VeloPlus, S. 247.

Wilson-Powell, Georgina (2021): *Was ist wirklich nachhaltig?. In über 140 Tipps zu mehr Klimafreundlichkeit im Alltag*, DK Verlag, München, S.103.

6.2 Internetquellen

www1: Am laufenden Band – Lenkerbandwickeln leicht gemacht, <https://www.bike-components.de/blog/2017/02/How-To-Lenkerband-wickeln/>, Letzter Aufruf: 18.09.2021.

www2: <https://www.recyclingmagazin.de/2019/02/22/metallrecycling-einsparung-von-co2-emissionen/>, Letzter Aufruf: 23.10.2021.

www3: https://static.schibsted.com/wp-content/uploads/2021/04/13192400/schibsted-adevinta_second-hand-effect_2020.pdf, Letzter Aufruf: 23.10.2021.

www4: https://www.duden.de/rechtschreibung/CO2_neutral, Letzter Aufruf: 22.10.2021.

www5: Eckert, Werner: *Klimaneutral, CO2-neutral – nicht egal*, 30.08.2021, <https://www.tages-schau.de/inland/btw21/klimaneutralitaet-107.html>, Letzter Aufruf: 31.10.2021.

www6: <https://www.unep.org/regions/asia-and-pacific/regional-initiatives/supporting-resource-efficiency/green-economy>, Letzter Aufruf: 23.10.2021.

www7: <https://www.unep.org/resources/report/uncovering-pathways-towards-inclusive-green-economy-summary-leaders>, Letzter Aufruf: 23.10.2021.

www8: <https://www.unep.org/explore-topics/green-economy/why-does-green-economy-matter>, Letzter Aufruf: 23.10.2021.

www9: Paqué, Karl-Heinz: *Wert des Wachstums: Kompass für eine Kontroverse*, 27.06.2012, <https://www.bpb.de/apuz/139186/wert-des-wachstums-kompass-fuer-eine-kontroverse?p=1>, Letzter Aufruf: 15.11.2021.

www10: Pufé, Iris: *Was ist Nachhaltigkeit? Dimensionen und Chancen*, 21.07.2014, <https://www.bpb.de/apuz/188663/was-ist-nachhaltigkeit-dimensionen-und-chancen?p=2>, Letzter Aufruf: 15.11.2021.

www11: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Carbon_dioxide_equivalent, Letzter Aufruf: 01.11.2021.

www12: <https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-association/>, Letzter Aufruf: 17.11.2021.

www13: <https://www.stadt-zuerich.ch/prd/de/index/statistik/themen/bevoelkerung.html>, Letzter Aufruf: 18.09.2021.

www14: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/bevoelkerung/stand-entwicklung.html>, Letzter Aufruf: 18.09.2021.

www15: <https://www.gusti-leather.com/sustainability>, Letzter Aufruf: 06.11.2021.

www16: https://www.stadt-zuerich.ch/gud/de/index/umwelt_energie/energie-in-zahlen/co2-statistik.html, Letzter Aufruf: 24.11.2021.

www17: <https://de.freepik.com/>, Letzter Aufruf: 21.10.2021.

6.3 Personenverzeichnis

Hayer, Frank: wissenschaftlicher Mitarbeiter des Eidg. Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abteilung Ökonomie und Innovation.

Hischier, Roland: Leiter Advancing Life Cycle Assessment Group der EMPA.

Hungerbühler, Oliver: Teamleiter Velowerkstatt der Sozialen Einrichtungen und Betriebe Stadt Zürich.

Müller, Philipp: Leiter Velo Hubertus 2021.

Platter, Martin: Geschäftsführer Velosuisse.

7 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung Titelbild: Fertiges Fahrrad nach der Restauration (eigenes Foto)

Abbildung 1: Fahrrad vor der Restauration: Makel und kaputte Teile des Fahrrads (eigenes Foto)	10
Abbildung 2: Lackschäden an hinterer Gabel (eigenes Foto).....	11
Abbildung 3: Notdürftig geflicktes Lenkerband (eigenes Foto)	12
Abbildung 4: Gelöstes Lenkerband (eigenes Foto).	12
Abbildung 5: Reparierter Lenker (eigenes Foto)	12
Abbildung 6: Beschädigte Stelle am Lenker (eigenes Foto)	12
Abbildung 7: Klingel aus Velogarage (eigenes Foto)	12
Abbildung 8: Klingel am Lenker befestigt (eigenes Foto)	12
Abbildung 9: Rostiger Schaltzug und Aussenhülle (eigenes Foto)	13
Abbildung 10: Reparierter Umwerfer (eigenes Foto).....	13
Abbildung 11: Vordere Bremse vor der Restauration (eigenes Foto)	14
Abbildung 12: Alte Bremsklötzte mit deutlichen Gebrauchsspuren (eigenes Foto)	14
Abbildung 13: Neue Bremsklötzte (eigenes Foto)	14
Abbildung 14: Vorderbremse nach der Restauration (eigens Foto)	14
Abbildung 15: Spröder Vorderreifen (eigenes Foto).....	15
Abbildung 16: Neuer Vorderreifen (eigenes Foto).....	15
Abbildung 17: Kabelbinderkonstruktion Vorderrad (eigenes Foto).....	16
Abbildung 18: Kaputter Nippel (links) und neuer Nippel (rechts) (eigenes Foto).....	16
Abbildung 19: Zerbrochene Speiche im Hinterrad (eigenes Foto).....	17
Abbildung 20: Hinterrad mit neuer Speiche und neuem Schlauch (eigenes Foto).....	17
Abbildung 21: Kabelbinderkonstruktion hinten (eigenes Foto)	17
Abbildung 22: Alter Sattel, leicht beschädigt (eigenes Foto)	17
Abbildung 23: Neuer Ledersattel (eigenes Foto)	17
Abbildung 24: Vorderes Schutzblech mit Delle (eigens Foto)	18
Abbildung 25: Vorderes Schutzblech ohne Delle (eigens Foto)	18
Abbildung 26: Alte rechte Pedale (eigenes Foto).....	19
Abbildung 27: Neue rechte Pedale (eigenes Foto).....	19
Abbildung 28: Kaputes Kabel (eigenes Foto)	19
Abbildung 29: Mit Isolierband geflicktes Kabel (eigenes Foto)	19
Abbildung 30: Neues Kabel für Rücklicht, sicher verlegt (eigenes Foto).....	19
Abbildung 31: Fahrrad nach der Restauration (eigenes Foto)	20
Abbildung 32: Vergleich CO ₂ -Emissionen eines neuen Velos (Hischier, 2021, pers. Mit.) und des restaurierten Velos (Tabelle 3).....	23

Tabelle 1: Neue Fahrradteile: Materialien, Durchschnittsgewicht (Leuenberger et al., 2010, S.11), kg CO ₂ -Äquivalenz pro Material (Hischier, 2021, pers. Mit.) und kg CO ₂ -Äquivalent der neuen Fahrradteile	7
Tabelle 2: Zeitaufwand pro Fahrradteil bei der Restauration.....	21
Tabelle 3: kg CO ₂ -Äquivalent der neuen Bestandteile, die bei der Restauration verwendet wurden..	22
Tabelle 4: Bestandteile eines durchschnittlichen Fahrrads, Materialien, Durchschnittsgewicht (Leuenberger et al., 2010, S.11), kg CO ₂ -Äquivalenz pro Material (Hischier, 2021, pers. Mit.) und kg CO ₂ -Eq pro Bestandteil.....	35



Symbol für CO₂-Emissionen (www17)



Symbol für Zeitaufwand (www17)

8 Anhang

8.1 Bestandteile des Fahrrads und ihre kg CO₂-Eq

Tabelle 4: Bestandteile eines durchschnittlichen Fahrrads, Materialien, Durchschnittsgewicht (Leuenberger et al., 2010, S.11), kg CO₂-Equivalenz pro Material (Hischier, 2021, pers. Mit.) und kg CO₂-Eq pro Bestandteil

Bestandteile des Fahrrads	Materialien	Durch-schnitts-ge-wicht (kg)	kg Eq/kg Ma-terial	kg CO ₂ -Eq	kg CO ₂ -Eq pro Bestandteil
Rahmen	Aluminiumlegierung	2.50	13.84	34.60	34.60
Lenker	Aluminiumlegierung	0.23	13.84	3.18	3.18
Vorbau	Aluminiumlegierung	0.23	13.84	3.18	3.18
Sattelstütze	Aluminiumlegierung	0.60	13.84	8.30	8.30
Lager	Edelstahl	0.60	4.16	2.50	2.50
Laufräder	Aluminiumlegierung	0.30	13.84	4.15	4.29
	Stahllegierung	0.10	1.34	0.14	
Reifen	Draht	0.19	7.2	1.37	2.70
	Gummi	0.56	2.38	1.33	
Pedale	Aluminiumlegierung	0.30	13.84	4.15	4.15
Sattel	ABS*	0.03	4.65	0.14	0.62
	Stahllegierung	0.24	1.34	0.32	
	PU, Weichschaum	0.03	5.31	0.16	
Kette	Edelstahl	0.15	4.16	0.62	0.62
Crankset	Aluminiumlegierung	0.84	13.84	11.63	12.63
	Edelstahl	0.24	4.16	1.00	
V-Brakes	ABS*	0.14	4.65	0.65	4.91
	Aluminiumlegierung	0.28	13.84	3.88	
	Stahllegierung	0.28	1.34	0.38	
Brakehandel	Aluminiumlegierung	0.11	13.84	1.52	2.03
	ABS*	0.11	4.65	0.51	
Kassetten-Kettenräder	Stahllegierung	0.53	1.34	0.71	0.71
Kettenschaltung	Aluminiumlegierung	0.15	13.84	2.10	2.10
Kettenschaltung	Edelstahl	0.60	4.16	2.50	2.50
Schalthebel	ABS*	0.68	4.65	3.16	3.16
Kabel	Draht	0.15	7.2	1.08	1.08
Anderes	ABS*	1.00	4.65	4.65	4.65
Anderes	Aluminiumlegierung	2.00	13.84	27.68	27.68
Anderes	Elektronische Ausstattung	0.50	keine Angabe		
Anderes	Stahllegierung	3.00	1.34	4.02	4.02
total					129.6

*Für diese Kunststoffteile wurden immer die Angaben (kg CO₂-Eq) des Materials Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymere (ABS) verwendet.

8.2 Authentizitätserklärung

„Hiermit erkläre ich, Charlotte Kahmen, dass ich die vorliegende Arbeit mit dem Titel „Restaurierung besitzerloser Zürcher Velos – Ein Beitrag zur Green Economy?“ selbstständig und ohne Benutzung anderer als angegebenen Quellen und Hilfsmittel, bzw. ohne Kommunikation mit anderen als namlich erwähnten Fachpersonen verfasst und gestaltet habe.“

Ort, Datum:

Unterschrift: