

Bericht / März 2021

CO₂-Bilanz der Freien Waldorfschule Freiburg St. Georgen



SCHOOLS 4 FUTURE

Pilot-Schule: Freie Waldorfschule Freiburg St. Georgen

Bericht im Rahmen des Projekts

„Schools4Future -

Umsetzen der Gemeinschaftsaufgabe

klimaneutrale Schulen“

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Autor*innen:**Büro Ö-Quadrat:**

Sebastian Albert-Seifried
Dieter Seifried

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH:

Oliver Wagner
Lena Tholen
Lotte Nawothnig

Unterstützung bei der inhaltlichen Erarbeitung an der Freien Waldorfschule Freiburg St. Georgen:

Ina Rüdenauer, Sebastian Krapf, Nils Kern (Leiter des Klimarat), Barbara Horwedel (Leiterin Schulküche) und allen beteiligten Schüler*innen der Klasse 11a.

Bitte den Bericht folgendermaßen zitieren:

Büro Ö-Quadrat, Wuppertal Institut (2021): CO₂-Bilanz der Freien Waldorfschule Freiburg St. Georgen

Geschäftsführer der Freien Waldorfschule Freiburg St. Georgen

Manfred de Witt
Freie Waldorfschule Freiburg St. Georgen
Bergiselstraße 11
79111 Freiburg im Breisgau
www.waldorfschule-st-georgen.de

Impressum**Ansprechperson:**

Sebastian Albert-Seifried
sas@oe2.de
Tel. +49 761 7077 3279
Fax +49 761 707 9903

Projektinformationen im Internet:

<https://schools4future.de/>

Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeines	5
1.1	Zielsetzung	5
1.2	Hintergrund	5
1.3	Vorgehensweise	7
1.4	Hintergrund zur Schule.....	8
1.5	Datengrundlage	8
1.6	Emissionsfaktoren	9
1.7	Bewertung von Ökostrom	10
1.8	Kompensationsmaßnahmen	11
2	Gebäudeenergie & Erneuerbare Energien	12
2.1	Heizenergie.....	12
2.2	Stromverbrauch.....	13
2.3	Stromerzeugung durch Solaranlage	16
2.4	Zusammenfassung Emissionen Gebäudeenergie.....	17
3	Verkehr & Mobilität.....	19
3.1	Vorgehen und Erstellen der Mobilitätsumfrage.....	19
3.2	Emissionen für Schulweg Schüler*innen.....	19
3.2.1	Verkehrsmittelwahl und zurückgelegte Personenkilometer.....	19
3.2.2	Berechnung der Emissionen.....	20
3.3	Emissionen für Klassenfahrten und Schüleraustausch.....	21
3.4	Emissionen für Schulweg Lehrer*innen	23
3.5	Zusammenfassung Emissionen Verkehr.....	24
4	Ernährung & Beschaffung.....	25
4.1	Emissionen Schulkantine	25
4.1.1	Situation der Essensversorgung an der Schule.....	25
4.1.2	Welche Emissionen sind mit der Herstellung der Speisen verbunden?.....	26
4.2	Emissionen Beschaffung.....	27
4.2.1	Papierverbrauch der Schule	28
4.2.2	Abschätzung der Emission.....	28
5	Zusammenfassung.....	29
5.1	Gesamtemissionen Waldorfschule.....	29
5.2	Emissionen pro Schüler*in	30
5.3	Einordnung der Schulemissionen zu Gesamtemissionen Gesellschaft	30

5.4	Wie kann Klimaneutralität gelingen?	30
6	Anhang.....	32
6.1	Fragebogen Verkehr	32
7	Literatur	35

1 Allgemeines

1.1 Zielsetzung

Mit diesem Bericht wird eine erste CO₂-Bilanz für die freie Waldorfschule Freiburg St. Georgen vorgelegt. Die Zusammenstellung der CO₂-Emissionen wurde in Kooperation mit den Schüler*innen der Klasse 11a erstellt. Hintergrund ist die Umsetzung des Klimaschutzprojekts „Schools4Future“, das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) gefördert wird und gemeinsam vom Wuppertal Institut und dem Freiburger Büro Ö-quadrat durchgeführt wird.

Die Grundlage für diese CO₂-Bilanz wurde im Rahmen des Unterrichts mit der Klasse 11a im Januar 2021 erarbeitet. Folgende Schüler*innen der Klasse 11a waren an der Erarbeitung der CO₂-Bilanz beteiligt (alphabetisch sortiert nach Vornamen):

Amelie van Breda Lavor, Daniel Geray, Elea Kuhs, Elif Destina Özkolay, Finley Foggin, Frederik Glaser, Henry Gimbel, Jahel Fuchs, Jakob Fritsch, Johanna Menne, Jonathan Kriener, Julius Kuijpers, Juschka Scior, Kiran Koller, Konrad Czernohous, Laurin Eppinger, Lilly Erichsen, Liv Lehmann, Lotta-Marie Pohle, Marlon Albrecht, Matteo Granzin, Petja Uhlenhoff, Stevie Harrison-Bänfer und Xenia Reischl-Benz.

1.2 Hintergrund

Das Projekt „Schools4Future“ zielt darauf ab, ausgewählte Schulen zu klimaneutralen Lernorten zu entwickeln. Erster Schritt hierzu ist die Erarbeitung einer CO₂-Bilanz für den Betrieb der Schule. Darauf aufbauend werden gemeinsam mit Schüler*innen, Lehrer*innen, Eltern und dem übrigen Umfeld Schulklimaschutzkonzepte entwickelt und konkrete Maßnahmen zur Umsetzung mit finanziellen Beteiligungsmöglichkeiten der Schulgemeinschaft eingeleitet (siehe untenstehende Graphik).

Um das an den Schulen schlummernde CO₂-Minderungspotenzial für die Energiewende systematisch erschließen zu können, wurde zunächst eine Bestandsaufnahme der klimarelevanten Emissionen erstellt, die durch den Betrieb und durch das Nutzerverhalten der Schüler*innen und Lehrer*innen an der Waldorfschule verursacht werden.

Um die Klimabilanz erstellen zu können, wurde in der Klasse 11a ein spezielles Lernprogramm umgesetzt. Dabei wurde Schüler*innen die Grundlagen der Energie- und Stromversorgung, die Zusammenhänge zwischen Klima und Ernährung sowie Klima und Mobilität vermittelt. Des Weiteren haben wurden die CO₂-Effekte verschiedener Energieträger thematisiert. Dabei wurde das Expertenteam vom Mathematiklehrer Stefan Krapf beraten und unterstützt.

Der Unterricht mit der Klasse 11a sowie die gemeinsame Erarbeitung der CO₂-Bilanz fand im Januar 2021 an 14 Unterrichtstagen statt. Aufgrund der zum Unterrichtszeitpunkt vorherrschenden hohen Corona-Inzidenzzahlen fand der Unterricht ausschließlich online über das Open-Source-Webkonferenzsystem „Big Blue Button“ statt.

Da in dem gesamten Projektvorhaben mehrere Schulen mitmachen werden, können die Schüler*innen im späteren Projektverlauf ihren CO₂-Fußabdruck mit dem Fußabdruck anderer Schulen vergleichen. Dazu werden die aktiven Schüler*innen der vier Pilotschulen miteinander

vernetzt werden. Mit dem angestrebten Peer-to-Peer-Learning-Konzept können die Schüler*innen viel voneinander lernen und werden gleichzeitig darin geschult, wie sie anderen Schulen in ihrer Nachbarschaft beibringen können, den CO₂-Verbrauch ihrer Schule zu ermitteln.

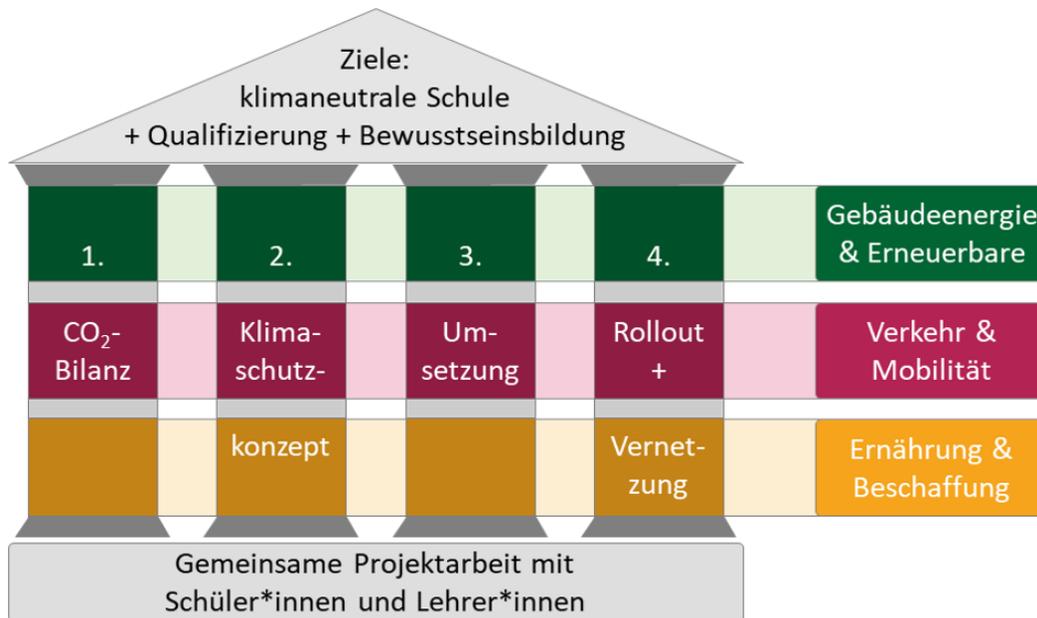


Abbildung 1: Projektstruktur von Schools4Future: Ziele, Grundlage, Projektphasen und Themenbereiche

Die wichtigsten Ziele und Bausteine des Gesamtprojektes werden hier nur skizziert:

Ziele (Dach)

- Wirksamer **Klimaschutz** durch das Gestalten von klimaneutralen Schulen
- **Qualifizierung** aller Teilnehmer*innen: Wie lässt sich Klimaschutz umsetzen und wo ist ein geringes / hohes CO₂-Einsparpotential realisierbar.
- **Bewusstseinsbildung und Empowerment** im Umfeld: Jede*r kann und muss zum Klimaschutz beitragen

Grundlage des Projektes (Fundament)

- gemeinsame Projektarbeit mit Schüler*innen und Lehrer*innen
- Qualitätssicherung durch das Projektteam

Die Projektphasen (Säulen)

1. Erstellung einer **CO₂-Bilanz** der Schule (Vermittlung der Grundlagen und Erstellung der CO₂-Bilanz durch Schüler*innen)
2. Erstellung eines **Klimaschutzkonzeptes** für die Schule (Sammlung von Ideen, Bewertung und Kosten-Nutzen-Analyse, Priorisierung)
3. Umsetzung der Maßnahmen (Umsetzung von Kleinmaßnahmen, Hinwirken auf Umsetzung größerer Maßnahmen durch Schulleitung und Schulträger)

4. Rollout und Vernetzung (Erfahrungsaustausch mit Pilotschulen der zweiten Stufe und Bereitstellung der Arbeitsmaterialien)

Die Themenbereiche (Bausteine der 4 Säulen)

- Gebäudeenergie und Erneuerbare Energien (Heizenergie, Beleuchtung, Lüftung, Solaranlage, etc.)
- Verkehr & Mobilität (Fokus Verkehrswege der Schüler*innen und Lehrer*innen, Klassenfahrten, Konzepte für Fahrrad- und ÖPNV-Anbindung)
- Ernährung & Beschaffung (CO₂-Bilanz Mensa/Kantine, regionale/vegetarische Produkte, Verschwendung, Papierverbrauch)

1.3 Vorgehensweise

Im Rahmen des Unterrichts wurden zunächst Ursachen und Folgen der Klimaveränderung besprochen. Soweit nötig wurde zur Erklärung des Treibhauseffekts auf die Grundlagen der Physik zurückgegriffen und Grundbegriffe sowie Anwendungen der Energietechnik im Unterricht behandelt. Dabei wurde darauf geachtet, dass Beispiele aus dem direkten Umfeld der Schüler*innen herangezogen wurden. Da der Heizungskeller aufgrund der Corona-Pandemie nicht betreten werden konnte, hat das Projektteam ein Video aufgenommen und den Schüler*innen somit einen Eindruck vom Heizungskeller ihrer Schule vermittelt.

Das war insofern von besonderem Interesse, weil im Heizungskeller der Waldorfschule ein Blockheizkraftwerk (BHKW) mit einer Leistung von 100 kW thermisch und 50 kW elektrisch die Wärme-Grundversorgung leistet und den gesamten Strombedarf der Schule in umweltfreundlicher Kraft-Wärme-Kopplung erzeugt. Die Funktionsweise und die Umweltvorteile der Kraft-Wärme-Kopplung wurden erläutert und die CO₂-Emissionen im Vergleich zu anderen Heizungssystemen errechnet und dargestellt.

Neben der Funktionsweise von Heizungssystemen wurde der Wärmetransport, die Temperaturregelung mittels Thermostatventilen sowie deren korrekte Nutzung mit den Schüler*innen erarbeitet.

Soweit möglich, wurden die Zusammenhänge durch Arbeitspapiere und Gruppenarbeit vermittelt. Komplexere Zusammenhänge wurden in einfache Übungen aufgespalten, damit die Schüler*innen am Ende der Unterrichtseinheiten in der Lage waren, Aufgaben eigenständig zu lösen. Parallel zu dem Unterricht und der Wissensvermittlung wurde im Rahmen des Projektes das Excel-Tool weiterentwickelt. Durch die Überarbeitung des Tools kann die CO₂-Bilanz weiterer Schulen somit noch einfacher erstellt werden. Zur Erstellung der CO₂-Bilanz an der Waldorfschule wurden einzelne Module des Tools bereits direkt ausgefüllt.

In der letzten Unterrichtswoche stellten die Schüler*innen die Ergebnisse der CO₂-Bilanz im Rahmen eines Webinars den Lehrer*innen, Eltern und anderen Schüler*innen vor. Das Seminar war mit 60 Teilnehmer*innen gut besucht. Die Resonanz von Seiten der Teilnehmenden war sehr positiv.

Im Rahmen des Online-Unterrichts hatten die Schüler*innen u.a. auch die Aufgabe, einen Zeitungsbericht über das Projekt und die CO₂-Bilanz zu schreiben. Von den geschriebenen Texten wählte die Klasse den besten Text aus. Dieser wurde bei der Badischen Zeitung zur Veröffentlichung eingereicht.

1.4 Hintergrund zur Schule

In der Freien Waldorfschule in Freiburg St. Georgen werden insgesamt ca. 625 Schüler*innen unterrichtet. Abbildung 2 zeigt eine Außenansicht der Schule.



Abbildung 2: Außenansicht der Waldorfschule Freiburg, St. Georgen

Gebäudeenergie & Erneuerbare Energien

Der Erdgas- sowie der Stromverbrauch der gesamten Schule wird über jeweils einen Erdgas-, bzw. über einen Stromzähler gemessen. Da das BHKW zu bestimmten Zeiten mehr Strom erzeugt als im Schulzentrum benötigt wird, wird der Strom ins Netz der badenova eingespeist. Diese Strommengen werden ebenfalls über einen Zähler erfasst und in der CO₂-Bilanz berücksichtigt.

Verkehr & Mobilität

Für den Bereich Verkehr & Mobilität wurde eine Befragung durchgeführt, die alle Schüler*innen und Lehrer*innen der Waldorfschule einbezog.

Ernährung & Beschaffung

Für den Bereich der Ernährung wurde davon ausgegangen, dass in der Schule durchschnittlich 170 Essen pro Tag von den Schüler*innen und Lehrer*innen eingenommen werden.

1.5 Datengrundlage

Neben den eigenen Erhebungen wurden dem Projektteam folgende Daten seitens des Schulträgers und der Schulleitung zur Verfügung gestellt:

- Viertelstündliche Stromverbrauchswerte für das Jahr 2019
- Abrechnung für den Erdgasbezug des BHKW und des Spitzenlastkessels.
- Wirkungsgrad und Stromerzeugung des BHKW
- Eingespeiste und vom Stromversorger bezogene Strommenge
- Übersicht über die jährlich durchgeführten Klassenfahrten (Ziel und Transportmittel)
- Übersicht über die Flüge, die die Schüler*innen im Rahmen von Schüleraustauschprogrammen vorgenommen haben
- Angaben zum Papierverbrauch

1.6 Emissionsfaktoren

Um über Verbrauchsmengen die entstandenen CO₂-Emissionen zu ermitteln, bedarf es für jeden Energieträger, für Strom und auch für die Verkehrsmittel und jedes Mensagericht sogenannte CO₂-Emissionsfaktoren. Diese geben an, wieviel CO₂ bei der Verbrennung eines Kubikmeters Erdgas oder beim Verbrauch einer Kilowattstunde Strom, beim Verzehr einer Mahlzeit oder pro Kilometer Fahrstrecke entsteht.

So ist z.B. der Wärme- und Stromverbrauch der Schule mit unterschiedlichen CO₂-Faktoren zu bewerten. Ein Kubikmeter Erdgas hat einen Energiegehalt von ca. 10 kWh. Pro Kubikmeter Erdgas entstehen 2,47 kg CO₂. Auf die Kilowattstunde Wärmeenergie umgerechnet entstehen ca. 0,25 kg CO₂/kWh.

Für den Stromverbrauch wird davon ausgegangen, dass der Strom mit Hilfe von verschiedenen fossilen und erneuerbaren Energieträgern produziert wird. Es wird mit dem durchschnittlichen Strommix in Deutschland von 2019 gerechnet. Die Emissionen pro Kilowattstunde betragen nach Umweltbundesamt 401 gCO₂/kWh (siehe Tabelle 1).

Im Bereich Landwirtschaft und Ernährung entstehen bei der Produktion von Nahrungsmitteln neben CO₂ auch Methan und Distickstoffmonoxid (auch als Lachgas bezeichnet). Diese Klimagase sind sehr wirkungsvoll. Um ihre Wirksamkeit mit den CO₂-Emissionen vergleichen zu können, werden sie in sogenannte CO₂-Äquivalente umgerechnet und in der CO₂-Bilanz entsprechend berücksichtigt.

Tabelle 1: Zusammenstellung der CO₂-Emissionsfaktoren der unterschiedlichen Energieträger und Verkehrsmittel.

Energieträger/T ransportmittel	gCO ₂ - Äquival ent	Einheit / Kommentar	Quelle	Link
Erdgas	251,9	pro kWh Endenergieverbrauch	Öko-Institut: Endenergiebezogene Gesamtemissionen für Treibhausgase aus fossilen Energieträgern unter Einbeziehung der Bereitstellungsvorketten	Link
Öl-leicht	320,7	pro kWh Endenergieverbrauch		
Pkw	147	g/Pkm bei 1,5 Personen/Pkw	UBA: Vergleich der durchschnittlichen Emissionen einzelner Verkehrsmittel im Personenverkehr	Link
Flugzeug, Inland	230	g/Pkm bei 71% Auslastung		
Eisenbahn, Fernverkehr	32	g/Pkm bei 56% Auslastung		

Fernlinienbus	29	g/Pkm bei 55% Auslastung		
sonstige Reisebusse	31	g/Pkm bei 64% Auslastung		
Eisenbahn, Nahverkehr	57	g/Pkm bei 28% Auslastung		
Linienbus	80	g/Pkm bei 19% Auslastung		
Straßen-, Stadt- und U-Bahn	58	g/Pkm bei 19% Auslastung		
Benzin	3055	g/Liter (Endenergienutzung)	Wuppertal Institut: Umweltbegleitforschung für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge: Auswahl der Vergleichsfahrzeuge	Link
Diesel	3058	g/Liter (Endenergienutzung)		
Strom	401	g/kWh	UBA: Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 – 2019	Link
Emissionswerte Lebensmittel	siehe Arbeitsblätter		Öko-Institut: Treibhausgasemissionen durch Erzeugung und Verarbeitung von Lebensmitteln	Link

1.7 Bewertung von Ökostrom

In den letzten Jahren haben viele private Haushalte, Unternehmen und auch Kommunen ihren Stromtarif bei den Stadtwerken von Graustrom auf Ökostrom umgestellt, um ihre CO₂-Emissionen zu verringern. Der Bezug von Ökostrom kostet zwar kaum mehr als „Graustrom“ oder „Normalstrom“, hat allerdings auch keinen nachweisbaren Klimaschutzeffekt und sollte daher immer kritisch hinterfragt werden. Wegen eines großen Überangebots an Ökostrom aus skandinavischen und österreichischen Wasserkraftwerken kommt es durch die Umstellung auf Ökostrom nicht zum Bau neuer Stromerzeugungsanlagen auf Basis erneuerbarer Energiequellen, sondern lediglich zu einem Tausch deutschen Kohle- und Atomstroms gegen Ökostrom aus diesen Ländern. Der Nettoeffekt für das Klima ist Null.

Mit Verweis auf Zertifikate vom TÜV oder anderen Organisationen über den Herkunftsnachweis des Ökostroms rechnen sich die Akteure ihren bezogenen Ökostrom oder Grünstrom in ihrer CO₂-Bilanz mit „0“ an. Sie tun also so, als ob ihr Strombezug emissionsfrei wäre.

Auch in einem Nachhaltigkeitsbericht der für die Freie Waldorfschule erstellt wurde, werden die Emissionen des Strombezug mit dem Faktor 0 angegeben. Die Autoren des Nachhaltigkeitsberichts verweisen auf die Webseite des Ökostrom-Anbieters Elektrizitätswerke Schönau (EWS), die ihren Strom mit 0 g CO₂-Emissionen pro Kilowattstunde ausweisen würden.

Diese Betrachtung hat jedoch nichts mit der Wirklichkeit zu tun. Dieser gehandelte Ökostrom¹ ist schlicht ein Geschäftsmodell der Stromversorgungsunternehmen. Es beruht darauf, dass die Unternehmen in Norwegen, Schweden oder Österreich günstigen Wasserkraftstrom einkaufen. Dieser kommt aus bestehenden Wasserkraftwerken. Im selben Umfang wie die deutschen Stromversorger diesen Ökostrom kaufen müssen die norwegischen Kund*innen entsprechende Mengen Kohlestrom aus Deutschland zurücknehmen. Es fließt jedoch kein Strom von Norwegen nach Deutschland und auch nicht in die umgekehrte Richtung. Bei diesen Ökostrom-Lieferungen handelt es sich lediglich um ein Tauschgeschäft auf Papier, an dem sowohl die ausländischen Wasserkraftwerksbetreiber als auch die deutschen Stromlieferanten etwas verdienen.

In unserer CO₂-Bilanz wird Strom aus Erneuerbaren Energiequellen in der CO₂-Bilanz dann mit „0“ angesetzt, wenn der Strom von der Solaranlage auf dem Dach der Schule kommt oder die Schule (bzw. ein Förderverein oder die Elternschaft) in ein regeneratives Projekt investiert und damit eine zusätzliche Stromerzeugung aus regenerativen Energiequellen bewirkt wird.

Wenngleich der gehandelte Öko-Strom nicht als CO₂-frei bewertet werden kann, ergibt es Sinn, die Ökostrom-Anbieter zu vergleichen und einen Anbieter auszuwählen, der für die Energiewende eintritt. In diesem Fall fließt das Geld in ein Unternehmen, das für eine saubere, auf regenerativen Energiequellen basierende Energieversorgung arbeitet. Ob das der Fall ist, kann man daran erkennen, ob das Unternehmen Investitionen in Erneuerbare Energiequellen unterstützt, ob es Energieeinsparbemühungen fördert, Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen ausbaut und sich aktiv in die Energiepolitik im Sinne der Energiewende einbringt.

1.8 Kompensationsmaßnahmen

Das Kompensieren von CO₂ ist ein kompliziertes Unterfangen, auch wenn manche Anbieter von Kompensationsleistungen einem etwas anderes zu glauben geben wollen. Das Problem fängt damit an, den verursachten CO₂-Ausstoß des Flugverkehrs zu ermitteln. Bei einer Flugreise müsste beispielsweise eingerechnet werden, dass das in großen Höhen emittierte Kohlendioxid viel schädlicher für das Klima ist als die CO₂-Emissionen die erdnah entstehen. Auch der Nachweis, wie viel CO₂ ein Klimaschutzprojekt vermeidet, ist ein schwieriges Unterfangen. Oftmals soll die Kompensation durch Aufforstung, also der Pflanzung von Bäumen sichergestellt werden. Doch wie wird sichergestellt, dass die Bäume auch wirklich langfristig, das heißt mehrere Jahrzehnte wachsen und stehen bleiben, politische Regimewechsel und natürliche Katastrophen überstehen? Wie wird sichergestellt, dass die mit den Ausgleichszahlungen finanzierten Kochherde in Entwicklungsländern auch wirklich langfristig von den Menschen vor Ort genutzt werden?

Zurecht wird die Kompensation von CO₂ daher oft als Ablasshandel bezeichnet. Mit gutem Gewissen zu fliegen, weil man eine Kompensationszahlung geleistet hat, ist keine nachhaltige Option. CO₂-Kompensation ist bestenfalls eine Zwischenlösung für derzeit unvermeidliche Emissionen. Deswegen sollte an erster Stelle immer das Vermeiden von CO₂ stehen.

Obwohl Kompensationsmaßnahmen einen Nutzen aufweisen, werden sie in dieser Bilanz nicht zur Reduktion der Treibhausgasemissionen angerechnet.

¹ Davon abzugrenzen ist der Strom aus erneuerbaren Energiequellen, der über die im Erneuerbaren Energien Gesetz festgelegte Einspeisevergütung vergütet wird. Dieser Strom aus Erneuerbaren Energiequellen darf jedoch nicht gehandelt werden. Die Kosten der Einspeisevergütung werden von (fast) allen Stromverbraucher über die EEG-Abgabe getragen.

2 Gebäudeenergie & Erneuerbare Energien

2.1 Heizenergie

Das Heizungssystem der Schule versorgt das Hauptgebäude der Schule sowie die umliegenden Gebäude der Schule, zu denen auch das Saalgebäude, die Werkstätten und die Turnhallen gehören.

Der Erdgasverbrauch des gesamten Schulzentrums belief sich im Jahr 2019 auf rund 68.620 Kubikmeter Erdgas. Dies entspricht bei einer Gaszustandszahl von 0,94 und einem unteren Heizwert von 10,22 kWh/m³ einem Energieeinsatz von 663.980 kWh pro Jahr. Davon entfallen rund 81 % (536.054 kWh) auf den Energieeinsatz im BHKW und 19% (127.926 kWh) auf den Energieeinsatz im Erdgas-Spitzenlastkessel.

Das BHKW vom Hersteller Kraftwerk weist eine nominale elektrische Leistung von 50 kW auf. Das BHKW kann im Teillastbetrieb gefahren werden. Die mittlere elektrische Leistung in 2019 betrug 45 kW. Das BHKW war in 2019 während 3792 Stunden in Betrieb und hat in dieser Zeit 171.784 kWh Strom erzeugt. Von der erzeugten Strommenge wurden 49% oder 84.745 kWh in der Schule genutzt. 51% oder 87.036 wurden ins Netz der badenova eingespeist.



BHKW:

Leistung elektrisch:
ca. 50 kW

Leistung thermisch:
ca. 100 kW

Spitzenlastkessel
200-300 kW

Abbildung 3: BHKW (links im Bild) und Spitzenlastkessel.

Die Schule wurde Anfang der 1980er Jahre gebaut. Der Baustandard war dementsprechend noch nicht weit entwickelt. Der Wärmebedarf ist folglich relativ hoch.

Wie auf der Aufnahme der Wärmebildkamera (siehe Abbildung 4) ersichtlich ist, sind die Wände nicht gedämmt, so dass die Heizkörpernischen unter den Fenstern von außen deutlich zu sehen sind.

Während die Außenhaut als verbesserungsbedürftig einzustufen ist, ist die Heizungssteuerung auf dem neuesten Stand: Die Schule verfügt über Einzelraumsteuerung. Das bedeutet, dass in den einzelnen Klassenräumen die Temperatur gezielt gesteuert werden und sie bei Nichtnutzung der Räume gezielt abgesenkt werden kann. Zudem findet eine Nachtabsenkung und eine Wochenendabsenkung der Raumtemperatur statt. Durch diese Maßnahmen können die Wärmeverluste über die Außenhaut deutlich reduziert werden.

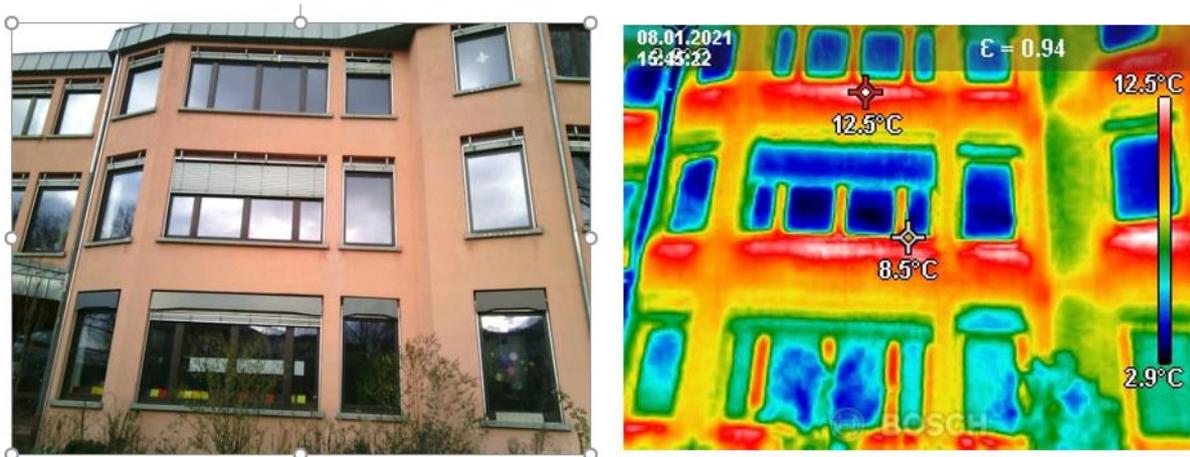


Abbildung 4: Wärmebild Außenhaut im Vergleich mit normaler Ansicht

2.2 Stromverbrauch

Das gesamte Schulzentrum verbrauchte im Jahr 2019 insgesamt 168.532 kWh Strom. Davon wurden 84.745 kWh von den Elektrizitätswerken Schönau geliefert. 83.767 kWh kamen vom BHKW im Keller der Schule. Die Schule hat also insgesamt 168.532 kWh verbraucht. Gleichzeitig wurden mit dem BHKW 171.784 kWh erzeugt. Die Schule hat also allein mit dem BHKW etwas mehr Strom erzeugt, als sie verbraucht hat.

Der größte Anteil des Verbrauchs entfällt auf die Beleuchtung in der Schule. In den letzten Jahren wurden in einigen Teilen der Schule bereits neue effiziente LED-Leuchtmittel installiert. Dies hat bereits zu einer Absenkung des Stromverbrauchs geführt. Bezogen auf ein Klassenzimmer konnte der Strombedarf um mehr als 70 Prozent reduziert werden. Abbildung 5 zeigt ein saniertes Klassenzimmer mit der neuen LED-Beleuchtung.



Abbildung 5: Links: Saniertes Klassenzimmer mit LED-Beleuchtung, Rechts: Nahaufnahme der LED-Beleuchtung

Die Schule verfügt über zwei Turnhallen. In einer der beiden Hallen wurde die Beleuchtung bereits durch LED-Strahler ausgetauscht. In der anderen Turnhalle besteht noch Einsparpotential.



Abbildung 6: **links:** Turnhalle 1 mit T8 Leuchtstoffröhren; **rechts:** Turnhalle 2 mit LED-Beleuchtung

Abbildung 7 zeigt die Lastkurve (den Stromverbrauch über die Zeit) der Schule für eine Woche im März. Diese Woche wurde ausgewählt, weil das Blockheizkraftwerk in dieser Woche ausgeschaltet war und die Strombezugskurve somit genau dem Stromverbrauch der Schule entspricht. Die orangene Linie zeigt zusätzlich den Tagesmittelwert des Stromverbrauchs.

An der Lastkurve ist ersichtlich, dass der Stromverbrauch auch in der Nacht nicht unter 10 kW fällt, dass also durchgängig mindestens 10 kW Leistung abgerufen werden. Das bedeutet, dass in jeder Stunde 10 kWh verbraucht werden, auch wenn sich niemand in der Schule befindet.

Um den Anteil der Grundlast am Gesamtstromverbrauch abzuschätzen, hilft ein Vergleich der Grundlast (10 kW) mit den Tagesmittelwerten (ca. 25 kW unter der Woche). Dieser zeigt, dass ca. 40% (10/25) des Stromverbrauchs durch die Grundlast verursacht werden. Hier werden genauere Analysen zeigen, wodurch dieser Stromverbrauch verursacht wird und ob bzw. welcher Teil davon vermieden werden kann.

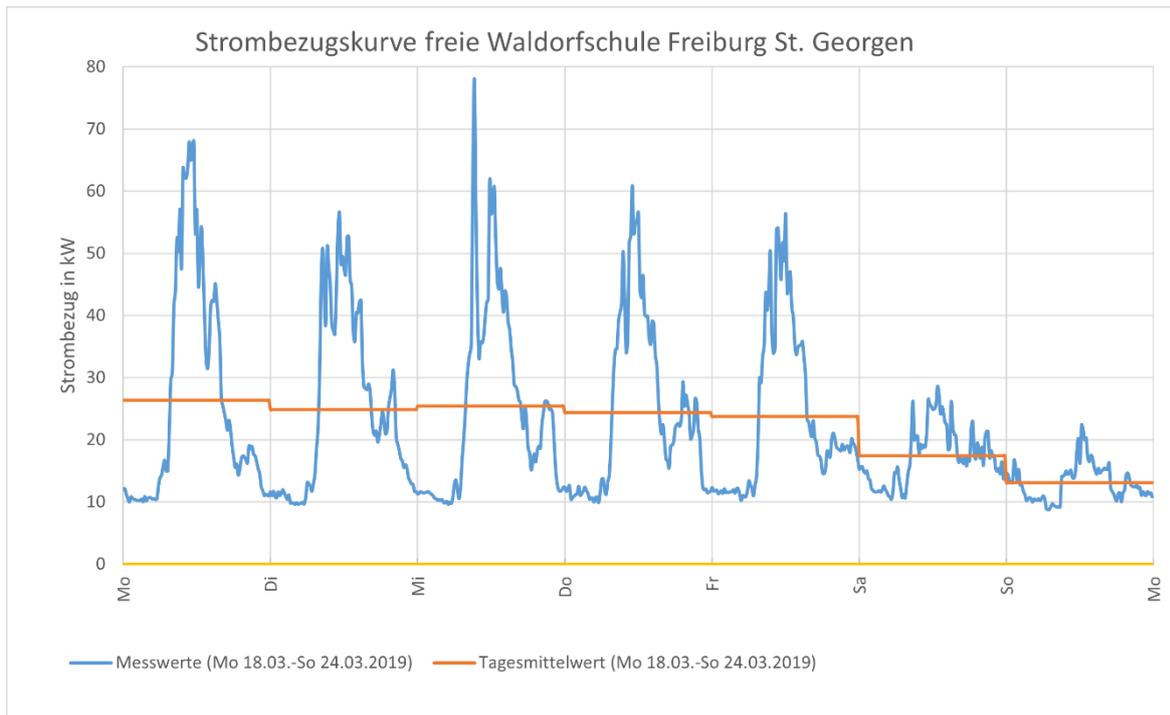


Abbildung 7: Stromverbrauchskurve der Waldorfschule Freiburg, St. Georgen für die Woche von Mo 18.03.-So 24.03.2019

Abbildung 8 zeigt die Lastkurve einer Woche im März und einer Woche im Juni. Die kurzen Zeitintervalle, in denen der Strombezug auf 0 zurückgeht, entsprechen der Laufzeit des BHKWs, welches im Sommer circa zweimal täglich für jeweils eine Stunde läuft.

Beim Vergleich zwischen den Bezugskurven im März und im Juni fällt auf, dass es nur sehr geringe saisonale Verbrauchsunterschiede gibt. Erfahrungsgemäß sind die Stromverbräuche im Winter durch die künstliche Beleuchtung höher als im Sommer.

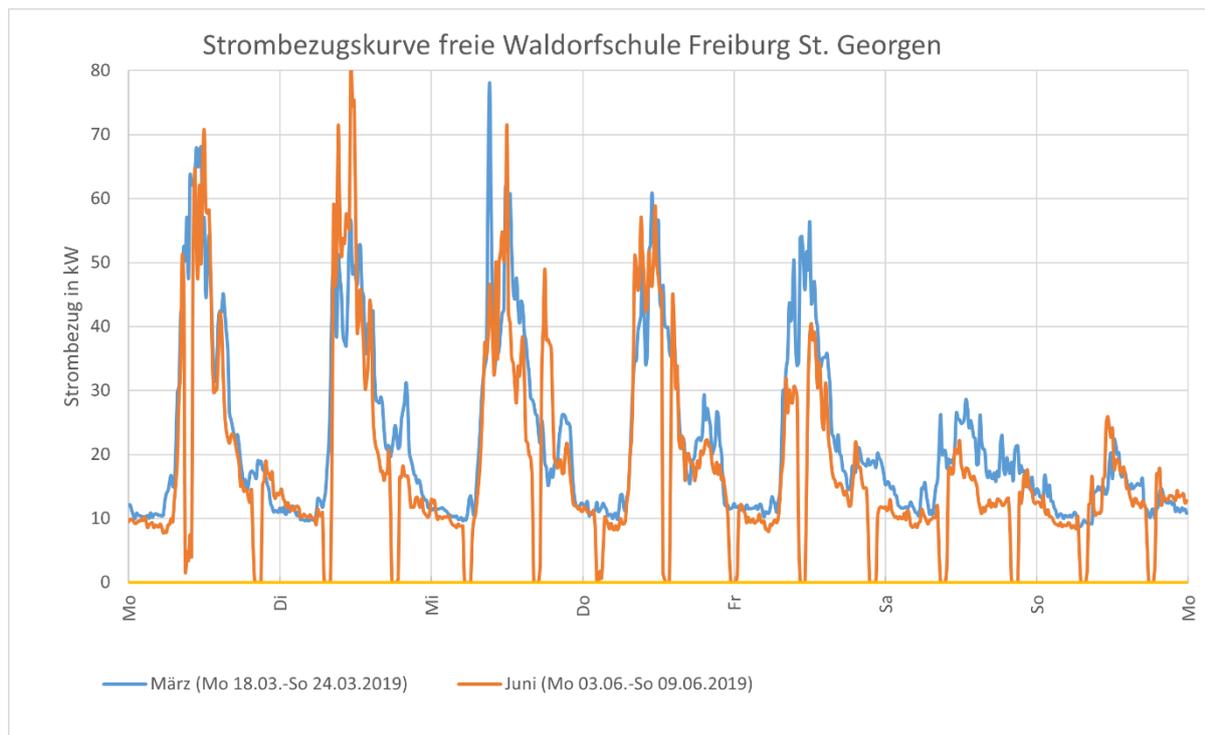


Abbildung 8: Stromverbrauchskurve der Waldorfschule Freiburg St. Georgen für eine Sommerwoche von Mo 3.06.-So 9.06.2019

2.3 Stromerzeugung durch Solaranlage

Auf dem Dach der Schule sind zwei PV-Anlagen installiert. Die kleinere Anlage mit 5,5 kW gehört dem Schulförderverein, die größere Anlage mit ca. 30 kW ist auf dem Dach des Saalgebäudes installiert. Die Dachfläche wurde an einen privaten Betreiber vermietet, der in die Anlage investiert hat und im Gegenzug den Solarertrag erhält.

Die beiden Solaranlagen produzieren jährlich etwa 35.000 kWh und somit etwa ein Fünftel des jährlichen Stromverbrauchs. Dieser Anteil könnte jedoch beträchtlich gesteigert werden, da noch erhebliche Flächen für die Installation einer größeren Solaranlage zur Verfügung stehen (siehe Abbildung 9). Die Statik der Dächer muss jedoch noch geprüft werden.



Abbildung 9: Aufsicht auf die Waldorfschule Freiburg, St. Georgen zeigt freie Flächen für die Erweiterung der bestehenden PV-Anlage

2.4 Zusammenfassung Emissionen Gebäudeenergie

Die CO₂- Bilanz für Heizenergie und Stromverbrauch für das gesamte Schulzentrum ist in Tabelle 2 dargelegt. Der Solarstrom wird nicht in der Schule verbraucht, sondern in das öffentliche Stromnetz eingespeist. Dadurch wird die Stromerzeugung an anderen Orten im selben Umfang vermieden. Dieser Effekt wird durch eine entsprechende Gutschrift in der CO₂-Bilanz berücksichtigt. Eine grafische Darstellung der Emissionswerte ist in Abbildung 10 zu sehen.

Tabelle 2: Verbrauch, Emissionsfaktoren und CO₂-Emissionen

Energieträger	Menge	CO ₂ -Emissionsfaktor	CO ₂ -Emissionen in kg
Erdgas Spitzenlastkessel	13.221 m ³	2,47 kg CO ₂ /m ³	32.669 kg CO ₂
Erdgas-BHKW	55.399 m ³	2,47 kg CO ₂ / m ³	136.891 kg CO ₂
Stromerzeugung bzw. Emissionsgutschrift	171.784 kWh	0,401 kg CO ₂ /kWh	-68.885 kg CO ₂
Strombezug			67.581 kg CO ₂
Stromerzeugung PV-Anlage	35.000 kWh	0,401 kg CO ₂ /kWh	-14.000 kg CO ₂
Summe			154.035 kg CO₂

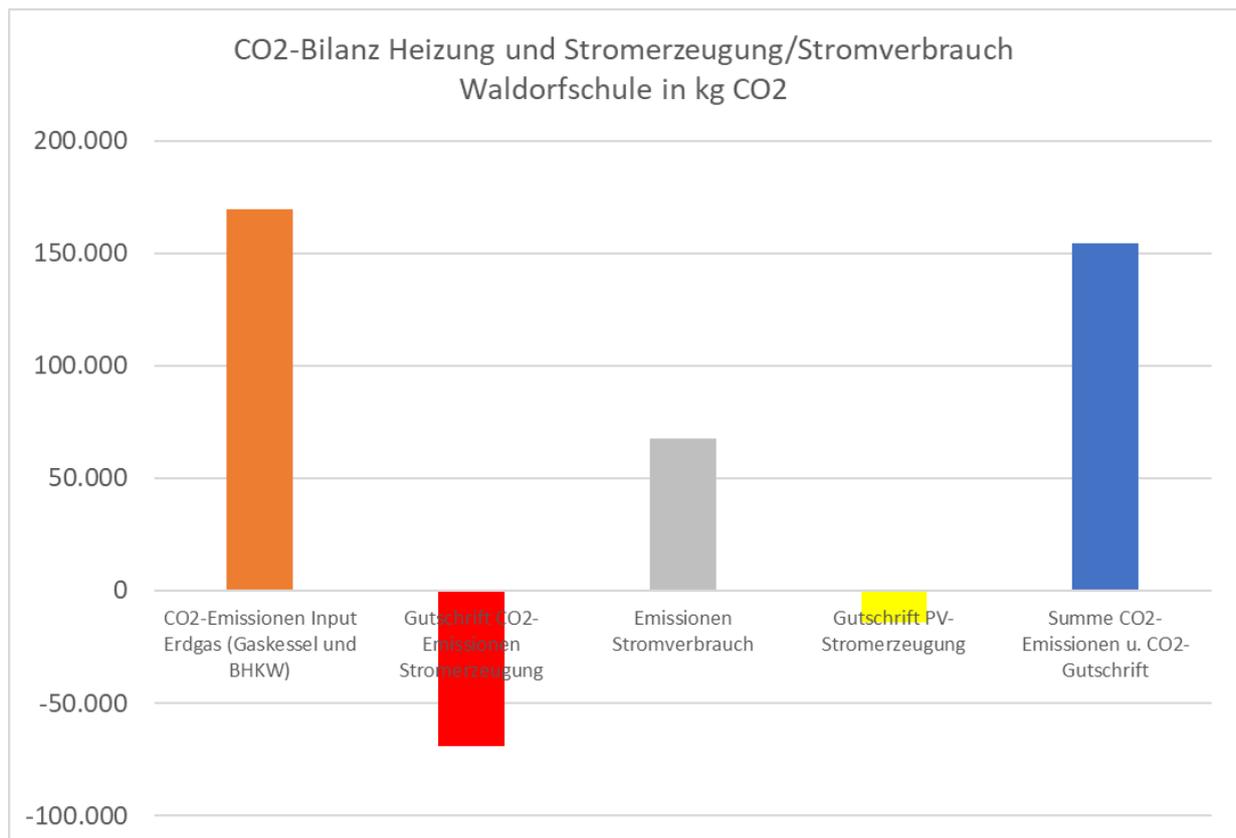


Abbildung 10: Gebäudebezogene CO₂-Emissionen der Waldorfschule Freiburg St. Georgen in kg CO₂/Jahr (ohne Solaranlage)

Die hier vorgestellten Werte beziehen sich auf alle Gebäude der Schule. Bei 625 Schülern entspricht dies Emissionen in Höhe von 246 kg CO₂ pro Schüler*in, was einen relativ geringen Wert für die gesamte Wärme- und Stromversorgung darstellt.

3 Verkehr & Mobilität

3.1 Vorgehen und Erstellen der Mobilitätsumfrage

Zunächst wurden im Unterricht die Zusammenhänge von Mobilität, Verkehrswegen, Transportmittel und CO₂-Emissionen unterschiedlicher Fahrzeuge behandelt und mit Hilfe von Arbeitsblättern die gewonnenen Erkenntnisse verfestigt. Hierdurch wurden die Schüler*innen in die Lage versetzt, einen Fragebogen für die Verkehrsbefragung an der Schule zu konzipieren und die Umfrage zu planen. Der Fragebogen konnte von Schüler*innen und Lehrer*innen über einen Link auf elektronischem Weg ausgefüllt und übermittelt werden. Die Antworten auf die neun erarbeiteten Fragen (siehe Anhang) wurden direkt in eine Datenbank übertragen. Zunächst wurde der Fragebogen in der Klasse getestet.

In einem zweiten Schritt wurde der elektronische Fragebogen an alle Schüler*innen und Lehrer*innen per E-Mail verschickt. Nach einer Nachfassaktion lagen 156 ausgefüllte Fragebögen von Schüler*innen und Lehrer*innen vor.

Insgesamt nahmen 140 Schüler*Innen (22%) und 16 Lehrer*Innen der Waldorfschule an der Umfrage teil. So konnte durch die Umfrage ein Bild über die Verkehrswege der Schüler*innen sowie über die genutzten Transportmittel erstellt werden.

Der für die Umfrage benutzte Fragebogen befindet sich im Anhang.

3.2 Emissionen für Schulweg Schüler*innen

3.2.1 Verkehrsmittelwahl und zurückgelegte Personenkilometer

Abbildung 11 zeigt die Ergebnisse aus den ausgewerteten Fragebögen. Zur Ermittlung der insgesamt zurückgelegten Wege und Distanzen müssen die Werte auf die Gesamtschüler*innenzahl hochgerechnet werden. Hierzu werden die berechneten Wegstrecken durch die Anzahl der Teilnehmer*innen der Umfrage dividiert (140), um die durchschnittlichen Wegstrecken pro Teilnehmer*in zu erhalten. Anschließend werden diese Werte mit der Anzahl der Schüler*innen an der Schule multipliziert (625). Hieraus ergibt sich ein Hochrechnungsfaktor von $625/140=4,464$.

Auswertung für Schulweg Schüler

Verkehrsmittelwahl und Weglänge	Frühjahr bis Herbst (125 Schultage)		Winter (55 Schultage im Jahr)		Jahresmittel (gewichtet)	
	Anzahl Nennungen	Einfache Weglänge in km	Anzahl Nennungen	Einfache Weglänge in km	Anzahl Nennungen	Einfache Weglänge in km
Schülerin oder Schüler						
zu Fuß	14	0,5	17	0,5	15	0,5
Fahrrad	76	3,4	63	2,5	72	3,2
Bus	14	8,4	13	8,7	14	8,5
andere ÖPNV (S-Bahn/Bahn,...)	21	10,3	23	11,0	22	10,6
E-Bike / E-Scooter	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Moped / Motorrad	2	15,0	1	6,5	2	13,5
Auto (Kleinwagen)	1	10,0	6	12,3	3	11,7
Auto (Mittelklasse)	8	13,6	10	11,4	9	12,8
Auto (Oberklasse/SUV)	1	6,5	5	6,7	2	6,6
Sonstige	3	0,9	2	1,0	3	0,9
Summe:	140			Durchschnittliche Weglänge:		5,4

Abbildung 11: Detaillierte Übersicht der Verkehrsmittelwahl und der zurückgelegten Wegestrecken der Schüler*innen

Zunächst wurde ausgewertet, mit welchen Verkehrsmitteln die Schüler*innen im Frühjahr bis Herbst und mit welchen Verkehrsmitteln sie im Winter zur Schule kommen. Die Auswertung ergab, dass das bevorzugte Verkehrsmittel im Frühjahr, Sommer und Herbst das Fahrrad darstellt. Auch im Winter ist das Fahrrad das mit Abstand am häufigsten genutzte Verkehrsmittel.

Die Länge des durchschnittlichen Schulweges beträgt 5,4 km einfache Strecke.

Die mit dem Rad fahrenden Schüler*innen legen durchschnittlich 3,2 km auf dem Weg zur Schule zurück (einfache Wegstrecke).

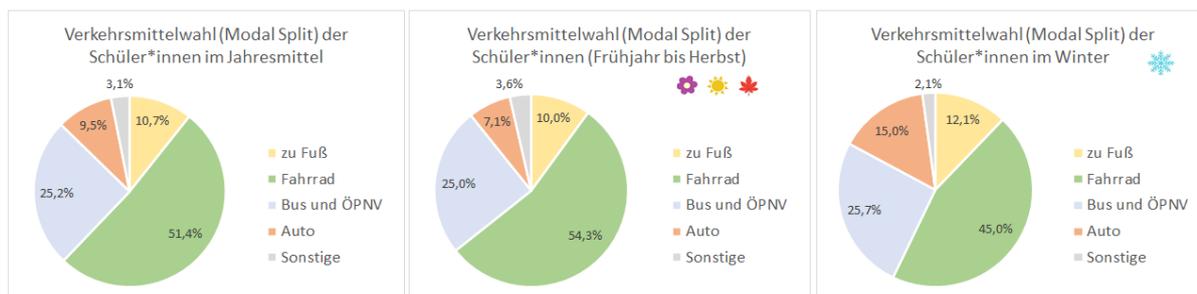


Abbildung 12: Verkehrsmittelwahl der Schüler*innen im Jahresmittel (links) im Frühjahr bis Herbst (Mitte) und im Winter (rechts)

Abbildung 12 zeigt die Verkehrsmittelwahl der Schüler*innen im Jahresmittel, im Frühjahr bis Herbst und im Winter. Der Anteil der Schüler*innen, die mit dem Bus oder dem öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) zur Schule kommen, liegt über das ganze Jahr hinweg bei ca. 25 % und Bus und ÖPNV waren somit das zweithäufigste Verkehrsmittel. Die durchschnittliche Wegstrecke bei der Nutzung der öffentlichen Verkehrsmittel beträgt etwas weniger als 11 Kilometer pro Schulweg (einfache Strecke). Etwa 10 % der Schüler*innen kommen zu Fuß in die Schule. Etwa 7 % der Schüler*innen kommen im Frühjahr/Sommer/Herbst mit dem Auto zur Schule. In der Winterzeit sind es etwa doppelt so viele.

Insgesamt legen alle Schüler*innen der Schule zusammen übers Jahr hinweg auf ihrem Schulweg eine Strecke von 1,22 Millionen Kilometer zurück, was etwa einer Strecke von 31 Erdumrundungen entspricht.

3.2.2 Berechnung der Emissionen

Auf Basis der Mobilitätsumfrage wurde zunächst die gesamte Wegstrecke aller Schüler*innen der Freien Waldorfschule Freiburg, St. Georgen für die einzelnen Verkehrsmittel für ein Jahr hochgerechnet. Mit diesen Wegstrecken und den spezifischen Emissionsfaktoren der einzelnen Verkehrsmittel (siehe Abschnitt 1.6) wurden anschließend die durch den Schulweg entstehenden CO₂-Emissionen aller Schüler*innen ermittelt. Die Berechnung ist in Abbildung 13 dargestellt. Durch den Schulweg aller Schüler*innen entstehen etwa 65,7 Tonnen CO₂ pro Jahr.

	Gesamtstrecke in km		Emissionsfaktor	Emissionen
	für Teilnehmer	für gesamte Schule	in gCO ₂ /km	in kg CO ₂
zu Fuß / Fahrrad	2.842	12.689	0	0 kg CO ₂
Fahrrad	81.999	366.065	0	0 kg CO ₂
Bus	41.966	187.348	32	5.995 kg CO ₂
andere ÖPNV (S-Bahn/Bahn,...)	82.088	366.464	58	21.255 kg CO ₂
E-Bike / E-Scooter	0	0	4	0 kg CO ₂
Moped / Motorrad	8.215	36.674	60	2.200 kg CO ₂
Auto (Kleinwagen)	10.640	47.500	120	5.700 kg CO ₂
Auto (Mittelklasse)	39.735	177.388	147	26.076 kg CO ₂
Auto (Oberklasse/SUV)	5.310	23.705	190	4.504 kg CO ₂
Sonstige	870	3.884		
Gesamtstrecke Schulweg:		1.221.718		65.731 kg CO₂

Abbildung 13: Berechnung der schulwegbedingten CO₂-Emissionen aller Schüler*innen

Die Verteilung der zurückgelegten Wegstrecke nach Verkehrsmitteln und eine Verteilung der CO₂-Emissionen nach Verkehrsmitteln sind in Abbildung 14 dargestellt.

Bei der zurückgelegten Wegstrecke und bei den Emissionen entfällt der größte Anteil auf die Busfahrten und den ÖPNV. Rund 650.000 Kilometer legen die Schüler*innen im Jahr mit Schulbussen sowie den öffentlichen Verkehrsmitteln zurück und verursachen dadurch etwa 27.000 kg CO₂.

Mit dem Auto werden zwar nur relativ wenige Schüler*innen zur Schule gebracht (7% während der Sommermonate, 15 % während der Wintermonate). Diese Fahrten sind jedoch für ca. 55 % der mobilitätsbedingten Emissionen verantwortlich (ca. 36.000 kg CO₂).

E-Bike und Moped spielen nur eine untergeordnete Rolle und sind an der Emissionsbilanz mit weniger als 2 % beteiligt.

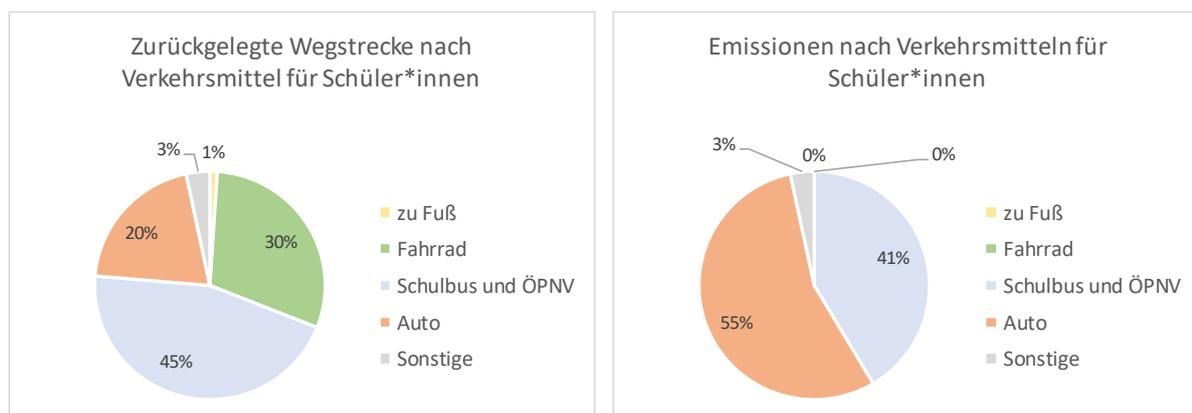


Abbildung 14: Links: Verteilung der zurückgelegten Wegstrecke nach Verkehrsmitteln, Rechts: CO₂-Emissionen nach Verkehrsmitteln.

3.3 Emissionen für Klassenfahrten und Schüleraustausch

Für die Auswertung der Emissionen der Klassenfahrten haben wir von der zuständigen Lehrerin eine Liste aller Klassenfahrten im Jahr 2019 erhalten. Bei der Auswertung wurden alle Klassenfahrten der Waldorfschule mit größeren Entfernungen erfasst, die der Schulleitung bekannt waren. Anhand der

benutzten Verkehrsmittel und den ermittelten Entfernungen konnten wir die CO₂-Emissionen errechnen, die durch die Klassenfahrten verursacht wurden.

Abbildung 15 zeigt eine Verteilung der Treibhausgasemissionen der Klassenfahrten. Drei Klassenfahrten machten dabei den größten Anteil der Emissionen aus: Die Klassenfahrt der zehnten Klasse nach Irkutsk in Russland, die Klassenfahrt nach Israel sowie die Klassenfahrt nach Spanien. Da diese Klassenfahrten mit Flügen verbunden waren, lagen die Emissionen entsprechend hoch: Insgesamt 60 Tonnen CO₂ wurden durch diese Klassenfahrten verursacht. Die restlichen Klassenfahrten werden mit 5 Tonnen CO₂ abgeschätzt.

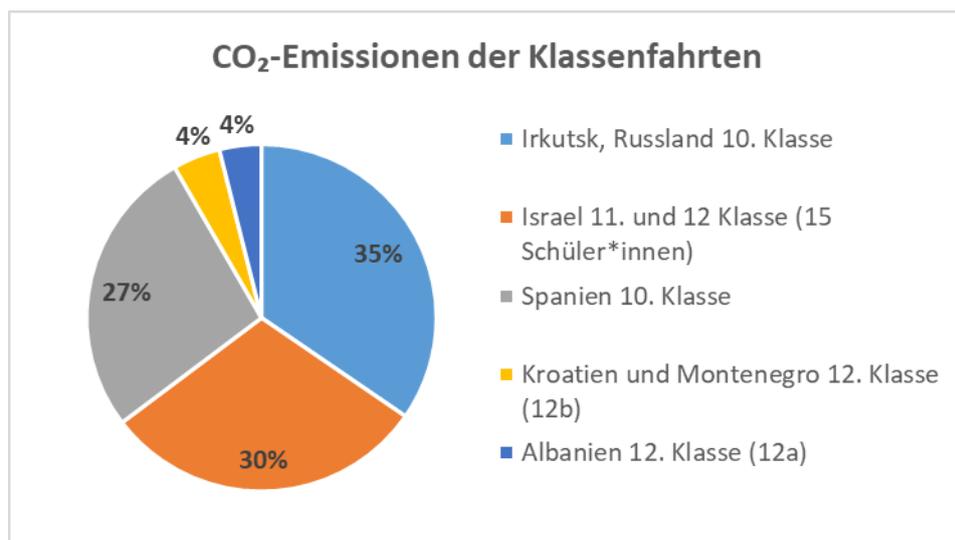


Abbildung 15: Verteilung der CO₂-Emissionen der Klassenfahrten

Eine noch größere Rolle spielen die CO₂-Emissionen, die durch die Reisen im Rahmen des Schüleraustauschs durchgeführt werden. Abbildung 16 zeigt eine Übersicht aller im Jahr 2019 stattgefundenen Austauschreisen. Die eingehenden Besuche, also Schüler*innen aus dem Ausland, die einen Aufenthalt in Freiburg gemacht haben, sind hier nicht aufgeführt. Die hierbei angefallenen Emissionen müssten den jeweiligen Schulen im Ausland angerechnet werden.

Die Berechnung der CO₂-Äquivalente erfolgte mithilfe der Webseite www.atmosfair.de. Bei den einzelnen Reisen wurden jeweils nur die Flüge angerechnet, die tatsächlich im Kalenderjahr 2019 stattgefunden haben. Wenn also der Rückflug erst im Jahr 2020 stattfand, wurde nur der Hinflug angerechnet. Die CO₂-Äquivalente der 18 erfassten Austausch-Schüler*innen summieren sich auf 134 Tonnen.

Beschreibung / Ziel des Klassenaustausch	Zielland	Verkehrsmittel	Emissionen in kg CO ₂
Michael Park, Neuseeland	Neuseeland	Flugreise Ausland	14.796
Michael Park, Neuseeland	Neuseeland	Flugreise Ausland	14.796
Tarremah Steiner School, Australien	Australien	Flugreise Ausland	13.426
Brisbane, Australia	Australien	Flugreise Ausland	12.718
Samford Valley, Australien	Australien	Flugreise Ausland	12.718
Samford Valley, Australien	Australien	Flugreise Ausland	12.718
Samford Valley, Australia	Australien	Flugreise Ausland	12.718
Buenos Aires, Argentinien	Argentinien	Flugreise Ausland	7.726
Costa Rica	Costa Rica	Flugreise Ausland	6.152
Vancouver, Kanada	Kanada	Flugreise Ausland	4.798
Vancouver , Kanada	Kanada	Flugreise Ausland	4.798
Gastbesuch, kein Austausch, Uruguay	Uruguay	Flugreise Ausland	3.991
Austin, Texas, USA	USA	Flugreise Ausland	2.717
Portland, Maine, USA	USA	Flugreise Ausland	2.664
Chicago, USA	USA	Flugreise Ausland	1.898
Gastbesuch in Kenia	Kenia	Flugreise Ausland	1.868
Washington Steiner School, USA	USA	Flugreise Ausland	1.762
Kimberton Waldorf High School, Penn	USA	Flugreise Ausland	1.706
Summe			133.970

Abbildung 16: Liste aller Schüler*innen Austausch im Jahr 2019 und die jeweils verursachten CO₂-Äquivalente.

3.4 Emissionen für Schulweg Lehrer*innen

Bei den Lehrer*innen lag die Teilnahmequote an der Umfrage bei 20%. Aufgrund des relativ geringen Rücklaufs sind die getroffenen Analysen mit Vorbehalt zu versehen.

Die auf den Fragebögen angegebene Verkehrsmittelwahl nach Jahreszeit ist in Abbildung 17 dargestellt. Von Frühjahr bis Herbst kommen über 56 % der Lehrer*innen mit dem Fahrrad oder dem E-Bike zur Schule. In den Wintermonaten sind es 50 %. Dabei beträgt die durchschnittliche Weglänge rund 10,6 km (einfacher Weg). Insgesamt legen die Lehrer*innen übers Jahr hinweg allein mit dem Zweirad eine Strecke von 74.000 km zurück. Das entspricht ungefähr 24 % der Gesamtdistanz, die alle Lehrer*innen mit allen Verkehrsmitteln zurücklegen (siehe Abbildung 18).

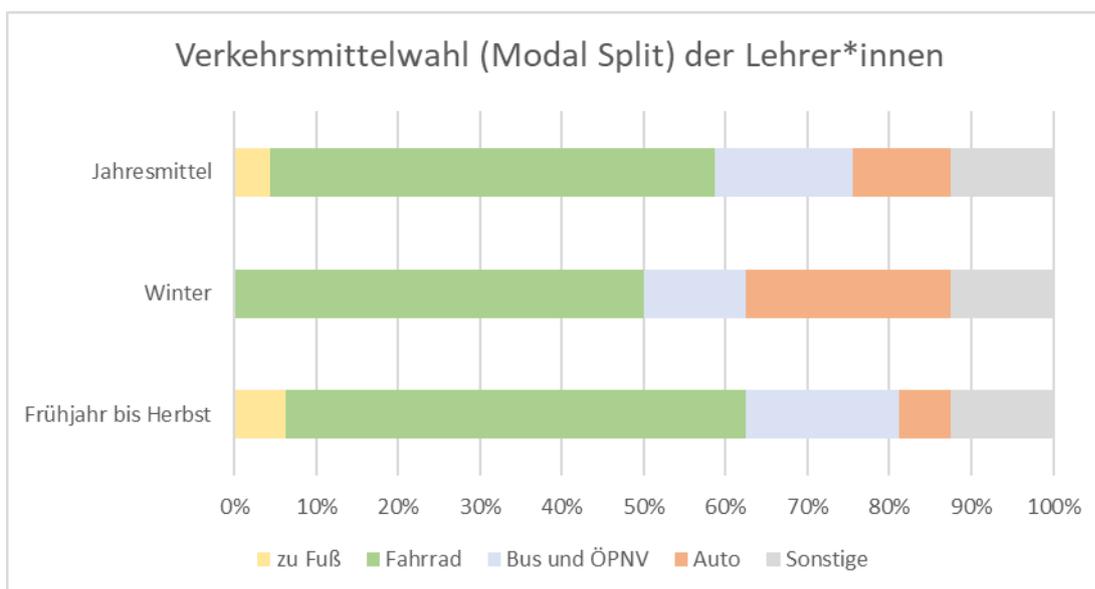


Abbildung 17: Verkehrsmittelwahl (Modal Split) der Lehrer*innen

Abbildung 18 zeigt die Berechnung der schulwegbedingten CO₂-Emissionen aller Lehrer*innen der Freien Waldorfschule Freiburg St. Georgen. Bus und Bahn (ÖPNV) spielen als Transportmittel für die Lehrer*innen eine wichtige Rolle. Über die Hälfte der jährlich gefahrenen Kilometer werden mit diesen Verkehrsmitteln zurückgelegt. Hingegen werden weniger als 20 % der zurückgelegten Kilometer übers Jahr hinweg mit dem Auto gefahren. An den gesamten CO₂-Emissionen der Fahrten hin und von der Schule ist das Auto mit 7,1 Tonnen CO₂ (43 %) beteiligt, auf die öffentlichen Verkehrsmittel (inklusive Bus) entfallen 8,8 Tonnen (53 %).

	Gesamtstrecke in km		Emissionsfaktor	Emissionen
	für Teilnehmer	für gesamte Schule	in gCO ₂ /km	in kg CO ₂
zu Fuß / Fahrrad	125	625	0	0 kg CO ₂
Fahrrad	14.825	74.125	0	0 kg CO ₂
Bus	2.880	14.400	32	461 kg CO ₂
andere ÖPNV (S-Bahn/Bahn,...)	30.380	151.900	58	8.810 kg CO ₂
E-Bike / E-Scooter	3.024	15.120	4	60 kg CO ₂
Moped / Motorrad	0	0	60	0 kg CO ₂
Auto (Kleinwagen)	0	0	120	0 kg CO ₂
Auto (Mittelklasse)	9.750	48.750	147	7.166 kg CO ₂
Auto (Oberklasse/SUV)	0	0	190	0 kg CO ₂
Sonstige	0	0		
	Gesamtstrecke Schulweg:	304.920		16.498 kg CO₂

Abbildung 18: Berechnung der schulwegbedingten CO₂-Emissionen aller Lehrer*innen der Waldorfschule Freiburg St. Georgen

3.5 Zusammenfassung Emissionen Verkehr

Aus den weiter oben dargestellten Teilergebnissen ergibt sich die Gesamtbilanz für die Verkehrsemissionen, die in Abbildung 19 dargestellt ist. Insgesamt entstehen bei den täglichen Schulwegen der Lehrer*innen und Schüler*innen sowie bei den Klassenfahrten und den Flügen, die dem Schüleraustausch von Waldorfschülern zuzurechnen sind, rund 276,3 Tonnen CO₂ pro Jahr.

Verkehr & Mobilität

Schulweg Schüler*innen	65.731 kg CO ₂
Schulweg Lehrer*innen	16.498 kg CO ₂
Klassenfahrten	60.146 kg CO ₂
Schüleraustausch	133.970 kg CO ₂
Zwischenbilanz Verkehr & Mobilität	276.345 kg CO₂

Abbildung 19: Zusammenfassung der CO₂-Emissionen für den Bereich Verkehr

4 Ernährung & Beschaffung

4.1 Emissionen Schulkantine

4.1.1 Situation der Essensversorgung an der Schule

In der Mensa der Waldorfschule werden täglich etwa 170 Essen ausgegeben. Ein Fleischgericht gibt es ein bis zweimal innerhalb von 14 Tagen. Jeden Tag gibt es neben dem vegetarischen Gericht eine vegane Variante, die durchschnittlich von 10 Schüler*innen angenommen wird.

Wird ein Fleischgericht und ein vegetarisches Gericht angeboten, entscheidet sich etwa die Hälfte der Schüler*innen für das vegetarische Gericht.

Die Leiterin der Mensa-Küche, Barbara Horwedel, ist von der Planetary Health Diet überzeugt. 2019 erarbeiteten 37 Autor*innen – darunter Klimaforscher*innen und Ernährungswissenschaftler*innen aus 16 Nationen – diese Diät. Der Speiseplan, der zur Rettung von Menschen und Erde beitragen soll, beruht auf den Grundpfeilern Gemüse, Vollkornprodukte und Hülsenfrüchte. Angeregt durch diese Empfehlungen, räumte die Leiterin der Mensa den Hülsenfrüchten einen festen Platz im Speiseplan ein.²

Saisonale und regionale Zutaten spielen ebenfalls eine wichtige Rolle. Schon seit langem hat die Schule feste Lieferant*innen aus der Region. Bei Saisonalität ist die Umstellung im Gange. Seit dem Winter 2019/2020 wird versucht nur noch Wintergemüse zu verarbeiten.

Die stärkere saisonale Ausrichtung des Speiseplans hat dazu geführt, dass in den Wintermonaten Dezember und Januar der Pfannkuchen von der Speisekarte verschwunden ist. Kaum bekannt ist, dass Eier, die ja reichlich im Pfannkuchen verarbeitet werden, ein saisonales Produkt sind. Ohne künstliche Beleuchtung legen Hühner im Winter normalerweise keine oder sehr wenig Eier, weil es wenig natürliches Tageslicht gibt. In den Legebatterien brennt das Licht allerdings Tag und Nacht, um die Eierproduktion aufrecht zu erhalten. In der artgerechten Tierhaltung ist künstliche Beleuchtung nur in begrenztem Maße zulässig.

Gesunde Ernährung spielt auch im Unterricht an der Waldorfschule eine Rolle. Jeweils die siebte Klasse macht ein einwöchiges Küchenpraktikum. Abbildung 20 zeigt die Essensausgabe durch zwei Schülerinnen.

² Barbara Horwedel: Die enkeltaugliche Küche, April 2020



Abbildung 20: Essensausgabe (Bildquelle: Zeitschrift Erziehungskunst „Die enkeltaugliche Schulküche“)

4.1.2 Welche Emissionen sind mit der Herstellung der Speisen verbunden?

Mit den Schüler*innen wurden anhand von Arbeitsblättern die klimarelevanten Emissionen von fünf unterschiedlichen Gerichten aus der Liste der zehn beliebtesten Gerichte der Schulmensa erarbeitet. Die ermittelten Werte wurden anschließend verwendet, um eine Abschätzung der Gesamtemissionen im Bereich Ernährung durchzuführen.

Abbildung 21 zeigt beispielhaft die Berechnung der CO₂-Bilanz für ein Mensagericht mit Hilfe des entwickelten Excel-Tools.

CO₂-Bilanz Gericht 3: Spinat-Lasagne

Zutat	Menge in g	Bioprodukt?	Lokales Produkt	Emissionen pro g in g CO ₂ eq	Emissionen pro Portion in g CO ₂ eq	Nährwert (kcal)
Zutat 1: Teigwaren	60 g	Ja	Ja	0,69 gCO ₂	42 gCO ₂	230 kcal
Zutat 2: Gemüse - Tiefkühlprodukt	60 g	Ja	Ja	0,34 gCO ₂	21 gCO ₂	49 kcal
Zutat 3: Gemüse - Konserven	70 g	kA	Nein	0,51 gCO ₂	36 gCO ₂	57 kcal
Zutat 4: Käse	10 g	Ja	Nein	7,95 gCO ₂	80 gCO ₂	35 kcal
Zutat 5: Butter	12 g	Ja	kA	22,09 gCO ₂	265 gCO ₂	86 kcal
Zutat 6: Milch	120 g	Ja	kA	0,88 gCO ₂	106 gCO ₂	56 kcal
					548 gCO₂	513 kcal

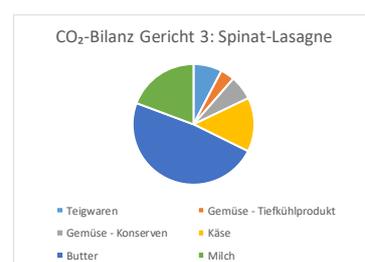


Abbildung 21: Berechnung der CO₂-Bilanz für ein Mensagericht mit Hilfe des entwickelten Excel-Tools.

Die CO₂-Emissionen der fünf ausgewählten Gerichte sind in Abbildung 22 dargestellt. Aus dem Durchschnittswert der 5 Gerichte wurden dann die Gesamtemissionen ermittelt, die in der Mensa bei durchschnittlich 170 ausgegebenen Mahlzeiten pro Tag entstehen. Dabei wurde davon ausgegangen, dass diese Gerichte gleich gut angenommen werden. Der Wärme- und Strombedarf, der bei der Herstellung in der Küche der Waldorfschule entsteht, wurde an dieser Stelle nicht berücksichtigt. Die hiermit zusammenhängenden Emissionen sind jedoch im Strom- und Wärmebedarf der Schule enthalten.

	Name des Gerichtes	Verkaufte Portionen	Emissionen pro Portion in g CO _{2äq}	Gesamte Emissionen in kg CO _{2äq}	Nährwert (kcal)
Gericht 1	Pfannkuchen	1	456 g	0,46 kgCO ₂	528 kcal
Gericht 2	Veggie-Burger	1	407 g	0,41 kgCO ₂	592 kcal
Gericht 3	Spinat-Lasagne	1	548 g	0,55 kgCO ₂	513 kcal
Gericht 4	Buchteln	1	761 g	0,76 kgCO ₂	830 kcal
Gericht 5	Pizza	1	325 g	0,32 kgCO ₂	583 kcal
Summe:				2,50 kgCO₂	
Durchschnittliche Emissionen pro Gericht				0,50 kgCO₂	

Abbildung 22: Berechnung der durchschnittlichen Treibhausgasemissionen für die Schulkantine.

Eine grafische Darstellung der Treibhausgasemissionen der einzelnen Gerichte ist in Abbildung 23 zu sehen.

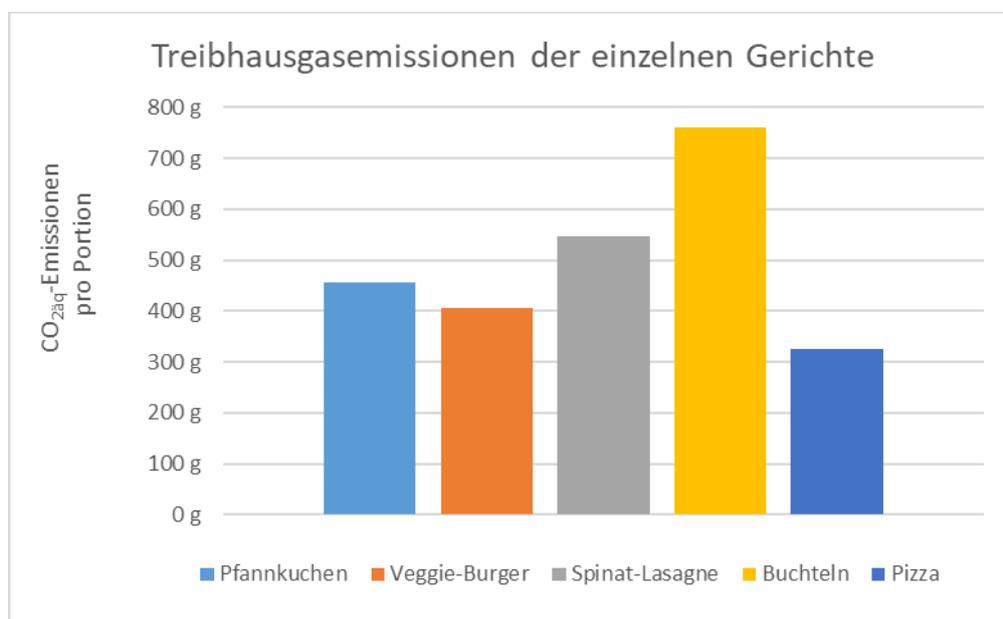


Abbildung 23: Grafische Darstellung der Treibhausgasemissionen der einzelnen Gerichte.

Bei durchschnittlichen Emissionen von 0,5kg CO_{2äq} pro Gericht und 170 servierten Mahlzeiten pro Tag sowie 200 Öffnungstagen der Kantine pro Jahr, ergeben sich für diesen Bereich Gesamtemissionen in Höhe von 17 Tonnen CO_{2äq} pro Jahr.

4.2 Emissionen Beschaffung

Im Bereich Beschaffung wird beispielhaft der Papierverbrauch berücksichtigt, der naturgemäß in Schulen einen wesentlichen Verbrauchsartikel ausmacht. Hierbei wird nur das Papier erfasst, das zentral von der der Schulverwaltung eingekauft wird.

Die Emissionen von Investitionsgütern, die zur Ausstattung von Schulen unerlässlich sind und die von anderen Verbrauchsgütern, wie beispielsweise Reinigungsmittel, Seife, Kreide usw. werden wegen der Nichtverfügbarkeit von Daten bzw. des erwartungsgemäß geringen Anteils an den Gesamtemissionen nicht berücksichtigt.

4.2.1 Papierverbrauch der Schule

Ein wesentliches Verbrauchsprodukt an der Schule ist Papier. Den größten Einkaufsposten stellt Papier für den Kopierer dar. Die Schulsekretärin kauft pro Jahr rund 800.000 Blatt DIN A4 sowie 35.000 Blatt DIN A3 für die Waldorfschule ein. Der Einfachheit halber wurden die 35.000 Blatt A3-Papier als 70.000 Blatt A4-Papier erfasst. Mit einer Papierstärke von 80g/m² entspricht das Kopierpapier zusammen einer Papiermenge von 4.350kg.

4.2.2 Abschätzung der Emission



Kopierpapier (A4)

	Menge	x	Einheit	÷	Zeitraum
Eingabe Papierverbrauch	870.000	x	Blatt DIN A4 (80g/m ²)	÷	pro Schuljahr
Umrechnung in kg/Jahr	= 4.350	kg	Papier pro Schuljahr		
	= 4.350	kg	Papier pro Schuljahr		
Recyclingpapier oder Frischfaserpapier			Recyclingpapier		0,886 kg CO ₂ /kg Papier
Jährliche CO ₂ -Emissionen			3.854		kg CO ₂ /Schuljahr

Abbildung 24: Berechnung der CO₂-Emissionen für den Papierverbrauch an der Waldorfschule

Mithilfe des Emissionswertes von 0,886 kg CO₂ pro kg Recyclingpapier können aus der Verbrauchsmenge des Kopierpapiers die CO₂-Emission errechnet werden. Durch den Verbrauch von 870.000 Blatt DIN A4 Papier entstehen rund 3,9 Tonnen CO₂.

Für Klopapier konnten keine Verbrauchswerte ermittelt werden. Der Verbrauch wurde daher anhand von Verbrauchswerten pro Schüler*in von anderen Schulen mit 130 kg abgeschätzt. Da pro kg Recyclingpapier rund 0,89 kg CO₂-Emissionen entstehen, errechnet sich aus dem Verbrauch von 130 kg Klopapier pro Jahr CO₂-Emissionen in Höhe von 115 kg.

So ergibt sich für den Bereich Beschaffung eine Summe von rund 4 Tonnen CO₂. Eine Verteilung der Emissionen auf die verschiedenen Papierarten ist in Abbildung 25 zu sehen.

Zusammenfassung Papierverbrauch pro Schuljahr

Kopierpapier (A4)	4.350 kg Recyclingpapier	3.854 kg CO ₂
Papierhandtücher	0 kg Recyclingpapier	0 kg CO ₂
Klopapier	130 kg Recyclingpapier	115 kg CO ₂
Sonstiges	0 kg Recyclingpapier	0 kg CO ₂
		3.969 kg CO₂

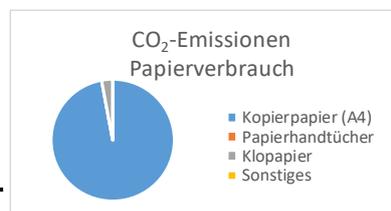


Abbildung 25: Berechnung der CO₂-Emissionen für den Papierverbrauch

5 Zusammenfassung

5.1 Gesamtemissionen Waldorfschule

Eine Zusammenfassung der jährlichen CO₂-Emissionen, die an der Freien Waldorfschule Freiburg, St. Georgen in den Bereichen Gebäudeenergie & Erneuerbare Energien, Verkehr & Mobilität und Ernährung & Beschaffung anfallen, ist in Abbildung 26 zu sehen.

Insgesamt werden durch den Schulbetrieb an der Waldorfschule ca. 451 Tonnen CO₂ pro Jahr verursacht.

Ergebnis CO₂-Bilanz für Freie Waldorfschule Freiburg St. Georgen

Gebäudeenergie & Erneuerbare Energien		Anteil in %
Wärmebedarf	100.675 kg CO ₂	
Stromverbrauch	67.581 kg CO ₂	
bestehende PV-Anlage	-14.221 kg CO ₂	
Zwischenbilanz Gebäudeenergie und EE:	154.035 kg CO₂	34%
Verkehr & Mobilität		
Schulweg Schüler*innen	65.731 kg CO ₂	
Schulweg Lehrer*innen	16.498 kg CO ₂	
Klassenfahrten	60.146 kg CO ₂	
Schüleraustausch	133.970 kg CO ₂	
Zwischenbilanz Verkehr & Mobilität	276.345 kg CO₂	61%
Ernährung & Beschaffung		
Schulkantine	16.986 kg CO ₂	
Beschaffung / Papier	3.969 kg CO ₂	
Zwischenbilanz Ernährung & Beschaffung	20.955 kg CO₂	5%
Gesamtemissionen	451.335 kg CO₂	
Gesamtemissionen pro Schüler*in	722 kg CO₂	

Abbildung 26: Zusammenfassung der jährlichen CO₂-Emissionen, die an der Waldorfschule in den Bereichen Gebäudeenergie & Erneuerbare Energien, Verkehr & Mobilität und Ernährung & Beschaffung anfallen.

Eine grafische Aufteilung der jährlichen CO₂-Emissionen ist in Abbildung 27 zu sehen. Knapp zwei Drittel aller CO₂-Emissionen entfallen auf den Bereich Verkehr und Mobilität. Im Bereich Heizung und Stromverbrauch entstehen 34 % der CO₂-Emissionen.

Allein der Schüler*innen-Austausch führt zu jährlichen Emissionen in Höhe von 134 Tonnen CO₂ und ist damit nur unwesentlich weniger klimabelastend als die gesamte Energieversorgung der Schule. Interessant ist auch, dass die Klassenfahrten und der Schüler*innen-Austausch etwa drei Mal so viel Emissionen verursachen wie die täglichen Schulwege aller Schüler*innen.

Eine Gutschrift erhält die Waldorfschule durch den erzeugten PV-Strom. Die ins öffentliche Netz eingespeiste Solarproduktion in Höhe von ca. 35.000 Kilowattstunden führt zu einer Vermeidung von 14 Tonnen CO₂ pro Jahr.

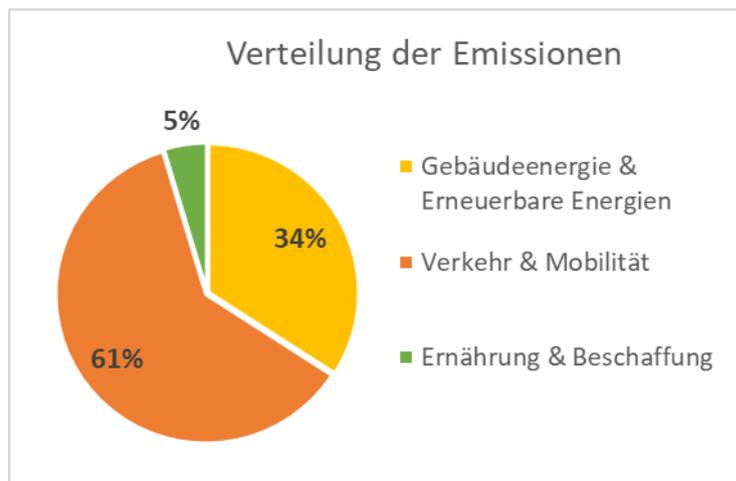


Abbildung 27: Aufteilung der jährlichen CO₂-Emissionen die an der Waldorfschule anfallen.

5.2 Emissionen pro Schüler*in

Die Zahl der Schüler*innen an der Freien Waldorfschule Freiburg St. Georgen beträgt 625. Zählt man die verschiedenen Emissionsbereiche zusammen und berechnet sie pro Schüler*in, so ergibt sich ein Wert von 722 kg CO₂ und Jahr.

5.3 Einordnung der Schulemissionen zu Gesamtemissionen Gesellschaft

Die durchschnittlichen CO_{2äq}-Emissionen in Deutschland betragen pro Person etwa 9 Tonnen pro Jahr. Hierbei sind die Methanemissionen und die Wirkung anderer Klimagase bereits eingerechnet. In diesem Wert sind alle Klimagasemissionen enthalten, die innerhalb der Landesgrenzen von Deutschland anfallen. Also auch alle Emissionen, die in der Industrie, in den Gewerbetrieben, der Landwirtschaft, den sozialen Einrichtungen - vom Theater über das Wasserwerk, die Schule bis zum Krankenhaus - entstehen. In der Waldorfschule fallen also pro Schüler*in etwa eine dreiviertel Tonne CO_{2äq} an, die im oben angegebenen Durchschnittswert von 9 Tonnen pro Person enthalten ist.

5.4 Wie kann Klimaneutralität gelingen?

Klimaneutralität bedeutet, dass ein Land oder ein Betrieb oder eine Schule kein CO₂ oder andere Klimagase mehr verursacht. Letztlich bedeutet dies, dass nahezu keine fossilen Energieträger mehr verbrannt werden dürfen, sondern nur noch erneuerbare Energiequellen eingesetzt werden. Die restlichen, geringfügigen CO₂-Emissionen können durch Bepflanzung und Kohlenstoffbindung oder durch CO₂-Abscheidung und Einspeicherung kompensiert werden. Ebenso müssen die Emissionen anderer Klimagase entsprechend reduziert werden.

Um das gesellschaftliche Ziel der Klimaneutralität zu erreichen, müssen alle Haushalte, alle Industriebetriebe, alle Verwaltungen und alle Schulen versuchen klimaneutral zu werden. Entsprechend müssen auch die 722 Tonnen CO₂-Emissionen, die dem Schulbetrieb der Waldorfschule zugerechnet werden können, bis zum Ende des Jahrzehnts auf bilanziell 0 reduziert werden.

Kann das an der Waldorfschule gelingen? Durch Energie-, Wasser- und Stromeinsparung lassen sich die Emissionen zwar noch reduzieren. Die Schule verfügt jedoch schon über ein sehr effizientes

Blockheizkraftwerk und eine moderne Heizungssteuerung. Gleichwohl können Verbesserungen erzielt werden, indem der Betrieb des Blockheizkraftwerks optimiert wird und Schwachstellen und Wärmebrücken am Gebäude gezielt beseitigt werden.

Die Waldorfschule verfügt über ein erhebliches Flächenpotential, das für die Stromerzeugung mit Hilfe der PV-Technologie geeignet erscheint. Sollte es keine statischen Probleme mit dem Dach auf dem Hauptgebäude geben, so könnte durch die PV-Stromerzeugung ein deutlicher Stromüberschuss erzeugt werden. Zusammen mit dem BHKW könnte die PV-Anlage etwa doppelt so viel leisten wie die Schule an Strom verbraucht. Dies kann jedoch nur dann gelingen, wenn einerseits die vorhandenen Dachflächen so weit wie möglich genutzt werden und zudem der Stromverbrauch an der Schule durch den Einsatz effizienterer Technologien noch weiter reduziert wird.

Im Bereich Ernährung sind nur geringe Reduktionspotentiale vorhanden, weil die Küche schon weitestgehend auf vegetarische Kost umgestellt hat und hauptsächlich biologische Produkte aus der Region verarbeitet und dabei gleichzeitig auf saisonale Aspekte achtet.

Auch der Verkehrsbereich kann CO₂-ärmer werden, wenn noch mehr Lehrer*innen und Schüler*innen klimafreundlich zu Fuß oder Rad zur Schule kommen und für die nicht anders zu bewältigenden Fahrten Fahrzeuge genutzt werden, die anstatt mit Benzin oder Diesel mit Strom aus erneuerbaren Energien angetrieben werden. Dies setzt jedoch voraus, dass in einem erheblichen Umfang zusätzliche regenerative Energiequellen erschlossen werden. Wie in Kapitel 1.7 auf Seite 10 erläutert, führt der Bezug von Ökostrom hingegen nicht zu einer CO₂-Reduktion.

Das größte Problem stellen die Schüleraustausche und die Klassenfahrten dar. Hier sollten in Zukunft die hohen CO₂-Emissionen der Langstreckenflüge in die Entscheidung über den Ort des Schüleraustauschs und das Ziel der Klassenfahrten einbezogen werden. Eine Kompensation der CO₂-Emissionen durch bestehende Kompensationsportale wie z.B. „atmosfair“, „myclimate“ oder direkt bei der Fluggesellschaft (z.B. Lufthansa) können den Schaden, der durch das Fliegen verursacht wird, nicht in vollem Umfang ausgleichen. Einen Hintergrund zur Problematik von Kompensationsmaßnahmen findet sich in Kapitel 1.8 auf Seite 11. An erster Stelle sollte immer das Vermeiden von CO₂ stehen.

Eine genauere Analyse der Handlungsmöglichkeiten und ihrer Wirkungen werden wir im nächsten Schritt des Projektes vornehmen: mit der Erstellung eines **Klimaschutzkonzeptes** für die Schule (Sammlung von Ideen, Bewertung von Maßnahmen und Kosten-Nutzen-Analyse von Maßnahmen, Priorisierung) soll der Weg zu einem klimaneutralen Schulbetrieb aufgezeigt werden.

6 Anhang

6.1 Fragebogen Verkehr



Verkehrsbefragung an der Waldorfschule Freiburg St. Georgen

Im Rahmen des Projektes Schools4Future machen wir (Klasse 11a) eine Verkehrsbefragung um die CO₂-Bilanz der Schule zu ermitteln. Wir bitten um Ihre / deine Unterstützung durch Ausfüllen des Fragebogens. (Dauer: 1-2 Minuten)

*** Erforderlich**

In welcher Rolle sind Sie / bist du an der Schule? *

- Lehrerin oder Lehrer
- Schülerin oder Schüler

Wie weit ist es von Ihrer / deiner Haustür bis zum Schulgelände? (Angabe in km) *

Meine Antwort _____

Hauptverkehrsmittel im Frühjahr, Sommer und Herbst: *

- zu Fuß
- Fahrrad
- Bus
- andere ÖPNV (S-Bahn/Bahn,...)
- E-Bike / E-Scooter
- Moped / Motorrad
- Auto (Kleinwagen)
- Auto (Mittelklasse)
- Auto (Oberklasse/SUV)
- Sonstige

Hauptverkehrsmittel im Winter: *

- zu Fuß
- Fahrrad
- Bus
- andere ÖPNV (S-Bahn/Bahn,...)
- E-Bike / E-Scooter
- Moped / Motorrad
- Auto (Kleinwagen)
- Auto (Mittelklasse)
- Auto (Oberklasse/SUV)
- Sonstige

Zusätzliche Anmerkungen zur Verkehrsmittelwahl:

Meine Antwort _____

Dauer des täglichen Schulweges? (Angabe in Minuten)

Meine Antwort _____

In welchem Ort oder Stadtteil wohnen Sie / wohnst Du?

Meine Antwort _____

Geschlecht

- männlich
- weiblich
- keine Angabe / divers

Zwei weitere Fragen für Schülerinnen und Schüler:

In welche Klasse gehst Du?

Meine Antwort _____

Wie alt bist du?

Meine Antwort _____

Senden

7 Literatur

BISKO-Bilanzierungs-Systematik Kommunal

https://www.ifeu.de/wp-content/uploads/BISKO_Methodenpapier_kurz_ifeu_Nov19.pdf

Gemeinwohlbericht für die Freie Waldorfschule Freiburg, St.Georgen aus dem Jahr 2018

Horwedel, Barbara: Die enkeltaugliche Küche, in: Erziehungskunst, April 2020

Öko-Institut: Treibhausgasemissionen durch Erzeugung und Verarbeitung von Lebensmitteln

<https://www.oeko.de/oekodoc/328/2007-011-de.pdf>

Öko-Institut: Endenergiebezogene Gesamtemissionen für Treibhausgase aus fossilen Energieträgern unter Einbeziehung der Bereitstellungsvorketten

http://iinas.org/tl_files/iinas/downloads/GEMIS/2007_thg_fossil_BGW.pdf

UBA: Vergleich der durchschnittlichen Emissionen einzelner Verkehrsmittel im Personenverkehr

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/366/bilder/dateien/vergleich_der_durchschnittlichen_emissionen_einzelner_verkehrsmittel_im_personenverkehr_bezugsjahr_2018_tabelle.pdf

Umweltbundesamt 2020: Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 -2019, Reihe Climate Change 13/2020

Wuppertal Institut: Umweltbegleitforschung für PKW und leichte Nutzfahrzeuge: Auswahl der Vergleichsfahrzeuge

https://wupperinst.org/uploads/tx_wupperinst/Elektromobilitaet_TB_Vergleichsfahrzeuge.pdf

Kompensationsportale:

<https://www.atmosfair.de/de/>

<https://de.myclimate.org/de/>

Schools4Future

Diese CO₂-Bilanz der Freien Waldorfschule Freiburg St. Georgen wurde im Rahmen des Projektes Schools4Future erstellt. Schools4Future ist ein bundesweites Pilot-Projekt zur Umsetzung von klimaneutralen Schulen mit der Laufzeit 2020-2023. Das Projekt wird durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördert.

Aktuelle Informationen zum Projekt finden sich auf www.schools4future.de



Dr. Sebastian Albert-Seifried

Dieter Seifried

Büro Ö-quadrat GmbH
Turnseestraße 44
79102 Freiburg

Tel.: 0761 - 7077 3279

Fax: 0761 - 7079 903

E-Mail: sas@oe2.de

www.oe2.de

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Projektpartner:



Oliver Wagner

Lena Tholen

Lotte Nawothnig

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH
Döppersberg 19
42103 Wuppertal

www.wupperinst.org