

RS1 Mobil –
Konzept für eine
nachhaltige, urbane
Individualmobilität

ruhr
valley

Inhaltsverzeichnis

4

1. ENTWICKLUNG EINES
ALTERNATIVEN MOBILITÄTSKONZEPTES

6

2. ENTWICKLUNG, BEDEUTUNG &
RAHMENBEDINGUNGEN NACHHALTIGER
MOBILITÄT



12

3. BESTEHENDE FAHRRADAUTO-KONZEPTE

14

4. NUTZUNGSSZENARIEN
FÜR FAHRRADAUTOS



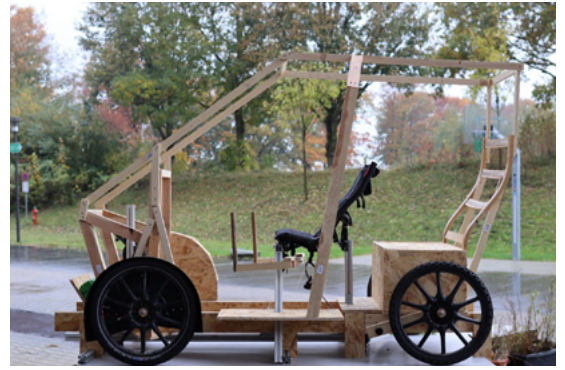
19

5. KONZIPIERUNG DES FAHRZEUGS fair.be



21

6. ENTWICKLUNG UND KOMPONENTEN
DES FAHRZEUGS fair.be



26

7. PRODUKTIONS- UND FERTIGUNGSKONZEPT FÜR DAS FAHRZEUG fair.be

29

8. ENTWICKLUNGS- UND WERTSCHÖPFUNGSNETZWERK

30

9. INTERVIEW MIT DER ANTRIC GMBH



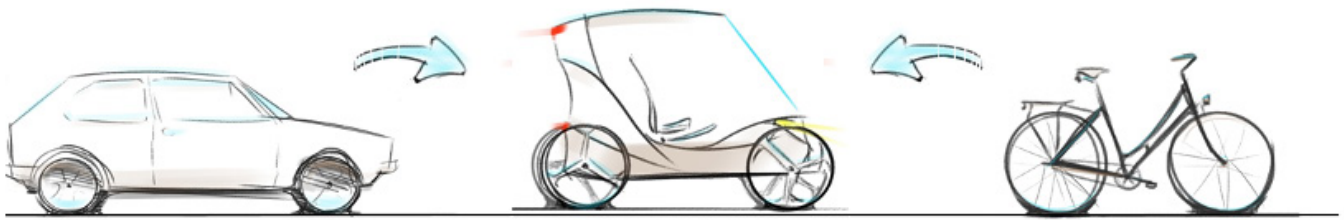
32

10. AUSBLICK



1. Entwicklung eines alternativen Mobilitätskonzeptes

Wachsende Bevölkerungszahlen in immer enger besiedelten urbanen Räumen, steigender Wohlstand, verkehrsbedingte Luftverschmutzung und das steigende Mobilitätsbedürfnis der Gesellschaft stehen im direkten Konflikt mit der Lebensqualität in unseren Städten und der Notwendigkeit, den menschengemachten Klimawandel zu minimieren.



Politische Beschlüsse zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen erhöhen nun auch den Handlungsdruck für eine umweltfreundlichere Gestaltung des Mobilitätssektors. Konnten bereits in der Energieversorgung und Industrie Senkungen des Emissionsausstoßes erreicht werden, sind sie im Verkehrssektor seit 1990 in Deutschland auf einem ähnlichen Level geblieben, und europaweit ist der Anteil sogar noch gestiegen.¹ Deshalb ist es ein notwendiges gesellschaftliches Ziel, private und verbrennungsmotorisierte PKW in urbanen Räumen zu reduzieren.² Einige Städte und Kommunen haben bereits mit Dieselfahrverboten reagiert. Daneben deklarieren sie zum Beispiel Teile der Innenstädte als autofreie Zonen und bauen die Radwegeinfrastruktur aus. Bund, Länder und Kommunen fördern den Ausbau der Elektromobilität. Unternehmen reagieren, indem sie ihren Mitarbeiter*innen durch betriebliches Mobilitätsmanagement Anreize zur Nutzung von Mobilitätsalternativen bieten.

„Zeiten der Krisen“ gelten allgemein als Inkubatoren für Innovationen. Ob die „Klimakrise“ schon heute die nötige Reichweite besitzt, einen solchen Wandel herbeizuführen, hängt von weiteren Bedingungen ab. Politische Entscheidungen müssen angemessen ausgerichtet sein, die gesellschaftlichen und kulturellen Einstellungen zur neuen Technologie passen, die notwendige Technologie am Markt verfügbar und die Infrastruktur ausgebaut sein. Systemdruck, Wille zur Veränderung und verfügbare Optionen sind ausschlaggebend.³ Ein systemischer Wandel benötigt allerdings Zeit, da Anwender*innen an der vorherrschenden Mobilitätspraktik und den bestehenden Strukturen festhalten. Es ist anzunehmen, dass unser Mobilitätsverhalten in Zukunft aus einem Mix verschiedener Mobilitätsalternativen bestehen wird.

Innovationen in der Mikro-Elektromobilität, im Bereich hochautomatisierter PKW-Fahrer-Assistenzsysteme und neue Fahrzeug-Sharing-Geschäftsmodelle bekommen folgerichtig mehr Aufmerksamkeit. Der Verkauf und die Nutzung von Elektro-Fahrrädern nimmt seit einigen Jahren rasant zu. Was früher als „Rentnerfahrrad“ galt, wird nun von fast allen Altersstufen gefahren und entwickelt sich inzwischen sogar zum Statussymbol. Der Bedarf nach elektrisch und pedalgetriebenen Alternativen steigt und rückt damit weiter in den gesellschaftlichen Fokus.

Im Folgenden möchten wir eine kreative und effizientere Möglichkeit zur Erweiterung des Mobilitätsportfolios aufzeigen, die großes Potential hat, zum Wandel und zu einer nachhaltigen und zukunftsfähigen Mobilität in unseren Städten beizutragen. Der Hybrid aus Auto und Fahrrad – das Fahrradauto – vereint die Vorteile beider Fahrzeugklassen. Das Fahrradauto ist mit einer Karosserie ausgerüstet und schützt die Insassen vor Wettereinflüssen. Mit seinen vier Rädern ist es im Stand kippstabil und bei der Fahrt sicher. Es benötigt relativ wenig Platz, darf durch die Klassifizierung als Fahrrad auf allen Radwegen gefahren werden und kann trotzdem problemlos eine weitere Person sowie Gepäck transportieren. Gleichzeitig verursacht es aufgrund des geringen Gewichts und des geringen Ressourcenverbrauchs bereits bei der Herstellung und bei der Nutzung deutlich weniger Emissionen als ein Automobil.

Im nutzerzentrierten Entwicklungsvorhaben RS1 Mobil wurde untersucht, wie ein Fahrradauto konzipiert werden muss, damit es als „One-fits-all-Lösung“ in einem „Minimum Viable Product“ (MVP) eine möglichst große Schnittmenge mit der Vielzahl unterschiedlicher Nutzungsszenarien abbilden kann.¹ Dafür wurden zunächst die gegebenen politisch-rechtlichen, wirtschaftlichen sowie

¹ Das MVP „eine Version eines Produktes, mit der ein Produktentwicklungsteam möglichst viele Erkenntnisse über den Kunden mit möglichst geringem Aufwand erheben möchte, um mit diesen Daten in der nächsten Produktversion noch besser ein spezifisches Kundenproblem zu lösen“ verfügt über „Must-haves“, um dem potentiellen Kunden veranschaulichen zu können, was der Nutzen des Produktes ist.

gesellschaftlichen Rahmenbedingungen und Umfeldfaktoren analysiert. Zusätzlich wurden eine umfassende Marktanalyse, Expert*innen-Gespräche mit potentiellen Nutzer*innen und Expert*innen mit Erfahrungen aus der Fahrrad-, Lastenfahrrad- und Velomobilbranche durchgeführt und ausgewertet. In Workshops intern und mit den Projektpartner*innen wurden die gewonnenen Erkenntnisse eingesetzt, um den Kern des Vorhabens, die Ermittlung von Nutzungsgruppen und deren Anforderungen, die Erarbeitung eines Fahrzeugkonzeptes und dessen Umsetzung in einem möglichst regionalen Produktions- und Wertschöpfungsnetzwerk durchführen zu können und die Innovation Fahrradauto am Markt zu verankern.

Neu entwickelte Mobilitätsangebote müssen sich zunächst mit den Bewertungskriterien von Bestehendem messen, da sie nicht in das vorherrschende soziotechnische Rahmenwerk passen. Um den fertigen Prototypen mit echten Nutzungsszenarien erproben

zu können, benötigt es einen „Proof of Concept“, in dem das gesamte Fahrzeug- und Produktionskonzept evaluiert und nach Möglichkeit angepasst und verbessert werden soll. Hierfür bietet die Metropolregion Ruhr besondere Chancen: In Sachen Klimaschutz, der damit verbundenen Mobilitäts- und Energiewende und dem wachsenden Bedürfnis nach alternativen innerstädtischen Verkehrslösungen sowie dem stetigen Ausbau der Radwegeinfrastruktur und der Radschnellwege, wie dem RS1, welcher als der erste Radschnellweg der Bundesrepublik gilt, ist das Potential für die Nachfrage nach Fahrradautos gegeben.

Diese Broschüre bietet einen Überblick über die Bandbreite derzeitiger Fahrradauto-Konzepte und deren gesellschaftliche und technische Einordnung, von den Rahmenbedingungen über die Produktentwicklung bis hin zu deren möglicher Umsetzung.

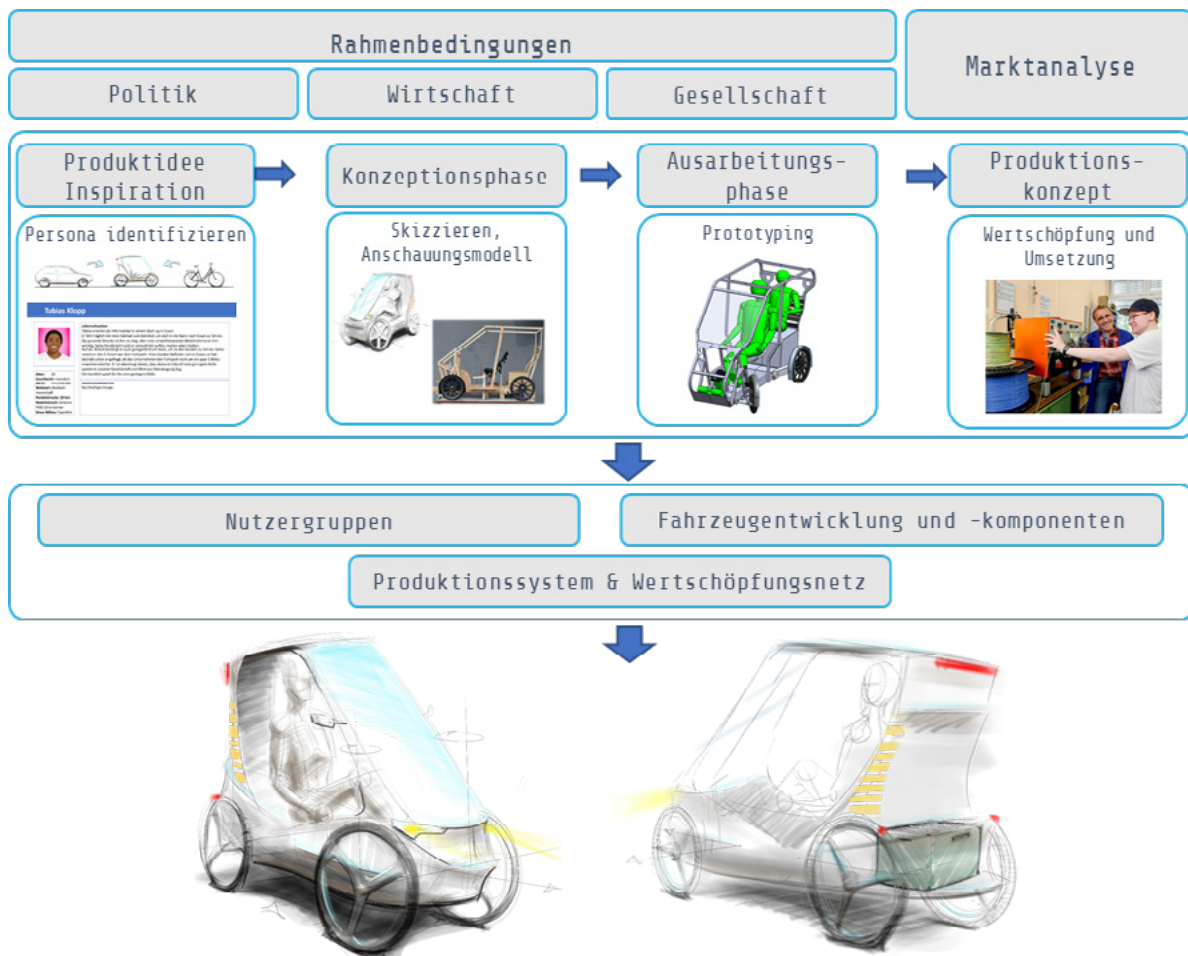


Abbildung 1: Vorgehen im Projekt RS1 Mobil



2. Entwicklung, Bedeutung & Rahmenbedingungen nachhaltiger Mobilität

2.1 Entwicklung und Bedeutung nachhaltiger Mobilität

Mobilität drückt das Interesse der örtlichen Veränderung aus und ist einer der wichtigsten Faktoren für gesellschaftliche Teilhabe, Selbstbestimmung und Partizipation und zentral für das Erreichen von Arbeitsplatz und Freizeitaktivitäten.⁴ Für Martha C. Nussbaum ist „Mobilität [...] wesentlich, um Glück und soziale Interaktion zu ermöglichen“ und ist ausschlaggebend dafür, dass jeder Mensch gemäß seiner Fähigkeiten ein „gutes Leben“ führen kann.⁵

Mobilität und Verkehr werden oft synonym verwendet. Unter „Mobilität“ (lat. *mobilitas* = Beweglichkeit) sind alle Bewegungen von Personen und Gütern zwischen Räumen bzw. Systemen zu verstehen. Verkehr ist die auf die physische Bewegung von Personen, Gütern oder Nachrichten bezogene messbare Umsetzung der Mobilität. Es werden hier auch die baulichen und infrastrukturellen Gegebenheiten mit betrachtet.^{6,7} Verkehr wird im privaten wie im gewerblichen Bereich verursacht und zwischen dem Transport von Gütern und Personen unterschieden. Anhand dieser Dimensionen lassen sich die Verkehrsarten überblicksartig strukturieren und weiter differenzieren (vgl. Abbildung 2). Der Privatverkehr schließt alle Fahrten ein, durch die private Bedürfnisse befriedigt werden, wie z.B. Freizeit- oder Einkaufsfahrten. Wirtschaftsverkehr fasst die Fahrten zusammen, „die innerhalb der beruflichen Tätigkeit von Individuen durchgeführt werden und nicht der unmittelbaren privaten Bedürfnisbefriedigung des Verkehrsteilnehmers selbst dienen.“⁸

„Mobilität ist unverzichtbarer Teil des täglichen Lebens. Verkehr ist jedoch auch einer der größten Verursacher von Treibhausgasen in

Deutschland.“¹⁰ Das ist auch ein Grund dafür, weshalb die Nachhaltigkeit bezogen auf das Verkehrsgeschehen besonders in den letzten Jahren immer mehr Aufmerksamkeit erhalten hat. Nachhaltige Entwicklung hat zum Ziel, die derzeitigen Lebensweisen so zu verändern, dass auch nachfolgende Generationen genügend Ressourcen zum Leben haben.¹¹

Aufbauend auf den vorangegangenen Ausführungen kann nachhaltige Mobilität als „bedürfnisorientierte Mobilität mit weniger Verkehr“¹² verstanden werden, welche die gleichberechtigte Befriedigung der Mobilitätsbedürfnisse in allen Bereichen der Gesellschaft auf eine umweltschonende Weise umsetzt.^{13 14 15}

Während in den Verbrauchssektoren Industrie und Energieversorgung in den letzten Jahren eine Reduzierung der Treibhausgasemissionen erreicht werden konnte, sind sie im Verkehr auf einem ähnlichen Level geblieben.¹⁶ Auf europäischer Ebene sind die Treibhausgase im Verkehrssektor sogar gestiegen (vgl. Abbildung 4). Schätzungen aus dem Jahr 2018 zufolge lagen diese bei 162 Mio. t CO₂-Äquivalenten.¹⁷

Zwar konnten die pro Fahrzeug entstehenden Emissionen durch Effizienz in der Antriebstechnologie gesenkt werden, allerdings sind diese durch eine deutliche Zunahme des Verkehrsaufkommens überkompensiert worden, wodurch die technischen Errungenschaften der letzten Jahre noch keine ersichtliche Verbesserung bzw. Verringerung der Treibhausgasemissionen herbeiführen konnten.

Im Vergleich zu 1991 stieg allein die Fahrleistung im Straßenverkehr bis 2018 um 31%.¹⁹ Mittlerweile beträgt das tägliche Verkehrsaufkommen in Deutschland 3,2 Mio. Personenkilometer auf 260 Mio. gefahrenen Wegen. 43% dieser Wege und 55% der Personenkilometer werden im motorisierten Individualverkehr, bevorzugt im Auto zurückgelegt. Die Wegelängen beschränken sich dabei

auf einen Radius von 10 bis 50 km und liegen durchschnittlich bei 40 km.^{20 21} Dabei ist der durchschnittliche Besetzungsgrad eines Automobils in Deutschland mit 1,5 Personen sehr gering. Auf Arbeitswegen ist dieser mit 1,2 Personen pro Wagen und auf Dienstwegen mit 1,1 Personen noch geringer.²²

Betrachtet man die Klimaleistung der einzelnen Verkehrsarten wird deutlich, dass der Motorisierte Individualverkehr einen beachtlichen Anteil dieser Verkehrswege und -leistung, aber eben auch der Klimawirkung verursacht (vgl. Abbildung 4). Demnach werden jährlich auf einem Großteil der zurückgelegten Strecken ca. 1.500 kg Fahrzeugmasse bewegt, um einen durchschnittlich 75 kg schweren Menschen zu transportieren.

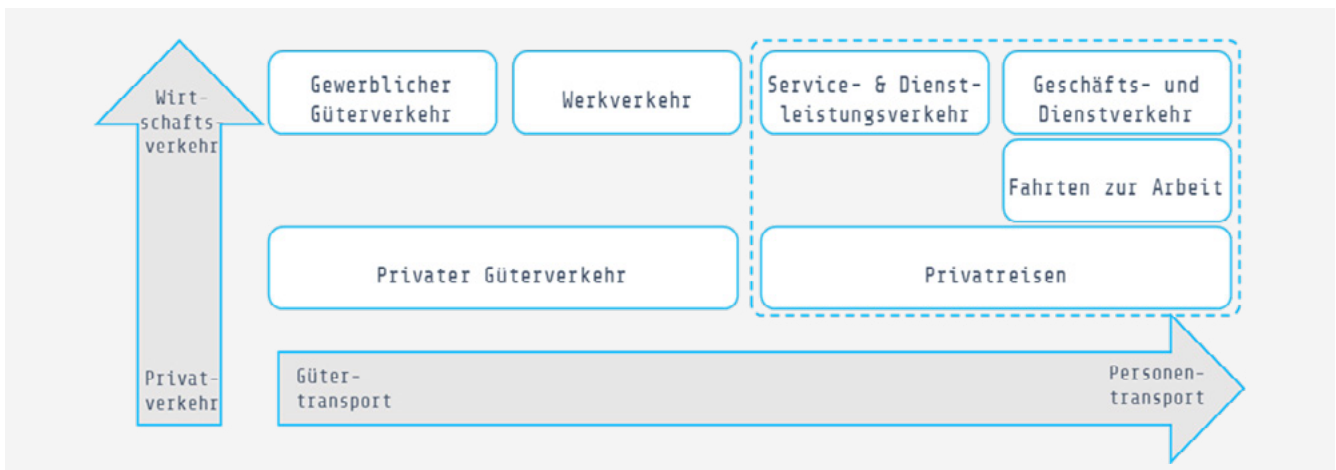


Abbildung 2: Unterteilung von Wirtschafts-, Privat-, Personen- und Güterverkehr nach Gnan (2012) ⁹

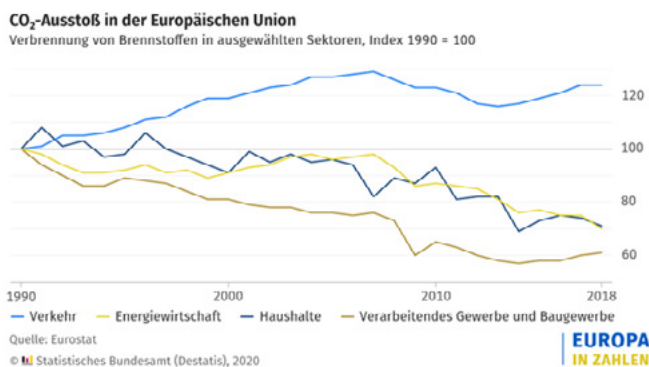


Abbildung 3: Entwicklung des CO₂-Ausstoßes in Europa ¹⁸

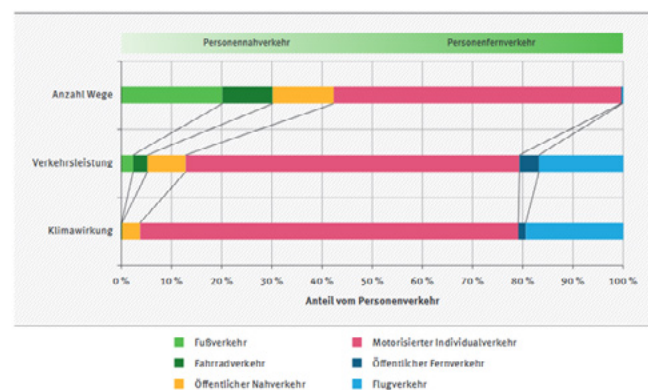


Abbildung 4: Bedeutung und Klimawirkung einzelner Verkehrsarten im Personenverkehr ²³



2.2 Politische und gesellschaftliche Rahmenbedingungen

Durch die zunehmende Urbanisierung leben bereits mehr als 77% der Deutschen in Städten oder halbstädtischen Gebieten. Das Ruhrgebiet als größter Ballungsraum in Deutschland hat über 5 Mio. Einwohner, von denen ca. die Hälfte ein Auto besitzt.²⁴ Gerade in den Städten werden Alternativen benötigt, um die „Autoflut“ bewältigen zu können, die eine hohe Geräuschbelastung und Luftverschmutzung nach sich zieht.²⁵

Mittlerweile wurde die Gestaltung einer nachhaltigen Mobilität an vielen Stellen von der Politik aufgegriffen. Auf nationaler Ebene bringen Beschlüsse wie der „Klimaschutzplan 2050“ Maßnahmen voran, die unter anderem durch Verkehrsvermeidung.²⁶ Es wird nach ganzheitlichen Lösungen gesucht, die es ermöglichen, „den erreichten Wohlstand [...] zu erhalten und das hohe Maß an Mobilität nicht zu gefährden“.^{27 28}

Um das Verkehrsaufkommen und die Umweltwirkung in Innenstädten zu minimieren, soll der private PKW-Verkehr elektrifiziert und reduziert sowie der öffentliche Verkehr oder gemeinschaftlich genutzte Fahrzeuge und die Fahrradinfrastruktur gefördert werden.

Noch ist das Auto von deutschen Straßen also nicht wegzudenken und wird weiterhin ganz eindeutig „als selbstverständlicher Konsumstandard verstanden“.²⁹ Die Zahl der PKW-Neuzulassungen ist hierfür ein guter Indikator. Im Jahr 2019 waren das 3,6 Mio. Stück. Das entspricht einer Zunahme von 5% im Vergleich zum Vorjahr und

einen Anstieg auf über 67 Mio. Fahrzeuge. Erstmals in der Statistik der Neuzulassungen aufgeführt wird das Segment der sogenannten Sport Utility Vehicles (SUV), die mittlerweile 20% aller Neuzulassungen ausmachen.³⁰ Der bewusste teilweise Verzicht auf das Auto wird von vielen als deutlicher Komfortverlust empfunden.^{31 32}

Aber einige Menschen können oder wollen sich an der automobilen Mobilität aufgrund anderer Überzeugungen nicht beteiligen. Teilweise sind allerdings auch kognitive physische Einschränkungen der Grund, oder ein Mangel an Einkommen für den Erwerb eines Führerscheins oder eines Autos.

Politische Vorstöße zu Förderung des Radverkehrs zeigen den Willen, auch hier eine Veränderung vorzunehmen. So hat der Radverkehrsplan der Bundesregierung zum Ziel, den Radverkehr sicherer zu machen und das Fahrrad als Mobilitätsalternative zu fördern. Dazu ist im Jahr 2020 eine Änderung der Straßenverkehrsordnung (StVO) in Kraft getreten, in der unter anderem die Rechte der

Radfahrer*innen gestärkt, mehr Umsicht von Autofahrer*innen verlangt und eine neue Verkehrsbeschilderung für Radwege entwickelt wurde.

Sinnvoll ist dies in mehrfacher Hinsicht. Die Akzeptanz und Nutzung von Fahrrädern hat in den letzten Jahren stark zugenommen. Etwa 28 Mio. Wege und 112 Mio. Personenkilometer werden in Deutschland mit dem Rad zurückgelegt, auf dem Pedelec sind es zwar bisher nur 5%, allerdings ist die Verkehrsleistung mit Pedelecs höher. Werden mit dem Fahrrad durchschnittlich 3,7 km zurückgelegt, sind es mit dem Pedelec 6,1 km.³³ Von Anfang bis Mitte 2020 sind in Deutschland insgesamt 3,2 Mio. Fahrräder verkauft worden, darunter ca. 1,1 Mio. E-Bikes. Dieses Marktsegment hat damit wiederholt einen zweistelligen Anstieg (15,8%) im Vergleich zum Vorjahr gebracht.³⁴ Betrug der Bestand der Elektrofahrräder im Jahre 2013 noch 1,3 Mio. Stück, besitzen Mitte 2020 bereits 7,17 Mio. Personen ein Pedelec.³⁵ Durch Förderungen für die Anschaffung von Las-

ten- oder Schwerlastenrädern bieten der Bund sowie einige Länder und Kommunen gerade in der gewerblichen Lastenradnutzung eine Bezuschussung zu den Anschaffungskosten, teilweise nur für gewerbliche Kund*innen, teilweise auch für den Privatgebrauch.ⁱⁱ Auch in jüngsten Befragungen geben beinahe die Hälfte der Befragten an, ein Fahrrad mit Elektromotor anschaffen zu wollen.³⁶ „Die Neuentdeckung des Fahrrads als Alltagsverkehrsmittel für potentiell alle Altersgruppen und sozialen Milieus kann als Wendepunkt hin zu einer alternativen Mobilitätskultur gedeutet werden, in der alternative Fahrzeuge neu interpretiert und in neue Mobilitätspraktiken und Lebensstile eingebaut werden.“³⁷ Auch in Bezug auf die Ressourcennutzung bietet es eine sinnvolle Alternative.

Ein weiteres Indiz dafür, dass Pedelecs einen gesellschaftlichen Durchbruch erleben, ist, dass es in diesem Jahr bei der Internationalen Automobil-Ausstellung erstmalig einen Themenschwerpunkt Fahrrad geben wird.³⁸

ⁱⁱ Eine Übersicht über die aktuellen Förderungen der Länder und des Bundes ist auf der Website von mycar-gobike.de nachzulesen (Siehe hierzu: <https://www.mycargobike.de/foerderung-2020/>).

2.3 Rahmenbedingungen in der Wirtschaft

Laut der Studie Mobilität in Deutschland (MiD) 2017 sind die Hälfte aller zurückgelegten Personenkilometer und 11% aller zurückgelegten Wege auf Pendel- oder Dienstwege zurückzuführen. Die physische und soziale Beweglichkeit eines Unternehmens entscheidet darüber, wie funktions- und leistungsfähig dieses ist und wie es sich bei Kunden oder in den Märkten präsentiert. Viele Unternehmen haben erkannt, dass auch die betriebliche Mobilität einen wichtigen Beitrag für dessen Ausrichtung leistet. Denn sie ist „die Basis eines jeden erfolgreichen Unternehmens“.³⁹

Durch die Einführung eines betrieblichen Mobilitätsmanagements findet bereits in vielen Firmen eine organisatorische Bündelung von Mobilitätsthemen statt. Beispielsweise werden Verkehrsbedarfe analysiert und optimiert und der Rang der Parkordnung festgelegt, die Unterstützung der Mitarbeitenden beim Kauf von Zeitkarten und die Einführung von Jobtickets geprüft oder über die Erneuerung und Ausgestaltung des Fuhrparks entschieden. So können Ausgaben gesenkt, die Verkehrsinfrastruktur entlastet sowie die Gesundheit der Mitarbeiter*innen gefördert werden.^{40 41}

Unternehmen stellen zudem aktuell nach und nach ihre Fuhrparks auf elektrisch betriebene Fahrzeuge um und investieren in Ladeinfrastruktur. Diverse Förderungen für Unternehmen auf Kommunal-, Landes- und Bundesebene beschleunigen diesen Trend. Auch immer mehr Lastenräder oder Fahrräder werden gewerblich eingesetzt. Veränderte Umweltauflagen, wachsende Transportaufgaben und die Elektrifizierung von Fahrrädern drängen Unternehmen zusehends die Vorteile des Fahrradeinsatzes auf, wie z.B. die Senkung der Betriebskosten, die Gewinnung neuer Kund*innen, Potentiale in der Öffentlichkeitsarbeit oder die Weiterentwicklung von Geschäftsmodellen.⁴² Durch die vielseitigen Einsatzmöglichkeiten kommt hier besonders Lastenrädern eine große Bedeutung zu. Derzeit werden 17% der Lastenräder im gewerblichen Bereich eingesetzt, vom Kurierdienst bis hin zu Freiberuflern und Handwerkern.⁴³ Lastenfahrräder bieten außerdem den Vorteil, dass sie weniger Nutzungsbarrieren aufweisen, da sie unabhängig von Alter und Fahrerlaubnis geführt werden können. Arbeitsaufgaben, für die bis

dato ein Führerschein Voraussetzung war, können nun auch von anderen Mitarbeiter*innen übernommen werden.

Mobilität kann auch als wirksames Mittel zur Mitarbeiterbindung eingesetzt werden, denn für viele Mitarbeiter*innen spielen weiche Faktoren bei der Jobwahl eine relevante Rolle.⁴⁴ Die Beschaffung von Fahrrädern über Leasing-Angebote, wie sie von Jobrad oder Bikeleasing angeboten werden, hat sich mittlerweile in vielen Unternehmen etabliert. In einer Untersuchung des Sinus-Instituts, dem „Fahrrad-Monitor“ (2019) im Auftrag des Bundesverkehrsministeriums, haben 14% der berufstätigen Befragten angegeben, dass sie planen, im nächsten Jahr ein Fahrrad über ein Leasingangebot des Arbeitgebers zu kaufen, wovon wiederum 36% der Befragten ein E-Bike wählen würden.⁴⁵

Trotzdem wird das Fahrrad als Verkehrsmittel für den Alltags- und Pendlerverkehr in der Breite noch nicht als echte Alternative zum motorisierten Individualverkehr gesehen. So sind die Abhängigkeit vom Wetter (41%) und die langen Wege (42%) die beiden Hauptgründe, die gegen die Fahrradnutzung sprechen. Anstrengung (28%) und lange Fahrtdauern (29%) werden ebenso genannt wie mangelnde Sicherheit (19%) oder unzureichend ausgebaute Radwege (22%).⁴⁶

Aus weiteren Befragungen ging hervor, dass auch die gesellschaftliche Akzeptanz dieser Art der Mobilität erhöht werden könnte, wenn die Nachteile des Fahrradfahrens durch die Fusionierung mit einigen der Vorteile des Autos ausgeglichen werden.



2.4 Rechtliche Rahmenbedingungen

Wie bereits erwähnt, werden Elektro-Fahrräder immer beliebter auf deutschen Straßen. Doch welche rechtlichen und sicherheitstechnischen Standards gelten für diese Verkehrsmittel?

Laut Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) darf ein Fahrrad einspurig eine maximale Breite von 1,0 m, mehrspurig bis zu 2,55 m, eine Länge von bis zu 12,0 m und eine Höhe von bis zu 4,0 m aufweisen. Es muss zwei unabhängig voneinander wirksame Bremsen, eine Glocke, Beleuchtung und Reflektoren aufweisen. Für Fahrräder wird keine Betriebserlaubnis benötigt, es besteht weder Führerschein- noch Kennzeichnungs-, Versicherungs- oder Helmpflicht. Fahrradfahrer sind dazu verpflichtet, gekennzeichnete Radwege zu benutzen. Wenn ein Radweg aufgrund von Hindernissen nicht benutzbar ist, darf auf die Straße, nicht jedoch auf Gehwege ausgewichen werden, außer diese sind ausdrücklich für den Radverkehr freigegeben. Fahrräder dürfen auf für den Radverkehr freigegebenen Busspuren und in dafür freigegebene Einbahnstraßen fahren. Außerdem dürfen sie an wartenden Kraftfahrzeugen rechts langsam vorbeifahren und am Fahrbahnrand geparkt werden.

Bei einem Pedelec (Pedal Electric Cycle) handelt es sich um ein sogenanntes unterstützendes Elektrofahrrad. Der Fahrer bedient das Fahrzeug mit Muskelkraft und wird unterstützt durch eine Elektromotorleistung von maximal 0,25 kW und einer Höchstgeschwindigkeit von 25 km/h. Der Motor schaltet sich jedoch nur dazu, wenn die Pedale getreten werden. Laut der europäischen Richtlinie 2002/24/EG ist ein Pedelec dem Fahrrad juristisch gleichgestellt. Dies bedeutet, dass wie beim Fahrrad kein Führerschein benötigt wird und ohne Altersbeschränkung von jedem gefahren werden darf. Außerdem besteht keine Helm- oder Versicherungspflicht. Sie sind für die Nutzung auf allen Radwegen und für Fahrräder zugelassenen Straßen einsetzbar.

S-Pedelecs (Speed Pedelecs) sehen äußerlich fast aus wie normale Pedelecs. Sie bieten ebenfalls eine Tretunterstützung, welche allerdings erst bei 45 km/h abschaltet. Juristisch sind diese Fahrzeuge daher keine Fahrräder, sondern Kleinkrafträder. Der Fahrer muss mindestens 16 Jahre alt sein und über den Führerschein der Klasse AM verfügen. Es besteht Versicherungs- und Helmpflicht und es darf nicht auf Radwegen gefahren werden, außer die Wege sind durch ein Zusatzschild mit „S-Pedelec frei“ gekennzeichnet.

E-Bike ist eine Bezeichnung für ein Mofa. Beim E-Bike erfolgt die Motorunterstützung durch Gas geben – also unabhängig vom Treten des/der Fahrer*in. Es gibt unterschiedliche Bauarten, von einer Unterstützung bis 20 km/h, welches als Leichtmofa gilt, bis zu E-Bikes bis 45 km/h, welche als Kleinkraftrad zugelassen sind. Für alle E-Bikes besteht eine Versicherungspflicht. Ab einer Geschwindigkeit von 20 km/h besteht außerdem Helmpflicht. Fahrradwege dürfen nicht befahren werden, außer gekennzeichnete Wege mit dem Zusatzschild „E-Bike frei“.

Lastenräder sind ohne Motor oder mit Tretunterstützung bis zu einer Geschwindigkeit von 25 km/h den Pedelecs rechtlich gleichgestellt und als Fahrräder zugelassen. Es gibt einspurige Lastenräder (sog. Long John, Bäckerräder, Long Tail/Backpacker) und Trikes. Lastenräder dürfen jedoch, anders als Fahrräder, auch am Fahrbahnrand geparkt werden. Auf dem Gehweg abgestellt dürfen Fußgänger*innen und andere Radfahrer*innen nicht behindert werden. In Ladezonen dürfen Lastenradfahrer*innen schwere Gegenstände auf- und abladen und die Ladung muss ordnungsgemäß gesichert sein. Für die Kinderbeförderung sollten geeignete Sitze, möglichst mit Sicherheitsgurten verbaut sein. Derzeit gibt es nur einen Hersteller, der Lastenräder auch mit einer S-Pedelec Zulassung vertreibt. Hier gelten die Regelungen wie für S-Pedelecs.







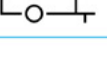
		Pedelec	S-Pedelec	E-Bike Leichtmofa	E-Bike Mofa	E-Bike Klein- kraftrad	Leichtkraft- fahrzeug
	Geschwindigkeit	Bis 25 km/h	Bis 45 km/h	Bis 20 km/h	Bis 25 km/h	Bis 45 km/h	Bis 45 km/h
	Motorleistung	Max. 250 Watt	Max. 4000 Watt	Max 500 Watt	Max 1000 Watt	Max 4000 Watt	Max 6000 Watt
	Führerschein- pflicht	Nein	AM	Mofa	Mofa	AM	AM
	Helmpflicht	Nein	Geeigneter Helm	Nein	Geeigneter Helm	Geeigneter Helm	Nein
	Versicherung	Nein	ja	Ja	Ja	Ja	Ja
	Mindest-alter	Nein	16 Jahre	15 Jahre	15 Jahre	16 Jahre	16 Jahre
	Radwegenutzung	Ja	Nein	E-Bike frei	E-Bike frei	Nein	Nein
	Kinderanhänger	Ja	Nein (Lasthänger ja)	Nein	Nein	Nein	Nein

Tabelle 1: Rechtliche Rahmenbedingungen für die Nutzung von Elektro-Fahrrädern im Überblick

3. Bestehende Fahrradauto-Konzepte

Das RS1 Mobil-Projektteam hat folgende Definition zu Fahrradautos entwickelt:

„Fahrradautos sind zweispurige, vierrädrige Lastenräder, mit aufrechter Sitzposition, in denen die Insassen vor dem Wetter geschützt sind.“

Der Fahrradmarkt befindet sich in rasantem Wandel. Ein Grund dafür ist, dass die althergebrachten Antriebssysteme der Fahrräder von neuen elektrischen Antriebssträngen abgelöst werden. Der Markt für elektrisch angetriebene Fahrräder (Pedelects) wächst derzeit sehr schnell, und es werden sehr hohe Wachstumszahlen für die kommenden Jahre prognostiziert.⁴⁷ Daher bieten mittlerweile fast alle etablierten und neuen Hersteller eine breite Palette an elektrisch unterstützen Rädern und Lastenrädern an.

Mit der Entwicklung von Fahrradautos sollen die Nachteile, die mit der Fahrradnutzung einhergehen, ausgeglichen und die „Lücke“ zwischen Fahrrad und Auto geschlossen werden. Durch zusätzliche Fahrzeug-Features können weitere Nutzungsszenarien und Nutzergruppen erschlossen werden.

Das Fahrradauto ist also ein spezielles elektrifiziertes Lastenrad und erweitert die vorhandene Produktpalette der Pedelects. Einige Hersteller haben bereits eine ähnliche Vision für wettergeschütztes und mehrspuriges Radfahren in Prototypen-Konzepte für Fahrradautos umgesetzt. Man unterscheidet zwischen Fahrradautos, die für den gewerblichen Güterverkehr konzipiert wurden und solchen, bei denen die Personenbeförderung im Fokus liegt. Der Bau eines Fahrradautos ist komplex und benötigt lange Produktentwicklungsphasen.

Momentan sind nur Fahrradautos des Güterverkehrs am Markt verfügbar. Dazu gehört das „Loadster“ des Berliner Herstellers citkar. Der Firmengründer Jonas Kremer hatte bereits 2013 die Idee, Einkäufe besser mit einem Fahrrad transportieren zu können. Das 2014 angemeldete Patent beschreibt ein Fahrrad mit vier Rädern, einer gefederten Einzelradaufhängung sowie einer Transportbox, die an einem Längsträger befestigt ist.⁴⁸ Eine zweite Variante ist das Fahrzeug „Cargo M“ von Vowag. Es ist so konzipiert, dass es sowohl mit als auch ohne Dach konfiguriert werden kann.

Das Unternehmen ANTRIC aus Bochum hat im letzten Jahr einen ersten Prototypen „ANTRIC ONE“ entwickelt und plant den Einstieg in die Serienfertigung für 2021 (siehe dazu auch das Interview mit der ANTRIC GmbH am Ende dieser Broschüre). Die ZEG liefert mit der Weiterentwicklung ihres Dreirads „Cargo:3“ eine weitere Fahrradautoentwicklung – das „Cargo:4“.

Im Personenverkehr werden noch keine Fahrradautos verkauft. Bei einigen Herstellern ist jedoch bereits eine Vorbestellung möglich, wie bei CityQ aus Schweden, Pedilio aus Bayern, podbike mit dem Fahrradauto „frikar“ aus Norwegen und auch dem Bio-Hybrid aus Deutschland.

Das Unternehmen Bio-Hybrid GmbH ist ein Spin-off der Schaeffler AG, einem renommierten deutschen Automobilzulieferer, welcher sich hiermit auch auf den Weg in eine neue urbane Mobilität begibt. Es wurde zunächst mit der Entwicklung eines Passagierfahrzeugs begonnen und wenig später ein Transportfahrzeug entwickelt, das auf der gleichen Fahrzeugplattform basiert. Bereits im Jahr 2015 wurde der erste Prototyp gebaut, aber die angekündigte Serienproduktion verschiebt sich seit 2017 immer weiter. Seit Ende des Jahres 2020 ist es möglich, das Passagierfahrzeug „Bio-Hybrid Duo“ vorzubestellen. Das „frikar“ ist derzeit das einzige Fahrradauto, das durch seine besonders stromlinienförmige und vollverkleidete Karosserie, die eine sehr kleine aerodynamische Stirnfläche hat, einen sehr geringen Luftwiderstand erzielt. Im letzten Jahr kam das Fahrzeugkonzept „Noca“ von Noca Mobility aus Berlin hinzu.

Alle diese Fahrradautos gelten rechtlich als Pedelects, sind zulassungs- und hauptuntersuchungsbefreit, haben eine Nenndauerleistung von nur 0,25 kW und können demnach ohne Führerschein gefahren werden. Die einzige Ausnahme bildet das „Pedilio“, welches auch als Leichtkraftfahrzeug zugelassen werden kann und mit einer höheren Antriebsleistung (500 W) 45 km/h erreicht.

Ein Auszug aktueller Fahrzeuge und ihre wichtigsten Eigenschaften sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt. (Es handelt sich um einen Auszug europäischer Fahrradautos)

Güterverkehr					
	Citkar „Loadster“	Bio-Hybrid „Cargo“	Antric „Antric One“	VOWAG „Cargo M“	ZEG „A.N.T. Cargo:4“
					
Markteinführung	2020 erfolgt	?	Ende 2021	2020	?
Preis	11.484- 14.848 €	-	-	9.200 €	-
Stückzahl	Voraussichtlich 300 Stk. (in 2021)	-	-	Voraussichtlich 500 Stk. (in 2021)	-
Sitzplätze	1	1	1	1 (+x)	1
Abmaße (l/b/h) [cm]	272/ 98/ 165	291/ 87,4/ 156	299,2/ 120/ 195	231,5/ 98/ 146	-
Leergewicht	180 kg	120 kg	140 kg	195 kg	500 kg (Gesamtgewicht)
Zuladung inkl. Fahrer*in	230 kg	200 kg	270 kg	335 kg	-
Besonderheiten	1. Fahrzeug in Serienproduktion	24 Zoll Räder	Textilkarosserie / 2 m³ Ladevolumen	mit und ohne Dach verfügbar	

Personenverkehr					
	Bio-Hybrid „Duo“	Podbike „Frikar“	„Pedilio“	„City Q“	„Noca“
					
Markteinführung	vorraussichtlich Ende 2021	vorraussichtlich Ende 2021	vorraussichtlich Mitte 2021	vorraussichtlich Ende 2021	-
Preis	9.450 €	5.000 €	12.000 €	9.000 €	-
Stückzahl	mindestens 1000 Stk. in 2021 geplant	2600 Vorbestellungen	1. Kleinserie 10 Stk. in Produktion	500 Vorbestellungen	-
Sitzplätze	1 (+1)	1 (+Kind)	1	1 (+1)	1 (+1)
Abmaße (l/b/h) [cm]	225/ 87,4/ 156	230/ 84/ 110-150	185/ 90/ 136	222/ 87/ 155	-
Leergewicht	120 kg	65 kg	68 kg	70 kg	-
Zuladung inkl. Fahrer*in	200 kg	135 kg	130 kg	220 kg	-
Besonderheiten	24 Zoll Laufräder	Geschlossene Karosserie	Auch als Leichtkraftfahrzeug 45 km/h	90 Liter Kofferraum	-

Tabelle 2: Gegenüberstellung ausgewählter Fahrradauto-Konzepte für den Güter- und Personenverkehr

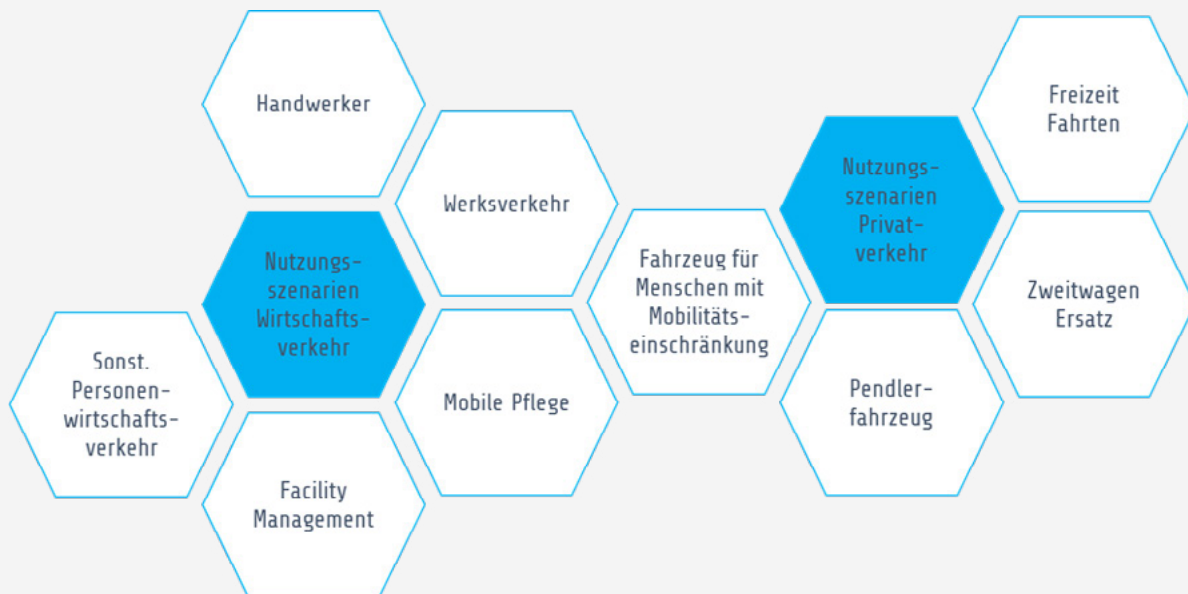


Abbildung 5: Einsatzmöglichkeiten

4. Nutzungsszenarien für Fahrradautos

Nutzergruppen für Mobilitätsangebote sind hinsichtlich ihrer Anforderungen und Nutzungsgewohnheiten sehr divers. Je nach Lebenslage, Zugang zu Verkehrsmitteln und allgemeinen Mobilitätsbedürfnissen sind sie sehr unterschiedlich geprägt und spielen bei der Wahl der Fortbewegung eine entscheidende Rolle.⁴⁹

Die Markt- und Konsumforschung beobachtet und typologisiert schon lange das Nutzungsverhalten von Personen. Unterschiedliche Merkmale werden kombiniert und zu Typen bzw. Segmenten zusammengefasst. Es wird zum Beispiel nach den Ansprüchen von Nutzer*innen oder der Kaufkraft segmentiert. „Zielgruppensegmentierungen stellen eine Möglichkeit dar, die Komplexität heterogener Population⁵⁰ durch die Identifikation von homogenen Subgruppen zu reduzieren.“⁵¹

Das Fahrzeugkonzept „Fahrradauto“ spricht viele Nutzergruppen an, die im Forschungsprojekt RS1 Mobil untersucht wurden. Wie in Abbildung 5 dargestellt, gibt es Einsätze in Wirtschafts- sowie Privatverkehr. In Studien zum Einsatz von Lastenrädern und Elektroautos wurden Fahrten mit einem geringen Besetzungsgrad, kurzen Wegen, aber einem relativ hohen Aufwand an Personenkilometern als besonders geeignet identifiziert.^{52,53} Das gilt bezogen auf Tourenmuster und Güterarten im Wirtschaftsverkehr auch für die Segmente Werkverkehr, das Facility Management, mobile Pflegekräfte und die Personenbeförderung.

Für den Privatverkehr sind geeignete Einsatzzwecke der Zweitwagen, das Pendlerfahrzeug und die Nutzung durch Menschen mit Mobilitätseinschränkungen.⁵⁴

Um ein möglichst lebendiges Bild der Nutzergruppen für den Entwicklungsprozess zu generieren, werden als Darstellungsform „Personas“ gewählt. Personas stellen keine realen Nutzer*innen dar, sondern hypothetisch entwickelte Personen, ausgestattet mit Namen und typischen Merkmalen einer Nutzergruppe. Sie dienen dazu, das Verhalten, die Wünsche sowie Gründe für das Verhalten und die Denkweise aufzuschlüsseln.⁵⁵ Vorteil gegenüber der breit gefächerten Zielgruppe ist, dass eine konkretere Vorstellung zur Nutzergruppe ermöglicht wird. Fiktive, aber passend zusammengestellte Informationen werden verwendet, um die Personas zu erzeugen und somit vereinfacht in deren Lebenswelt einzutreten und ihre Bedürfnisse im Kontext ihrer Lebensumstände zu verstehen.⁵⁶

Für die Darstellung der Personas werden im ersten Schritt Faktoren identifiziert und Daten gesammelt, die zur Umschreibung des Mobilitätsbedürfnisses dienen und sich einzelnen Zielgruppen durch Literaturanalysen und Gespräche mit Expert*innen zuordnen lassen. Die Profile werden mit der Ergänzung soziodemographischer Daten, dem Mobilitätsverhalten und anderen charakteristischen Daten, wie Einstellungen und Nutzungsmotive lebendig gemacht.⁵⁷ Die Variablen, nach denen die Personas erstellt wurden, sind in Tabelle 3 zusammenfassend dargestellt.

Nutzertyp	Einstellung	Nutzungsprofil	Anforderungen
Alter	Mobilitätstyp	Nutzungsgrund	Substitutionsfahrzeug
Wohnort	Mobilitätsstile	Berechtigung	Vorteile ggü. Substitutionsfahrzeug
Arbeit	Allg. Einstellung	Fahrzeiten und -muster	
Hobbies		Nutzungsverhalten	
Lebensphase		Räumliche Verortung	

Tabelle 3: Variablen zur Darstellung der Personas

4.1 Personas

Martin Krauss: Alltagsnutzer

- Alter: 45 Jahre alt
- Wohnort: Essen Süd
- Job: Informatiker
- Beziehungsstatus: nicht verheiratet, keine Kinder
- Hobbies: Wandern, Gärtnern im Kleingarten



Alltagssituation

Martin Krauss ist Vertreter einer modernen, innovativen Lebensweise und hat Interesse an technischen Neuerungen, die sich mit seiner umweltbewussten Lebensweise ergänzen lassen. Er ernährt sich seit Jahren vegetarisch, versucht biologisch und regional einzukaufen und ist gerne in der Natur unterwegs. Seinen Sommerurlaub verbringt er meist auf Wandertouren mit dem Deutschen Alpen Verein (D.A.V.), bei dem er aktives Mitglied ist. Dort hat er auch seine Lebensgefährtin Angela kennengelernt, mit der er nun seit vier Jahren liiert ist. Sie ist Mutter von zwei Kindern, Sebastian (13) und Linda (18). Wenn Martin und Angela nicht arbeiten, sind sie meist in ihrem Kleingarten anzutreffen. Seit ca. zwei Jahren hat er das Imkern für sich entdeckt.

Unter der Woche fährt Martin meistens mit dem Fahrrad zur Arbeit. Als Single lebend konnte er damit auch immer seine Einkäufe für den täglichen Bedarf erledigen. Außerdem waren Super- und Getränkemarkt von seiner Wohnung aus fußläufig erreichbar. Bei schlechtem Wetter ist er auch häufiger mit seinem Auto gefahren, hat sich aber meistens doch geärgert, dass er fast so lange benötigte wie mit dem Fahrrad, weil er im Stau in der Essener Innenstadt feststeckte.

An manchen Wochenenden nutzt er ebenfalls sein Auto für den Transport seiner Bienenkästen und den Baumarkt- oder Jung-

pflanzeneinkauf für seinen Kleingarten. Besonders viel konnte er in seinem mittlerweile 15 Jahre alten VW Golf nie transportieren, aber das reichte ihm meistens aus. Das Material für seinen Kleingarten muss er immer vom Auto auf die Schubkarre laden und dann zu seinem Gartenabteil schieben, da die Straße nicht nah genug heranführt. In letzter Zeit hatte sein alter Golf immer wieder Defekte und musste in die Werkstatt. Martin befürchtet, dass der Wagen nicht mehr lange durchhält. Er hat überlegt, sich ein kleines Elektroauto zuzulegen, möchte sich aber eigentlich kein neues Auto kaufen, da sein Wagen auch jetzt schon die meiste Zeit unbenutzt steht und wenn Angela und er zusammenziehen bereits ein Auto im Haushalt vorhanden wäre. Erst letztes Jahr hat sie einen neuen Firmenwagen bekommen, da sie im Außendienst für ein Pharmaunternehmen beschäftigt ist. Als weitere Option zieht er schon länger den Kauf eines E-Bikes in Betracht, ist sich aber ebenfalls nicht sicher, weil er damit nur sehr wenig transportieren kann und auch nicht wettergeschützt ist. Im Internet ist er auf eine neue Fahrzeuggattung aufmerksam geworden, die seine Mobilitätsbedürfnisse erfüllt, als Pedelec zugelassen ist und deswegen ideal erscheint.

Er möchte sich gerne davon überzeugen und sucht nach einer Möglichkeit für Testfahrten. Er hat das Glück, dass ein Essener Lastenradverleih sich ein solches „Fahrradauto“ zugelegt hat und probiert es dort für eine Woche aus.

Nutzungsszenario Fahrradauto

Nach der Testwoche ist Martin überzeugt. Er hat sich über Fahrradautos noch weiter informiert und die unterschiedlichen Hersteller miteinander verglichen. Dabei ist er auf ein kleines Start-up aufmerksam geworden, das im Ruhrgebiet zusammen mit einer Werkstatt für Menschen mit Behinderung ein Fahrradauto produziert. Da ihm Regionalität wichtig ist und er mit seiner Kaufentscheidung nicht nur die Umwelt positiv beeinflussen, sondern auch einen positiven sozialen Impact haben kann, entscheidet er sich für dieses Modell. Da die produzierende Werkstatt nicht weit entfernt ist, ergibt sich der Vorteil, dass das Fahrzeug auch in dieser Werkstatt gewartet werden kann.

Martin und Angela sind nun zusammengezogen, sein Arbeitsweg ist jetzt zwar ein paar Kilometer länger als zuvor, das stört ihn aber nicht. Seinen alten Golf hat er Linda gegeben, die ihn sich nun mit ihren fünf Mitbewohner*innen teilt, die nur selten ein Auto benötigen. Martin fährt jeden Morgen mit seinem Fahrradauto zur Arbeit, teilweise nimmt er auf dem Weg auch Sebastian mit, da seine Schule auf dem Arbeitsweg liegt. Sein Arbeitgeber hat direkt vor dem Haupteingang einen großen überdachten Fahrradparkplatz errichtet. Dort darf Martin sein Fahrradauto unterstellen. Es gibt sogar eine E-Bike Ladestation, die für Mitarbeiter*innen des Unternehmens kostenlos ist. Nach der Arbeit erledigt meistens Martin den Einkauf. Er kann ohne Probleme alle Einkäufe und eine Kiste Wasser im Fahrzeug verstauen. Am Wochenende fahren er und Angela gemeinsam in den Kleingarten oder besuchen seine Schwester in Wuppertal. Auch Angela fährt gern damit. Martin wird häufig auf sein Fahrzeug angesprochen und bekommt überwiegend positive Rückmeldungen: Auch die Nachbarn im Kleingarten und seine Arbeitskolleg*innen sind sehr interessiert. Sogar Sebastian leiht sich

das Fahrradauto teilweise aus, wenn er abends zum Sport fährt und es stark regnet oder er für seine Mutter einkaufen geht. Dann nimmt er auch meistens seinen besten Freund Freddy mit. Es fühlt sich für die beiden dann immer so an, als würden sie ein kleines Auto fahren.

Kleine Baumarkt-Einkäufe kann Martin ohne Probleme im Fahrradauto erledigen. Wenn er weiß, dass er mehr zu transportieren hat, nimmt er Angelas Auto und, wenn nötig, hängt er noch den Anhänger seines Nachbarn an. Einen deutlichen Vorteil sieht er darin, dass er überall hinfahren (Fußgängerzone) und auch jede Abkürzung durch den Park nehmen kann. Wie mit seinem Fahrrad kann er direkt im Kleingarten parken, um alles aus- und einzuladen. Durch die im Dach verbaute Solarzelle wird Strom für den Akku auch während der Fahrt produziert. Wenn er an einem Sommertag im Garten gearbeitet hat, ist der Akku wieder fast aufgeladen, je nachdem wie viele Kilometer er davor gefahren ist. Zu Hause parkt er das Fahrzeug meist im Hinterhof und nimmt den Akku mit in die Wohnung, um ihn dort aufzuladen.

Anforderungen

- Fahrzeugklasse Fahrrad
- Wetterschutz
- 2. Person und Gepäck
- Gesundheit
- Solardach
- Umweltschutz



Christine Bergmann: Pendlerin

- Alter: 28 Jahre
- Wohnort: Borken
- Job: Beschäftigte in einer Werkstatt für Menschen mit Behinderung
- Beziehungsstatus: ledig
- Hobbies: Reiten

Alltagssituation

Christine Berger wohnt in einer betreuten Wohngruppe und arbeitet in einer Werkstatt für Menschen mit Behinderung in der Montage von Schränken. Ihren Förderschulabschluss hat sie vor drei Jahren gemacht. In der Zeit wohnte sie noch bei Ihren Eltern. Nachdem sich Christines Eltern getrennt haben, musste ihre Mutter Tanja wieder einen Vollzeitjob annehmen. Die Arbeit und die Betreuung ihrer Tochter überstiegen ihre Kapazitäten, daher ist Christine in die Wohngruppe gezogen. Die beiden haben aber immer noch ein sehr gutes Verhältnis zueinander. Tanja besucht Christine oft noch nach der Arbeit, und am Wochenende sind sie gemeinsam im Reitstall, die größte Leidenschaft der beiden. Einen Führerschein hat Christine nie machen können, da ihr das Lesen und Schreiben sehr schwerfällt.

Zur Arbeit kommt Christine wie alle aus ihrer Wohngruppe mit dem Gemeinschaftsbus. Sie werden täglich um 7.30 Uhr abgeholt und abends um 16.30 Uhr wieder nach Hause gebracht. Ihre Vorgesetzten schätzen sie als sehr kompetent und lernwillig ein und sehen das Potential, dass sie auch in der Industrie in einem Inklusionsbetrieb arbeiten könnte. Christine hat in ihrer Einrichtung

von einem Pumpenhersteller erfahren, der gerne inklusiver werden und auch Menschen mit Behinderung einstellen möchte. Der Standort ist ca. 10 km von Christines Wohnort entfernt, allerdings nur schlecht mit öffentlichen Verkehrsmitteln erreichbar, so dass Christine diesen Job nicht annehmen kann. Die Orientierung im öffentlichen Verkehr, bei dem sie dreimal das Verkehrsmittel wechseln müsste, überlastet sie und sie bräuchte über eine Stunde, um zur Arbeit zu kommen. Da aus ihrer Wohneinheit kein anderer Bewohner für diesen Job qualifiziert ist, kann aus finanziellen Gründen auch kein eigener Shuttleservice für sie eingerichtet werden. Christine würde diese Chance aber gerne wahrnehmen und auch ihre Mutter möchte sie dabei unterstützen.

In der gleichen Werkstatt, in der sie gerade arbeitet, werden neuerdings auch vierrädrige, überdachte Pedelecs gebaut. Da sie rechtlich als Fahrrad gelten und kein Führerschein benötigt wird, könnte auch Christine ein solches Fahrzeug nutzen. Sie erkundigt sich und findet heraus, dass noch Testfahrer*innen gesucht werden, die sich bereit erklären, das Fahrzeug für einige Zeit Probe zu fahren und ihre Verbesserungsvorschläge einzubringen. Ihre Mutter sieht den Vorteil und erklärt sich bereit, das zu unterstützen.

Nutzungsszenario Fahrradauto

Christine besitzt nun seit einem halben Jahr einen Fahrradauto-prototypen. Ihr Leben hat sich dadurch sehr ins Positive gewandelt. Sie hat den Job bei dem Pumpenhersteller annehmen können, da sie den Arbeitsweg selbstständig bewältigen kann. Bevor sie dort anfang, ist ihre Mutter oft den Weg mit ihr gefahren, damit Christine sich gut orientieren kann und in allen Abschnitten sicher fühlt. Sie hat das Glück, dass die Strecke hauptsächlich in ländlichem Gebiet verläuft und sie sich wenig im Stadtverkehr orientieren muss. Die Strecke hat einen durchgängigen Fahrradweg, den sie benutzen kann. Am Wochenende fährt sie nun auch selbstständig zum Reitstall. Durch das Fahrradauto ist ihre Mobilität sehr erweitert worden, sie kann sich unabhängig von ihrer Mutter oder den allgemeinen Frei-

zeitaktivitäten der Wohngruppe bewegen. Das gefällt ihr sehr gut! Auch andere Menschen aus der Einrichtung haben nun schon darüber nachgedacht, sich so ein Fahrzeug zuzulegen. Christine ist immer bereit, andere Menschen Probe fahren zu lassen.

Anforderungen

- Fahrzeugklasse Fahrrad
- Sicherheit
- Moderate Anstrengung
- Gesundheit
- Wetterschutz

Carla Kosch: Mobile Pflegekraft

- Alter: 35 Jahre
- Wohnort: Bochum Nord
- Job: Mobile Pflegekraft
- Beziehungsstatus: Geschieden, alleinerziehend
- Hobbies: Kino und Spazieren

Alltagssituation

Katharina wohnt allein mit ihrer Tochter im Norden von Bochum. Um sich und ihre Tochter finanziell versorgen zu können, arbeitet sie viel als mobile Pflegekraft. Ihre Tochter Lisa geht in die 5. Klasse der Gesamtschule. Für Katharina steht nichts über dem Wohl ihrer Tochter. Sie ist sehr darum bemüht, dass es ihr gut geht. In ihrer Freizeit geht sie gerne mit ihrer besten Freundin Klaudia ins Kino. In der Zeit passt die Nachbarin auf ihre Tochter auf. Jeden Morgen fährt sie ungefähr 15 km mit dem Auto zu ihrer Arbeitsstelle und steigt von dort in einen der vom Pflegedienst bereitgestellten Kleinwagen. Katharina muss mobil sein, um ihre Patient*innen zu erreichen. Ihre Route ist zeitlich eng getaktet und bereits im Voraus geplant, allerdings kann es auch vorkommen, dass sie sich kurzfristig um Kurzzeitpflegefälle kümmern muss. Ihr Arbeitsgebiet ist auf die Recklinghäuser Innenstadt beschränkt. Täglich fährt sie ca. fünf bis sieben Patient*innen an. Die Strecke zwischen ihren Patient*innen ist meist zwischen drei und fünf Kilometer lang. Teilweise plant sie ihre Routen so, dass sie ihre Schicht von zu Hause aus beginnt. Dann kann sie das Fahrzeug mit nach Hause nehmen, damit ein Anfahrtsweg entfallen kann. Meistens bringt sie aber entweder ihre Tochter zur Schule oder holt sie von dort ab und greift daher auf ihr eigenes Fahrzeug zurück.

Katharina geht gerne ihrer Arbeit nach, empfindet aber den hohen Zeitdruck als belastend. Sie würde gerne länger bei ihren Patient*innen bleiben, muss aber schnell weiter, um ihre Route in der vorgegebenen Zeit absolvieren zu können. Zu den Hauptverkehrszeiten steht sie oft lange im Stau in der Innenstadt und verliert hier die kostbare Zeit, die sie eigentlich gerne mit einer Pause, einem Spaziergang oder im pünktlichen Feierabend verbracht hätte. Manchmal greift sie auch auf das Pedelec zurück, das der Pflegedienst letztes Jahr angeschafft hat. Die Bewegung tut ihr sehr gut, sie kann die Wege durch die Parks nehmen und hat auch mal Zeit, sich für einen kurzen Moment auf die Parkbank zu setzen. Das Fahrrad nutzt sie jedoch nur bei Sonnenschein und im Sommer, denn sie möchte sich nicht komplett dem Wetter aussetzen. Sie erkennt aber deutlich die Vorteile, denn sie kann auch in den Fußgängerzonen direkt bei ihren Patient*innen parken, allerdings dauert das An- und Abschließen des Rades immer recht lange, und sie kann nicht alle Pflegeutensilien mitnehmen.



Ihr Unternehmen setzt sich für den Klima- und Umweltschutz ein, das unterstützt sie auch. In diesem Jahr überlegt die Pflegeeinrichtung ein neues Fahrzeug anzuschaffen, einen Hybriden aus Pedelec und Auto. Da ihr schon die Fahrt mit dem einfachen Pedelec Spaß macht, erklärt sie sich bereit, dieses Fahrzeug auszuprobieren.

Nutzungsszenario Fahrradauto

Seit ihr Pflegedienst ein „Fahrradauto“ angeschafft hat, ist Katharina am liebsten mit diesem Fahrzeug unterwegs. Sie sieht die deutlichen Vorteile für ihre Arbeit, da sie in den Hauptverkehrszeiten der sehr vollen Recklinghäuser Innenstadt ausweichen kann, indem sie Abkürzungen durch Parks oder durch verkehrsberuhigte Zonen nimmt. Sie genießt es sehr, neben der Arbeit die leichte Bewegung im Fahrradauto als Ausgleich zum emotionalen Stress zu haben. Außerdem hat sie so mehr Zeit bei ihren Patient*innen, da die oft zeitintensive Parkplatzsuche wegfällt. Bei den meisten ihrer Klient*innen kann sie das Fahrradauto direkt vor der Türe parken. Ihre Pflegeutensilien transportiert sie im Kofferraum oder einfach auf dem Rücksitz.

Besonders gut gefällt ihr, dass sie das Fahrzeug mit nach Hause nehmen und am nächsten Tag ihre Schicht ohne Umweg über die Arbeit starten darf. Sie bekommt viel Aufmerksamkeit von Anwohner*innen und findet es gut, dass sie vor Regen oder Sonne geschützt ist. Sie hat vom Unternehmen eine extra Regenjacke für zusätzlichen Schutz bekommen, nutzt sie aber nur, wenn es regnet und stark windet.

Anforderungen

- Fahrzeugklasse Fahrrad
- Sicherheit
- Moderate Anstrengung
- Variable Reichweite
- Geringe Betriebskosten
- Gesundheitsförderung
- Öffentlichkeitswirksamkeit
- Gepäckmitnahme
- Wetterschutz
- Umweltschutz



Hans Liesler: Fahrzeugpool

- Alter: 62 Jahre
- Wohnort: Gelsenkirchen-Buer
- Job: Unternehmer
- Beziehungsstatus: verheiratet
- Hobbies: Radrennen

Alltagssituation

Hans ist Geschäftsführer eines mittelständischen Betriebs im Facility Management auf großen Werksanlagen. Umweltschutz ist ihm wichtig, er bemüht sich auch um die Umsetzung in seinem Unternehmen, es sollte aber auch primär zur Umsetzung seiner ökonomischen Zielgrößen passen. Er macht sich außerdem immer Gedanken darum, wie er Maßnahmen zum Klimaschutz auch seinen Mitarbeitenden kommunizieren kann, damit diese auch dort auf Akzeptanz stoßen. Privat und geschäftlich ist er offen für neue Technologien. Die Unterstützung von Innovationen und neuen Ideen aus der Region ist ihm wichtig, so möchte er auch einen Beitrag zur lokalen Wirtschaft leisten.

Seine Mitarbeiter*innen fahren entweder auf normalen Fahrrädern oder in Kleinwagen über das Gelände. Das Problem bei den Verbrennern ist, dass sie immer nur kurze Strecken fahren und oft anhalten. Aus diesem Grund müssen sie regelmäßig auf Autobahnen „ausgefahren“ werden. Bei elektrisch betriebenen Fahrzeugen hätte er dieses Problem nicht. Allerdings möchte er nicht den ganzen Fuhrpark durch kleine E-Wagen ersetzen, da er es aufgrund des geringen Besetzungsstands für nicht notwendig hält. Für ihn müssen die Fahrzeuge, die eingesetzt werden, nützlich, effizient und von den Mitarbeitenden akzeptiert sein. Es gibt zwar keinen formalisierten Prozess zur Fahrzeugbeschaffung, er möchte aber trotzdem, dass es einen gewissen Standard gibt und so Gleichberechtigung an den Standorten herrscht. Letztes Jahr hat er zwei Lastenräder beschafft, mit denen nun zwei seiner Mitarbeitenden, die sich freiwillig dazu gemeldet haben, unterwegs sind. Damals hatte ihn die staatliche Bezuschussung von Lastenrädern zum Kauf motiviert. Auf dem gleichen Gelände gibt es auch einen Elektro-Kleintransporter, der das Equipment für die größeren Tätigkeiten mit sich führt. Er ist recht zufrieden mit den Lastenrädern, allerdings benötigt jeder Mitarbeiter ein eigenes Fahrzeug, was in Summe relativ kostenintensiv ist.

Durch Zufall ist er auf ein Fahrzeugkonzept gestoßen, bei dem ein bis zwei Personen mit relativ viel Werkzeug unterwegs sein könnten. Dieses Fahrradauto möchte er gerne an einem Standort ausprobieren. Da man auch hierfür keinen Führerschein benötigt, können es alle seine Mitarbeiter*innen fahren. In den letzten Jahren ist ihm nämlich auch aufgefallen, dass immer mehr Leute keinen Führerschein besitzen. Zwar ist es für den Werksverkehr nicht unbedingt notwendig, er möchte sich aber trotzdem an die geltende StVO halten und niemanden ein Fahrzeug ohne gültige Zulassung fahren lassen.

Die staatliche Lastenrad-Förderung würde auch für dieses Fahrzeug gelten. Die Unterhaltskosten der Lastenräder wären insgesamt deutlich günstiger, auch im Vergleich zu einem E-Auto. Zudem würden im gesamten Lebenszyklus weniger Emissionen ausgestoßen, da sowohl Batterie als auch Motor viel kleiner dimensioniert sind als bei einem elektrisch betriebenen Auto. Er unterhielt sich bereits mit einigen seiner Mitarbeitenden, bei denen das Konzept auf großes Interesse stieß.

Nutzungsszenario Fahrradauto

Das Fahrradauto wird nun an einem Standort eingesetzt. Da die Teams meist aus zwei Personen bestehen, können sie sich jeweils ein Fahrzeug teilen. Durch den großen Gepäckraum haben sie trotzdem Platz ihr Equipment dabeizuhaben. Schaufeln und Besen sind außen an der Karosserie befestigt. Das Team ist zuvor mit dem Kleinwagen unterwegs gewesen. Da einer der beiden jedoch keinen Führerschein besaß, konnte immer nur der andere fahren. Jetzt können sie sich abwechseln. Manchmal vermissen sie es, bei starkem Regen in eine geschützte Kabine flüchten zu können, aber eigentlich finden beide das Fahrzeug gut und auch die Eigenschaften ausreichend für die Tätigkeiten, die sie machen.

Anforderungen

- Fahrzeugklasse Fahrrad
- Sicherheit
- Moderate Anstrengung
- Variable Reichweite
- Geringe Betriebskosten
- Gesundheitsförderung
- Öffentlichkeitswirksamkeit
- Gepäckmitnahme
- Wetterschutz
- Umweltschutz



5. Konzipierung des Fahrzeugs fair.be

Im Projekt RS1 Mobil wurden die verschiedenen Anforderungen der Nutzer*innen analysiert sowie die notwendigen und optimalen, unten aufgeführten Fahrzeugeigenschaften für das zu konzipierende Fahrzeug „fair.be“ herauskondensiert. Es wird ein Ansatz der „One-fits-all-Lösung“ verfolgt, bei dem die Aufwände für Entwicklung und Produktion des Fahrzeugs geringgehalten werden, indem die Produktvarianz begrenzt wird.

Anstrengung und Reichweite

Das Fahrzeug wird mit einem Elektromotor ausgestattet, damit die körperliche Anstrengung auf ein moderates Maß reduziert und der Einsatzradius erhöht werden kann. Der eingesetzte Wechselakku hat eine Kapazität von 1 kW und ermöglicht eine Reichweite von 100 km, ist portabel und kann an jeder Haushaltssteckdose oder im Fahrzeug geladen werden. Durch die Verwendung weiterer Akkus kann die Reichweite flexibel skaliert werden.

Wetterschutz

Das fair.be wird mit einer Windschutzscheibe (mit Scheibenwischer) und einem karosserieähnlichen Wetterschutz (Dach) für die Fahrende Person und die zu transportierende Person ausgestattet. Die Zuladung ist ebenfalls wettergeschützt. Je nach Anwendungsfall kann ein Solardach integriert werden.

Zweite Person & Gepäck

Der Transport einer zweiten Person wird durch einen Notsitz ermöglicht. Das Gepäck findet in einem zwischen den Hinterrädern positionierten Kofferraum Platz.

Sicherheit & Fahrdynamik & Agilität

Das fair.be ist klein (1 m breit und 1,8 m lang) und wendig gebaut (Radstand 1,7 m und Wendekreis von 4 m) und verfügt folglich über eine hohe Agilität im Straßenverkehr. Durch seine vier Räder ist es bei dynamisch gefahrenen Kurven, Schlaglöchern und bei glatter Fahrbahn viel sicherer als ein Zwei- oder Dreirad und auch im Stand kippstabil. Die Überrollbügel (A-, B- und C-Säule) tragen Windschutzscheibe und Dach und erhöhen die Sicherheit gegenüber herkömmlichen Pedelecs erheblich.

Fahrzeugklasse Fahrrad

Die Einstufung des Fahrzeugs fair.be in die Fahrzeugklasse der „Fahrräder mit Antriebssystem“ (vermarktet als Pedelec) bringt erhebliche Vorteile und nur wenige Einschränkungen mit sich. Das Fahrzeug benötigt kein Kennzeichen, keine Fahrzeugversicherung, keine Hauptuntersuchung und ist steuerfrei. Für das Führen eines Pedelecs wird kein Führerschein benötigt und kann so von fast jedem/r gefahren werden. Das Fahren auf allen Radwegen, das Nutzen von Abkürzungen durch Parks und Grünstreifen und der Einsatz in als „autofrei“ deklarierten Innenstädten ist erlaubt. Außerdem darf das fair.be auf Gehwegen und am Fahrbahnrand geparkt werden. Für die Einstufung als Pedelec muss die elektrische Antriebsleistung begrenzt und der Motor ab 25 km/h abgeschaltet werden.

Geringe Betriebskosten

Der elektrische Antrieb des fair.be ist unkompliziert und wartungsfrei, weswegen deutlich geringere Kosten für spezifische Reparaturen zu erwarten sind. Da das Fahrzeug elektrisch betrieben wird, kann auf die deutlich kostenintensivere Betankung mit fossilen Kraftstoffen verzichtet werden. Die Stromkosten sind auch deutlich geringer als bei der Nutzung von Elektroautos.

Umweltschutz

Das fair.be verbraucht bei seiner Produktion und über den gesamten Lebenszyklus deutlich weniger Ressourcen, weil es mit seinem Gewicht von 70 kg ca. ein Zwanzigstel eines herkömmlichen Elektroautos wiegt. Die Batterien und der notwendige Motor sind deutlich kleiner. Der wasserintensive Lithium-Abbau und die bekanntlich schlechten Arbeitsbedingungen in Nickel- und Kobaltminen ist damit nicht ausgeschlossen, jedoch geringer.⁵⁸

Auch der Verbrauch ist deutlich geringer als beim Elektroauto.ⁱⁱⁱ Wird der Strom für den Akku über das integrierte Solardach oder einen Ökostromanbieter bezogen, hat das fair.be in der Nutzungsphase keinen Emissionsausstoß.

Gesundheit

Die moderate Bewegung der Fahrzeuge und der damit verbundene Aufenthalt an der frischen Luft fördert die Gesundheit. Man verbraucht bei einer Fahrt mit dem Pedelec immerhin zwischen 300 und 600 Kalorien je Stunde.⁵⁹ Das Pedalieren im Sitzen ist knieschonend.

Öffentlichkeitswirksam

Das Fahrzeug ist aufgrund seiner Neuartigkeit ein „Hingucker“ und die Resonanz auf pedalbetriebene Kleinstfahrzeuge überaus positiv. Als attraktive und exklusive Werbefläche kann es für Marketingzwecke von Unternehmen eingesetzt werden.

ⁱⁱⁱ Die für einen Ladevorgang einer elektrischen Oberklasse-Limousine benötigten 75 kW/h reichen für ca. 500 km. Mit der gleichen Energiemenge kann man die fair.be Batterie 75 Mal laden bzw. 7.500 km zurücklegen.



6. Entwicklung und Komponenten des Fahrzeugs fair.be

6.1. Entwicklung

Geltende Normen, Richtlinien und Standards

Die Entwicklung von Fahrzeugen basiert auf standardisierten Normen und Prüfverfahren, die gesetzlich bindend sind. Für die mechanische Auslegung von Fahrradautos kommt momentan die DIN 79010:2020-02 (Transport- und Lastenfahrrad – Anforderungen und Prüfverfahren für ein- und mehrspurige Fahrräder) in Frage und zum Einsatz. Diese Norm gilt, wenn mehrspurige Fahrzeuge von maximal 2 m Breite, maximal 300 kg schwer (Gesamtgewicht) und bis zu einer Geschwindigkeit von 25 km/h unterstützt werden. Bereits am Markt etablierte Standards von Ein- und Anbauteilen, z.B. die Befestigungssystem-Bremsen (Postmount) oder die europaweit gültigen Normen für Bereifungen (ETRTO und ECE-R75) werden berücksichtigt und angewendet. Damit das Fahrzeug zukünftig als Produkt am europäischen Markt veräußert werden darf, müssen rechtlich verbindliche CE-Richtlinien (Europäisches Konformitätszeichen), wie z.B. die CE-Maschinenrichtlinie (2006/42/EG) und die Richtlinie zur „Elektromagnetischen Verträglichkeit von Elektro- und Elektronikprodukten (2014/30/EU) eingehalten werden. Außerdem ist die Normenreihe „Fahrräder – Elektromotorisch unterstützte Räder – EPAC“ (DIN EN 15194:2018-11), das Batteriegesetz (BattG) und das Elektro- und Elektronikgerätegesetz (ElektroG) für Pedelecs relevant.

Integrierte Produkt- und Prozessplanung

Im Fahrzeugbau sind „klassische, sequenzielle Ansätze der Produktentwicklung [...] in den vergangenen Jahren in die Kritik geraten, da

sie als zu linear, starr und bürokratisch gelten, um in einem dynamischen Umfeld Schritt zu halten.“⁶⁰ Bei der sequenziellen Produktplanung schließt sich die Fertigungsplanung an die Produktplanung an, und es kann erst nach einem vollständigen Entwicklungszyklus von Produkt und Produktherstellung Feedback für die Produktplanung erfolgen. Bei der Entwicklung des fair.be kommt die Methode der integrierten Produkt- und Prozessplanung zum Einsatz, bei der das Fahrzeug für den Konstruktions- und Produktionsprozess in verschiedene Hauptbaugruppen (Lead Engineering Groups, wie z.B. Rahmen, Karosserie und Fahrwerk) zerlegt wird und eine iterativ rückkoppelnde Abstimmung mit den Produzenten sowie eine Optimierung der Produktionstechnologien und -prozesse durchgeführt wird. So können Zeit- und Kostenaufwände reduziert werden und die Aufwände für eventuelle Änderungen bleiben über lange Zeit gering.⁶¹ Beispielsweise wurden bei der Entwicklung des Chassis von Beginn an regelmäßige Workshops mit dem aktuellen Projektpartner und dem zukünftigen Produktionspartner Klostermann GmbH (Gelsenkirchen) durchgeführt. Es erfolgte eine detaillierte Abstimmung zu Verbindungstechniken, Fertigungstechnologien und Materialien, wofür händisch und computergestützt generierte Skizzen, 1:1 Plots, Modellfahrzeuge, virtuelle 3D-CAD Konstruktionen und auch ein 1:1 Mock-Up-Modell des Fahrzeugs genutzt wurden. So wurde das noch nicht vollständig auskonstruierte Chassis gefertigt, um die hierbei zu gewinnenden Erkenntnisse in die weitere Entwicklung der Baugruppe einfließen zu lassen.

Optimierungsziele und Dimensionierungsprobleme

Das Fahrradauto fair.be ist ein Hybrid zwischen Auto und Pedelec. Fahrräder und Pedelecs begrenzen sich bei der Erfüllung ihrer Funktion minimalistisch auf die notwendigsten Features und zeichnen sich durch ihre Kompaktheit, ein sehr geringes Gesamtgewicht und den damit einhergehenden, vergleichsweise geringen Ressourceneinsatz aus. Automobile verfügen über eine Vielzahl an Zusatzfunktionen, sind sehr robust, belastbar und überaus versatil einsetzbar. fair.be soll die Vorzüge beider Mobilitäts- und Fahrzeugkonzepte miteinander vereinen und mit der Reduzierung auf die wirklich notwendigen Features und der Verwendung eines minimalistischen Designs alle Anforderungen erfüllen können sowie möglichst kostengünstig konzipiert sein.

Bei der Entwicklung stehen sich daher unterschiedliche und teilweise gegensätzliche Optimierungsziele gegenüber. So ist z.B. das Gesamtgewicht eines Fahrradautos so gering wie möglich zu halten, weil nur sehr begrenzte Antriebsleistung und Batteriekapazität zur Verfügung stehen. Ein zu hohes Gesamtgewicht wirkt sich fatal auf die Fahrdynamik und Reichweite aus und reduziert die Dauerhaftigkeit der Komponenten erheblich. Der aufzuwendende Kaufpreis eines Fahrradautos ist aber ebenfalls zu minimieren. Ein zu hoher Kaufpreis führt zu geringer Akzeptanz beim Kunden, besonders dann, wenn Automobile oder Motorräder durch Serienproduktion und hohe Absätze vergleichsweise günstig zu erstehen sind.

6.2. Komponentenauswahl

Die Auswahl geeigneter Komponenten für ein Fahrradauto erweist sich als herausfordernd, da leichte Komponenten (Fahrradteile) hochpreisig – und die am Markt preisgünstig verfügbaren Teile (Auto-, Motorrad- und Motorrollerteile) für den gewünschten Einsatzzweck zu schwer sind.

In der folgenden Grafik (vgl. Abbildung 6) werden die am Markt verfügbaren Komponenten nach verschiedenen Kriterien bewertet und die zentralen Optimierungsziele dargestellt. Es gibt eine Vielzahl von Fahrzeugkomponenten am Markt, die potentiell für den Bau eines Fahrradautos nutzbar sind. Zusammengefasst lässt sich festhalten, dass Automobil- und Motorradkomponenten für die Verwendung in einem sehr viel langsameren und leichteren Fahrradauto extrem robust und zu schwer sind und einen hohen Platzbedarf haben. Außerdem sind diese Komponenten von den Herstellern fast ausschließlich mit Seriennummern dokumentiert, welche genügen, um die Teile bestehenden Fahrzeugen zuzuordnen, aber für die Auslegung neuer Fahrzeuge als Dokumentation ungeeignet sind, da sie keinerlei Auskunft über die technischen Daten der Komponenten geben. Fahrradkomponenten sind oft trotz ihrer Kompaktheit für den Einsatz im verhältnismäßig schweren Fahrradauto ungeeignet, da sie von unzureichender Belastbarkeit und Dauerhaftigkeit sind. Insgesamt zeigt sich, wie in Abbildung 6, dass nur sehr wenige am Markt verfügbare und in Serienfertigung hergestellte Komponenten die für den Bau von Fahrradautos notwendige Schnittmenge der Anforderungen an Dauerhaftigkeit, Belastbarkeit, Gewicht, Baugröße und Preis erfüllen.

In den letzten Jahren hat sich allerdings nach und nach ein Markt für Lastenfahrräder und deren Komponenten etabliert. Langsam reagieren die Zulieferer auf diesen Trend, indem sie neue und auf diese Anwendung besser abgestimmte Produkte auf den Markt bringen. Beispielsweise hat ein bekannter Motorradzulieferer ein verstärktes und für Lastenräder geeignetes Bremssystem entwickelt und erprobt. Die zugehörige Serienproduktion befindet sich derzeit im Aufbau. Der Markt für Fahrradautos und deren Ersatzteile befindet sich also erst im Anfangsstadium.

Für die Komponentenauswahl des fair.be wurde festgelegt, die zeitaufwändige, kostenintensive und risikobehaftete Eigenentwicklung von Komponenten weitestgehend zu vermeiden und die Anzahl der in Serie gefertigten Fahrradkomponenten unter Berücksichtigung der relevanten technischen, ökonomischen und rechtlichen Kriterien zu maximieren, wenngleich die ausgewählten Komponenten oft über die oben genannten nachteiligen Eigenschaften verfügen. In der folgenden Grafik werden die wesentlichen Komponenten des fair.be dargestellt.

	Gewicht	Baugröße	Preis	Dokumentation/ Standards	Dauerhaftigkeit	Belastbarkeit	
Autoteile							Ungeeignet Eher ungeeignet Neutral Eher geeignet Geeignet
Motorroller-teile							
Fahrradteile							

Abbildung 6: Bewertung der am Markt verfügbaren Komponenten

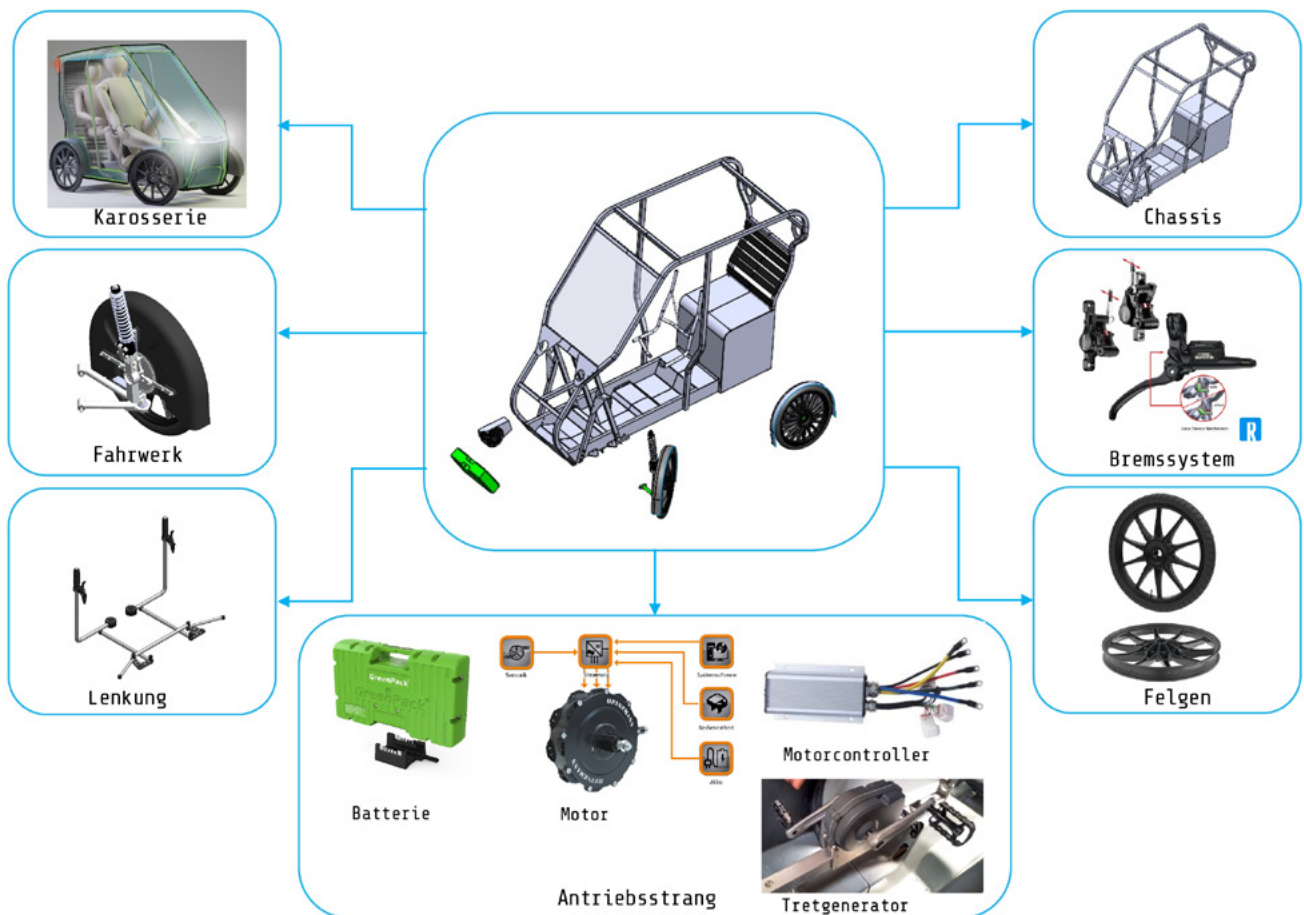


Abbildung 7: Wesentliche Komponenten des Fahrradautos

Chassis

Das Chassis eines Fahrradautos stellt die zentrale, tragende und alle Komponenten aufnehmende Struktur dar. Es muss im Vergleich zum Fahrradrahmen hohen Belastungen standhalten und gleichzeitig ein möglichst geringes Gewicht haben. Für das Chassis des fair.be wurde ein Konzept gewählt, welches Elemente der gängigen und bewährten Chassis-Bauweisen (selbsttragende Leiterrohrrahmen- und Gitterrohrrahmenbauweise) vereint.

- Es werden Aluminiumprofile und Aluminiumbleche kombiniert, welche zum Standardsortiment der Halbzeuge gehören, nur bedingt gegen Witterungseinflüsse passiviert werden müssen und unter Verwendung herkömmlicher Herstellungsverfahren (z.B.: Sägen, Lasern, Kanten, Biegen) hergestellt und zusammengefügt werden.
- Da die für die Herstellung notwendigen Maschinen und Anlagen vielerorts zur Verfügung stehen und nur eine sehr geringe Investition in zusätzliche Vorrichtungen notwendig ist, ermöglicht diese Bauweise eine wirtschaftliche Fertigung in kleinen und größeren Serien und eine mit geringem Aufwand durchführbare Variation des Chassis.
- Die Bodenbaugruppe wird aus zwei ununterbrochenen Längsträgern und versteifenden Blechelementen hergestellt. Sie werden nicht zusammengesetzt, umgeformt oder mit thermischen Prozessen gefügt, wodurch die Konstruktion simpel gehalten und die genaue Ausrichtung der Fahrwerke zueinander erleichtert wird.
- Der Überrollbügel trägt die Karosserie und einige Anbauteile und wird aus Profilen und unter Verzicht auf komplexe Biegegeometrie hergestellt. Die verwendeten Profile und Bleche werden mit den bereits in kleiner Serie kostengünstig abbildbaren Fügeverfahren (z.B.: Kleben, Nieten und Schweißen) gefügt.

Antriebsstrang

Der bei den meisten Lastenfahrrädern und Fahrradautos eingesetzte mechanische Antriebsstrang eines Fahrradautos besteht aus Pedalen, Ketten, Kettenblättern, Kettenspannern, Schaltung und einigen weiteren Komponenten. Die Kraft wird in der Regel auf die Hinterachse übertragen und bis zu vierfach von Elektromotoren verstärkt.

Beim fair.be soll stattdessen ein neuartiges elektrisches „Pedal-by-Wire-System“ eingesetzt werden. Der elektrische Antriebsstrang des fair.be basiert auf einer seriellen Hybridtechnologie und besteht aus Generator, Batterie, Controller und Elektromotor. Die beim Pedalieren erzeugte Energie wird in einem Generator in elektrische Energie gewandelt und in der Batterie gespeichert. Die Batterie des fair.be wird als Wechselbatterie ausgeführt, hat eine Kapazität von ca. 1 kWh (für ca. 80 km Reichweite) und kann innerhalb oder außerhalb des Fahrzeugs aufgeladen und gelagert werden. Durch Verwendung mehrerer Akkus ist die Reichweite problemlos skalierbar. Die Teilnahme an einem städtischen Wechselakkusystem ist somit ebenfalls möglich. Der Motorcontroller wandelt die Gleichspannung der Batterie unter Berücksichtigung einiger Zustands- und Steuergrößen in Wechselspannung und verstärkt die durch das Pedalieren erzeugte Energie. Er regelt den Antrieb des Elektromotors bis zu einer Geschwindigkeit von 25 km/h. Der Elektromotor kann entweder als Zentrilmotor (Mittelmotor), als „radnahe“ Variante (der Motor liegt nah am Rad und ist über eine Antriebswelle mit dem Rad verbunden) oder als Radnabenmotor eingesetzt werden. Die kombinierte maximale Nenndauerleistung aller Antriebsmotoren darf bei einem rechtlich als Pedelec geltenden Fahrzeug, wie in der DIN 79010 vorgeschrieben, 0,25 kW nicht überschreiten. Eigene Erfahrungen zeigen, dass diese Nenndauerleistung für den Einsatz schwer beladener Lastenräder, gerade beim Einsatz im bergigen

Gelände und bei Verwendung von Radnabenmotoren, zu gering ist. Es ist zu erwarten, dass der Gesetzgeber die zulässige Antriebsleistung für Lastenräder und Schwerlastenräder zeitnah und unter Vorgabe der 25 km/h Grenze für die elektrische Unterstützung erhöht. Der Einsatz eines Pedal-by-Wire-Systems ist fortschrittlich und sehr vorteilhaft da

- für den Energiefluss zwischen den Komponenten des Antriebsstranges lediglich Kabel und keine mechanischen Teile, wie Ketten benötigt werden,
- es eine deutlich größere Freiheit bei der Konzipierung des Chassis gibt, indem beispielsweise deutlich mehr Bauraum für das Pedalieren im Fußraum vorhanden ist und die Integration der kostenaufwändigen Ketten und deren Führungen nicht mehr notwendig ist,
- es wartungsfrei ist und somit die regelmäßige Wartung und Reparatur der Verschleißteile des mechanischen Antriebsstranges wie Ketten und Gangschaltung nicht mehr notwendig sind,
- die meisten Lastenräder und Fahrradautos derzeit mit den Füßen zurückgesetzt werden müssen und ein Pedal-by-Wire System die Realisierung eines elektrisch angetriebenen Rückwärtsganges ermöglicht.

Fahrwerk

Das Fahrwerk ist für das Fahrverhalten und die Sicherheit des Fahrradautos und damit für den Fahrkomfort und Fahrspaß von entscheidender Bedeutung. Maßgebliche Anforderungen an das Fahrwerk des fair.be sind ein geringes Gewicht, eine möglichst kompakte Bauform und dass jedes Rad einzeln gefedert und gedämpft werden soll sowie über einen Federweg von mindestens 80 mm verfügt.

Für die Aufhängung der gelenkten Vorderräder wird die in fast allen Automobilen genutzte MacPherson-Bauweise eingesetzt, welche nur wenig Bauraum benötigt und damit sowohl das Pedalieren „zwischen“ den Vorderrädern als auch eine geringe und auf den Radweg passende Gesamtbreite des Fahrzeugs ermöglicht. Das verwendete Federbein stammt aus der Motorrollertechnik und kann die bei dieser Bauweise auftretenden Biegekräfte aufnehmen und an die Domlager im Chassis ableiten.

Die hinteren Räder werden von Schwingen (vgl. Motorrad) geführt. Dies ermöglicht eine konstruktiv einfache Anbindung des hinteren Fahrwerks an die Hauptträger des Chassis, ohne dass weitere tragende Strukturelemente benötigt werden. Außerdem wird der für den Kofferraum nutzbare Platz durch diese unkomplizierte Bauweise maximiert. Als Feder-Dämpfer-Element wird ein herkömmlicher Fahrraddämpfer genutzt.

Räder

Die auf die Räder eines Fahrradautos wirkenden dynamischen Belastungen sind aufgrund der im Gegensatz zum einspurigen Fahrrad auftretenden Querkkräfte (Kraftvektor rechtwinklig zu Fahrtrichtung und

Erdbeschleunigung) und wegen des viel höheren Gesamtgewichtes (bis zu 300 kg) hoch. Auto- und Motorräder können wegen ihres zu hohen Gewichts nicht verwendet werden.

Eine Grundvoraussetzung für die Räder ist jedoch, dass sie einseitig (vgl. Auto) und nicht zweiseitig (vgl. Fahrrad) aufgehängt sind, durch das Lösen einiger weniger Schraubverbindungen (vgl. Auto) montiert werden können und dies keine Auswirkung auf die Bremsanlage hat, da

- dies einen schnellen und effektiven Tausch mit dem stets mitgeführten Ersatzrad möglich macht, wenn das Rad beschädigt wird (unsachgemäße Fahrweise) oder an Druck verliert (Punktur des Reifens),
- der Einsatz von metallischen Drahtspeichenrädern (vgl. Fahrradfelge) ausgeschlossen wird, weil diese zwar besonders leicht, aber nicht robust genug sind. Sie müssen händisch aus vielen Kleinteilen hergestellt und aufwändig und kostenintensiv gewartet werden.

Im fair.be werden einteilige und leichte (1,6 kg) Felgen eingesetzt, die in einem industriellen Fertigungsverfahren (Injection Moulding) aus glasfaserverstärktem Kunststoff hergestellt werden. Sie sind unlängst für den Einsatz in Schwerlastenrädern entwickelt worden, mit 150 kg pro Rad belastbar und können einseitig an das Fahrzeug montiert werden. Da die Felge nach ETRTO standardisiert ist, können eine Vielzahl am Markt verfügbare Fahrrad- und Kleinkraftadren verwendet werden.

Bremssystem

Das Bremssystem eines Fahrradautos muss laut DIN 79010 über zwei voneinander getrennte und damit auch im Schadensfall redundante, symmetrisch auf alle Achsen und Räder verteilte, Bremskreise verfügen, welche das Fahrzeug mit einem Wert von $3,4 \text{ m/s}^2$ für die Hauptachse (und $2,2 \text{ m/s}^2$ für alle Nebenachsen) auf trockener Fahrbahn verzögert. Für das fair.be wurde ein Scheibenbremssystem für mehrspurige Liegefahrräder gewählt, das mit einem Bremsgriff hydraulisch zwei Bremszangen ansteuert. Fällt ein Bremskreis aus, kann das Fahrzeug dennoch sicher und ausbruchsstabil mit dem zweiten Bremskreis gebremst werden, da je ein Bremskreis auf Vorder- und Hinterachse wirkt. Die gewählte Bremsanlage genügt den Anforderungen eines voll beladenen Fahrradautos, würde aber bei einem extremen Einsatz der Bremse, wie er z.B. bei einer langen Bergabfahrt mit voll beladenem Fahrzeug und ohne den Einsatz der induktiv bremsenden Rekuperation des Elektromotors aufträte, überlastet. Zukünftig soll auf die in Kürze am Markt verfügbaren und für den Einsatz in Lastenrädern weiterentwickelten Fahrradbremzen zurückgegriffen werden, um das Bremssystem mit ausreichender Kapazität auszustatten. Für das Festsetzen des Fahrzeugs auf schiefen Ebenen von 10 Prozent Steigung, kommt zusätzlich eine mechanisch betätigte Bremszange zum Einsatz, die als „Handbremse“ dient.

Lenkung

Die Lenkung soll über die Vorderräder wirken, um das vom Automobil gewohnte Lenkverhalten abzubilden, nicht beim Einsteigen oder dem Pedalieren stören und möglichst kompakt ausgeführt sein. Die Lenkbewegung wird durch eine Achsschenkellenkung realisiert, die in fast allen heutigen mehrspurigen Kraftfahrzeugen eingesetzt wird. Durch konstruktive Auslegung der Geometrie des Lenktrapezes wird sichergestellt, dass das kurveninnere Rad stärker einlenkt als das kurvenäußere und somit eine harmonische Lenkbewegung ermöglicht wird. Die Lenkkräfte werden durch das händische Vor- und Zurückdrücken des Lenkgestänges aufgebracht, das sich auf einer Kreisbahn um den Sitz der fahrenden Person bewegt, ermöglicht und von einem nahe der Längsträger des Chassis verlaufenden Lenkgestänge (vgl. Lastenfahrrad) übertragen.

Karosserie

Die Karosserie realisiert den Wetterschutz für die Insassen und die Zuladung. Sie muss möglichst leicht ausgeführt werden, aber stabil genug sein, um alltäglichen Belastungen standzuhalten. Vibrationen sind konstruktiv zu minimieren, damit die Geräuschemission der Karosserie möglichst niedrig ist. Die Frontpartie besteht, ebenso wie andere Karosserieteile, aus tiefgezoogenem ABS-Kunststoff und nimmt die vordere Beleuchtungsanlage und den Wechselakku auf. Sie schützt den zum Pedalieren genutzten Fußraum vor Wind und Wetter. Die ebene Windschutzscheibe besteht aus Glas und wird von einem weiteren Karosserieelement eingefasst. Das Dach wird aus einer hochbelastbaren Textilfaser hergestellt und kann optional mit einem Solargenerator zur Verbesserung der Reichweite ausgestattet werden. In das Heckteil werden die Rücklichter sowie der Kofferraum integriert. Die Karosserie verfügt im Gegensatz zum Auto nicht über Türen.

Komponentenkosten

Abbildung 8 gibt Aufschluss über die Aufteilung der Komponenten in Fertigungs- und Zukaufteile und die Kostenanteile der einzelnen Baugruppen. Die Gesamtkosten für alle zu beschaffenden Teile liegen nach derzeitigem Stand bei 9.200€ Brutto-Einkaufspreis. Die anteiligen Kosten für die zu fertigenden Teile sind ohne Berücksichtigung der notwendigen Investitionskosten für notwendige Fertigungsvorrichtungen berechnet und sind mit 12% (1.100 €) relativ gering. Die Grafik verdeutlicht auch, dass die Komponenten des elektrischen Antriebs (16%) und des Batteriesystems (16%) einen großen Teil der Kosten ausmachen. Die aktuellen Kosten sind unscharf, da die einzelnen Positionen auf Anfragen und Angeboten basieren, welche stark mit der zu ordernden Stückzahl und dem Weltmarktgeschehen schwanken. Die Covid-19 Pandemie hat zu globalen Produktionsausfällen von Fahrrädern und deren Komponenten geführt. Außerdem hat sie eine stark erhöhte Nachfrage nach alternativen Mobilitätsformen wie Fahrrädern und Pedelecs verursacht. Schon jetzt sind Fahrradhersteller, der Fahrradeinzelhandel und Online-Versandhäuser nur noch eingeschränkt lieferfähig. Für das Jahr 2021 ist eine weitere und erhebliche Verknappung und Verteuerung der verfügbaren Fahrradkomponenten zu erwarten.⁶² Eine deutliche Reduzierung um ca. 50% der Aufwendungen für die Teile eines wie vorangehend beschriebenen zusammengesetzten fair.be ist erst dann zu erwarten, wenn sich die Lage am Markt entspannt, die Beschaffung der Teile in hohen Stückzahlen erfolgt und die Komponenten für Fahrradautos in industrieller Serienfertigung produziert werden.

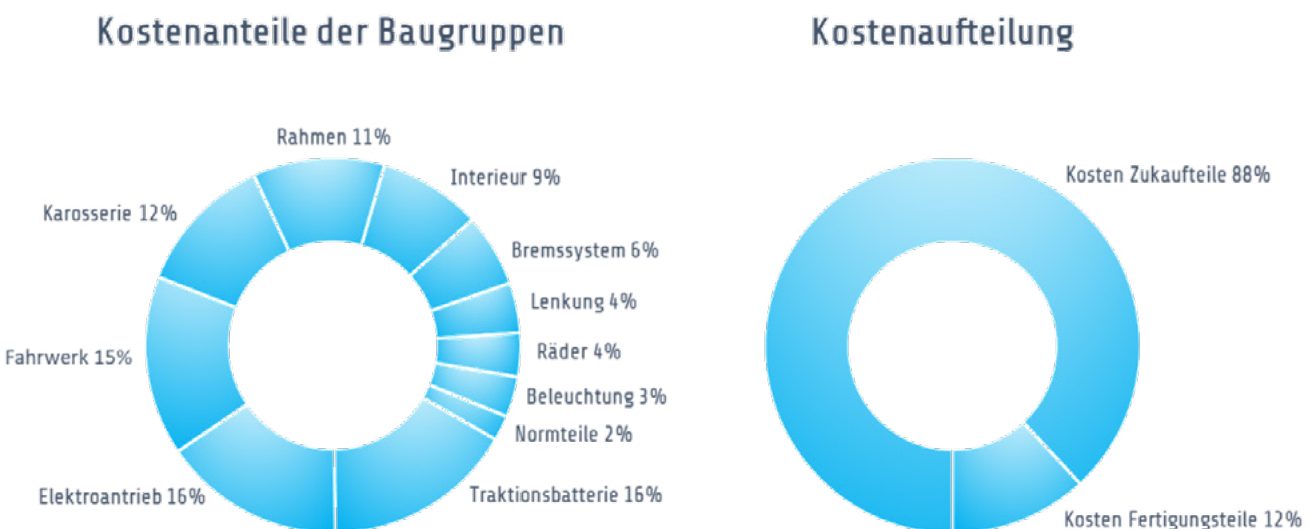


Abbildung 8: Kostenaufteilung der Fahrzeugkomponenten



7. Produktions- und Fertigungskonzept für das Fahrzeug fair.be

7.1. Auswahl des Produktionskonzeptes

Günstige Arbeitskräfte und Betriebsmittel sind auf dem globalisierten Markt für eine konkurrenzfähige wirtschaftliche Arbeitsweise unabdingbar. Die Produkte sollen günstiger produziert werden, weswegen immer mehr Unternehmen ihre Produktionsstandorte ins Ausland verlagern.

Globalisierte Produktion, längere Lieferketten, Abhängigkeiten von Lieferanten, Preisdumping, prekäre Beschäftigungsverhältnisse, Umweltverschmutzung und eine erschwerte und schier unmögliche Verfolgung der Wertschöpfungskette sind die Folge. Für Konsument*innen wird es immer schwieriger nachzuvollziehen, wo und unter welchen Bedingungen die Produkte hergestellt werden, was auch zu einer Entfremdung von Produkt und Nutzer*in führt. Für die Produktion des fair.be wurde nach einer Alternative gesucht, um sozial und wirtschaftlich gewinnbringend und – soweit es möglich ist – in Deutschland fertigen zu können.

Durch die sehr hohen Startinvestitionen für den Aufbau einer Serienproduktion mit Fertigungshalle, Maschinen, Anlagen sowie deren Entwicklung und Einrichtung ist ein hohes finanzielles Risiko zu tragen, sollte das Vorhaben nicht den gewünschten Absatz erreichen. Für die Produktion von fair.be soll deshalb möglichst auf bereits bestehende Strukturen und Maschinen zurückgegriffen werden, um die Investitionen gering zu halten, Risiken zu senken und vorhandene und nicht ausgelastete Anlagen wirtschaftlicher zu machen.

Die unterschiedlichen möglichen Varianten des Produktionskonzeptes wurden mit der am Institut für Innovationsforschung und -management entwickelten Innovation Scorecard bewertet. Durch die qualitative Abschätzung von Erfolgspotential und Umsetzungsaufwand können verschiedene Ansätze miteinander verglichen und deren Innovationspotential abgeschätzt werden.⁶³

In Betracht gezogen wurden:

- Eigenfertigung mit eigener Fertigungshalle
- Fertigung in Partnerwerkstätten
- Kleinserienfertigung in der Westfälischen Hochschule

Die Zusammenarbeit mit bestehenden Partnerwerkstätten hat das höchste Erfolgspotential und gleichzeitig den niedrigsten Umsetzungsaufwand.

7.2. Montagekonzept

Geeignete Partnerwerkstätten sind beispielsweise Werkstätten für Menschen mit Behinderung. In Deutschland gibt es insgesamt 800 und in NRW 104 dieser Werkstätten. Die meisten von ihnen sind technisch sehr gut ausgestattet und arbeiten schon lange als Auftragsfertiger für Unternehmen aus allen Branchen. Sie liefern Produkte in hoher Qualität und besitzen das Potential, Fahrzeuge lokal und in einem skalierbaren Maßstab zu produzieren. Die dort ausgeübten Tätigkeiten sind sehr divers zusammengestellt. Sind geeignete Arbeitshilfen vorhanden, können auch relativ komplexe Tätigkeiten durchgeführt werden. Durch die zunehmende Globalisierung, Automatisierung und Produktionsverlagerungen ins Ausland laufen auch diese Einrichtungen Gefahr, immer mehr Auftraggeber und damit die wichtigen Beschäftigungsplätze zu verlieren, die Menschen mit Behinderung einen Erwerb und die Teilhabe an Arbeit ermöglichen. Bereits jetzt ist in der Bevölkerungsgruppe der Schwerbehinderten die Arbeitslosigkeit deutlich höher als anderswo.⁶⁴ Gleichfalls suchen diese Werkstätten stetig nach sinnvollen, interessanten und innovativen Projekten, Verdienstmöglichkeiten und Tätigkeiten für ihre Beschäftigten.

Wenn sich herausstellt, dass die Montage der Fahrzeuge in Werkstätten für Menschen mit Behinderung möglich und der Absatz groß genug ist, könnten weitere Werkstätten über ein Lizenzvergabesystem in das Produktionsnetzwerk aufgenommen werden. So ist eine Hochskalierung der Produktionskapazitäten von Fahrzeugen über die Dezentralisierung von Produktionsvolumina auf unterschiedliche Standorte möglich. Die Organisation in vielen kleinen Werkstätten verteilt den Aufwand für die Produktion auf verschiedene Akteure und ermöglicht es auch, individualisierte Produkte kostengünstig herzustellen. Damit soll erreicht werden, dass fair-be-Fahrzeuge einander ähneln, aber auch individuelle Lösungen umgesetzt werden und eine höhere Diversifizierung der Produkt-

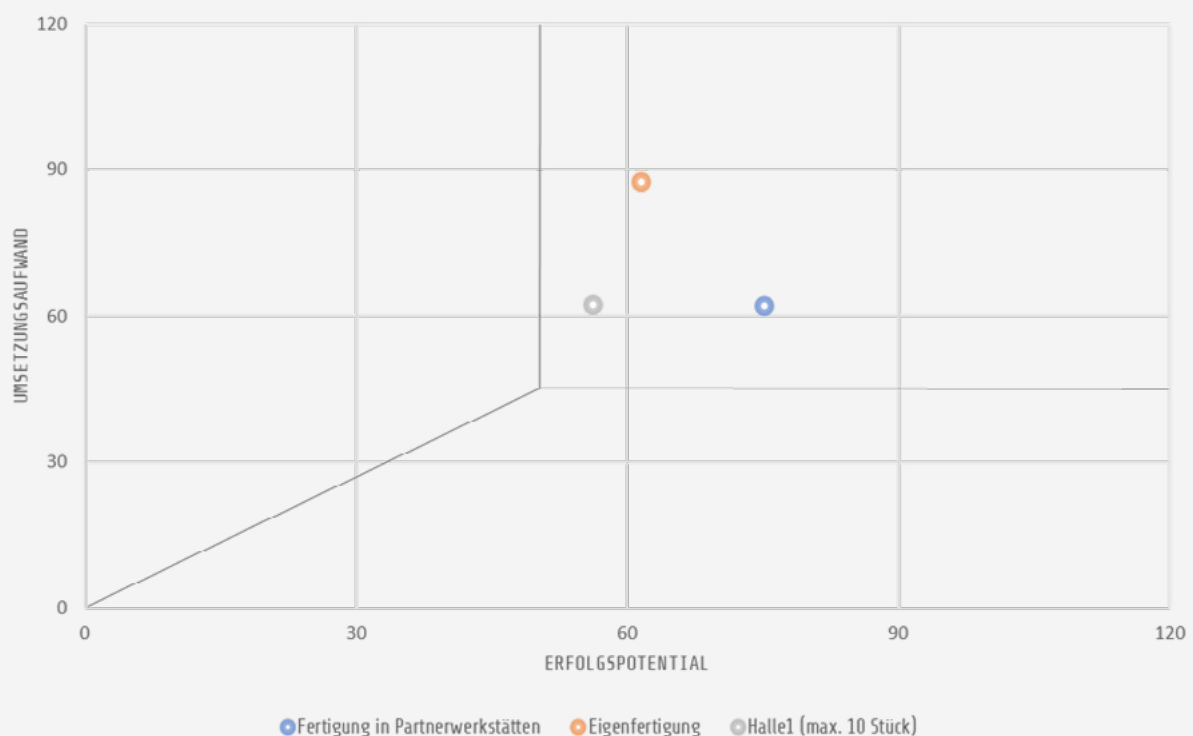
peripherie und ein Variantenreichtum ermöglicht wird. Die Selbstorganisation der einzelnen Einheiten wird gefördert, die lokale Wirtschaft durch die dezentrale heterogene Fertigung gestärkt und mit einer interessanten, innovativen und zeitgemäßen Thematik eine (weitere) sinnstiftende Tätigkeit und gesellschaftliche Teilhabe für eine postfossile Zukunft geschaffen. Damit bietet dieses Produktionskonzept auch interessante Möglichkeiten hinsichtlich der Entwicklung verteilter Geschäftsmodelle.

Die Hauptkomponenten sollen von spezialisierten Unternehmen bezogen werden. Hierbei kommen leistungsfähige Werkzeugmaschinen zum Einsatz, welche bereits für die laufende Produktion der Zulieferer zur Verfügung stehen und von geschultem und erfahrenem Personal bedient werden. Eine firmeninterne Qualitätskontrolle stellt sicher, dass diese Basiskomponenten fehlerfrei, in hoher Qualität und termingerecht produziert werden.

Einzelplatzmontage

Die Fahrzeuge werden in Montagebuchten in Einzelplatzmontage hergestellt, bei der alle Arbeitsgänge, die zur Herstellung eines Produktes notwendig sind, stationär an einem Arbeitsplatz durchgeführt werden. Mit der Hilfe von Arbeitsorganisationsexpert*innen wird die Montagetätigkeit analysiert und auf eine Vielzahl einzelner, auf die Bedürfnisse der Menschen mit Behinderung angepasster, kleiner und größerer Arbeitsschritte transformiert. Um dies umsetzen zu können, basiert die Montage auf einer gut durchdachten und vollständigen Dokumentation der Fahrzeuge. Die Einzelplatzmontage eignet sich für kleine Stückzahlen und kann einfach auf verschiedene Produktvarianten umgestellt werden. Der Aufbau der Arbeitsplätze erfordert nur geringen Investitions- und Planungsaufwand. Störungen im Arbeitsablauf haben keine Auswirkungen auf die anderen Arbeitsplätze.

Abbildung 9: Gegenüberstellung von Umsetzungsaufwand und Erfolgspotential für unterschiedliche Produktionskonzepte



Wird die Montage eines neuen fair.be begonnen, wird zunächst der fertig zugeliesserte Rahmen auf einem speziellen Montagetisch befestigt. In den um den Tisch angeordneten Regalen, befinden sich die ca. 160 benötigten Anbauteile. Extern zugekaufte Komponenten werden direkt verbaut (z.B. Räder) oder zuerst konfektioniert (z.B. Kürzung der Bremsleitungen). Einige wenige Mitarbeiter*innen arbeiten gleichzeitig an einem Fahrzeug und montieren die Anbauteile in der vorgeschriebenen Reihenfolge nach vorgeschriebenen Qualitätskriterien. Beim Montageprozess kommen keine spezialisierten Maschinen und nur wenige spezifische Handwerkzeuge und Vorrichtungen zum Einsatz. Sind alle Teile montiert, wird das fair.be vom Tisch gehoben, aus der Montagebucht bewegt und einer detaillierten Qualitätskontrolle sowie einer Testfahrt unterzogen. Es wird derzeit davon ausgegangen, dass an einem Arbeitsplatz ca. zwei Fahrzeuge pro Woche montiert werden können, wie es bereits einem Unternehmen gelingt, welches Lastenräder in Werkstätten für Menschen mit Behinderung herstellt. Somit ließen sich ca. 100 Fahrzeuge pro Werkstatt und Jahr produzieren. Wird an mehreren Arbeitsplätzen oder in mehreren Standorten produziert, vervielfacht sich diese Zahl.

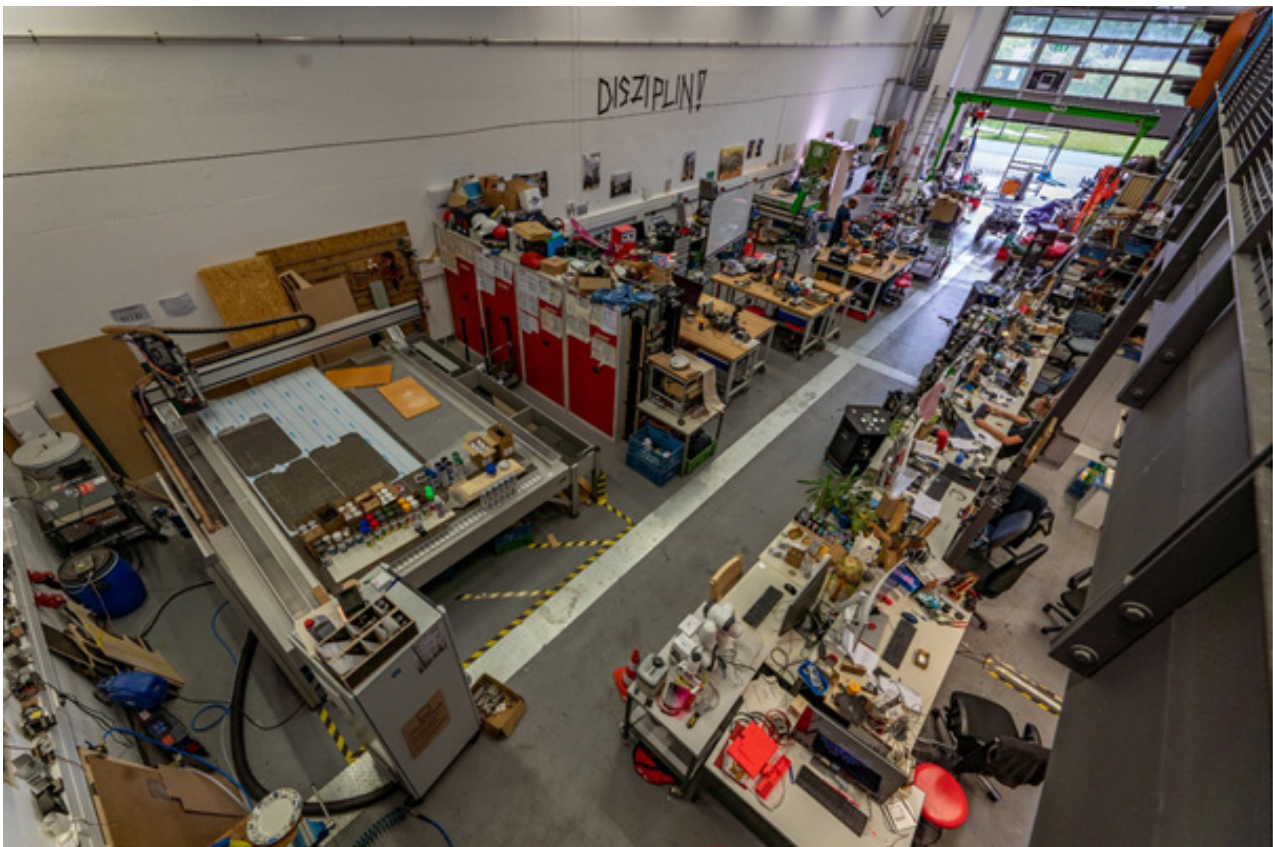
Service in Werkstätten

Um die Fahrzeuge dauerhaft im Alltag nutzen zu können, ist ein reibungslos funktionierender Service besonders wichtig. Die meisten Menschen können diesen nicht selbst vornehmen, da spezielle Kenntnisse und Werkzeuge erforderlich sind. Da Fahrradautos

ebenso wie die aktuellen Lastenräder in ihrer Dauerhaftigkeit längst nicht so ausgereift sind wie die Fahrzeuge des modernen individualisierten motorisierten Individualverkehrs und Fahrradteile zumeist für die Nutzung im privaten Bereich ausgelegt sind, werden Wartung und Reparatur verhältnismäßig häufig ausgeführt werden müssen.⁶⁵ Da es momentan fast keine Fahrradautos auf dem Markt gibt, lassen sich bisher keine Aussagen über Standardprozeduren tätigen.

Aufgrund der bauartbedingten Nähe zu Fahrrad und Automobil ist es naheliegend, die Händler- und Servicenetzwerke der Auto- und Fahrradbranche zu nutzen. Somit steht auch ein großes und leistungsfähiges Vertriebsnetzwerk zur Auswahl, um Kundenkontakt herzustellen, Probefahrten zu ermöglichen, Verkäufe abzuschließen, die Wartung der Fahrzeuge zu gewährleisten und Garantiefälle abzuwickeln.

Auch die Partnerwerkstätten können in das Servicenetzwerk aufgenommen werden. Die Mitarbeitenden sind mit dem gesamten Montageprozess vertraut und haben ein detailliertes Wissen zu den einzelnen Komponenten und deren Zusammenwirken im Gesamtfahrzeug. Die für Reparaturen notwendigen Ersatzteile und Räumlichkeiten sind ebenfalls vorhanden. Dies befähigt die lokal ansässigen Partnerwerkstätten zusätzlich zu den bekannten und leicht zu erschließenden Service- und Händlernetzwerken, Reparaturen an den Fahrzeugen vorzunehmen, wodurch ein flächendeckender Service für fair.be gewährleistet werden kann.



8. Entwicklungs- und Wertschöpfungsnetzwerk

Das hier beschriebene Vorhaben ist in das Innovationscluster ruhrvalley eingebunden, dem sich inzwischen sieben Institute der Fachhochschulen Dortmund, Bochum und Gelsenkirchen, 81 Unternehmen der Energie-, Mobilitäts- und Digitalwirtschaft sowie 25 weitere Partner aus Forschung, Kommunen, Kammern und Verbänden angeschlossen haben, um die Vernetzung und Digitalisierung von Produkten und Dienstleistungen rund um die Zukunftsthemen Energie und Mobilität in der Region voranzubringen. Durch Zugriff auf dieses Netzwerk profitiert das Vorhaben nicht nur aus eigener Erfahrung, sondern hat im Netzwerk auch geeignete Partner mit diversen Kompetenzen.

Im Bereich der Entwicklung konnte mit der Auktora GmbH ein in der Elektromobilität langjährig erfahrener Partner für Beratungen gewonnen werden. Die ANTRIC GmbH, ein Hersteller eines Fahrradautos für Lieferdienstleistungen, ist ein Spin-off Start-up der Hochschule Bochum und des Cargo Pedelec Projektes, in dem Studierende Lastenräder und überdachte Familienräder im Rahmen von problembasierter Lehre bauen (siehe auch „Interview mit der ANTRIC GmbH“). Es können Synergien bei der Entwicklung genutzt werden, da sich viele Herausforderungen in Recht und Konstruktion ähneln.

Viele Arbeiten im Rahmen der Prototypentwicklung sowie Workshops finden im Makerspace „Halle1“ der Westfälischen Hochschule in Gelsenkirchen statt. Die mit Werkzeugen aller Art, Metallverarbeitung, 3D-Druckern und vielem mehr ausgestattete offene Hightech-Werkstatt der „Halle1“ bietet dem Projektteam ideale Voraussetzungen für Prototyping und Erprobung einzelner Komponenten sowie die Erprobung der Montage des Gesamtfahrzeugs. In der Pre-Seed-Phase für das zu gründende Start-up wird es dadurch möglich, Prototypen und eine Kleinstserie aufzubauen sowie weitere Komponenten und Aufbauten anzufertigen und zu erproben.



Abbildung 10: Wertschöpfungsnetzwerk

Die Kompetenz der „Halle1“ ist außerdem die Mikromobilität. Als Versuchslabor wurden bereits unterschiedliche Fahrzeuge, wie das Schwerlastenrad „Armadillo“, der Lastenanhängers „Carla Cargo“ und das Lastenrad „Load“ in unterschiedlichen Anwendungsszenarien erprobt, erforscht und umgerüstet. Beispielsweise werden eigene Akkupacks für die Räder zur Erhöhung der Reichweite konstruiert und die Fahrzeuge mit anderen Motoren ausgestattet und getestet, um die Leistungsfähigkeit zu steigern.

Für die Fertigung von Rahmen, Karosserie und Fahrwerken konnte die Firma Klostermann gewonnen werden. Die Fertigung der Räder übernimmt das niederländische Unternehmen Alight.

Der GreenCityHub Gelsenkirchen steht dem Projekt ebenfalls als Partner zur Seite. Als Spin-off der AHAG GmbH, ein im Ruhrgebiet renommiertes Autohaus, sind Expert*innen mit jahrelanger

Vertriebs- und Service-Erfahrung im Zuge der weiteren Realisierung des Vorhabens beteiligt. Sie vertreiben Elektromobilität der gesamten Produktpalette, von Elektroautos, über Roller, Scooter und seit Ende letzten Jahres auch Cargo Bikes. Als Autohaus haben sie in ihrer Werkstatt erfahrene Service-Techniker, die auch die Reparatur von Cargo Bikes übernehmen können. Sie sind damit der ideale Vertriebs- und Servicepartner für das Fahrradauto fair.be.

Für die Montage der Fahrradautos ist das Konzept, auf bestehende Strukturen zurückzugreifen und gegebenes lokales Know-how zu nutzen. Mit der Diakonie im Kirchenkreis Recklinghausen konnte zuletzt ein Partner gewonnen werden, der sowohl Interesse an der Produktion der Fahrzeuge als auch an ihrem Einsatz für eigene Zwecke hat.



9. Interview mit der ANTRIC GmbH

„Wir wollen City-Logistik grüner, effizienter und umweltverträglicher machen“

Das Team der ANTRIC GmbH hat die Leidenschaft für Fahrradautos im 2015 gegründeten Lehrforschungsprojekt „Cargo Pedelec“ der Hochschule Bochum gefunden. In diesem Projekt beschäftigen sich Studierende unterschiedlicher Fachrichtungen interdisziplinär, wissenschaftlich und praktisch mit der Weiterentwicklung von Fahrrädern, damit die Mobilität in unseren Städten zukunftsfähiger werden kann. Es wurden bisher vier Fahrzeuge entwickelt, gebaut und erprobt. Der im vergangenen Projektzyklus realisierte Prototyp „car.go“ ist ein Fahrradauto für den Güterverkehr und führte zur Gründung der ANTRIC GmbH. Die beiden Gründer Eric Diederich und Moritz Heibrock geben in dem folgenden Interview Einblicke in das Unternehmen ANTRIC, in dem sie Ihre Begeisterung für Fahrräder mit ihren Erfahrungen aus der Automobilbranche, der Softwareentwicklung und dem Cargo Pedelec Projekt der Hochschule Bochum verbinden. Sie haben sich zum Ziel gesetzt, die City Logistik in Zukunft nachhaltiger, effizienter und umweltverträglicher zu gestalten.

Wer steckt hinter ANTRIC und wie kam es zur Gründung?

Heibrock: Seit 2015 arbeiten wir im Cargo Pedelec Projekt der Hochschule Bochum (eelo.eu) an der Entwicklung von Fahrzeugen, die zwischen E-Fahrrad und Elektroauto angesiedelt werden können. Durch ein immer größer werdendes Aufkommen an Zustellfahrzeugen in Innenstädten sehen wir im Bereich der City-Logistik und auf der „letzten Meile“ des Zustellungsprozesses einen großen Bedarf. Daher

wurde es für uns Zeit, aus dem Hochschulrahmen auszugründen und diesen Bedarf zu nutzen, um wirklich etwas an unserer Mobilität zu verändern. Im August 2020 war es dann soweit: Wir haben ANTRIC gegründet. Aktuell arbeiten wir in einem 12-köpfigen Team an der Weiterentwicklung des ersten im Hochschulprojekt entwickelten Prototypen des ANTRIC ONE und dem Ausbau unseres Service- und Beratungsangebots sowie einer App für die Routenplanung und Optimierung.

Wofür steht ANTRIC und was möchtet ihr mit eurem Konzept erreichen?

Heibroek: ANTRIC steht für electRIC ANT, die Elektrische Ameise. Die Ameise ist, so wie unser Fahrzeug, in der Lage, ein Vielfaches ihres Körpergewichts zu transportieren. Sie organisiert sich auf einem großen wuseligen Haufen und doch weiß jede Ameise, was sie zu tun hat und welchen Weg sie nehmen muss, um ohne Stau die Gemeinschaft weiterzubringen – auf ganz natürliche, ökologische und effiziente Weise. Genauso wollen wir mit ANTRIC die City-Logistik grüner, effizienter und umweltverträglicher machen und die Lebensqualität in unseren Städten verbessern. Dafür bieten wir ein Komplettpaket für die City-Logistik an. Dieses besteht aus dem dafür perfekt abgestimmten Fahrzeug ANTRIC ONE, welches rechtlich als elektrisches Lastenfahrrad gilt, einer App für die Auftragsabwicklung und Routenplanung sowie Beratung und Unterstützung bei der Integration in die Logistikabläufe: vom Mikrodepot bis zur Finanzierung.

Für wen ist das ANTRIC ONE geeignet?

Heibroek: Zunächst einmal für alle, die im innerstädtischen Bereich mehrere oder große Dinge transportieren müssen. Das heißt für Kurier-Express-Paket-(KEP)-Dienstleister, aber auch Onlinesupermärkte oder die Auslieferung von Biogemüsekisten. Zusätzlich ist der Einzelhandel mehr und mehr darauf angewiesen, seine Onlinepräsenz und das Lieferangebot auszubauen. Auch hier kann das ANTRIC ONE gut eingesetzt werden.

Grundsätzlich bietet das ANTRIC ONE eine Plattform für unterschiedlichste wechselbare Aufbauten, sodass neben dem reinen Transport von Waren und dem geeigneten Wechselsystem dazu auch viele andere Anwendungsfälle möglich sind. Vom Personentransport über das „Coffee-Bike“ bis zum Handwerkerfahrzeug.

Wie ist ANTRIC ONE aufgebaut?

Heibroek: Das ANTRIC ONE ist ein Lastenfahrrad, welches wahlweise Güter auf Europaletten oder Wechselcontainer mit 2 m³ Stauraum und bis zu 300 kg Zuladung transportieren kann. Durch die bodennahe Konstruktion der Ladefläche des ANTRIC ONE, die sich zur Be- und Entladung auch komplett auf Bodenniveau absenken lässt, können Wechselcontainer, aber auch Paletten oder andere Güter einfach auf- und entladen werden.

Neben dem Standard-Wechselcontainer mit 2 m³ Ladevolumen bieten wir unseren Kunden genau an ihre Bedürfnisse angepasste Lösungen an.

Als Vierrad ist das ANTRIC ONE sehr fahrstabil und kurvensicher und sorgt für ein angenehmeres Fahrverhalten, auch bei schlechten Straßenbedingungen und erhöht die Haltbarkeit. Auch hohe Bordsteine oder Pflastersteinstraßen sind problemlos befahrbar,

da jedes Rad einzeln gefedert und gedämpft ist, was auch die Haltbarkeit der Komponenten und des Gesamtfahrzeugs erhöht.

Als eigens für die Logistikbranche entwickeltes Fahrzeug ist das ANTRIC ONE perfekt auf die vorherrschenden Arbeitsprozesse abgestimmt. Ein Keyless-Go-System erleichtert die Arbeit, erhöht den Komfort und sorgt für die Sicherheit der Waren und des Fahrzeugs. Die angenehm hohe Sitzposition beschleunigt die Arbeitsabläufe und reduziert die körperliche Belastung der fahrenden Person.

Die Fahrerkabine des ANTRIC ONE ist auf der rechten Seite geöffnet. Wenn die fahrende Person aussteigt und neben dem Fahrzeug laufend, kurze Strecken, z.B. in Fußgängerzonen zurücklegen möchte, kann das Fahrzeug durch einen außen liegenden Gasgriff nachgeführt und auf das wiederholte Ein- und Aussteigen verzichtet werden.

Die Anordnung der Türen zum Wechselcontainer ist so abgestimmt, dass die Laufwege extrem kurz sind und der Fahrer oder die Fahrerin nicht über die befahrene Straße laufen muss. Eine Textilkarosserie schützt bei schlechtem Wetter vor Nässe und gibt dem Fahrzeug sein außergewöhnliches, futuristisches und nachhaltiges Design.

Neben dem nachhaltigen Fahrzeugkonzept spielen Ressourcenschonung und Recyclingfähigkeit bei der ANTRIC GmbH eine große Rolle. So wird für das ANTRIC ONE und alle folgenden Fahrzeuge eine Lebenszyklusanalyse durchgeführt, um das Fahrzeug hinsichtlich aller Aspekte der Nachhaltigkeit zu verbessern.

Was ist bei der Entwicklung des Fahrzeugs besonders zu beachten?

Heibroek: Fahrzeuge, die in der Logistik eingesetzt werden, sind Arbeitswerkzeuge. Da gibt es keinen schonenden Umgang. Deshalb ist es besonders wichtig, auf die Robustheit des Fahrzeugs zu achten. Dies ist besonders bei der Komponentenauswahl eine Herausforderung, da herkömmliche Fahrradkomponenten den Belastungen nicht standhalten.

Außerdem sind die meisten Fahrer*innen mit dem ANTRIC ONE acht Stunden am Tag unterwegs. Deshalb spielen Ergonomie und Komfort eine große Rolle. Auf einem konventionellen Fahrradsattel zum Beispiel wollen und können die wenigsten Menschen einen ganzen Arbeitstag lang sitzen.

Gibt es schon Pläne zur Produktion?

Heibroek: Die Produktion des ANTRIC ONE werden wir in Zusammenarbeit mit mehreren Unternehmen aus der Region aufbauen. Diese fertigen die Spezialteile, die wir benötigen. Die Montage der Fahrzeuge werden wir selbst als ANTRIC GmbH vornehmen. Dies bringt unter anderem den Vorteil mit sich, dass wir immer alle Ersatzteile und Werkzeuge für Wartungsarbeiten vorrätig haben.



Team von ANTRIC, vorne sitzend
Eric Diedrich und Moritz Heibroek (v.r.n.l.)

10. Ausblick

Die Vision, die Mobilität und den Verkehr in unseren Städten nachhaltig, emissionslos und menschlicher zu gestalten, motiviert uns zu unserem Handeln. Deswegen verfolgen wir das Ziel, die Alltagstauglichkeit und die Attraktivität von Fahrrädern über den kritischen Wendepunkt hinaus hin zum Fahrradauto zu steigern. Damit wollen wir, zum Nutzen aller, unseren Teil zu einer zukunftsfähigen, postfossilen und bedarfsorientierten Mobilität beitragen.

Der Wandel unserer Gesellschaft hin zu Urbanisierung und Individualisierung geht immer schneller voran. Die Forderungen von Bewohner*innen des urbanen Raumes, Interessenverbänden und der Politik nach einem Wandel des Mobilitätssektors zu mehr Effizienz und Nachhaltigkeit wird zunehmend deutlicher. Bürger*innen möchten sich im öffentlichen Raum wohlfühlen. Dazu gehört es auch, den Willen zur Veränderung umzusetzen, Verantwortung dafür zu übernehmen und somit eine positive Mentalität zum Wandel anzunehmen und zu leben.

Der boomende Fahrradmarkt zeigt, dass Pedelecs längst im Trend sind und Menschen das Radfahren entdecken, die die Fortbewegung nur im Auto kannten. Kinder, Hunde, Einkäufe und Gepäck werden in Lastenrädern transportiert, ganze Fahrspuren durch überbreite Fahrradwege ersetzt, ganze Straßenabschnitte zu Fahrradstraßen umgebaut und die StVO um Regeln zu Gunsten des Radverkehrs erweitert. Was in Großstädten wie Berlin, Hamburg

oder München schon jetzt zum alltäglichen Stadtbild gehört, wird allmählich auch im Ruhrgebiet Realität. Neue Geschäftsmodelle und Sharing-Angebote setzen sich langsam durch. Die multimodale Gestaltung der Mobilität zeichnet sich bereits jetzt ab und wird enorm zunehmen, weil Menschen die konkreten Vorteile anderer, neuer Fahrzeuge und bedarfsgerechter Mobilitätsformen in ihrem Alltag erkennen und schätzen lernen.

Schon in naher Zukunft könnten Fahrradautos die Alternative sein. Sie werden von Menschen mit und ohne Führerschein durch unsere Städte bewegt und damit die Last-Mile-Logistik, der innerstädtische Personenverkehr und somit das gesamte Stadtbild zum Positiven verändert, weil Platz für die Lebensqualität, die Sicherheit und die Bedürfnisse aller Menschen geschaffen wird und Mobilität bedürfnisorientierter, gesünder und moderner gelebt wird.

Um diesen Trend zu begünstigen, muss sich die Branche und Infrastruktur jedoch noch weiterentwickeln.



Es braucht:

- Eine Weiterentwicklung der Fahrzeuge hinsichtlich Qualität, Wartungsintervallen und Usability. Um die Potentiale voll auszuschöpfen, ist noch viel technische Entwicklung notwendig. Es benötigt eine Weiterentwicklung kritischer Fahrradkomponenten (z.B. Räder, Bremsen, Dämpfer), um den erhöhten Lastfällen standzuhalten.
- Für die Konstruktion und Prüfung von Fahrradautos wird eine für diese Fahrzeuge uneingeschränkt gültige Norm benötigt. Das Erlangen einer CE-Kennzeichnung muss unkompliziert und rechtssicher möglich werden. Prüflabore müssen in der Lage sein, Zertifizierungen und Prüfungen vollständig akkreditiert und normbasiert durchzuführen, damit sie als rechtssicher anerkannt werden. Es muss eine neue Fahrzeugklasse geschaffen werden, in die Fahrradautos eindeutig eingeordnet werden können. Diese soll sich an Fahrrädern und nicht an der gängigen KFZ-Klassifizierung orientieren, damit das Fahrradauto eine Alternative zu den gängigen KFZ bleiben und auf dem Radweg gefahren werden kann.
- Einen Ausbau der Wegeinfrastruktur, um das „Platzproblem“ auf Straßen zu lösen. Fahrradautos und Lastenräder benötigen Platz im öffentlichen Raum.
- Einen Ausbau der Serviceinfrastruktur und die Professionalisierung der Branche. Künftig gibt es Fahrräder, die ähnlich kompliziert aufgebaut sind wie kleine Autos. Die Infrastruktur muss darauf vorbereitet werden. Wartezeiten von drei Monaten für eine Inspektion sind nicht tragbar, wenn Fahrradautos professionell eingesetzt werden sollen.
- Weitere Förderungen, um ausreichend auf Alternativen aufmerksam und diese attraktiv für die Bevölkerung zu machen. So wäre eine Abwrackprämie, die den Austausch von Autos gegen kleinelektromotorisierte Fahrzeuge eine Möglichkeit, welche zum Beispiel in Litauen bereits mit großem Erfolg umgesetzt worden ist. Überhaupt ist eine Förderung für Kleinfahrzeuge und S-Pedelecs bzw. schnelle „Fahrradautos“ einzuführen, denn derzeit werden diese weder über die Elektroautoförderung noch über die Lastenradförderung aufgefangen, weswegen der Kauf dieser Fahrzeuge von den meisten Menschen gar nicht erst in Betracht gezogen wird.

Das Fahrzeug fair.be stellt ein ausgefallenes Produkt der Individualmobilität dar. Es ist eine ökologisch nachhaltigere, umwelt- und ressourcenschonendere Alternative zum Automobil, ermöglicht Zugang zur nachhaltigen Mobilität, Inklusion und Partizipation und leistet einen wichtigen Beitrag zur Mobilitätswende.

Mit dem Vorhaben, das fair.be zu entwickeln und dezentral fertigen zu lassen, konnte das Team die Fachjury der Gründungsförderung START-UP transfer.NRW überzeugen. Das für eine Dauer von 18 Monaten geplante Forschungsprojekt wurde im Januar 2021 begonnen. Der erste Prototyp wird im Sommer 2021 im Maker Space „Halle1“ der Westfälischen Hochschule fertiggestellt. Auf dessen Basis wird ein Pilotprojekt mit der Diakonie im Kirchenkreis Recklinghausen umgesetzt. Gleichzeitig bietet dieser Pilotpartner ideale Einsatzmöglichkeiten für Fahrradautos, sodass die produzierten Fahrzeuge auch im Arbeitsalltag der Diakonie erprobt werden können. Die technische Weiterentwicklung erfolgt dann nach den realen Anforderungen der Nutzer*innen. Die Transferförderung dient dazu, das gesamte Geschäftsmodell und dessen Umsetzung und Wirtschaftlichkeit zu evaluieren.

Das Ruhrvalley ist Innovationscluster für die Vernetzung und Digitalisierung in den Bereichen Energie und Mobilität des Ruhrgebiets. Es bietet ideale Bedingungen, um die Mobilität der Region nachhaltig und zukunftsfähig zu prägen und ein Kompetenzzentrum für Fahrradautos zu etablieren.



Quellenverzeichnis

- ¹ Destatis (2020): Kohlendioxidemissionen im Verkehr gegenüber 1990 gestiegen, https://www.destatis.de/Europa/DE/Thema/Umwelt-Energie/CO2_Sektoren.html (Zugriff: 4. Februar 2021).
- ² Ruhrort, Lisa (2019): Transformation im Verkehr, Wiesbaden.
- ³ Geels, Frank W. (2002): Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study, in: Research Policy 31, S. 1257-1274.
- ⁴ Stöppler, Reinhilde (2015): Menschen mit (Mobilitäts-)Behinderung: Handbuch für Fachkräfte zur Förderung der Mobilitätskompetenzen von Menschen mit Behinderung, Bonn.
- ⁵ Daubitz, Stephan (2017): Mobilität und soziale Exklusion: Ein Plädoyer für ein zielgruppenspezifisches Mobilitätsmanagement, in: Verkehr und Mobilität zwischen Alltagspraxis und Planungstheorie, Wiesbaden, S. 56.
- ⁶ Zukunftsnetz Mobilität NRW (2016): Kosteneffizienz durch Mobilitätsmanagement: Handbuch für die kommunale Praxis, Köln.
- ⁷ Wilde, Mathias; Gather, Matthias; Neiberger, Cordula; Scheiner, Joachim (2017): Verkehr und Mobilität zwischen Alltagspraxis und Planungstheorie, Wiesbaden.
- ⁸ Steinmeyer, Imke (2007): Definition und Bedeutung des Personenwirtschaftsverkehrs: Ein Sachbericht aus dem Jahr 2006, Berlin.
- ⁹ Gnann, Till; Plötz, Patrick; Zischler, Florian; Wietschel, Martin (2012): Elektromobilität im Personenwirtschaftsverkehr: Eine Potentialanalyse: Working Paper Sustainability and Innovation, No. S7/2012, Karlsruhe.
- ¹⁰ Umweltbundesamt (2020): Klimaschutz im Verkehr, <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/nachhaltige-mobilitaet/klimaschutz-im-verkehr> (Zugriff: 12. Februar 2021).
- ¹¹ United Nations (1987): Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future, UN – United Nations.
- ¹² Götz, Konrad (2011): Nachhaltige Mobilität, in: Handbuch Umwelsoziologie, Wiesbaden, S. 325-347.
- ¹³ Gross, Angela (2013): Barrieren und Chancen für die Realisierung nachhaltiger Mobilität. Eine Analyse der Zeitunabhängigkeit von Mobilitätsmustern am Beispiel von Krems/Donau, Wien.
- ¹⁴ Ruhrort, Lisa (2019): Transformation im Verkehr (s. Anm. 2).
- ¹⁵ Prill, Thomas (2015): Pedelecs als Beitrag für ein nachhaltiges Mobilitätssystem? Eine Analyse zur Akzeptanz, Nutzung und Wirkung einer technologischen Innovation, Frankfurt am Main.
- ¹⁶ Umweltbundesamt (2020): Klimaschutz im Verkehr, <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehrlaerm/nachhaltige-mobilitaet/klimaschutz-im-verkehr> (Zugriff: 12. Februar 2021).
- ¹⁷ Allianz pro Schiene (2019): „Keine Trendwende bei der Klimabelastung durch den Verkehr“, <https://www.allianz-pro-schiene.de/presse/pressemitteilungen/keine-trendwende-bei-klima-last-durch-verkehr/> (Zugriff: 3. Februar 2021).
- ¹⁸ Destatis (2020): Kohlendioxidemissionen im Verkehr gegenüber 1990 gestiegen (s. Anm. 1).
- ¹⁹ Wermuth, Manfred (2016): Personenwirtschaftsverkehr: Die empirische Analyse eines unterschätzten Teils des Straßenverkehrs, in: Handbuch Verkehrspolitik, 2016, S. 295-322.
- ²⁰ Follmer, Robert; Gruschwitz, Dana (2019): Mobilität in Deutschland: MiD Kurzreport, Bonn, Berlin.
- ²¹ Nobis, Claudia (2019): Mobilität in Deutschland – MiD Analysen zum Radverkehr und Fußverkehr: Studie von infas, DLR, IVT und infas 360 im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (FE-Nr. 70.904/15), Bonn, Berlin.
- ²² Forschungsinformationssystem (FiS) (2019): Pkw-Besetzungsgrad bei der privaten Autonutzung, <https://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/79638/> (Zugriff: 5. Januar 2021).
- ²³ Allekötter, Michel; Althaus, Hans-Jörg; Bergk, Fabian; Biemann, Kirsten; Knörr, Wolfram; Sutter, Daniel (2020): Umweltfreundlich mobil! Ein ökologischer Verkehrsartenvergleich für den Personen- und Güterverkehr in Deutschland, Dessau-Roßlau, S. 15.
- ²⁴ Regionalverband Ruhr (2018): Regionales Mobilitätsentwicklungskonzept für die Metropole Ruhr, Essen.
- ²⁵ Hesse, Markus; Scheiner, Joachim (2010): Mobilität, Erreichbarkeit und gesellschaftliche Teilhabe: Die Rolle von strukturellen Rahmenbedingungen und subjektiven Präferenzen, in: Vierteljahrshefte zur Wirtschaftsforschung 79, S. 94-112.
- ²⁶ BMU (2016): Klimaschutzplan 2050: Klimapolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung, Berlin.
- ²⁷ Prill, Thomas (2015): Pedelecs als Beitrag für ein nachhaltiges Mobilitätssystem? Eine Analyse zur Akzeptanz, Nutzung und Wirkung einer technologischen Innovation (s. Anm. 14), S. 24.
- ²⁸ Umweltbundesamt (2020): Nachhaltige Mobilität, <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/nachhaltige-mobilitaet> (Zugriff: 17. September 2020).
- ²⁹ Ruhrort, Lisa (2019), Transformation im Verkehr (s. Anm. 2).
- ³⁰ Kraftfahrt-Bundesamt (2020), Jahresbilanz Neuzulassungen, https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/jahresbilanz/jahresbilanz_inhalt.html?nn=2601598 (Zugriff: 18. September 2020).
- ³¹ Canzler, Weert; Knie, Andreas (2020): Einfach zu viele Autos: Neue Antriebe alleine reichen nicht, in: Energiewende und Megatrends: Wechselwirkungen von globaler Gesellschaftsentwicklung und Nachhaltigkeit, Bielefeld, S. 193-213.
- ³² Burkart, Günter (1994): Individuelle Mobilität und soziale Integration. Zur Soziologie des Auto-mobilismus, in: Soziale Welt.
- ³³ Allekötter, Michel et al. (2020): Umweltfreundlich mobil! (s. Anm. 23).
- ³⁴ Zweirad-Industrie-Verband (2020): Fahrrad- und E-Bike-Industrie trotz der Corona-Krise: Stimmungsbarometer für das 1. Halbjahr 2020, Bad Soden.
- ³⁵ Statista (2021): Elektrofahrrad, Pedelec – Besitz in Deutschland 2020, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/593864/umfrage/umfrage-in-deutschland-zum-besitz-eines-elektrofahrrads-pedelecs/> (Zugriff: 3. Februar 2021).
- ³⁶ SINUS-Institut (2020): Fahrrad-Monitor Deutschland Corona-Befragung 2020: Ergebnisse einer repräsentativen Online-Befragung.

- ³⁷ Ruhrort, Lisa (2019), Transformation im Verkehr, S. 142 (s. Anm. 2).
- ³⁸ Internationale Automobil Ausstellung (2021): Radfahren als elementarer Bestandteil des Mobilitätskonzepts der IAA, <https://www.iaa.de/de/mobility/aussteller/aussteller-werden/vorteile-for-mate/fahrrad-bei-der-iaa-mobility-2021> (Zugriff: 12. Februar 2021).
- ³⁹ Soénius, Ulrich; Marschall-Meyer, Marion; Hupperts, Frederik; Auge, Johannes; Bruns, André; Kowald, Matthias (2019): Betriebliches Mobilitätsmanagement: Chancen für die regionale Wirtschaft, Köln.
- ⁴⁰ Hansen, Janine; Petri, Christoph; Vasiliadis, Jan-Peter; Kohlwes, Stefan: Praxisleitfaden Betriebliches Mobilitätsmanagement, Berlin.
- ⁴¹ Soénius, Ulrich et al. (2019): Betriebliches Mobilitätsmanagement (s. Anm. 45).
- ⁴² Gruber, Johannes (2016): Untersuchung des Einsatzes von Fahrrädern im Wirtschaftsverkehr (WIV-RAD): Schlussbericht an das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Berlin.
- ⁴³ Borgstedt, Silke; Jurczok, Franziska; Gensheimer, Tim (2019): Fahrrad-Monitor Deutschland 2019: Ergebnisse einer repräsentativen Online-Befragung, Heidelberg.
- ⁴⁴ Bungard, Patrick (2018): CSR und Geschäftsmodelle, Berlin, Heidelberg.
- ⁴⁵ Borgstedt et al. (2019), Fahrrad-Monitor Deutschland 2019 (s. Anm. 49).
- ⁴⁶ ebd.
- ⁴⁷ Zweirad-Industrie-Verband (2020): Fahrrad- und E-Bike-Industrie trotzten der Corona-Krise (s. Anm. 40).
- ⁴⁸ Kremer, Werner (2015): Mehrspuriges Fahrrad, <https://depatisnet.dpma.de/DepatisNet/depatisnet?action=bibdat&doid=DE102015120275A1> (Zugriff: 5. Januar 2021).
- ⁴⁹ Lanzendorf, Martin (2003): Mobility biographies. A new perspective for understanding travel behaviour, Luzern.
- ⁵⁰ Jonuschat, Helga; Wölk, Michaela; Handke, Volker (2012): Untersuchung zur Akzeptanz von Elektromobilität als Stellglied im Stromnetz: IZT im Auftrag und in Zusammenarbeit mit B.A.U.M. Consult GmbH, Leiter der Begleitforschung für den Förderschwerpunkt „IKT für Elektromobilität“, Berlin.
- ⁵¹ Hunecke, Marcel (2015): Mobilitätsverhalten verstehen und verändern, Wiesbaden.
- ⁵² Gruber, Johannes (2016): Untersuchung des Einsatzes von Fahrrädern im Wirtschaftsverkehr (WIV-RAD): Schlussbericht (s. Anm. 48).
- ⁵³ Gnann, Till et al. (2012): Elektromobilität im Personenwirtschaftsverkehr: Eine Potentialanalyse (s. Anm. 9).
- ⁵⁴ Jonuschat, Helga et al. (2012): Untersuchung zur Akzeptanz von Elektromobilität als Stellglied im Stromnetz (s. Anm. 56).
- ⁵⁵ Hörold, Stephan (2016): Instrumentarium zur Qualitätsevaluation von Mobilitätsinformation, Wiesbaden.
- ⁵⁶ Schnieder, Lars; Gebhardt, Laura (2016): Nutzerorientierter Entwurf innovativer Mobilitätskonzepte für urbane Räume, Braunschweig, Berlin.
- ⁵⁷ ebd.
- ⁵⁸ Kaspar, Jerome; Schneberger, Jan-Henrik; Vielhaber, Michael (2020): LEAN Mobility – The spirit of a future Lightweight, Efficient, Application-oriented and Need-adapted road mobility concept, in: Procedia Manufacturing 43, S. 64-71.
- ⁵⁹ Bosch eBike Systems (2020): eBiken – gehen da Kalorien flöten?, <https://www.bosch-ebike.com/de/rund-ums-ebike/stories/der-kalorienverbrauch-beim-fahrradfahren-und-ebiken/> (Zugriff: 23. Dezember 2020.470Z).
- ⁶⁰ AWK Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium (2017): Internet of Production für agile Unternehmen, S. 111.
- ⁶¹ Burggräf, Peter; Kampker, Achim; Nee, Carsten; Sarovic, Nemanja (2014): Wirtschaftliche Industrialisierung automobiler Kleinserien am Beispiel StreetScooter, S. 15.
- ⁶² EUROBIKE: Liefersituation 2021: Es könnte zu Engpässen kommen, <https://www.eurobike.com/de/themen/business-solutions/liefersituation-2021-es-konnte-zu-engpaessen-kommen/> (Zugriff: 24. Februar 2021).
- ⁶³ Kriegesmann, Bernd; Kerka, Friedrich (2007): Innovationskulturen für den Aufbruch zu Neuem, Bochum.
- ⁶⁴ Bundesagentur für Arbeit (2019): Situation schwerbehinderter Menschen, Nürnberg.
- ⁶⁵ Gruber, Johannes (2016), Untersuchung des Einsatzes von Fahrrädern im Wirtschaftsverkehr (WIV-RAD): Schlussbericht (s. Anm. 48).

Impressum

HERAUSGEBER

© Institut für Innovationsforschung und
-management (ifi)
Zentrale wissenschaftliche Einrichtung
der Westfälischen Hochschule
Buscheyplatz 13
44801 Bochum

Prof. Dr. Bernd Kriegesmann

BILDNACHWEISE

Kapitel 1: ©Diakonie im Kirchenkreis Recklinghausen
Kapitel 2.2: 1. ©Markus Mainka (shutterstock)
Kapitel 2.3: ©Kzenon (shutterstock)
Kapitel 2.4.: ©Artens
Kapitel 3: ©citkar GmbH, ©Bio-Hybrid GmbH; ©Antric GmbH;
©VOWAG GmbH; ©Z.E.G.; ©Podbike; © Pedilio; ©City Q;
©Noca Mobility
Kapitel 4: ©Monkey Business Images (shutterstock),
©annscreations (shutterstock), ©SpeedKingz (shutterstock),
©Rido (shutterstock)
Kapitel 7.2: ©wk1003mike (shutterstock)
Kapitel 8: ©Halle1
Kapitel 9: ©ANTRIC GmbH
Kapitel 10: ©Halle1

BETEILIGTE WISSENSCHAFTLER*INNEN

Prof. Dr. Bernd Kriegesmann (Projektleiter)
Helen Kessel
Michael Roch
Holger Kluft
Torben Lippmann

DESIGN UND REALISIERUNG

Art des Hauses
Kreativagentur
Hörder-Semerteichstraße 175
44263 Dortmund

GEFÖRDERT DURCH:



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Institut für Innovationsforschung und -management
Westfälische Hochschule, Koordination



Institut für Elektromobilität
Hochschule Bochum



Klostermann Group



Green City Hub GmbH





**Institut für Innovationsforschung
und -management (IFI)**
Buscheyplatz 13
44801 Bochum

