



2022



Bild 1 Quelle: christian radicke

CO2 Emissionen der Sportschifffahrt auf dem Ryck in Greifswald

Bericht zu einer Befragung

RADICKE, CHRISTIAN

Greifswalder Yachtclub e.V.
Yachtweg 4
Greifswald
Mail: radicke.hgw@t-online.de



Inhalt

Zusammenfassung.....	1
Ausgangslage	2
Bewertung der Ergebnisse des maritimen Klimaschutzkonzeptes	3
Befragung	3
Ergebnisse	4
Basisdaten aus der Befragung	4
Abschätzung der Emissionen.....	6
Alternative Kraftstoffe C.A.R.E Diesel	7
Motorwechsel	7
Schlussfolgerungen und Empfehlungen.....	8
Literaturverzeichnis	9

Zusammenfassung

Eine Umfrage unter Greifswalder Wassersportlern liefert die Datenbasis für eine qualifizierte Schätzung von Kraftstoffverbrauch und Emissionen für Fahrten auf dem Ryck. Die Abschätzung berücksichtigt die besonderen Bedingungen des Bootsbetriebes und liefert plausible Resultate. Die Ergebnisse sind signifikant geringer als die Werte im „Maritimen Klimaschutzkonzept“ der Stadt Greifswald (1).



Ausgangslage

Die Universitäts- und Hansestadt Greifswald (UHGW) arbeitet an einer Reduktion der CO₂-Emissionen für die gesamte Stadt (1). Bestandteil des Planes ist das Klimaschutz-Teilkonzept „Maritime Aspekte der Greifswalder Klimaschutzaktivitäten“ (2). Ein wesentlicher inhaltlicher Baustein des maritimen Konzeptes ist eine Tabelle mit den Energieverbräuchen und geschätzten CO₂ Emissionen der

Energieverbrauch und CO ₂ -Emissionen Schiffe und Boote			
Schiffstypen	Anzahl	kWh/Jahr	t CO ₂ /Jahr
Traditionsschiffe	56	221.032	58,57
Fähre	1	101.675	26,95
Yachten und Boote	792	3.569.867	1.439,00
Fischerei	7	0	0,00
Binnenschiffe (Anläufe)	70	73.500	19,48
Küstenmotorschiffe (Anläufe)	61	466.474	148,81
Summe	987	4.432.548	1.692,81

Abb. 1 Emissionen der Schifffahrt aus (2)

Schiffstypen pro Jahr. Das Teilkonzept enthält wenig Hinweise, wie die Zahlen zu Leistung und CO₂ ermittelt wurden (einzig ein Verweis auf das Territorialprinzip) und liefert zu den Ergebnissen keine Berechnungen oder Abschätzungen. Ein Vergleich bzw. eine Einordnung mit anderen (nicht maritimen) Emittenten fehlt.

Ungeachtet dessen dienen diese Zahlen als Grundlage für Zielsetzungen der Verwaltung zur mittelfristigen Umrüstung der Sportboote auf Elektroantriebe (3) im Rahmen des städtischen

Klimaaktionsplanes.

In den Seglervereinen und maritimen Firmen haben die publizierten Werte der Emissionen für Yachten und Boote Unverständnis hervorgerufen. Aus der Erfahrung heraus werden die Werte als zu hoch eingeschätzt. Ziel dieser Arbeit ist es, die publizierten Emissionen des maritimen Klimaschutzkonzeptes zu hinterfragen und eine plausible Abschätzung der CO₂-Emissionen der Sportschifffahrt auf dem Ryck zu liefern. Daraus können Handlungsempfehlungen zur CO₂-Reduktion abgeleitet werden.



Bewertung der Ergebnisse des maritimen Klimaschutzkonzeptes

Für die Treibstoffe Benzin und Diesel gibt es anerkannte CO₂ Äquivalente für einen Liter verbrannten Treibstoffs (4):

Treibstoff	Diesel	Benzin
CO ₂ Äquivalent pro Liter	2,65 kg	2,37 kg

Tabelle 1 CO₂-Äquivalente aus (4)

In (2) wird der Bootsbestand im Ryck mit 792 Sportbooten angegeben und der CO₂-Ausstoß mit $1439 \frac{t}{Jahr}$ abgeschätzt.

Für eine Berechnung der dafür verbrannten Kraftstoffmenge verwenden wir das CO₂ Äquivalent von Diesel mit $2,65 \frac{kg CO_2}{Liter}$. Es ergibt sich eine theoretische Treibstoffmenge von

$\frac{1.439.000 kg}{2,65 \frac{kg}{l}} \cong 543.000 l$, die für Fahrten auf dem Ryck verbraucht werden müsste. Umgelegt auf

792 Sportboote ergibt sich ein jährlicher Durchschnittsverbrauch pro Boot von

$\frac{543000 l}{792 Boote} \cong 685 l/Boot$.

Dieser Verbrauch gilt ausschließlich für Fahrten auf dem Ryck.

Eine einfache Plausibilitätsprüfung ergibt, dass dies nicht annähernd stimmen kann. Bei einer Saisondauer von 7 Monaten müsste jedes Boot pro Monat fast 100 Liter Kraftstoff alleine für die Ryckpassagen verbrauchen. Das ist außerhalb jeder Erfahrung und kann nicht bestätigt werden.

Mangels Zugangs zur verwendeten Methodik des Klimaschutzkonzeptes versuchen wir, den Kraftstoffverbrauch der Sportboote und Yachten abzuschätzen und ein plausibles Maß der Emissionen zu erhalten.

Befragung

Die tatsächliche CO₂ Emission eines Verbrennungsmotors über einen Zeitraum (z.B. ein Jahr) ist abhängig vom Treibstoff, der mittleren genutzten Leistung und der Motorenlaufzeit. Als Basis für eine Schätzung wurden deshalb die Greifswalder Seglervereine, Marinabetreiber und deren Kunden angeschrieben und die Bootseigner/Bootsführer zu einer online-Befragung eingeladen. Die Befragung fand von Mitte Juni bis Ende Juli 2021 statt und hatte 62 Teilnehmer. Die Antworten wurden anonym erfasst. Der Fragenkomplex beinhaltete Angaben zur Motorisierung (installierte Leistung und Treibstoffart) der Boote, dem realen Durchschnittsverbrauch an Treibstoff, der Fahrtdauer auf dem Ryck und der Nutzungsfrequenz im Jahr. Dazu wurde die Akzeptanz von C.A.R.E¹ Diesel, die Notwendigkeit eines Motorwechsels in den nächsten 5 Jahren und die Bereitschaft für einen Wechsel zum Elektroantrieb erfasst. Zusätzlich konnte von den Teilnehmern ein Kommentar zur Thematik abgegeben werden.

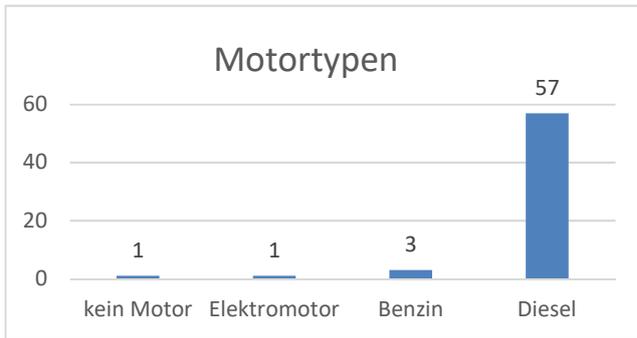
¹ C.A.R.E Diesel ist ein synthetischer Kraftstoff



Ergebnisse

Basisdaten aus der Befragung

Die Ergebnisse zeigen die Vielfalt der Sportsegelboote in Greifswald. Die Boote unterscheiden sich in



Größe, Ausrüstung und Motorisierung. Überwiegender Motortyp ist der Dieselmotor als Einbaumotor. Gänzlich ohne Motor kommt ein Boot aus, wahrscheinlich mit Liegeplatz in Wieck vor der Brücke. Ein Bootseigner mit Elektroantrieb hat sich an der Befragung beteiligt, dem Verfasser sind zwei Boote mit Elektroantrieb in Greifswald bekannt. Benzinmotore kommen meist als

Außenbordmotore für kleinere Boote bis ca. 8 m Länge zum Einsatz, die Leistung ist kleiner 10 PS. Der gemeldete Elektromotor hat 4 PS Leistung.

Die Dieselmotore haben je nach Schiffsgröße und Anspruch des Eigners ein breites Leistungsspektrum.

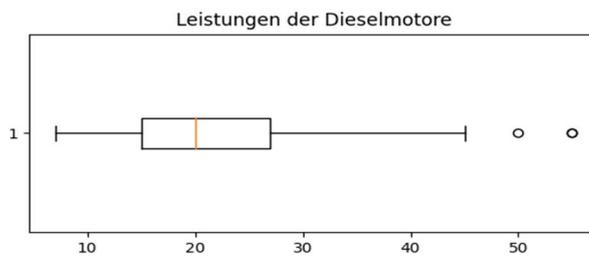


Abb. 2 Leistungen der Dieselmotore in PS

Der Boxplot zeigt einen Leistungsbereich von 7 bis über 50 PS, davon liegen 50% im Bereich von 15 bis 27 PS, der orange markierte Median (Wert in der Mitte) liegt bei 20 PS. Motorleistungen über 45 PS sind Exoten und als Ausreißer im Boxplot markiert.

Die maximale Geschwindigkeit auf dem Ryck ist auf 4 Knoten begrenzt, deshalb wird meist nur ein Bruchteil der installierten Motorleistung abgerufen, die mit geringem Verbrauch korreliert. Zur Abschätzung haben wir den realen Durchschnittsverbrauch in Liter pro Stunde erfragt.

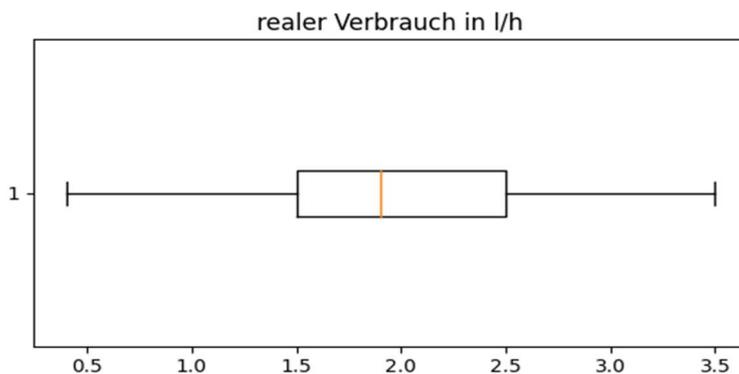
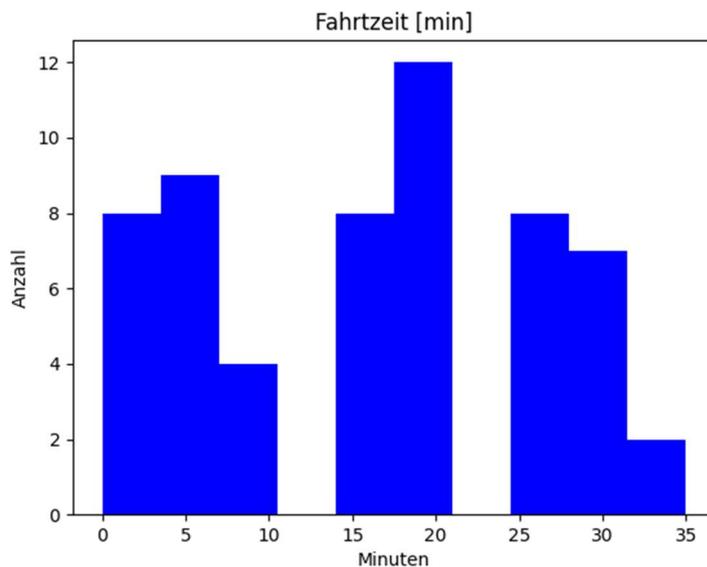


Abb. 3 reale Durchschnittsverbräuche in Liter pro Stunde



Es zeigt sich – entgegen der großen Spannweite bei den Motorleistungen - dass der Durchschnittsverbrauch im Bereich zwischen 1,5 und 2,5 Liter pro Stunde liegt, der Median liegt bei 1,9 Liter Diesel pro Stunde.

Die Lage des Liegeplatzes bestimmt die Dauer der Motorfahrt auf dem Ryck und spiegelt sich in der Befragung wider.



Es sind drei Gruppen erkennbar:

- Bis 10 Minuten Fahrtzeit benötigen Boote mit Liegeplatz vor der Brücke,
- 15 bis 20 Minuten können für eine Fahrt von der Marina Ladebow veranschlagt werden und
- zwischen 20 und 35 Minuten werden für Fahrten von der Marina Holzteich, vom Eisenhammer oder Liegeplatz Georgsfeld benötigt.

Abb. 4 Histogramm Fahrtzeiten (einfache Fahrt)

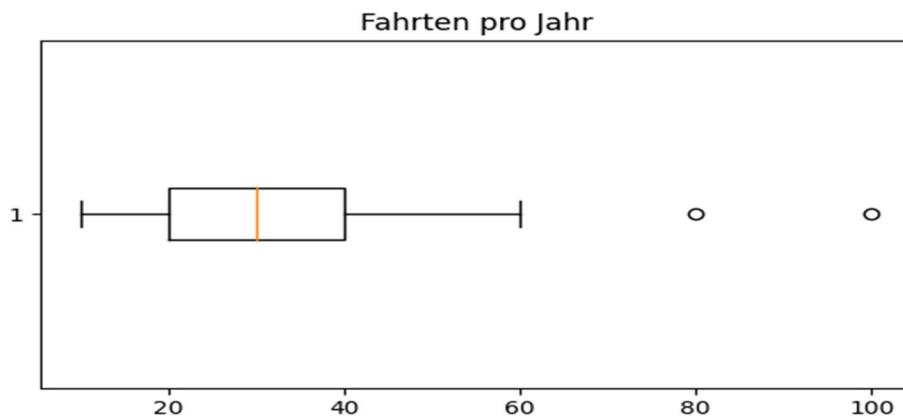


Abb. 5 Anzahl Fahrten vom Liegeplatz zur Mole

Die jährliche Nutzungsfrequenz hängt von den individuellen Bedürfnissen der Eigner ab. Die Hälfte aller Boote befährt 20- bis 40-mal im Jahr die einfache Strecke von der Mole zum Liegeplatz, der Median liegt bei 30 Fahrten. Vielfahrer (mehr als 60 Fahrten pro Jahr) sind sehr selten.



Abschätzung der Emissionen

Aus den vorliegenden Daten wird klar, dass die Abschätzung der Gesamtverbräuche an Kraftstoff und damit der Emission mit entsprechenden Unsicherheiten behaftet ist. Exakte Ergebnisse könnten nur erhalten werden, wenn die Daten von allen Booten über ein Jahr erfasst würden. Für die Abschätzung berechnen wir für die Teilnehmer nach Treibstoffart getrennt für jedes Boot den individuellen Jahresverbrauch und daraus die Emission, getrennt nach Treibstoffart

$$\begin{aligned} \text{Verbrauch(Jahr)} &= \text{Anzahl Fahrten} \cdot \text{Fahrzeit} \cdot \text{mittlerer Verbrauch} \\ \text{Emission (Jahr)} &= \text{Verbrauch(Jahr)} \cdot \text{CO}_2 \text{ Äquivalent(Treibstoff)} \end{aligned}$$

und summieren die Verbrauchs- und Emissionswerte auf. Die Ergebnisse werden aufgerundet.

	Dieselmotore	Benzinmotore
Jahresfahrzeit [h]	494	32
Jahresverbrauch [Liter]	879	58
pro Boot [Liter]	15,4	20
CO ₂ pro Boot [kg]	41	47

Tabelle 2 Verbräuche und Emissionen der Umfrageteilnehmer

Die Ergebnisse aus Tabelle 2 geben einen mittleren Jahresverbrauch von 15 bis 20 Liter Treibstoff pro Sportboot für die Ryckfahrten an. Dieser Wert erscheint empirisch plausibel.

Die Abschätzung für alle Sportboote mit Liegeplatz in Greifswald erfolgt durch Hochrechnung von den 62 Befragungsteilnehmern auf 792 Sportboote (Anzahl aus (2)). Die CO₂ Bewertung wird mit dem höheren Äquivalent für Diesel für alle vorgenommen und mit einem Sicherheitsfaktor beaufschlagt.

Als Sicherheitsfaktor wurde 3 gewählt, d.h. die Ergebnisse werden verdreifacht und aufgerundet. Damit wird ein sicheres, möglicherweise überhöhtes Ergebnis der Abschätzung erzeugt. Unsicherheiten der Datenerhebung und der Hochrechnung werden so „eingepreist“.

Die Ergebnisse werden von Kilogramm in Tonnen umgerechnet, um die Vergleichbarkeit mit den Daten des maritimen Konzeptes herzustellen (2).

	aus Befragung 62 Teilnehmer	Hochrechnung auf 792 Sportboote	Sicherheitsfaktor 3 zur Absicherung	Vergleichswert aus dem maritimen Konzept
CO ₂ [kg]	2480	31693	95077	
CO ₂ [t]	2,5	31,7	~100	1439

Tabelle 3 Schätzungen der CO₂ Emissionen der Sportboote pro Jahr

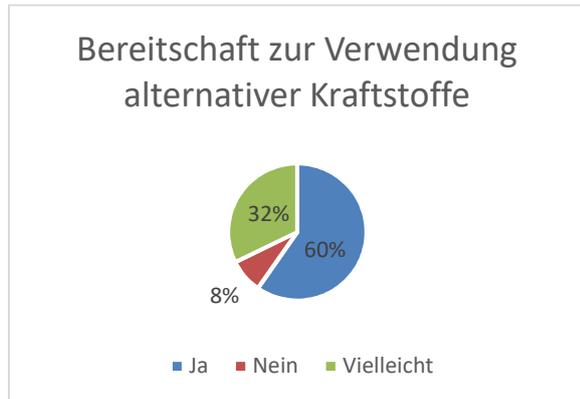
Tabelle 3 zeigt die Verhältnisse zwischen der Hochrechnung mit und ohne Sicherheitsfaktor zu den Daten aus dem maritimen Konzept. Es zeigt sich, dass die geschätzten Emissionen aus dem maritimen Konzept um den Faktor 14 bis 44 (je nach Sicherheitsfaktor) größer sind. Diese Abweichungen sind nicht im kleineren Prozentbereich, sondern in Größenordnungen und signifikant.

Nach dem Plausibilitätscheck von (2) und der eigenen Datenerhebung ist unsere Schlussfolgerung: Die Datenbasis aus dem Maritimen Konzept (2) spiegelt die tatsächlichen Emissionen vielfach überhöht wider. Daraus abgeleitete klimapolitische Ziele sind nicht fundiert begründet.



Alternative Kraftstoffe C.A.R.E Diesel

Eindeutig fielen die Ergebnisse der Befragung zur möglichen Verwendung alternativer synthetischer Kraftstoffe aus. 92% der Befragten können sich sicher (60%) oder vielleicht (32%) vorstellen, synthetische Kraftstoffe zu verwenden. Ein Teilnehmer verwendet diese bereits regelmäßig. Diese Kraftstoffe dienen als Diesel-Ersatz und werden synthetisch hergestellt, setzen also durch die Verbrennung kein zusätzliches CO₂ in die Atmosphäre frei, wie dies bei mineralischen Kraftstoffen der Fall ist. Zusätzlich haben die synthetischen Kraftstoffe die Eigenschaft, kein Wasser zu binden und



somit die Dieselpest zu vermeiden. Dieselpest tritt vorzugsweise bei Kraftstoffen mit Ethanol-Anteil und langer Verweilzeit im System auf und äußert sich in Verschlämmung und Verstopfung von Tank und Kraftstoffleitungen, was bis zum Motorausfall führen kann. Der Preis für synthetischen Diesel ist höher als herkömmlicher Bootsdiesel (2021: ca. 2,50 € pro Liter).

In Greifswald gibt es (Sommer 2021) keine Wassertankstelle mit synthetischem Diesel. Die

nächstgelegene Tankgelegenheit befindet sich in der Marina Kröslin.

Motorwechsel

Die Motoren von Segelbooten sind Hilfsmotore und werden über lange Zeiträume genutzt. Ersatzmotore werden in der Regel nur eingebaut, wenn der Bestandsmotor nicht mehr wirtschaftlich zu reparieren ist. Der Aufwand ist sehr hoch, weil nicht nur das Aggregat, sondern Lager, Getriebe und die Instrumentierung ausgetauscht werden müssen.

Von den 62 Teilnehmern haben insgesamt 4 angegeben, dass in den nächsten 5 Jahren ein Ersatz ihres Bootsmotors notwendig sein kann, 2 von 4 würden dann einen Elektroantrieb in die nähere Auswahl ziehen.

Aus den Einschätzungen der Teilnehmer zur Akzeptanz eines Elektroantriebes ergibt sich ein gemischtes Bild:

Negativ werden die technisch-physikalischen Eigenschaften von E-Antrieben bewertet:

- geringe Reichweite (für offshore Regatten muss aus Sicherheitsgründen eine Fahrt von 8 Stunden unter Maschine garantiert sein)
- hohes Gewicht
- hoher Preis, keine Subventionen wie beim E-Auto
- schlechte Umweltbilanz der Batterien (Herstellung und Entsorgung einbegriffen)
- Sicherheitsaspekte beim Batterieeinbau durch möglichen Wasserkontakt mit Kurzschluss in der Bilge

Als Vorteile von E-Antrieben werden genannt:

- kein Dieselgeruch im Boot, kein Tanken erforderlich
- Laden (mit geringer Stromstärke) in den meisten Häfen möglich
- geringe Lautstärke



- Klimaschutz (bei 100% grünem Strom)
- geringer Wartungsaufwand

Insgesamt überwiegen die Meinungen, die den E-Antrieb für Segelboote momentan nicht geeignet halten.

Es zeigt sich im Antwortbild, dass an Hilfsmotoren für Segelboote weitergehende Anforderungen gestellt werden, als eine einfache Fahrt auf dem Ryck bis zur Mole zu bewältigen. Der Antrieb muss mehrere Stunden ohne Unterbrechung verfügbar sein, ein geringes Gesamtgewicht haben, eine hohe Zuverlässigkeit zeigen und letztendlich kostengünstig sein.

Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Wir ziehen aus der Befragung und den Berechnungen folgende Schlüsse:

1. Die Unterschiede zwischen den angenommenen Emissionen des Klimaschutzkonzeptes und den durch Befragung und Hochrechnung ermittelten Werten sind außerordentlich signifikant. Es wird dringend empfohlen, die Ergebnisse aus (2) gründlich zu überprüfen und neu zu berechnen.
2. Die Abschätzung von CO₂ Emissionen von Booten und Yachten muss plausibel sein. Überhöhte, nicht nachvollziehbare Werte sind ungeeignet zur Begründung und Akzeptanz von abgeleiteten Maßnahmen für den Klimaschutz.
3. Der von uns abgeschätzte mittlere jährliche Treibstoffverbrauch eines Sportbootes auf dem Ryck beträgt zwischen 15 und 20 Liter, die zugehörige CO₂ Emission bewegt sich zwischen 45 und $60 \frac{kg}{a}$.
Zum Vergleich: ein PKW (Dieselmotor, 10.000 km Laufleistung, 7 Liter Durchschnittsverbrauch) emittiert pro Jahr ca. 1,8 Tonnen CO₂, das ist mehr als die 30-fache Emission eines Bootes.
4. Synthetische Kraftstoffe bieten eine neutrale CO₂ Bilanz und haben das Potential, die CO₂ Bilanz der Sportschiffahrt zu verbessern. Eine regionale Wassertankstelle (z.B. in Wieck am Hafenam) mit diesem Kraftstoff hätte trotz höherer Preise Akzeptanz bei den Bootsbesitzern und erspart teure Umrüstungen.
5. Konventionelle Dieselantriebe für Boote und Yachten sind ein sicheres, technisch ausgereiftes und wirtschaftliches System mit geringen Verbräuchen und Emissionen, besonders wenn die Motoren im Teillastbereich laufen.
6. Ein Wechsel der Motorisierung von Booten und Yachten auf Elektroantrieb wird in den nächsten Jahren nur in wenigen Fällen erfolgen.



Literaturverzeichnis

1. www.greifswald.de Klimaschutzkonzept der Stadt Greifswald. [Online] [Zitat vom: 12. Oktober 2021.] <https://www.greifswald.de/de/wirtschaft-bauen-verkehr/umwelt-und-klimaschutz/klimaschutz/>.
2. www.greifswald.de Maritimes Klimaschutzkonzept. [Online] [Zitat vom: 12. Oktober 2021.] https://www.greifswald.de/de/.galleries/Amt-60-Stadtbauamt/60-Umweltamt/Lesefassung_Kstk_UHGW_Maritim.pdf.
3. *Greifswalds Yachten sollen bis 2030 klimaneutral werden.* Oberdörfer, E. 08.06.2021, Greifswald : OSTSEE Zeitung, Regionalausgabe Greifswald, 2021.
4. August, Kristine. „Wie viel CO2 steckt in einem Liter Benzin?“. [Online] 08. Januar 2020. <https://www.helmholtz.de/erde-und-umwelt/wie-viel-co2-steckt-in-einem-liter-benzin/>.