

DIE CO₂-EMISSIONEN DER ELEKTRO-RADFAHRER

DAS ELEKTROFAHRRAD ENTWICKELT SICH ZUM VERKAUFSSCHLAGER, DOCH DIE NUTZUNG VON STROM WIRD WEITERHIN OFT ALS NACHTEIL AUSGELEGT, WENN ES UM DEN KLIMASCHUTZ GEHT. DOCH WIE STEHT ES TATSÄCHLICH UM DIE CO₂-EMISSIONEN IM VERGLEICH ZUM NORMALEN FAHRRAD?

In der großen politischen Debatte um Klimaschutz in der Mobilität ist derzeit eigentlich nur der Elektro-PKW mit vier Rädern von Bedeutung. Hier wird emsig geforscht und gefördert. Ob etwas bei diesen Aktivitäten herauskommt, scheint dabei gar nicht so wichtig zu sein. Hauptsache man zeigt Aktionismus und den Willen zur sauberen „Ökomobilität“. Und während die Bahn mit dem dreckigsten Strom fahren darf, ist man sich auf allen Seiten der politischen Debatte, von den Braunkohlekraftwerksbetreibern bis zu den Ökofundis einig: Elektromobilität auf vier, drei oder zwei Gummirädern ist nur mit Erneuerbaren Energien ein Beitrag zum Klimaschutz. Wer elektrisch fährt, muss „grün tanken“. Womit der Bäcker seine Brötchen bäckt oder der Bauer sein Getreide trocknet, spielt eher keine Rolle.

Radikale Zweirad-Puristen vertreten manchmal die Auffassung, dass elektrische Fahrräder eine Form von Betrug seien, weil man dort für die zügige Fahrt gar keinen durchtrainierten Körper mehr braucht und sich die Kilometer auch nicht

mehr „im Schweiß seines Angesichtes“ erarbeiten muss. Nicht ganz so extrem, aber dafür deutlich öfter zu hören, ist der Vorwurf, dass Elektrofahräder nicht gut für den Klimaschutz wären, weil die ja mit Strom fahren.

Unantastbarer gesellschaftlicher Konsens ist auf jeden Fall, dass das klassische Radfahren die klimafreundlichste, ja die einzige CO₂-neutrale Form der Mobilität ist; wenn man vom Laufen absieht.

Mythen oder Fakten?

Elektromobilität mit zwei Rädern

Das elektrische Zweirad hat die Welt bereits erobert. Alleine in China soll der Bestand bei über 150 Millionen liegen. Doch auch in Deutschland sind die Verkaufszahlen extrem gestiegen. Für das Verkaufsjahr 2011 liegt die Schätzung der Absatzzahlen bei rund 300.000 Fahrrädern mit elektrischer Unterstützung.

Man unterscheidet hier grob in zwei Kategorien: die mit Motorrad- und die mit Fahrrad-Abstammung. Wir werden in diesem Beitrag nur die elektrisch unterstützten Fahrräder genauer betrachten,

von denen es ebenfalls zwei Ausprägungen gibt.

Beide können bei Bedarf rein über Muskelkraft gefahren werden. Doch ein E-Bike kann man alternativ, ähnlich einem Motorrad, auch rein durch das Betätigen eines Kontrollgriffs beschleunigen. Es verhält sich dann letztlich identisch wie ein Motorrad, nur dass die Konstruktion deutlich leichter gehalten ist.

Auf der anderen Seite gibt es das Pedal-Elektrische-Fahrrad, kurz Pedelec. Dieses wird wie ein Fahrrad gefahren. Man tritt wie gewohnt in die Pedale. Neu ist jedoch, dass eine Elektronik die Bemühungen des Radfahrers beobachtet und je nach Wunsch mit einem gewissen Anteil elektrischer Kraft die Fahrt unterstützt. Das Pedelec ist damit eine Art Hybridfahrzeug, da es den „Biomasse-Muskelantrieb“ mit einem „Batteriestrom-E-Motor“ verbindet.

Beide Varianten sind nicht nur bei Rentnern mit Knieproblemen beliebt. Auch Berufspendler, die schnell und gleichzeitig unverschwitzt zur Arbeit gelangen wollen, als auch Bewohner hügeliger Regionen oder Städte, lernen derzeit die Vorteile des „elektrischen Dopings“ zu schätzen.

Moderne Räder bieten Akkus mit bis zu einer Kilo wattstunde Speicher und Motoren mit bis zu 500 Watt Leistung. Damit kann auch ein Normalradler ein Durchschnittstempo von 35 km/h erreichen und so selbst bei langen Pendelstrecken leichter auf ein Auto verzichten.

Geschwindigkeit hat Ihren Preis

Auch beim Fahrrad gelten die Gesetze der Physik. Wer schnell von A nach B kommen will muss Kraft aufwenden. Wer über einen steilen Berg will muss sich und sein Fahrrad „hinaufheben“.

In die Berechnungsformeln der Fahrwiderstände geht die Geschwindigkeit im Quadrat ein. Somit ist schnelles Fahren immer besonders anstrengend. Doch



Fotos: Tomi Engel

Alleine im Jahr 2011 wurden in Deutschland etwa 300.000 Pedal-Elektrische-Fahrräder (Pedelecs) verkauft. Ein modernes Modell, wie dieser Green Mover E45, kann maximal 45 km/h erreichen. Mit den neuen Lithium-Akkus kann man auf Strecken von bis zu 100 km auf elektrische Hilfe zurückgreifen. 500 Watt zusätzliche Schubleistung verhelfen zu deutlich mehr Geschwindigkeit und Fahrkomfort in hügeligen Regionen.

auch der Luftwiderstand und die Rollreibung spielen eine wichtige Rolle, was vor allem beim Fahrrad mit seinem Muskelmotor „Mensch“ deutlich zu spüren ist. Eine sehr aufrechte Sitzposition ist zwar ergonomisch und angenehm, geht aber mit hohem Kraftaufwand einher.

Grafik 1 zeigt, warum der normale Radler meist mit rund 20 km/h mobil ist. Diese Geschwindigkeit erreicht man in der Ebene bei Windstille mit einer Muskelleistung von 100 Watt. Will man deutlich schneller fahren, so steigt der Kraftaufwand rapide an. Ein möglicher Trick um dennoch schneller vorwärts zu kommen, liegt in gesteigerter Effizienz und da primär im Wechsel auf das Liegerad. Der deutlich geringere Luftwiderstand erleichtert hier spürbar die Fahrt. So werden 30 km/h bei 100 Watt möglich.

Wer selber die Fahrdynamik von Fahrrädern erforschen will, der kann sich z.B die Webseite kreuzotter.de zur Hilfe nehmen. Dort kann man die Fahrwiderstände eines Fahrrades anhand zahlreicher Parameter durchrechnen lassen.

Elektrische Unterstützung

Wer bequem und schnell mobil sein möchte, muss also auch beim Zweirad zusätzliche Kraft aufwenden. Ein E-Bike oder Pedelec bietet hier die notwendige elektrische Unterstützung.

Der Verein ExtraEnergy, mit Sitz in Tanna (Thüringen), hat nicht nur vor gut 20 Jahren das Wort Pedelec geprägt. ExtraEnergy unterzieht auch seit Jahren alle aktuellen Pedelecs aufwändigen Praxistests und vergibt eigene Prüfsiegel. Bei diesen Tests ist schnell aufgefallen, dass die Hersteller sehr unterschiedliche Betriebsstrategien für den elektrischen Hilfsmotor erdacht haben. Das ganze wird in dem Unterstützungsfaktor (AF) ausgedrückt.

Wenn der Mensch mit 50 Watt in die Pedale tritt und das Pedelec weitere 50 Watt elektrisch beisteuert, so spricht man von einem AF von 1. Bei 100 Watt Tretleistung ergibt AF 1 dann 100 Watt und AF 5 entsprechend 500 Watt elektrischen Hilfsschub. Zum Vergleich sei angemerkt, dass letzteres der Leistung eines professionellen (gedopten?) Radprofis entspricht.

Rein aus der Fahrphysik ergibt sich also, dass nur bei AF 5 (100 + 500 Watt) ein Pedelec dem Normalbürger das Reisevergnügen mit ca. 35 bis 40 km/h ermöglichen kann. Aus dieser Betrachtung ergibt sich auch automatisch der Stromverbrauch bzw. der Speicherbedarf im Akku. Wer 40 km in einer Stunde zurücklegen will, der muss konstant rund 500 Watt abrufen können. Dazu braucht man eine Batterie mit mindestens 500 Wh Kapazi-

tät. Je nach Modell wird man heute am Markt Lösungen in der Bandbreite von 250 bis 1000 Wh finden.

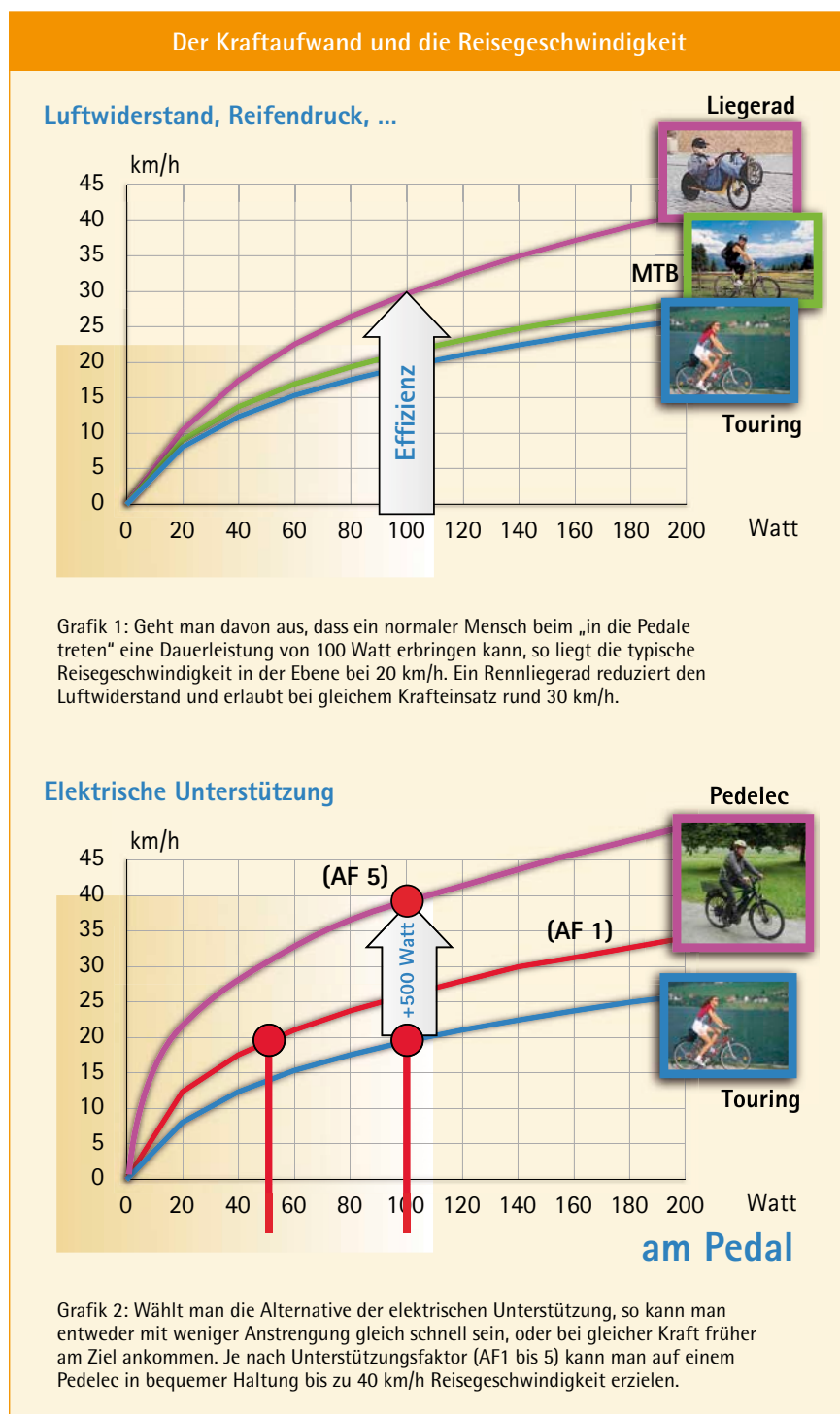
Stromverbrauch in der Praxis

Hohe Geschwindigkeiten sind auf einem Fahrrad jedoch nicht ohne (gefühltes) Risiko. In der Praxis ist es den meisten Pedelec-Nutzern deshalb meist wichtiger, die 25 km/h auch am Berganstieg halten zu können. Und so zeigen die Praxistests von ExtraEnergy, dass der Stromverbrauch für eine Entfernung von 33 km im Schnitt bei ca. 250 Wh liegt.

Wer hierzu einen griffigen Vergleich sucht, der soll sich vor Augen halten,

dass man zum Erwärmen von einem Liter Wasser von 10 auf 35 Grad genau 25 Wh benötigt. Wer also verschwitz nach einer zügigen Radtour eine warme Dusche nehmen will, der sollte nicht mehr als 10 Liter warmes Wasser verbrauchen, wenn er gegenüber einem unverschwitzten Pedelec-Kollegen einen „Energiesparvorteil“ herbeireden will. Denn nach 10 Litern warmem Duschwasser hat man auch 250 Wh Energie verbraucht.

Ohne Zweifel – beim Vergleich von Fahrstrom gegen Warmwasser gibt es natürlich viele Haare, die man jetzt spalten könnte. Primär ging es hierbei erstmal um die Größenordnung und die Erkenntnis,





Produkt	Brennwert	Fett	Kohlenhydrate	Protein	Alkohol
211 ml Pils, hell	380 KJ	91 kcal	0 g	6,3 g	7,6 g
456 ml Apfel schorle, Apfel	520 KJ	124 kcal	0,5 g	30,1 g	0 g
514 g Tee, schwarz	5 KJ	1 kcal	0 g	0 g	0 g
47 g Schokolade, Alpenmilch	1037 KJ	248 kcal	14,1 g	27,3 g	3,1 g
8 g Marmelade, Durchschnitt	88 KJ	21 kcal	0 g	4,8 g	0 g
17 g Zucker	286 KJ	68 kcal	0 g	17 g	0 g
147 g Brot, Rogensauerteig	1250 KJ	299 kcal	1,5 g	60,3 g	10,3 g
60 g Kartoffel, gegart, ohne Schale	219 KJ	52 kcal	0,1 g	12,1 g	1,1 g
50 g Reis, gekocht	272 KJ	65 kcal	0,2 g	14 g	1,3 g
34 g Tomatenmark	170 KJ	41 kcal	0 g	9,5 g	0 g
94 g Tomaten, roh	66 KJ	16 kcal	0,2 g	2,4 g	0,9 g
17 g Apfelkompott	50 KJ	12 kcal	0 g	3 g	0 g
48 g Orange, frisch	92 KJ	22 kcal	0,1 g	5,5 g	0,3 g
89 g Apfel, frisch	194 KJ	46 kcal	0,2 g	12,3 g	0,2 g
6 ml Olivenöl	209 KJ	50 kcal	5,5 g	0 g	0 g
14 g Margarine	413 KJ	99 kcal	11,2 g	0 g	0 g
14 g Butter	427 KJ	102 kcal	11,5 g	0,3 g	0,1 g
60 ml Bechlight Joghurt Drink light, Himbeer-L	98 KJ	23 kcal	0,1 g	3,8 g	1,9 g
28 g Frischkäse, Kräuter	444 KJ	106 kcal	10,3 g	1,1 g	2,3 g
150 ml Vollmilch, 3,5% Fett	434 KJ	104 kcal	5,3 g	7,5 g	6 g
18 g Ei, vom Huhn	117 KJ	28 kcal	1,8 g	0 g	1,6 g
60 g Pfefferige Salami	799 KJ	191 kcal	14,4 g	1,2 g	14,4 g
61 g Kalbfleisch, Filet	275 KJ	66 kcal	0,6 g	0 g	13,4 g
15 g Lachs Filets	124 KJ	30 kcal	2,1 g	0 g	2,8 g
	7966 KJ	1903 kcal	79,4 g	218,5 g	60,6 g

Tabelle 1: Den Kalorienverbrauch eines Menschen hat die Sportmedizin sehr genau studiert. Aber auch die Ernährungswissenschaftler können viele Statistiken über unser Essen vorweisen. Die Tabelle zeigt eine vereinfachte Aufteilung des durchschnittlichen, täglichen Nahrungsenergieverbrauches eines Bundesbürgers und dient als ein möglicher Einstieg, um die CO₂-Emissionen unserer Essensgewohnheiten abzuschätzen.

dass der Stromverbrauch eines elektrischen Fahrrades sehr überschaubar ist.

Die CO₂-Emissionen für ein Hybridfahrrad (ein Pedelec) sind nicht ganz so einfach zu berechnen. Aber wenn man den 100% elektrischen Betrieb eines E-Bikes betrachtet, so sind die Kennzahlen je nach gewähltem Kraftwerkspark schnell berechnet (siehe Tabelle 2).

Will man nun einen Vergleich mit einem normalen Fahrrad ziehen, so gilt es erstmal zu klären, wie man hier überhaupt CO₂-Emissionen ermitteln kann. Gibt es die überhaupt? Es gibt doch den Konsens, dass Radfahren CO₂-frei oder zumindest CO₂-neutral ist. Oder?

Biotreibstoff „Nahrungsmittel“

Der Mensch ist auch nur eine Maschine: eine Muskelmaschine. Diese verbrennt in ihren Körperzellen Zucker und gewinnt so aus jeder Nahrungskalorie 25% Bewegungsenergie (Muskelkraft) und 75% Körperwärme. Der Zucker wird im „Biochemiereaktor“ Mensch aus den Lebensmitteln gewonnen, die wir zu uns nehmen.

Wenn wir mehr essen als „unsere Maschine“ gerade benötigt, so wird die Energie als Fett gespeichert. Dies ist heute bei uns der normale Zustand, sehr zur Freude der Fitness-Center und Autoren von Diät-Kochbüchern. Doch auch der umgekehrte Fall ist auf dieser Welt leider keine Seltenheit. Wer Hunger leidet, kann keine Leistung erbringen (also z.B. auch nicht schnell Rad fahren).

Es ist ein Irrglaube, dass unsere körperlichen Aktivitäten keinen Einfluss auf unser Hungergefühl oder unseren Nah-

rungskonsum hätten. Wer körperlich viel leistet benötigt auch mehr Energie, also mehr Nahrung als jemand der nur (faul auf einem E-Bike) herumsitzt.

Somit brauchen wir neben der Physik des Fahrrades noch den Emissionsfaktor für die Herstellung des Biotreibstoffes „Nahrungsmittel“. Interessant ist dabei, dass dieser faktisch unbekannt ist. In der hitzigen Diskussion um die CO₂-Zahlen der Palmölproduktion oder des Maisanbaus für Biogasanlagen sucht man vergeblich nach Vergleichszahlen für das Butterbrot, das Palmöl-Margarine-Brot oder gar den saftigen Rindergulasch.

Bottom-Up Methode

Die Bestimmung der CO₂-Emissionen unserer Ernährung ist ein sehr komplexes Feld und auch wenn man keinen exakten Wert benennen können wird, so kann man doch die Größenordnung auf unterschiedliche Arten eingrenzen.

Zum einen wäre da ein Arbeitspapier vom Öko-Institut mit dem Titel „Treibhausgasemissionen durch Erzeugung und Verarbeitung von Lebensmitteln“ aus dem Jahr 2007. Dort findet man z.B. folgenden Angaben:

- Bio-Rindfleisch: 11.371 g CO₂/kg
- Bio-Milch: 881 g CO₂/kg
- Bio-Mischbrot: 648 g CO₂/kg
- Bio-Kartoffeln: 136 g CO₂/kg

Sicherlich beruhen diese Werte des Öko-Instituts auf einer fundierten Analyse. Dennoch sind sie erstmal wertlos, weil die Bezugsgröße „g CO₂ / kg Lebensmittel“ sich nicht direkt für weitere

Berechnungen nutzen lässt.

Doch wenn man weitere Quellen zu Ernährungsfragen heranzieht (Tabelle 1) und erst die Umrechnung auf „g CO₂ / Kilokalorie“ und dann noch von Kilokalorien auf den gängigeren Energiewert der Kilowattstunde umrechnet, so erhält man diesen Einblick in unser Essen:

- Bio-Rindfleisch: 7.030 g CO₂/kWh
- Bio-Milch: 1.100 g CO₂/kWh
- Bio-Mischbrot: 290 g CO₂/kWh
- Bio-Kartoffeln: 160 g CO₂/kWh

Biomilch hat somit den gleichen CO₂-Emissionsfaktor wie Braunkohlestrom! Von Fleisch wollen wir in diesem Zusammenhang erst gar nicht reden. Und hierbei handelt es sich sogar um die klimafreundlichen Biolebensmittel. Der dominierende, konventionelle Anbau schneidet noch einmal 10 bis 20% schlechter ab.

Mit diesen Kennzahlen des Öko-Instituts und der Ernährungsstatistik (siehe Tabelle 1) kann man einen Emissionskennwert für die deutsche Ernährung abschätzen.

Top-Down Methode

Ein zweiter möglicher Weg ist, die CO₂-Emissionen der deutschen Landwirtschaft auf den Lebensmittelverbrauch herunterzurechnen. Im Jahr 2007 hatte die Bundesregierung dem gesamten Sektor unserer Landwirtschaft eine Emissionsmenge von 133,2 Mio. Tonnen CO₂ bescheinigt. Bei 82 Mio. Einwohnern ergeben sich daraus 1,62 t CO₂ je Person und Jahr.

Je nach Arbeitsleistung benötigt ein Mensch ca. 2.000 bis 2.500 kcal Nahrung

pro Tag. Wir unterstellen in unserer Abschätzung den höheren Wert, weil dann die Emissionen am niedrigsten ausfallen. Doch auch bei wohlwollenden 2.500 kcal pro Tag ergeben sich 1.520 g CO₂/kWh.

Dieser Wert ist nicht gerade verwunderlich, weil ja, wie wir bereits gesehen haben, schon die unverarbeitete Biomilch mit 1.100 g CO₂/kWh zu Buche schlägt.

Die obere Abschätzung muss aber vermutlich noch als sehr optimistisch betrachtet werden, da hier nicht nur die gesamten Emissionen der großen Menge an importierten Futtermitteln (Soja, Mais, etc.), sondern auch die Emissionen der Lagerung, Verteilung und Lebensmittelezubereitung fehlen.

1.500 g CO₂/kWh auf dem Teller

In Anbetracht der verheerenden Emissionen unserer Lebensmittelproduktion ist es nicht verwunderlich, dass sich auch für das Radfahren erschreckende CO₂-Emissionen ergeben (Tabelle 2).

Der Mythos von der CO₂ freien Fahrradmobilität ist das, was er ist: ein Mythos. Unsere Nahrungsmittelproduktion mit all ihren Verarbeitungsschritten ist nicht nur sehr energieaufwändig, sondern geradezu durchtränkt mit fossilen Energieträgern. Dies gilt sowohl für den konventionellen Anbau als auch die Ökoprodukte. Letztere sind sich des Problems immerhin bewusst und suchen nach Lösungen, während in der konventionellen Landwirtschaft die Endlichkeit dieses Planeten noch kein „Wirtschaftsfaktor“ ist.

Radfahren ist gut

Dieser Artikel hat nicht das Ziel das Fahrradfahren als klimaschädlich anzuprangern. Radfahren ist gut und das nicht nur für Menschen mit Übergewicht.

Man sollte jedoch die Nutzung von elektrischer Energie nicht reflexartig verurteilen. Gerade in der Mobilität bietet sie unglaubliche neue Chancen, selbst wenn man nur zwei Rädern hat.

Gleichzeitig sollten wir beginnen ernsthaft über unsere Nutzung der Biomasse nachdenken. Und ja, dazu gehört auch die unbequeme Frage, ob es nicht sinnvoller wäre auf einem Acker „Biogas“ zu produzieren, anstatt „unsere täglichen 120 g Fleisch“. Die Ernährungsfrage muss ein Teil unserer Energiewende werden.

ZUM AUTOR:

► Tomi Engel

leitet den DGS Fachausschuss Solare Mobilität

tomi@objectfarm.org

Abschätzung der CO₂-Emissionen von Zweirädern



Tourenrad



133 Watt

+ 10% =



100% E-Bike



146 Watt

Das höhere Gewicht des E-Bikes verlangt nach mehr Leistung. Aber bei 22 km/h brauchen beide für eine Fahrt von 1 km Länge ca. 2,7 Minuten.

Kennzahl	Beschreibung	Kennzahl	Beschreibung
Fahrer	175 cm, 72 kg	Fahrer	175 cm, 72 kg
Radgewicht	18 kg	Radgewicht	25 kg
Antrieb	Muskelkraft	Antrieb	Elektromotor
Energiequelle	Muskel	Energiequelle	Strom
Leistungsbedarf in der Ebene	133 Watt (bei 22 km/h)	Leistungsbedarf in der Ebene	146 Watt (bei 22 km/h)
Energiebedarf für 1 Kilometer	6,0 Wh	Energiebedarf für 1 Kilometer	6,6 Wh
Wirkungsgrad	25% (Muskel)	Wirkungsgrad	70% (E-System)
Energieverbrauch für 1 Kilometer	24 Wh (Essen)	Energieverbrauch für 1 Kilometer	9,4 Wh (Strom)
DE-Nahrungsmix	1.500 g CO ₂ /kWh	DE-Strommix	650 g CO ₂ /kWh
... Emissionen je km	36 g CO ₂ /km	... Emissionen je km	6 g CO ₂ /km
„Brot ohne Butter“	290 g CO ₂ /kWh	Braunkohle	1.100 g CO ₂ /kWh
... Emissionen je km	7 g CO ₂ /km	... Emissionen je km	10 g CO ₂ /km
Nur Kartoffeln	160 g CO ₂ /kWh	Erneuerbare	30 g CO ₂ /kWh
... Emissionen je km	4 g CO ₂ /km	... Emissionen je km	0,3 g CO ₂ /km

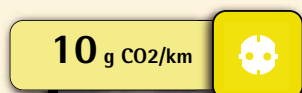
Bei „normaler“ Ernährung mit 1.500 g CO₂/kWh



36 g CO₂/km



Mit Braunkohlestrom und 1.100 g CO₂/kWh



10 g CO₂/km



Tabelle 2: Der Vergleich eines normalen Tourenrads mit einem nahezu identischen Elektrofahrrad, welches als Extrembeispiel nur rein elektrisch und somit ohne Pedalkraft fahren soll, ist nicht einfach. Es gibt sehr viele mögliche Einflussfaktoren. Doch die obigen Abschätzungen zeigen vor allem zwei Dinge:

- Der Stromverbrauch in der Elektromobilität ist kein Problem für den Klimaschutz.
- Unsere heutige Nahrungsmittelproduktion sollte man sehr kritisch überdenken.