

Herausgeber Prof. Dr. Barbara Dörsam

Schriftreihe Bachelor-Resümee

Forschungsbereich **Green Web Design**

# CO<sub>2</sub>-Fußabdruck von Websites

Wie kann der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck einer Website berechnet und (halb-) automatisch überprüft werden?

Malina Seutemann

**Studieren. Wissen. Machen.**

## **Impressum**

### **Hochschule der Medien**

Nobelstrasse 10

70569 Stuttgart

[www.hdm-stuttgart.de](http://www.hdm-stuttgart.de)

0711 8923-0

### **Autor**

Malina Seutemann

### **Betreuer**

Prof. Dr. Barbara Dörsam

### **Datum**

Juli 2022

### **Wirtschaftsingenieurwesen Medien**

[www.hdm-stuttgart.de/wing](http://www.hdm-stuttgart.de/wing)

### **Layout**

Jochen Riegg

### **Fotos und Illustrationen**

Innenteil: Malina Seutemann

Bachelor-Resümee

# CO2-Fußabdruck von Websites

Wie kann der CO2-Fußabdruck einer Website berechnet  
und (halb-) automatisch überprüft werden?

**Malina Seutemann**

Juli 2022

## Über die Autorin

Malina Seutemann studierte Wirtschaftsingenieurwesen Medien (WING) mit dem Schwerpunkt Digital Publishing Technologies an der Hochschule der Medien (HdM) in Stuttgart. Im Rahmen ihrer Bachelorarbeit untersuchte sie, mit welchen Methoden und Werkzeugen der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck einer Website berechnet und (halb-) automatisch überprüft werden kann.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einführung</b> .....	<b>5</b>
<b>2. Hintergrund</b> .....	<b>5</b>
<b>3. Vorgehensweise und Methodik</b> .....	<b>5</b>
Theorie .....	6
Praxis.....	6
<b>4. Ergebnisse</b> .....	<b>7</b>
Wie definiert man eine nachhaltige Webseite? .....	7
Nachhaltigkeitsaspekte und Maßnahmen.....	7
CO <sub>2</sub> -Fußabdruck einer Webseite .....	7
Wichtige CO <sub>2</sub> -Indikatoren .....	8
Algorithmus.....	8
Tools.....	9
Überprüfungskonzept WING-Website.....	9
<i>Komponenten</i> .....	9
<i>Wann ist eine Überprüfung notwendig?</i> .....	11
Prototyp .....	11
<b>5. Zusammenfassung und Fazit</b> .....	<b>12</b>
<b>6. Referenzen</b> .....	<b>13</b>

# 1. Einführung

Wenn das Internet ein Land wäre, würde es sich auf Platz sieben der Länder mit den meisten CO<sub>2</sub>-Emissionen befinden [1]. Es verbraucht durch Nutzerinteraktionen, Datenübertragung, Rechenzentren und Hardwareproduktion eine erhebliche Menge Strom. Da ein Großteil dieses Stroms nicht aus 100 % erneuerbaren Energiequellen stammt, ist das Internet eine bedeutende Quelle für globale CO<sub>2</sub>-Emissionen [2], wobei die Tendenz steigend ist [3].

Mit der Bewegung unter dem Begriff „Green IT“ soll dem entgegengewirkt werden. Darunter werden alle Aktivitäten verstanden, durch welche die Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) über den gesamten Lebenszyklus hinweg umwelt- und ressourcenschonend gestaltet wird [4].

# 2. Hintergrund

Ein wichtiger Bestandteil des Green IT ist das „Green Web Design“. Während die meisten Technologien immer energieeffizienter werden - darunter auch Bestandteile der dem Web zugrunde liegenden Infrastruktur wie Rechenzentren und Übertragungsnetzwerke – werden Webseiten selbst mit der Zeit immer ineffizienter und umweltschädlicher. Mithilfe des Green Web Design sollen Webseiten so gestaltet werden, dass CO<sub>2</sub>-Emissionen und Energieverbrauch auf ein Minimum reduziert werden [5, p.11].

Im Rahmen des Green Web Design spielt die Messung und Überprüfung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks einer Webseite eine bedeutsame Rolle. Nur so ist es möglich, kritische Stellen zu identifizieren und entsprechende Maßnahmen zu ergreifen, um die Emissionen weiter zu reduzieren. Im Gegensatz zu den meisten großen Industrien, in denen Schlüsselkennzahlen zur Beurteilung der Umweltleistung und standardisierte Werkzeuge und Methoden zur Berechnung dieser Kennzahlen existieren, ist dies in der IKT-Branche jedoch noch nicht der Fall [5, p.26].

# 3. Vorgehensweise und Methodik

Im Rahmen dieser Bachelorthesis wurde untersucht, aus welchen Komponenten sich der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck einer Website zusammensetzt und mit welchen Methoden und Werkzeugen er berechnet werden kann. Da in naher Zukunft auf allen Seiten der Website des Studiengangs Wirtschaftsingenieurwesen (WING) der HdM ein Carbon Badge implementiert werden soll, das die CO<sub>2</sub>-Bilanz für alle Besucher visualisiert, wurde zudem ein CO<sub>2</sub>-Überprüfungskonzept entwickelt, welches anschließend prototypisch umgesetzt wurde. Das Konzept zeigt Möglichkeiten zur Überprüfung der wichtigsten CO<sub>2</sub>-Indikatoren auf, um entsprechende Maßnahmen ergreifen zu können, sollte sich die Anzeige des Badge verschlechtern.

Das Badge setzt die berechneten Emissionen auch ins Verhältnis zu anderen getesteten Webseiten (Abbildung 1). Dabei wird das Ergebnis positiv klassifiziert, wenn der CO<sub>2</sub>-Wert niedriger als bei 50 % der bereits getesteten Seiten ausfällt. Mit dem Überprüfungskonzept soll daher auch sichergestellt werden, dass der CO<sub>2</sub>-Wert jederzeit positiv klassifiziert wird.



Abbildung 1 Website Carbon Badge

## Theorie

Für den theoretischen Teil der Arbeit wurden zu Beginn die Prinzipien und Strategien des Green Web Design sowie die wichtigsten Nachhaltigkeitsaspekte und Maßnahmen zur Emissionsreduzierung herausgearbeitet.

Anschließend folgten die Untersuchung der Zusammensetzung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks einer Webseite sowie die Identifikation der wichtigsten messbaren CO<sub>2</sub>-Indikatoren. Die gewonnenen Erkenntnisse ermöglichten die Ableitung eines Algorithmus, mit dessen Hilfe die Emissionen einer Webseite geschätzt werden können.

Im Rahmen einer Tool-Analyse wurde dann erforscht, inwiefern sich bestehende Berechnungstools für die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen einer Webseite eignen. Gegenstand der Untersuchung waren sowohl reine CO<sub>2</sub>-Rechner als auch Web-Performance-Tools, da Überschneidungen zwischen den Indikatoren der Web-Performance und denen der CO<sub>2</sub>-Emissionen existieren. Des Weiteren wurden Tools betrachtet, die beide Aspekte vereinen.

## Praxis

Für das Überprüfungskonzept wurde zunächst die WING-Website genauer analysiert. Anschließend folgte die Herausarbeitung der wichtigsten Überprüfungsparameter, die folgende Kriterien erfüllen mussten:

1. Hat einen Einfluss auf den im Badge sichtbaren CO<sub>2</sub>-Wert.
2. Ist leicht identifizierbar.
3. Spielt während der Nutzungsphase der Webseite eine wichtige Rolle.
4. Kann durch einfache Maßnahmen an der Webseite selbst verbessert werden.

Für die resultierenden Parameter konnten anschließend passende Tools zur Überprüfung, Grenzwerte zur Einordnung ihres Ergebnisses und Maßnahmen zur Verbesserung identifiziert werden.

Auch eine Überprüfung kostet Energie und kann CO<sub>2</sub>-Emissionen verursachen. Um zu analysieren, wann genau eine Überprüfung stattfinden sollte, wurden daher auch die kritischen Zeitpunkte herausgearbeitet, zu denen sich die Badge-Anzeige verschlechtern könnte. Zur Berücksichtigung kamen hierbei sowohl die CO<sub>2</sub>-Angabe an sich als auch ihre Klassifizierung.

Zum Schluss der Arbeit konnte das Überprüfungskonzept mithilfe von zwei Programmierschnittstellen prototypisch umgesetzt werden.

## 4. Ergebnisse

### Wie definiert man eine nachhaltige Webseite?

Webseiten können als nachhaltig bezeichnet werden, wenn sie den sechs Prinzipien des Sustainable Web Manifestos entsprechen - Sauber, Effizient, Offen, Ehrlich, Regenerativ und Resilient [1]. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen bestimmen in diesem Zusammenhang jedoch lediglich, wie sauber und wie effizient eine Webseite ist. Je nachdem, wie viel Energie die Webseite verbraucht und wie sauber diese Energie ist, desto höher oder niedriger ist der CO<sub>2</sub>-Ausstoß. Beim Prinzip „Effizient“ spielt vor allem die Ressourcenminimierung eine wichtige Rolle. Denn je mehr Daten bei der Nutzung einer Webseite übertragen werden, desto höher ist der Energieverbrauch. Dieser entsteht bei Webseiten in den Kernbereichen Rechenzentren, Nutzergeräte, Telekommunikationsnetze und Hardwareproduktion [6].

### Nachhaltigkeitsaspekte und Maßnahmen

Diejenigen Nachhaltigkeitsaspekte und Maßnahmen, welche Einfluss auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen haben und somit die Prinzipien „Sauber“ und „Effizient“ adressieren, können in drei Kategorien gegliedert werden: Design, Entwicklung und Hosting. Davon beziehen sich die Kategorien Design und Entwicklung lediglich auf das Prinzip „Effizient“. Die Aspekte der beiden Kategorien wie bspw. Bilder und Videos (Design) oder die Verwendung von JavaScript (Entwicklung) können die übertragene Datenmenge, die Serveranfragen sowie die CPU-Auslastung der Nutzergeräte erhöhen und damit auch den Energieverbrauch. Entsprechende Maßnahmen haben somit die Energieeffizienz und Ressourcenminimierung zum Ziel.

In der Hosting-Kategorie spielt das Prinzip „Sauber“ die wichtigste Rolle. Wird die Webseite bei einem grünen Hoster gehostet, der erneuerbare Energien verwendet, so können die Emissionen deutlich reduziert werden [5, p.90]. Als Orientierungshilfe dient hier die Datenbank der Green Web Foundation (GWF), die alle grünen Hoster listet [6].

Auch die Web-Performance kann Einfluss auf die Umweltauswirkungen einer Webseite haben. Die Performance spiegelt wider, wie schnell ein Browser eine Webseite zusammenstellen kann. Effiziente Seiten werden schneller geladen und je effizienter die Webseite läuft, desto weniger Energie und Rechenleistung wird verbraucht, was wiederum zu geringeren CO<sub>2</sub>-Emissionen führt [5, p.29]. So gesehen gibt es einige Maßnahmen zur Verbesserung der Web-Performance mit positiven Auswirkungen auf die Web-Nachhaltigkeit wie bspw. die Bildoptimierung und -komprimierung.

### CO<sub>2</sub>-Fußabdruck einer Webseite

Bezüglich der Zusammensetzung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks wäre der umfangreichste Ansatz die Betrachtung des digitalen Lebenszyklus einer Webseite. Dieser umfasst alle digitalen Daten und physischen Geräte, die für die Erstellung der Webseite benötigt werden sowie diverse Aktionen, die alle Strom erfordern [7, p.41]. Dabei bezieht er sowohl direkte Emissionen interner Prozesse als auch indirekte Emissionen, die auch extern entstehen können, mit ein. Es ist so gut wie nicht möglich, alle Emissionen zu berücksichtigen, da Webseiten aus vielen Komponenten in mehreren, oft

geschlossenen Systemen bestehen, von denen jedes seinen eigenen Energie- und Ressourcenbedarf hat. So bspw. die Nutzergeräte, die mit der Webseite interagieren [8]. Es macht mehr Sinn, Schlüsselbereiche zu definieren und dafür die Emissionen so genau wie möglich zu berechnen. Dafür ist es erforderlich, Systemgrenzen festzulegen, die beschreiben, welche Teile des Gesamtsystems berücksichtigt werden.

## Wichtige CO<sub>2</sub>-Indikatoren

Unabhängig von den festgelegten Systemgrenzen sind die zwei wichtigsten CO<sub>2</sub>-Indikatoren von Webseiten der Datentransfer und die CO<sub>2</sub>-Intensität von Strom. Der Datentransfer ist eine effektive Annäherungsgröße für den Energieverbrauch von Datenzentren, Telekommunikationsnetzen und Nutzergeräten. Dieser ist dabei in etwa proportional zum Datentransfer. Am einfachsten messen lässt sich der Datentransfer über die Summe aller übertragenen Daten beim Laden der Webseite. Als Einheit werden typischerweise die "Kilowattstunden pro Gigabyte" (kWh/GB) für die Energieeffizienz verwendet. Bei wiederkehrenden Besuchern fällt die übertragene Datenmenge aufgrund von Caching geringer aus. Dies sollte bei einer Berechnung berücksichtigt werden.

Die CO<sub>2</sub>-Intensität von Strom gibt an, wie viel CO<sub>2</sub> bei der Verbrennung eines Energieträgers pro erzeugter Energiemenge entsteht. Als Einheit werden die „Gramm CO<sub>2</sub> pro Kilowattstunde“ (gCO<sub>2</sub>/kWh) verwendet. Bei erneuerbaren Energiequellen fällt die CO<sub>2</sub>-Intensität niedriger aus als bei fossilen Brennstoffen [5, p.27-30].

## Algorithmus

Mit der in Abbildung 2 dargestellten Sustainable Web Design (SWD)-Methode können die Emissionen durch Kombination der zwei vorgestellten CO<sub>2</sub>-Indikatoren geschätzt werden. Dabei erfolgt zunächst die Messung der übertragenen Datenmenge beim Laden der Webseite, wobei auch wiederkehrende Besucher berücksichtigt werden. Der resultierende Wert wird anschließend mit einem Energiefaktor und dann mit einem Kohlenstofffaktor multipliziert.

$$\text{CO}_2\text{-Emissionen} = \text{übertragene Datenmenge} * \text{Energiefaktor} * \text{Kohlenstofffaktor}$$

Abbildung 2 Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen nach der SWD-Methode

Durch die Verwendung entsprechender Daten lässt sich ein Algorithmus zur Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen einer Webseite ableiten. Die in Abbildung 3 dargestellten Zahlen stammen dabei aus den aktuellsten zur Verfügung stehenden Studien [8].



Datenmenge:	Energiefaktor:	Kohlenstofffaktor:	Systemsegmente:
Neue Besucher: 75 %	Jährliche Internet-Energie (1988 TWh)	442 gCO <sub>2</sub> /kWh (Standardwert)	Datenzentren: 15 %
Wiederkehrende Besucher: 25 %, die 2 % der Daten laden	Jährliche Datenverkehr (2444 EB) = 0,81 kWh/GB	50 gCO <sub>2</sub> /kWh (erneuerbare Energien)	Netznutzung: 14 %
			Nutzergeräte: 52 %
			Hardwareproduktion: 19 %

Abbildung 3 Daten für die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen

Der Energiefaktor stellt das Verhältnis der gesamten jährlichen Internet-Energie zum gesamten jährlichen Datenverkehr dar. Für die Kohlenstoffintensität werden Durchschnittswerte verwendet, je nachdem, ob erneuerbare Energien zum Einsatz kommen. Die Systemgrenzen sind so festgelegt, dass sie den Energieverbrauch der Datenzentren, Telekommunikationsnetze, Nutzergeräte und Hardwareproduktion berücksichtigen. Ihnen werden jeweils bestimmte Prozentsätze zugerechnet. Die SWD-Methode mit den entsprechenden Werten wird im npm-Modul „co2.js“ von der Green Web Foundation bereitgestellt [9].

## Tools

Bezüglich der analysierten CO<sub>2</sub>-Rechner nutzen alle Tools bis auf Digital Beacon - der Website Carbon Calculator, EcoPing und Ecograder – das CO<sub>2</sub>.js-Modul für die Berechnung der Emissionen, weshalb diese alle ähnliche Ergebnisse liefern sollten. EcoPing ist dabei jedoch das Tool, das die Emissionen am genauesten schätzen kann, da es für die CO<sub>2</sub>-Intensität individuelle Live-Daten statt Durchschnittswerte verwendet.

Die untersuchten Performance-Tools Google Lighthouse, PageSpeed Insights, GTmetrix und Pingdom Website Speed Test bieten eine gute Ergänzung, indem sie einige wichtige Performance-Metriken analysieren, die Einfluss auf Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen haben können und zudem detaillierte Optimierungsvorschläge liefern. Die Tools Ecograder, Ecoping und Digital Beacon, welche sowohl die Emissionen als auch Performance Metriken messen, sind daher nützlich, um detailliertere Analysen und Optimierungsprozesse durchzuführen, die zu einer Reduzierung von Emissionen führen können.

## Überprüfungskonzept WING-Website

Bei den Seiten der WING-Website handelt es sich um statische HTML-Seiten. Auf der Startseite und den Seiten der Kategorie „Studieninteressierte“ werden die Inhalte jedoch dynamisch aus einer JSON-Datei gezogen, da sich die Informationen dort häufiger ändern. Die entsprechenden Seiten werden somit erst während der Laufzeit mit JavaScript zusammengebaut. Aufgrund der vorhandenen Dynamik stehen diese Seiten im Fokus des Überprüfungskonzepts.

### Komponenten

Als Haupt-Überprüfungsparameter wurden die zu übertragene Datenmenge, die Serveranfragen und die CPU-Auslastung der Nutzergeräte identifiziert. Für eine regelmäßige Überprüfung gelten sie als

wichtigste messbare CO<sub>2</sub>-Indikatoren, indem sie Aufschluss über den Energieverbrauch der WING-Webseiten während ihrer Nutzungsphase geben. Als unterstützende Bereiche wurden die Core Web Vitals, die verwendeten Ressourcen, der Grad der Optimierung von Medien, die Code-Effizienz, Responsive Design und Suchmaschinenoptimierung (SEO) identifiziert. Es konnte veranschaulicht werden, dass diese Aspekte jeweils Einfluss auf alle drei Hauptparameter haben und eine Überprüfung somit hilft, geeignete Maßnahmen zu identifizieren, die den CO<sub>2</sub>-Wert verbessern können.

In Tabelle 1 sind die weiteren Komponenten des Überprüfungskonzepts dargestellt.

Tabelle 1 Komponenten des Überprüfungskonzepts

Kategorie	Parameter/Aspekt	Wertgrenze	Überprüfungstool
<b>Hauptparameter</b>	Übertragene Datenmenge	>500 KB	Website Carbon API; PageSpeed API
	Serveranfragen	Desktop: >74; Mobil: >69	PageSpeed API
	CPU-Auslastung	≤ 4s Haupt-Thread-Beschäftigung	Lighthouse Performance- Audit; PageSpeed API
<b>Unterstützende Aspekte</b>	Largest Contentful Paint (LCP)	≤ 2.5 sec	Lighthouse Performance-Audit; PageSpeed API
	Cumulative Layout Shift (CLS)	≤ 0.1	Lighthouse Performance-Audit; PageSpeed API
	First Input Delay (FID)	≤ 100 ms	PageSpeed API
	Verwendete Ressourcen	-	PageSpeed API
	Grad der Optimierung von Medien	-	Lighthouse Performance-/ Best Practices-Audit; PageSpeed API
	Code-Effizienz	-	Lighthouse Performance-Audit; PageSpeed API
	Responsive Design	-	Lighthouse SEO-Audit; PageSpeed API
	SEO	Lighthouse SEO-Score ≤90	Lighthouse SEO-Audit; PageSpeed API

Es war nur möglich, Wertgrenzen für die Hauptparameter, die Core Web Vitals und SEO festzulegen, welche sich u. a. an den Vorgaben von Google und Apple orientieren. Diese Wertgrenzen können sich im Laufe der Zeit verändern - durch Updates oder technologische Entwicklungen - und dienen lediglich zur Orientierung. Bezüglich der Tools kann sowohl zur Überprüfung der Hauptparameter als auch zur Überprüfung der unterstützenden Aspekte die Programmierschnittstelle (API) des Tools PageSpeed Insights verwendet werden.

Als letzte Komponente des Konzepts wurden für alle Überprüfungsparameter geeignete Maßnahmen zur Verbesserung identifiziert.

## Wann ist eine Überprüfung notwendig?

Damit das Badge die Emissionen als positiv klassifiziert, muss sichergestellt werden, dass der CO<sub>2</sub>-Wert besser als bei 50 % aller bereits getesteten Webseiten ausfällt. Dabei kann sich am Median orientiert werden, der aktuell bei 0.5g CO<sub>2</sub> liegt [10]. Viele gut bewertete Seiten können den Median nach oben ziehen, was eine Verschlechterung der Prozentangabe zur Folge hat. Bewegt sich diese auf 50 % zu, so ist eine Überprüfung der identifizierten Parameter dringend notwendig. Dadurch können kritische Stellen identifiziert und entsprechenden Maßnahmen umgesetzt werden, die zur Verbesserung des CO<sub>2</sub>-Werts und damit auch der Prozentanzeige beitragen.

Um unabhängig von der Klassifizierung des Ergebnisses einer Verschlechterung des CO<sub>2</sub>-wertes entgegenzuwirken, sollte eine Überprüfung zu den Zeitpunkten stattfinden, an denen Dynamik auftritt. Intern kann dies bspw. durch das Hinzufügen neuer Inhalte erfolgen, was wiederum die übertragene Datenmenge vergrößern könnte. Dies spielt vor allem bei den dynamisch generierten Seiten der WING-Website eine wichtige Rolle und zwar dann, wenn die JSON-Dateien aktualisiert werden. Extern kann Dynamik u. a. auftreten, wenn sich der zugrunde liegende Algorithmus des Badge verändert oder Daten aus neueren Studien als Berechnungslage verwendet werden würden.

## Prototyp

Der Prototyp ist eine Kombination aus zwei Programmierschnittstellen – der Website Carbon API und der PageSpeed API. In zwei separaten JavaScript-Dateien werden jeweils die API-Anfragen gestellt und die benötigten Informationen aus dem Antwort-Objekt extrahiert (Abbildung 4). Bei der Website Carbon API die CO<sub>2</sub>-Angabe und der „Cleaner Than-Wert“ und bei der PageSpeed API sämtliche Informationen zu den identifizierten Hauptparametern und unterstützenden Aspekten.

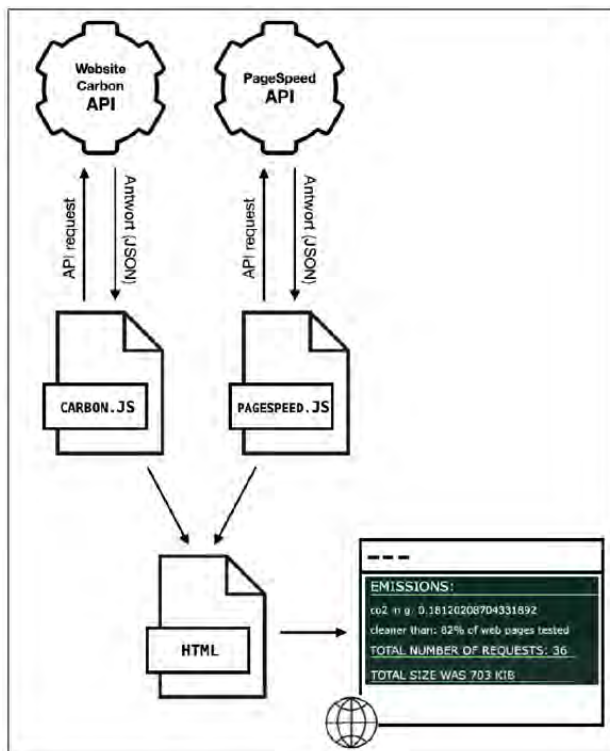


Abbildung 4 Skizze zum Aufbau des Prototyps

## 5. Zusammenfassung und Fazit

Bei der Betrachtung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks einer Webseite zählen zu den wichtigsten Aspekten der Datentransfer, der Energieverbrauch in den Segmenten Telekommunikationsnetze, Datenzentren, Nutzergeräte und Hardwareproduktion, die CO<sub>2</sub>-Intensität des genutzten Stroms sowie die Verwendung erneuerbarer Energien. Kombinieren lassen sich die Aspekte mithilfe der SWD-Methode. Durch die Verwendung von entsprechenden Daten lässt sich aus dieser Methode ein Algorithmus ableiten, mit dem die CO<sub>2</sub>-Emissionen einer Webseite geschätzt werden können.

Mithilfe des erstellten Prototyps – bestehend aus der Website Carbon API und der PageSpeed API - kann der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck einer Webseite (halb-) automatisch überprüft werden. Dabei werden nicht nur die Emissionen gemessen, sondern auch kritische Stellen und Maßnahmen zur Verbesserung identifiziert.

Da es sich bei den CO<sub>2</sub>-Emissionen der WING-Webseiten um wenig dynamische Werte handelt, wäre eine Überwachung während ihrer Nutzungsphase mit der Intention, Schwankungen ins Negative zu vermeiden, nicht notwendig und eher ineffizient. Um den Prototyp effizient zu nutzen, sollte er vor allem verwendet werden, um den aktuellen Stand der Hauptparameter zu identifizieren, höhere Schwellenwerte zu setzen und diese durch die Umsetzung der identifizierten Optimierungsmaßnahmen zu erreichen. Auf diese Weise kann der CO<sub>2</sub>-Wert weiter verbessert und damit auch die Wahrscheinlichkeit erhöht werden, dass das Badge diesen als positives Ergebnis klassifiziert.

## 6. Referenzen

- [1] Wholegrain Digital, „Sustainable Web Manifesto,“ 2022. [Online]. Available: <https://www.sustainablewebmanifesto.com>. [Zugriff am 19 Juli 2022].
- [2] Mightybytes, 18 Juli 2022. [Online]. Available: <https://www.mightybytes.com/blog/reduce-website-carbon-emissions/>. [Zugriff am 27 April 2022].
- [3] Mozilla, „Internet Health eport,“ April 2018. [Online]. Available: <https://internethealthreport.org/2018/das-internet-verbraucht-mehr-strom-als/?lang=de>. [Zugriff am 19 Juli 2022].
- [4] BMUV, „BMUV,“ 30 Juni 2020. [Online]. Available: <https://www.bmuv.de/themen/nachhaltigkeit-digitalisierung/konsum-und-produkte/produktbereiche/green-it>. [Zugriff am 19 Juli 2022].
- [5] T. Greenwood, Nachhaltiges Webdesign, Nürnberg: Conopolist Verlag, 2021.
- [6] T. Greenwood, „Wholegrain Digital,“ 23 Oktober 2019. [Online]. Available: <https://www.wholegraindigital.com/blog/website-energy-efficiency/>. [Zugriff am 19 Juli 2022].
- [7] T. Frick, Designing for Sustainability: A Guide to Building Greener Digital Products and Services, O'Reilly UK Ltd, 2016.
- [8] Wholegrain Digital, Mightybytes, „Sustainable Web Design,“ 2022. [Online]. Available: <https://sustainablewebdesign.org/calculating-digital-emissions/>. [Zugriff am 19 Juli 2022].
- [9] T. G. W. Foundation, „GitHub,“ 28 April 2022. [Online]. Available: <https://github.com/thegreenwebfoundation/co2.js>. [Zugriff am 19 Juli 2022].
- [10] Wholegrain Digital, „Website Carbon,“ 2022. [Online]. Available: <https://www.websitecarbon.com/faq/>. [Zugriff am 19 Juli 2022].