



HINTERGRUND // AUGUST 2014

E-Rad macht mobil **Potenziale von Pedelecs** **und deren Umweltwirkung**

Für Mensch & Umwelt

Umwelt 
Bundesamt

Inhalt

Zusammenfassung/Abstract	4
1. Status Quo	5
2. Einsatzmöglichkeiten von Pedelecs und Potenziale	8
2.1 Pedelecs – Einsatzmöglichkeiten	8
2.2 Infrastrukturanforderungen und Abstellplätze	14
3. Umweltwirkung von Pedelecs	15
3.1 Geringer Energieverbrauch und CO ₂ -Ausstoß	15
3.2 Geringere Belastung der Luftqualität	15
3.3 Wenig Flächenverbrauch und Lärm	16
3.4 Eigenschaften und Umweltwirkungen der aktuell eingesetzten Akkutypen	17
3.5 Rücknahme und Recycling der Pedelecs und Akkus	19
4. Handlungsempfehlungen	21
Anhang	
Exkurs: E-Räder – Typenvielfalt und rechtliche Einordnung	23
Abkürzungsverzeichnis und Glossar	27
Notizen	28

Zusammenfassung/Abstract

Pedelecfahren ist Radfahren mit Rückenwind: Längere Strecken als mit dem herkömmlichen Fahrrad bewältigen, ohne verschwitzt anzukommen. Etwa 1,6 Millionen E-Räder sind aktuell in Deutschland im Einsatz. Davon stellt das Pedelec, ein Fahrrad mit Elektromotorunterstützung, mit einem Marktanteil von 95% den Großteil der Elektrofahrzeugflotte in Deutschland. Radfahren liegt im Trend, und das Ziel der Bundesregierung, bis 2020 den Radverkehrsanteil von bisher 10% auf 15% zu steigern, kann auch durch zunehmende Pedelecnutzung unterstützt werden. Die Vorzüge und Einsatzmöglichkeiten von E-Rädern sind vielfältig: Sie erleichtern das Überwinden größerer Distanzen, ermöglichen den Transport größerer Lasten, natürliche Hindernisse wie Höhenunterschiede oder Gegenwind lassen sich leichter bewältigen. Zudem sind Dienst-Pedelecs eine Alternative zum Dienst-PKW und auch eine ideale Fortbewegungsmöglichkeit in der Freizeit und bei touristischen Touren. Die teilweise schnelleren Geschwindigkeiten verglichen mit dem herkömmlichen Fahrrad und die höheren Anforderungen an sichere Abstellmöglichkeiten erfordern Investitionen in die Infrastruktur.

Die Frage nach den Potenzialen von Pedelecs für nachhaltige Mobilität und insbesondere nach den Umweltwirkungen wird häufig gestellt. In diesem Papier werden dazu Antworten aufgezeigt. Ein Pedelec belastet zwar die Umwelt stärker als ein herkömm-

liches Fahrrad ohne Elektromotor, aber die relativ geringen negativen Umwelteffekte der Pedelecs werden deutlich aufgewogen wenn PKW-Fahrten durch Pedelecfahrten ersetzt werden. Die Energiemenge, die ein Pedelec für eine Strecke von 10 km benötigt, entspricht in etwa der Energie, die erforderlich ist, um 0,7 Liter Wasser bei Raumtemperatur zum Kochen zu bringen. Bei der Stromerzeugung fallen derzeit mit dem deutschen Energiemix noch Luftschadstoffe an, dieser Anteil ist für den Pedelecstrom jedoch nur ein Bruchteil der Luftschadstoffe, die bei einem Verbrennungsmotor für die gleiche Strecke anfallen. Die aktuell am häufigsten bei Pedelecs eingesetzten Lithium-Ionen-Akkus belasten das Klima in der Herstellung und Entsorgung mit 22-30kg CO_{2eq}. Vergleicht man das mit 21,5kg CO_{2eq} pro 100 km aus eingesparten PKW-Kilometern, sind bereits nach 100 Pedelec-Kilometern die Treibhausgasemissionen des Akkus beglichen. Sinnvolles Recycling von Akkus und auch der Räder selbst trägt zur Ressourcenschonung bei.

Im Rahmen einer integrierten Verkehrsplanung sind Pedelecs ein wichtiger Baustein für nachhaltige Mobilität in Städten, aber auch ganz besonders im ländlichen Raum. Aus Umweltsicht ist diese Art von Elektrofahrzeugen zu begrüßen und sollte aktiv beworben und gefördert werden, um noch mehr neuen Nutzergruppen Pedelecs als attraktive, kostengünstige und umweltverträgliche Mobilitätsform als Alternative zum PKW schmackhaft zu machen.

Begriffsdefinition

Häufig werden die Begriffe Pedelec, E-Rad oder E-Bike synonym oder unterschiedlich in ihrer Bedeutung verwendet. Im Nachfolgenden werden daher zunächst die Begriffe nach unserem Verständnis definiert um die Unterschiede grob zu verdeutlichen.

Pedelecs sind Elektrofahräder; sie werden mit Muskelkraft angetrieben und bis zu einer Geschwindigkeit von 25 km/h durch einen elektrischen Motor mit maximal 250 Watt Leistung unterstützt. Die Handhabung der Pedelecs unterscheidet sich von der der konventionellen Fahrräder kaum.

E-Bikes sind Fahrräder mit Elektromotor, welche auch ohne Tretbewegungen, also rein elektrisch, fahren können.

E-Räder (= Abkürzung von Elektroräder) ist der Überbegriff für elektrounterstützte Fahrräder also Pedelecs und E-Bikes).

Die detaillierten Unterscheidungen der Pedelecs und der E-Bikes (rein technisch und rechtlich gesehen) können im Anhang „Exkurs: E-Räder – Typenvielfalt und rechtliche Einordnung“ nachgelesen werden.



1. Status Quo

Mobilität spielt in unserer Gesellschaft eine bedeutende Rolle. Diese für künftige Generationen zu erhalten – vor allem unter Berücksichtigung immer knapper werdender Ressourcen und des Schutzes und Erhalts unserer Umwelt – stellt eine große Herausforderung dar. Mehr Radverkehr kann hierfür eine gute Lösung sein.

In der Erhebung „Mobilität in Deutschland 2008“ hatte der Radverkehr einen Anteil von 10% an allen Wegen; der gesamte Umweltverbund (Öffentlicher Verkehr, Fuß- und Radverkehr) lag bei 42%. Das Wachstum des motorisierten Individualverkehrs hat sich seit der Erhebung im Jahr 2002 abgeschwächt, der Umweltverbund nahm an Bedeutung zu.¹

Nachhaltigkeit ist ein politisches Leitbild der Bundesregierung und dient als Motor für gesellschaftlichen und politischen Fortschritt². In der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie „Perspektiven für Deutschland“ formuliert die Bundesregierung konkrete Aufgaben und Ziele. Zentrales Handlungsfeld ist das Thema Klima und Energie (Reduktion der weltweiten Treibhausgasemissionen um 50% bis 2050 gegenüber 1990). Deutschland verfolgt das Ziel, seine Treibhausgasemissionen bis 2020 um 40% bzw. bis 2050 um 85-95% gegenüber 1990 zu senken. Betrachtet man die CO₂-Emissionen aller Sektoren seit 1990 kam es jedoch nur im Verkehrssektor zu keiner Reduktion der Emissionen; hier sind diese sogar angestiegen. Technische Entwicklungen zur CO₂-Minderung wurden durch den stark wachsenden Verkehr (zurückgelegte Fahrzeug-Kilometer) der letzten Jahre wieder kompensiert³.

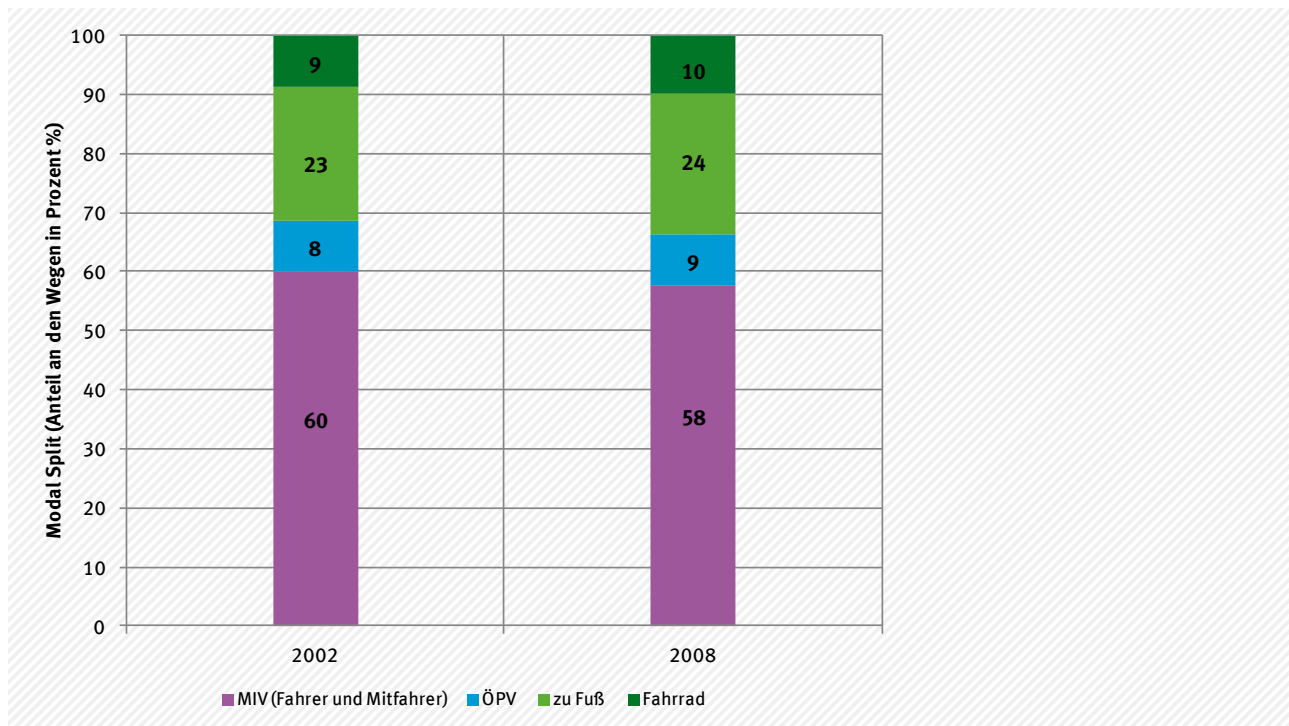
Im Personenverkehr hat der motorisierte Individualverkehr etwa einen Anteil von rund 80% an allen zurückgelegten Kilometern. Entsprechend hoch sind der Energieverbrauch und die Emissionen von CO₂ und anderen Luftschadstoffen pro zurückgelegtem Kilometer. Fuß- und Radverkehr als umweltfreundliche Fortbewegungsoptionen verursachen nahezu keine schädlichen Emissionen.

Eine Studie der Technischen Universität Dresden im Auftrag des Umweltbundesamtes ging der Frage nach, ob Radfahren einen Beitrag dazu leisten kann, die Treibhausgasemissionen in Deutschland zu reduzieren. Sie kam zu dem Ergebnis, dass ein intelligenter und umweltverträglicher Verkehr der Zukunft mit integrierten Lösungen notwendig ist: schadstoffarme oder -freie Fahrzeuge einsetzen, kurze Wege mit dem Rad fahren, allgemein kürzere Wege zu näheren Zielen wählen und die Voraussetzungen für die vermehrte Nutzung des Umweltverbundes (Fuß, Fahrrad, Öffentlicher Verkehr, u.a. Car-Sharing, Fahrradverleihsysteme etc.) verbessern. Verschiedene Maßnahmenzenarien der Studie errechneten CO₂-Einsparungspotenziale im Personenverkehr durch Steigerungen des Radverkehrs zwischen 10 und 30%^{4,5,6}.

Ziel des Nationalen Radverkehrsplans 2020 (NRVP) der Bundesregierung ist es, den Radverkehrsanteil an allen Wegen bis 2020 auf 15% zu steigern. Laut der Erhebung „Mobilität in Deutschland 2008“ (MiD) liegen mehr als 75% aller Wege im Entfernungsbereich bis 10 km. Für diesen Bereich sieht die Bundesregierung ein besonderes Potenzial mit den E-Rädern den Radverkehrsanteil weiter zu steigern.⁷

Abbildung 1

Modal Split 2002 und 2008 im Vergleich (Anteil an den Wegen in Prozent %)



Quelle: eigene Darstellung nach MID 2008 (Ergebnisbericht)

E-Räder: Zahlen und Fakten

Im Gegensatz zu Elektroautos ist in den letzten Jahren eine steigende Nachfrage auf dem Zweiradsektor zu beobachten. Während die Automobilindustrie noch erhebliche Summen in die Entwicklung von Elektrofahrzeuge investiert (Bestand Deutschland 2013: 7.114 Pkw mit reinem Elektroantrieb und 64.994 mit Hybridantrieb^{8,9}), sind elektrisch angetriebene Zweiräder mit rund 1,6 Millionen Fahrzeugen in Deutschland bereits in der Realität angekommen. Der Markt für Elektroräder hat einen ausgesprochenen Schwerpunkt: es sind Fahrräder mit elektrischer Antriebsunterstützung, die häufig als Pedelecs bezeichnet werden, abgeleitet von dem englischen Begriff „Pedal Electric Cycle“. Sie sind nicht versicherungspflichtig und ohne Führerschein oder Mofa-Bescheinigung nutzbar. Verkehrsrechtlich sind es Fahrräder, sie dürfen auf Fahrradwegen benutzt werden, es besteht keine Helmpflicht und sie können auch in öffentlichen Verkehrsmitteln mitgenommen werden. Der Marktanteil von Pedelecs unter den elektrisch angetriebenen Zweirädern beträgt 95% der insgesamt verkauften E-Räder in Deutschland¹⁰. Zu den restlichen 5% gehören zulassungspflichtige Elektroräder (E-Bikes), die über einen größeren Leistungsbereich verfügen und auch ohne zusätzliche Pedalkraft bewegt werden können.

Der Zweirad Industrieverband schätzt, dass mittelfristig E-Räder einen Anteil von 15% an allen Rädern einnehmen können, dies wären 10,65 Millionen E-Räder. Nach Angaben des Zweirad-Industrie-Verbands (ZIV) wurden im Jahr 2007 rund 70.000 E-Räder verkauft. Bis 2013 ist diese Zahl auf 410.000 Stück gestiegen (siehe Abb. 2)¹¹. Mehr als jedes zehnte neu verkaufte Rad war 2013 in Deutschland ein E-Rad. Auf dem Markt können derzeit über 1.500 unterschiedliche E-Rad-Modelle beziehungsweise -Typen von über 70 Herstellern erworben werden¹².

Die Bekanntheit von E-Bikes und Pedelecs liegt laut einer repräsentativen Befragung bei 90%¹⁴. Ein solches Fahrrad sind bereits 12% aller Deutschen zumindest einmal zur Probe gefahren. 47% interessieren sich für ein elektrisch unterstütztes Fahrrad und 27% aller Deutschen würden eher ein Fahrrad mit E-Motor kaufen als ein herkömmliches Rad. Insbesondere Menschen ab 50 Jahren ziehen einen Kauf dieser neuen Art des Fahrrades in Betracht. Sowohl die Beliebtheit als auch die Bekanntheit von E-Rädern haben in den letzten Jahren zugenommen¹⁵. Preislich liegen Pedelecs in der Größenordnung von hochwertigen Fahrrädern, was sich positiv auf das Umsatzvo-

lumen der Zweiradbranche auswirkt, trotz leichtem Rückgang der verkauften Fahrräder¹⁶.

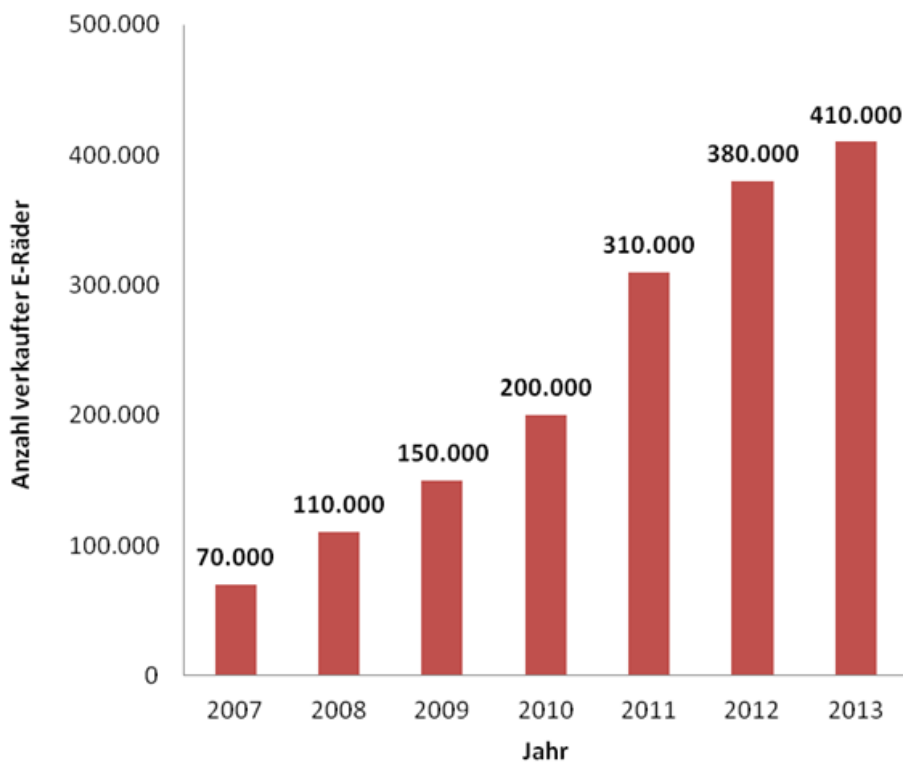
Das Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung (ILS) in Dortmund führte im Jahr 2012 eine Onlineumfrage zum Thema Elektrofahrräder durch¹⁷. Befragt wurden über 2.000 Personen, von denen ein Viertel ein Pedelec besitzt. Die Studie zeigt ein deutliches Interesse der Befragten am Thema; rund die Hälfte hatte bereits ein Elektrofahrrad ausprobiert. Insgesamt konnten sich fast 70% vorstellen ein

Pedelec zu kaufen. Ein weiterer interessanter Aspekt der Ergebnisse ist die Verteilung des Pedelec-Besitzes nach Lage und Topographie: vor allem in eher ländlichen und/oder eher hügligen Wohnumgebungen ist die Beliebtheit hoch.

Die Forschung zum Thema E-Rad, Pedelec und E-Bike läuft in Deutschland erst an. Aus diesem Grunde werden insbesondere aus Europäischen Nachbarländern gewonnene Erkenntnisse in dieses Hintergrundpapier einbezogen.

Abbildung 2

Anzahl jährlich verkaufter E-Räder in Deutschland



Quelle: eigene Darstellung nach Zweirad-Industrie-Verbands, ZIV¹³

2. Einsatzmöglichkeiten von Pedelecs und Potenziale

2.1 Pedelecs – Einsatzmöglichkeiten

E-Räder können den Pkw teilweise ersetzen. Sie gehören wie Fahrräder zum Umweltverbund. Sie haben die gleichen, und noch weitere Einsatzmöglichkeiten, wie das herkömmliche Fahrrad. Für die Nutzer/-innen ändert sich dabei in der Handhabung wenig.

Während der Fahrt mit einem E-Rad werden kaum Emissionen erzeugt und es wird entsprechend dem tatsächlichen Bedarf keine oder vergleichsweise nur sehr wenig Energie verbraucht. Zudem ist eine nahezu geräuschlose, platzsparende, gesundheitsfördernde und günstige Fortbewegung möglich. Die weitere Umweltrelevanz der Pedelecs ergibt sich aus den veränderten Einsatzmöglichkeiten und den hiermit im weiteren Sinn verbundenen neuen Mobilitätsverhalten. E-Räder bringen ein hohes Maß an Flexibilität und erweitern das Potenzial Pkw-/Kfz-Fahrten durch das E-Rad zu ersetzen. Besonders bei Wegelängen zwischen 5 und 20 km sowie beim Transport von Lasten/Einkäufen oder Kindern erweitern sie den Aktionsradius des Fahrrades.

Das Pedelec erweitert die Nutzungsmöglichkeiten des Fahrrades hauptsächlich in den folgenden Bereichen:

1. **Pedelecs erleichtern das Überwinden von größeren Distanzen**
2. **Pedelecs ermöglichen den Transport größerer Lasten**
3. **Mit Pedelecs lassen sich natürliche Hindernisse, Höhenunterschiede und Gegenwind leichter bewältigen**
4. **Dienst-Pedelecs sind eine Alternative zum Dienst-Pkw**
5. **Pedelecs sind ideal auch in der Freizeit**

1. Pedelecs erleichtern das Überwinden von größeren Distanzen, so können mit dem gleichen körperlichen Einsatz deutlich weitere Strecken zurückgelegt werden (z.B. der Weg zur Arbeit, zur Ausbildungsstätte, Einkauf etc.). Es ermöglicht das Radfahren auch mit geringerem körperlichem Leistungsvermögen (z.B. ältere Menschen oder körperlich eingeschränkte Menschen).

Der Wegevergleich in der Abb. 3 zeigt, dass das Fahrrad bei Entfernungen bis einschließlich 5 km das schnellste Verkehrsmittel im Stadtverkehr sein

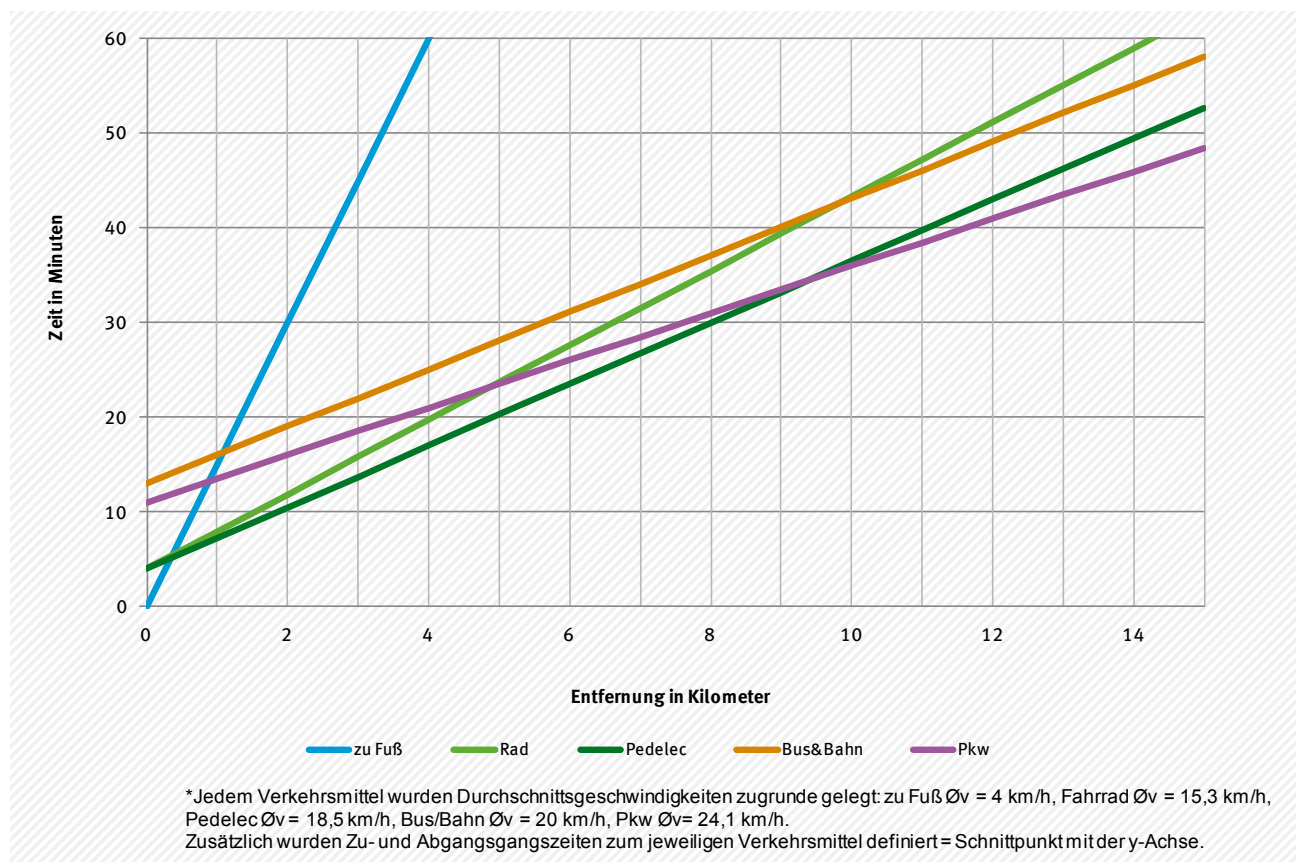
kann¹⁸. Das Pedelec ist sogar auf bis zu 10 km langen Wegen mit dem Pkw konkurrenzfähig. Auch Entfernungen bis 20 km sind ohne Probleme mit dem Pedelec fahrbar – selbst bei dieser Entfernung ist der Zeitunterschied zum Pkw marginal. Betrachtet man zusätzlich die Zeit für die Pkw-Parkplatzsuche am Zielort und die höheren Kosten (Versicherung, Kraftstoff, Werkstattkosten etc.) zeigt sich, dass das Pedelec eine echte Alternative zum Pkw ist. Gerade für Berufspendelnde, die bisher noch mit dem Pkw Strecken zwischen 5 und 20 km zurücklegen, sieht das UBA ein hohes Potenzial, dass diese Fahrten künftig auf das Pedelec verlagert werden können. Nach Auswertung der bislang vorliegenden Studien kann man davon ausgehen, dass sich mittelfristig die Aufteilung im Modal-Split zugunsten des Umweltverbundes (Fuß, Fahrrad/Pedelec, Bus und Bahn) verändert, mit entsprechenden positiven Effekten für Umwelt, Klima und Gesundheit durch verringerte Emissionen von CO₂, anderen Luftschadstoffen und Lärm.

Studien über den Modal-Shift (Verlagerung des Verkehrs vom motorisierten Individualverkehr zum Umweltverbund) unter besonderer Berücksichtigung des Pedelecs liegen für Deutschland derzeit nicht vor. Studien anderer Länder weisen jedoch auf positive Verlagerungseffekte hin: Im Rahmen des österreichischen Projektes „Landrad“¹⁹ wurde eine qualitative Langzeitstudie zur Pedelecnutzung umgesetzt. Die Nutzung von Pedelecs führte zu Verlagerungseffekten in erster Linie vom Pkw bzw. vom konventionellen Fahrrad auf das Pedelec. Die Zunahme des Radverkehrsanteils beträgt bis zu 50% und der Umweltverbund gewinnt insgesamt 34% unter den Nutzer/-innen des Landrades. Ein hohes Steigerungspotenzial des Radverkehrs bei Berufspendlern und -pendlerinnen von ebenfalls 50% ermittelt eine niederländische Studie²⁰. In weiteren Studien nimmt der Radverkehrsanteil ebenfalls zu, jedoch weniger stark²¹ oder zulasten anderer Verkehrsträger des Umweltverbundes²².

Verkehrsexperten und -expertinnen sehen für Großstädte in der Verlagerung von Pkw-Fahrten (der Berufspendlerinnen und -pendler) hin zu Pedelec-Fahrten ein Entlastungspotenzial. Die Städte Kopenhagen und Berlin haben hierzu bereits Konzepte erstellt, mit denen sie Berufspendelnde zum Umstieg auf das Pedelec bewegen wollen. Der Radverkehrsanteil in

Abbildung 3

Wegevergleich: von Tür zu Tür im Stadtverkehr*



Quelle: UBA-Fachschätzung, Stand Juli 2014

Kopenhagen liegt derzeit bei 44%. Ein Radschnellwegenetz soll die zusätzlichen Radfahrenden sicher und schnell aus den Wohngebieten in das Stadtzentrum führen oder von Bahnhöfen zu wichtigen Zielen wie Universitätsstandorten²³.

Ein ähnliches Bild zeigt sich im Verkehrsmix der Stadt Berlin. Während im innerstädtischen Verkehr der motorisierte Individualverkehr lediglich einen Anteil von 32% ausmacht, und der Umweltverbund sehr stark ausgeprägt ist, sieht die Situation beim Einpendelverkehr anders aus: Hier hat der MIV einen Anteil von 62%. Aus diesem Grund richtet der Berliner Senat im Rahmen eines Modellvorhabens Elektromobilität einen Pedelec-Korridor für den beruflichen Pendelverkehr ein, um vom südlichen Umland auf komfortablen Radwegen in die Stadt Berlin zu führen. An wichtigen Zielpunkten sollen sichere Abstellmöglichkeiten angeboten und der Verleih von Pedelecs ermöglicht werden.²⁴

Die Hälfte aller Autofahrten ist kürzer als 5 km. Hieraus ergibt sich ein enormes Verlagerungspotenzial von Pkw-Fahrten zum Fahrrad. Wie groß das Potenzial der Pedelecs in Deutschland ist, wurde noch nicht abschließend wissenschaftlich untersucht. Aus bisherigen Studien aus Österreich, der Schweiz und den Niederlanden ergeben sich Werte zwischen wenigen Prozenten und 50%. Diese Ergebnisse sind jedoch aufgrund der Befragungsdesigns nicht ausreichend belastbar bzw. repräsentativ (zu kleine Grundgesamtheiten der Befragten, sehr kurze Erhebungszeiträume). Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit hat mit dem Projekt „Pedelection“²⁵ erstmals eine breitere Pedelec-Nutzungsanalyse in Deutschland initiiert; Ergebnisse liegen noch nicht vor.

Modellversuch mit Pedelecs in der Region Haaglanden, Niederlande

Im Jahr 2011 veröffentlichte die Region Haaglanden, die zur Metropolregion Den Haag gehört, eine repräsentative Studie zur Pedelecnutzung. Die Anzahl der Wege mit dem Fahrrad könnte den Schätzungen zufolge um bis zu 5% steigen, während die Zahl der mit dem Pkw zurückgelegten Wege um bis zu 1,5% sinken könnte. Durch den Bau eines Radschnellweges soll der Radverkehrsanteil noch weiter wachsen. Im Rahmen der Studie „Elektrische fiets in Haaglanden“ werteten niederländische Verkehrsplaner/-innen Modellprojekte aus, bei denen die Studienteilnehmer/-innen zeitweise E-Räder zur Probe nutzten. Der durchschnittliche Arbeitsweg hatte eine Länge von rund 12 km. Die Mehrzahl der Testpersonen nutzte normalerweise das Auto zum Pendeln. Rund ein Viertel der Teilnehmenden gab nach dem Test an, auf ein E-Rad umsteigen zu wollen.²⁶

Österreich: Repräsentativuntersuchung sowie frauenspezifische Analyse

Das Potenzial für den Erwerb und die Nutzung von Pedelecs ist bei etwa 50-60% der Bevölkerung vorhanden und abhängig vom Alter und den jewei-

ligen Einsatzzwecken. Zu diesem Ergebnis kommt die Untersuchung FEM EL BIKE 2010/2011 mit 4.600 Interviews in Österreich²⁷. Danach ist für Frauen die Nutzung eines E-Rads gleichermaßen interessant wie für Männer. In der Untersuchung wurden weitere 1.000 Frauen befragt. Sie stellen teilweise andere Anforderungen an das Pedelec. Wichtig ist ihnen vor allem die Alltags- und Verkehrstauglichkeit des Rades (Beleuchtung etc.), sein Gewicht und das des Akkus sowie die einfache Bedienung.

Langzeitprofil der Basler E-Bike-Käuferschaft

E-Rad-Käuferinnen und -Käufer unterscheiden sich von der durchschnittlichen Bevölkerung Basels: sie haben in der Regel ein höheres Einkommen, eine höhere Bildung, sind größtenteils berufstätig, besitzen häufiger einen Führerschein, jedoch seltener ein eigenes Auto. Auch sind sie weiterhin häufiger Car-Sharing-Nutzer/-innen und seltener ÖPNV Monatskarten-Abonnenten und -Abonnentinnen. Unterschiede bezüglich einer älteren oder eher männlichen Käuferschaft wurden in der Studie nicht festgestellt. Diese Aussagen sind aus einem Langzeitprofil der Basler E-Bike Käuferschaft abgeleitet.²⁸

Emissionseinsparungen durch Verlagerung von Pkw-Fahrten auf das Pedelec (Modal Shift)

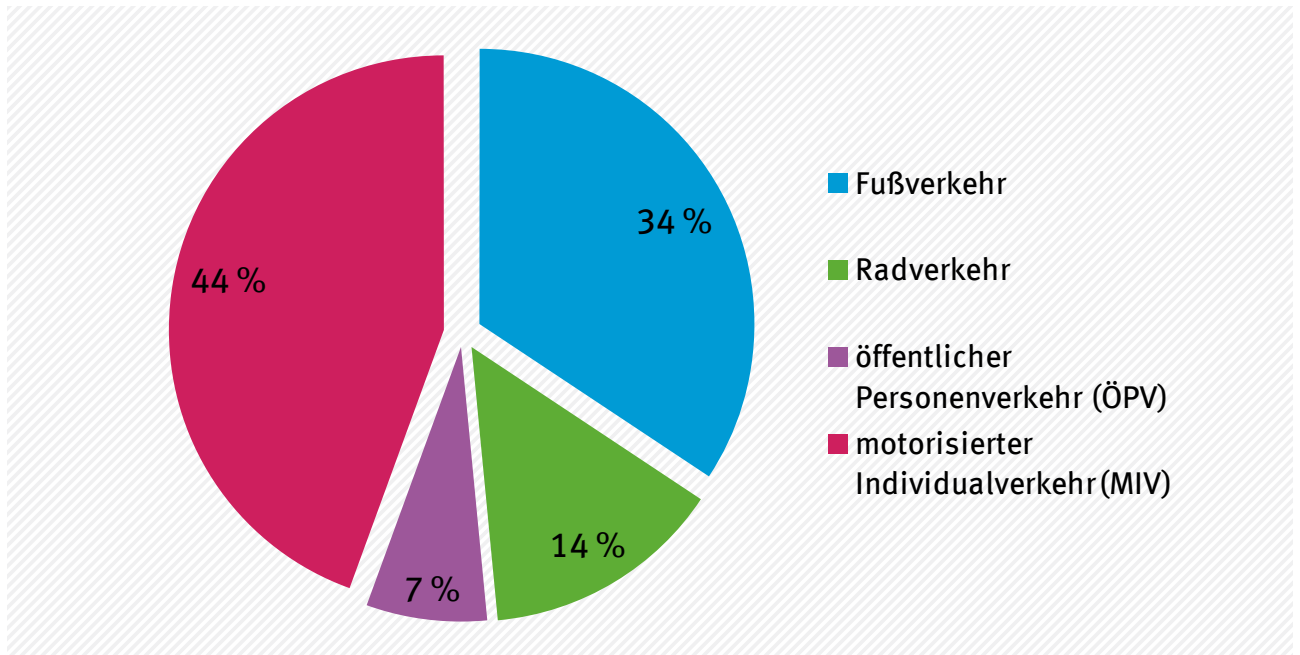
Die Studie der TU Dresden „Potentiale des Radverkehrs für den Klimaschutz“²⁹ im Auftrag des UBA geht davon aus, dass ein bedeutender Anteil der Pkw-Fahrten, die im Entfernungsbereich der Radnutzung liegen, sich auch auf das Fahrrad verlagern lassen. Danach schätzt das UBA, dass jeder zweite Weg mit dem Pkw bis zu 10 km sich auf das Fahrrad verlagern lassen (Abb. 4 und 5). Auch eine Studie der BASt sieht ein enormes Verlagerungspotential von Fahrten des MIV zum Fahrrad, mit besonderem Potential des Einsatzes von Pedelecs in topografisch bewegten Räumen³⁰.

In der nachfolgenden Rechnung wird ebenfalls das Pedelec berücksichtigt. Im Stadtverkehr ist nach Abb. 3 (Wegevergleich) das Pedelec bis 10 km das schnellste Verkehrsmittel – auch weitere Strecken bis zu 20 km lassen sich demnach problemlos mit dem Pedelec zurücklegen.

Die Anteile an den Wegen bis 10 km³¹ setzen sich lt. MiD wie folgt zusammen: 34% Fußverkehr, 14% Radverkehr, 44% motorisierter Individualverkehr und 7% öffentlicher Personenverkehr.

Abbildung 4

Anteile an den Wegen in Prozent (%) bis zu einer Entfernung von 10km

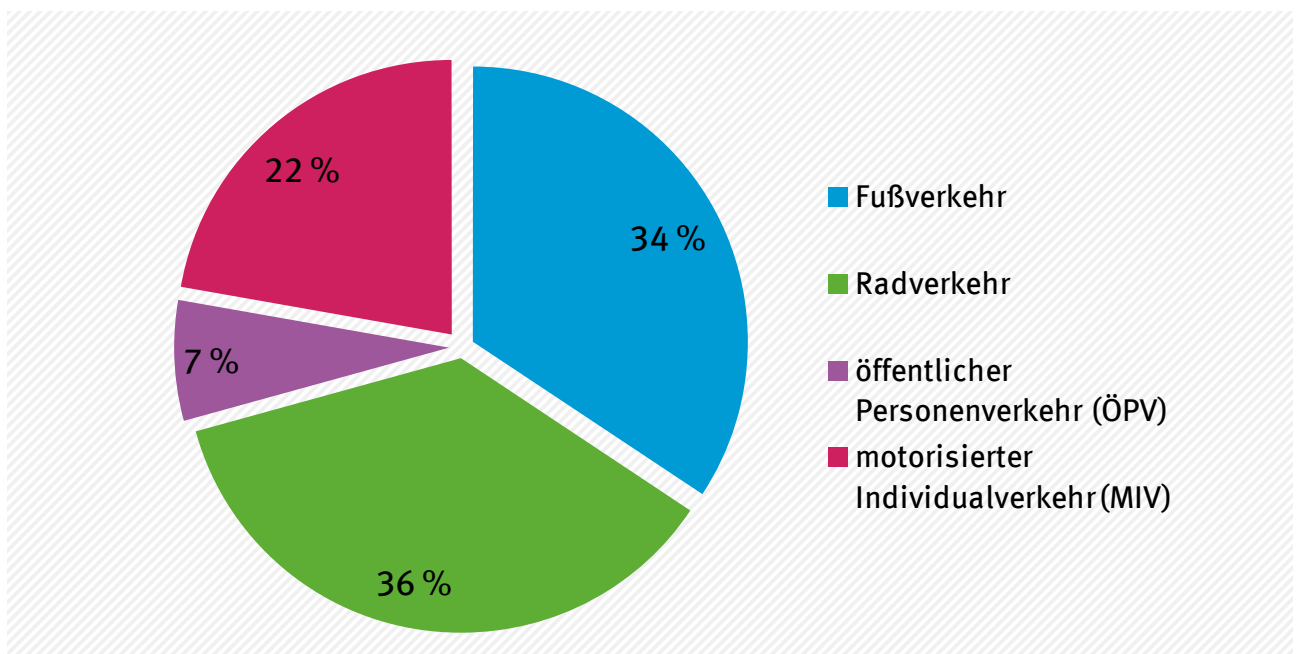


Quelle: MID 2008

Annahme: 50% der Pkw-Fahrten werden durch das Fahrrad und/oder Pedelec ersetzt, hierdurch würde Radverkehrsanteil von 14% auf 36% steigen. Ein weiteres Potenzial liegt in der zusätzlichen Verlagerung von Wegen zwischen 10 und 20km.

Abbildung 5

Anteile an den Wegen in Prozent (%) bis zu einer Entfernung von 10km bei Verlagerung von Pkw-Fahrten auf das Fahrrad und Pedelec



Quelle: UBA-Schätzung

2. Weiterhin können mit dem Fahrrad dank der elektrischen Antriebsunterstützung auch **größere Lasten oder weitere Personen transportiert werden**, wie z.B. Einkäufe oder Kinder (siehe Bild Seite 13).

Im Bereich des städtischen Wirtschaftsverkehrs eignen sich Lastenräder bzw. E-Lastenräder besonders, um Kleintransporter, Pkw oder Motorräder zu ersetzen. Die Feinverteilung von Paketen, Gütern und Waren kann mittels Lastenrädern schnell, im Betrieb emissionsfrei und mit geringeren Kosten erfolgen. Gerade in dichten und belebten Innenstädten machen sich diese Vorteile gegenüber dem motorisierten Verkehr bezahlt.

Die deutsche Post AG setzt bereits seit dem Jahr 2000 E-Lastenräder zum Transport im Zustelldienst ein: Insgesamt 6.000 E-Räder sind heute deutschlandweit im Einsatz. Auf diesem Weg wird der Transport der bis zu 50 kg schweren Brieftransporttaschen erleichtert³².

Mit dem Pedelec lassen sich weite Zustellungsrou-ten in Regionen mit geringerer Siedlungsdichte schneller als mit einem konventionellen Fahrrad und deutlich umweltfreundlicher als mit einem kleinen Transporter erledigen. Ein deutschlandweit tätiger Pizza-Lieferant hat seine Flotte der Lieferfahrzeuge 2012 versuchsweise vollständig auf Elektromobilität umgestellt. Da in der Regel lediglich leichte und kleine Waren transportiert werden, kamen insbesondere E-Räder und E-Roller zum Einsatz³³.

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) fördert von 2012 bis 2014 ein Projekt mit dem Titel: „Ich ersetze ein Auto“. Ziel ist es zu erproben, wie Autokurierfahrten durch Lastenräder ersetzt werden können. Die 40 eingesetzten Lastenräder mit elektronischer Unterstützung haben eine Zuladungsmöglichkeit von über 100 kg. Es wird davon ausgegangen, dass bis zu 85% aller Autokurierfahrten durch E-Lastenräder ersetzt werden können und hierdurch eine deutliche Emissionsreduktion im Vergleich zu Autofahrten eintritt³⁴.

Der Verkehrsclub Deutschland e.V. (VCD) hat ein Online-Informationsangebot zum Einsatz von Lastenrädern im Wirtschafts- und Güterverkehr erstellt³⁵: Im Projekt „Lasten auf das Rad“ werden u.a. die Einsatzmöglichkeiten von Lastenrädern im Wirtschaftsverkehr, vorrangig mit elektrischer Unterstützung, und deren Potenziale aufgezeigt.

Mit dem Projekt „Pflegedienste machen mobil – Mit dem Elektrorad zur PatientIn“ konnte der BUND Bremen e.V. zeigen, dass es möglich ist, innerstädtische Betreuungsfahrten, die zuvor mit dem Pkw zurückgelegt wurden, durch E-Radfahrten zu ersetzen. Das Pflegepersonal fährt täglich je bis zu 50 km, um Patienten zu besuchen³⁶. Neben positiven Umweltaspekten wie der CO₂-Minderung, geringerer Flächeninanspruchnahme, Lärminderung und positiven gesundheitlichen Aspekten für die Nutzerinnen und Nutzer konnten auch eindeutige Kostenvorteile für die Unternehmen festgestellt werden. Bereits bei einer Reduzierung der Pkw-Fahrleistung um 600 km je Monat und Fahrzeug kann ein E-Rad kostenneutral angeschafft werden.³⁷

Tabelle 1

Kostenvergleich des Einsatzes von Pkw und Pedelecs bei Pflegediensten

	Pkw	Pedelec
Finanzierungsrate/Monat	143 €	59 €
Versicherung, Haftpflicht, Steuern	55 €	11 €
Wartungskosten im Finanzierungszeitraum/Monat	25€	25 €
Kraftstoffkosten/Monat (17.000 km/a bei 1,60 €/Liter Benzin bzw. 25,3 Cent/KWh Strom)	170 €	3,3 €
	393 €	98,3 €

Quelle: eigene Darstellung, angepasst nach BUND Landesverband Bremen e.V.³⁸



3. Natürliche Hindernisse wie Höhenunterschiede oder Gegenwind können mit Hilfe der elektronischen Unterstützung ausgeglichen werden, das Radfahren wird hierdurch auch an Orten attraktiv, welche zuvor als fahrradunfreundlich galten.

Kampagne: Azubi-E-Bike in Baden-Württemberg

In einem Projekt im Rahmen des Nationalen Radverkehrsplans (NRVP) wird bis Ende 2014 mit der Zielgruppe Azubis und Studierende die E-Rad-Nutzung erprobt. Das Projekt wird von der IHK Reutlingen umgesetzt. Junge Erwachsene können im Rahmen von Road-Shows unterschiedliche E-Räder probefahren und ein E-Rad über einen Zeitraum von fünf bis sieben Tagen ausleihen, um es im Alltag zu testen. Die Teilnehmenden werden befragt und die Ergebnisse insbesondere hinsichtlich der Fragestellung, ob E-Räder auch für diese Zielgruppe und in einer Region mit Höhenunterschieden ein wichtiges Verkehrsmittel sein können, ausgewertet.

Das Pedelec erweist sich als geeignet, um den Nachteil des Fahrrades bei Steigungstrecken auszugleichen. Dies erkannte die Stadt Tübingen und fördert gezielt den Erwerb von E-Rädern mit einem Betrag von 100 Euro. Ziel der Stadt ist es den Radverkehrsanteil bis 2030 auf 50% an allen zurückgelegten Wegen zu steigern³⁹. Auch in Österreich, der Schweiz und Frankreich wird der Erwerb von Pedelecs direkt bezuschusst.

4. Unternehmen können ihren Mitarbeiter/-innen anstelle von Dienst-Pkw auch Dienst-Pedelecs zur Verfügung stellen bzw. deren Anschaffung oder Nutzung finanziell unterstützen.

Aufgrund der neuen 1-Prozent-Regelung werden Pedelecs nunmehr steuerlich wie Dienstwagen behandelt. Mit einer passenden Leasing-Finanzierung können Betriebe ihren Beschäftigten für einen geringen monatlichen Betrag ein Pedelec auf dem Weg zur Arbeit und auch für private Fahrten zur Verfügung stellen. Der Beschäftigte muss den geldwerten Vorteil der privaten Nutzung seines Dienstrades monatlich mit einem Prozent des Listenpreises versteuern. Mit dieser Maßnahme können Unternehmen im Rahmen des betrieblichen Mobilitätsmanagements die Umweltbelastungen ihrer Beschäftigten bei täglichen Wegen zur Arbeit und auf Dienstreisen verringern. Zudem steigern sie damit die Motivation ihrer Mitarbeiter und fördern deren Gesundheit, was zu weniger Fehltagen führt. Ein mehrfacher Gewinn für Betriebe, Umwelt und Beschäftigte.

5. E-Räder sind nicht nur für Alltagswege interessant - **auch in der Freizeit** erfreuen sie sich steigender Beliebtheit.

Fahrradverleiher und Tourismusregionen⁴⁰ sowie Radreiseunternehmen bieten bereits seit einigen Jahren Pedelecs an. Durch diese Angebote werden Radurlaube auch für weniger sportlich ambitionierte Radfahrer und Radfahrerinnen attraktiv. Das Pedelec wird so zunehmend zu einem wichtigen Element des Radtourismus, welcher inzwischen, z. B. mit dem „Radnetz Deutschland“, einen bedeutenden Wirtschaftsfaktor in Deutschland darstellt.

Sechs Prozent aller Radtouristen besitzen mittlerweile ein E-Rad, das sie im Urlaub und in der Freizeit nutzen (Studie Trendscape)⁴¹.

2.2 Infrastrukturanforderungen und Abstellplätze

Häufig stellt sich die Frage, ob E-Räder im Rahmen der bestehenden Radverkehrsanlagen ihren Platz finden oder ob hierfür neue Wege und Infrastrukturen geschaffen werden müssen. Durch die Nutzung von E-Rädern erhöht sich die individuelle Fahrtgeschwindigkeit⁴². Laut NRVP steigen daher auch partiell die Anforderungen an die Infrastruktur und die Straßenraumgestaltung: das betrifft vor allem die Breite der Radwege, weite Kurvenradien, einen rutschfesten Belag, das Vermeiden von Absperrpfosten, Treppen oder anderen Hindernissen. Dies sind jedoch auch allgemeine Anforderungen an Radwege für konventionelle Fahrräder, was eine Studie im Auftrag des Ministeriums für Verkehr, Bau und Landesentwicklung Mecklenburg-Vorpommern stützt. Demnach sind die vorhandenen Richtlinien „Empfehlungen zur Errichtung von Radverkehrsanlagen 2010“, kurz ERA 2010, auch für diesen neuen Fahrzeugtyp im Wesentlichen ausreichend.

Anzumerken ist jedoch, dass die darin empfohlenen Standards in Bezug auf Mindestbreiten, Oberflächenqualität und Einheitlichkeit der Radverkehrsanlagen in vielen Städten und Gemeinden bislang noch nicht erreicht werden. Hier besteht noch großer Handlungsbedarf, um die Qualitätsstandards in den einzelnen Gebietskörperschaften tatsächlich zu erreichen.⁴³

Radschnellwege sollen die Reisezeit des Radverkehrs verkürzen und die Reisegeschwindigkeit erhöhen. Sie gehen in ihrer Ausführung weit über die geforderten ERA-Standards für Radverkehrsanlagen hinaus und sind daher für E-Räder besonders geeignet. Nahezu kreuzungsfrei lassen sich Ziele erreichen und sie bieten ausreichend Platz zum Überholen. In Deutschland gibt es Einigkeit darüber, dass Radschnellwege eine sinnvolle Ergänzung vorhandener Radwegenetze in Ballungsräumen sind. Erste Teilabschnitte wurden bereits eröffnet, außerdem deuten viele laufende Machbarkeitsstudien und Planungen auf eine zunehmende Realisierung von Radschnellwegen in Deutschland hin.⁴⁴

Ein wesentliches Kauf- und Nutzungshindernis von E-Rädern ist häufig das Fehlen sicherer und ebenerdiger Fahrradabstellmöglichkeiten. Sowohl im städtischen Umfeld von Mehrfamilienhäusern als auch an den Zielen wie z.B. Arbeitsorten, Einzelhandel, Freizeiteinrichtungen und an den Umstiegspunkten

zu anderen Verkehrsmitteln (Haltestellen, Bahnhöfe, Car-Sharing-Stationen) mangelt es oftmals an ausreichend sicheren Abstellanlagen und ggf. sicheren Lademöglichkeiten. Das Umweltbundesamt empfiehlt daher nach Lösungen zu suchen und deren Umsetzung voranzutreiben, um Hemmnisse bei der Nutzung von Pedelecs abzubauen. Dabei gilt auch hier, dass prinzipiell keine neuen Systeme entwickelt werden müssen; die Abstellanlagen herkömmlicher Räder sind für Pedelecs ebenso geeignet (z.B. Anschließen des Rahmens muss möglich sein, genügend Abstand zum nächsten Fahrradständer, allgemeiner bequemer Zugang). Zusätzlich ist für Pedelecs aber die Schaffung ebenerdiger Abstellanlagen aufgrund des höheren Gewichtes wichtig sowie das Angebot überwachter Abstellanlagen.

Innovative Systeme zum Fahrradparken existieren, wie z.B. große automatische Fahrradparkhäuser (in denen u.a. die Pedelecs geladen werden können), über Fahrradabstellhäuser an Bushaltestellen und Wohnanlagen bis hin zu konventionellen Fahrradabstellanlagen und Fahrradboxen – sie müssten nur verstärkt in der Fläche angeboten bzw. vor allem dem Bedarf angepasst werden. Dies betrifft hauptsächlich die Abstellmöglichkeiten an Haltestellen, Bahnhöfen und anderen Zielorten.

Von technischer Seite gibt es schon gute Lösungen und Beispiele zur Diebstahlprävention, die sich noch etablieren müssen. In den Niederlanden wurde ein Schlosssystem konzipiert, das gestohlene Fahrräder orten kann⁴⁵. Ein weiteres Modell funktioniert in Kombination mit dem Smart-Phone und ermöglicht im Falle eines Diebstahls ebenfalls die Ortung des Rades⁴⁶. Diese beiden Lösungen sind auch für konventionelle Räder gut geeignet. Auf der EURO BIKE Messe 2013 wurde das Lade-Schloss-Kabel vorgestellt – es ermöglicht gleichzeitig das Aufladen und die Sicherung des Rades⁴⁷.

Im Rahmen des Modellprojektes „INMOD - elektromobil auf dem Land“⁴⁸ in Mecklenburg-Vorpommern kann ein Hybridbus genutzt werden, der wichtige Orte direkt verbindet. Die Anbindung an kleinere Ortschaften erfolgt mit Leih-Pedelecs. Interessant ist in diesem Zusammenhang, dass die Leihpedelecs in Fahrradboxen mit Lademöglichkeit sicher abgestellt werden können⁴⁹ (siehe auch Bild auf Seite 22). Das Projekt gewann im Jahr 2012 unter anderem den E-Bike Award^{50,51}.

3. Umweltwirkung von Pedelecs

3.1 Geringer Energieverbrauch und CO₂-Ausstoß

Pedelecs können im innerstädtischen Verkehr durch ihre größere Reichweite, Flexibilität und Wendigkeit durchaus mit dem Auto konkurrieren (vgl. Abb. 3 im Kapitel 2.1). Aber auch in dünner besiedelten Gebieten, einem Bereich in dem das Fahrrad bisher nur unterdurchschnittlich präsent ist, kann das Pedelec viele Wege ersetzen, die vorher mit dem Auto zurückgelegt wurden.

In Tabelle 2 ist der durchschnittliche Energieverbrauch von Pedelecs und Pkw gegenübergestellt. Für den Pkw wurde mit TREMOD (Transport Emission Model), einem Rechenmodell zur Ermittlung der Klimagas- und Luftschadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs, gerechnet. Einbezogen wurden die Energieanteile der Vorkette (indirekte Emissionen), die den Energieaufwand zur Bereitstellung des Kraftstoffs bzw. der elektrischen Energie berücksichtigen.

Beim Pedelec ist es die Energie, die zur Erzeugung des Stroms der zum Laden der Akkus benötigt wird. Die gesamten CO₂-Emissionen liegen bei einem Otto-Pkw demnach um den Faktor 39 höher als beim Pedelec. Die Kraftstoffkosten pro 100 km sind beim Pkw um den Faktor 47 höher als beim Pedelec. Die Energiemenge, die ein Pedelec für eine Strecke von 10 km benötigt, entspricht in etwa der Energie, die erforderlich ist, um 0,7 Liter Wasser bei Raumtemperatur zum Kochen zu bringen.

Insgesamt ist festzuhalten, dass durch den Umstieg vom Pkw auf das elektrounterstützte Rad beträchtliche Emissionseinsparungen möglich sind. Im Vergleich zu den durch Muskelkraft betriebenen Fahrrädern entstehen bei der Nutzung zwar Emissionen und Energie wird verbraucht (Laden des Akkus), insgesamt überwiegen aber die positiven Effekte, wenn mehr Menschen das Rad statt des Autos nutzen.

Tabelle 2

Vergleich des mittleren Energieverbrauchs und CO₂-Ausstoßes nach Fahrzeugtyp für Pkw und Pedelec, Bezugsjahr 2011⁵²

	Energie-träger	Energie-quelle	Energie-verbrauch je 100 km	CO ₂ -Ausstoß pro 100 km in kg			Energie-kosten pro 100 km
				Vorkette (indirekte Emissionen)	Direkte Emissionen ⁵³	Gesamt-emissionen	
Pkw (Ottomotor)	Benzin	Rohöl	7,9 Liter	3,24	18,84	22,08	€ 12,008 ⁵⁴
Pkw (Dieselmotor)	Diesel	Rohöl	6,7 Liter	1,72	17,43	19,14	€ 9,447 ⁵⁵
Pedelec	Elektro-energie	Deutscher Strommix 2011	1 kWh ⁵⁶	0,564	0,00	0,564 ⁵⁷	€ 0,253 ⁵⁸

Quelle: Umweltbundesamt

3.2 Geringere Belastung der Luftqualität

Luftschadstoffe wie Stickoxide (NO_x), Schwefeldioxid (SO₂), Kohlenmonoxid (CO) oder Feinstaub (PM₁₀) können oberhalb bestimmter Konzentration schädlich für Menschen, Tiere und Ökosysteme sein. Sie greifen Pflanzen, Gewässer, Böden und Bauwerke an⁵⁹ oder sind für die sommerliche Ozonbildung verantwortlich (vor allem NO_x). Informationen zu den Wirkungen und Grenzwerten sind auf der UBA-Webseite unter <http://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschadstoffe> abrufbar.

Die von der EU vorgeschriebenen Luftreinhaltepläne verpflichten Kommunen zu Messungen, die an zahlreichen städtischen verkehrsnahen Messstationen in Deutschland vorgenommen werden. Derzeit gibt es Grenzwertüberschreitungen bei den Luftschadstoffen NO_x, SO₂ und PM₁₀, die unsere Gesundheit belasten⁶⁰.

Die Tabelle 3 zeigt einen Vergleich der Luftschadstoffe (hier nur PM₁₀ und NO_x) nach Fahrzeugtyp.

Tabelle 3

Vergleich Luftschadstoffemissionen nach Fahrzeugtyp, Bezugsjahr 2010⁶¹

	NO _x -Ausstoß pro 100 km in g			PM ₁₀ -Ausstoß pro 100 km in g		
	Vorkette (indirekte Emissionen)	Direkte Emissionen	Gesamt-emissionen	Vorkette (indirekte Emissionen)	Direkte Emissionen	Gesamt-emissionen
Pkw (Ottomotor)	8,60	22,04	30,64	0,0	0,36	0,36
Pkw (Dieselmotor)	6,68	62,72	69,40	0,0	2,69	2,69
Pedelec	0,52	0,0	0,52	0,02	0,0	0,02

Quelle: Umweltbundesamt

3.3 Wenig Flächenverbrauch und Lärm

Eine sparsame, natur- und sozialverträgliche Flächennutzung ist ein entscheidendes und wichtiges Element einer nachhaltigen Siedlungs- und Verkehrspolitik. Naturräume sollen geschützt und erhalten werden⁶². Im Jahr 2000 lag der Flächenverbrauch in Deutschland bei rund 130 Hektar pro Tag. Ziel der Bundesregierung ist es, bis 2020 den Flächenverbrauch der Siedlungs- und Verkehrsflächen auf maximal 30 Hektar pro Tag zu reduzieren⁶³. Bis zum Jahr 2010 konnte die Inanspruchnahme bereits auf 77 Hektar pro Tag (bzw. 87 Hektar pro Tag im gleitenden Vierjahresdurchschnitt) reduziert werden. Die Einsparungen kamen jedoch in erster Linie in den Bereichen der Gebäude-, Frei- und Betriebsflächen zustande und weniger durch die Verringerung von Verkehrsflächen, die über die letzten Jahre relativ konstant geblieben sind.⁶⁴

Kapazitätsgewinne in den Städten können durch die Nutzung und Förderung flächensparender Verkehrsmittel wie dem Fuß- und Fahrradverkehr oder dem ÖPNV realisiert werden. Schon die Umfunktionalisierung oder Umgestaltung einiger Pkw-Parkplätze kann die Aufenthaltsqualität deutlich erhöhen und bietet

neben der Anlage von Fahrradstellplätzen Möglichkeit zur Entsiegelung und Begrünung oder zur Schaffung von Spiel- und Erholungsräumen.⁶⁵

Pedelegs haben etwa den gleichen Raumanpruch wie Fahrräder und können aufgrund ihrer Flächeneffizienz ebenso den Ansprüchen der Bevölkerung nach Mobilität, kurzen Wegen, Aufenthaltsqualität und einem ruhigen Wohnumfeld genügen⁶⁶. Auf einem Pkw-Stellplatz finden zwischen sechs und zehn Fahrräder Platz (siehe Bild unten). Deutliche Raumeinsparungen lassen sich erzielen, wenn das Potenzial der Pedelegs ein oder mehrere Autos zu ersetzen genutzt wird.

Die Geräuschemissionen von Fahrrädern sind generell gering, dies gilt ebenso für Pedelegs. Verkehrslärm kann durch Verlagerung auf leisere Verkehrsmittel vermindert werden. Fahrräder und Lastenräder mit und ohne Elektrounterstützung besitzen hier noch nicht genutzte Potenziale. Umwelt und Mensch profitieren durch einen steigenden Radverkehrsanteil auch hinsichtlich einer leiseren Umgebung. Die größte Geräuschminderung lässt sich erreichen, wenn Straßen in Fahrradstraßen und Fußgängerzonen umgewandelt oder Tempo-30-Zonen eingeführt werden.



Umwandlung eines Pkw-Stellplatzes in Fahrradabstellplätze (Bsp. Stadt Malmö, Schweden)

E-Räder können bei Tempo 30 gut im Verkehrsfluss mitfahren. Die Einführung einer entsprechenden Geschwindigkeitsbegrenzung erhöht gleichzeitig die Sicherheit für alle Verkehrsteilnehmer.

3.4 Eigenschaften und Umweltwirkungen der aktuell eingesetzten Akkutypen

Pedelecs erhalten ihre Energie aus Akkumulatoren (Akkus), die in verschiedenen Varianten und Ausführungen zum Einsatz kommen. In Deutschland werden in den aktuellen Pedelecs fast nur noch Lithiumionen-akkus (Li-Ion-Akkus), vereinzelt auch noch Nickelmetallhydridakkus (NiMH-Akkus) eingesetzt^{67,68}. Akkutypen der chemischen Systeme Blei-Säure (Pb) und Nickel-Cadmium (NiCd), die teilweise im Ausland noch anzutreffen sind, werden im Folgenden

daher nicht betrachtet. Jeder Akkutyp weist spezielle Charakteristika auf, sodass die Auswahl für die verschiedenen Einsatzprofile deshalb im Allgemeinen im Abgleich und in Abwägung mit den jeweiligen Anforderungen an den Akku erfolgen. So haben beispielsweise die für ihre Stabilität und hohe Sicherheit bekannten Lithiummanganoxidakkus (LiMn_2O_4) eine geringere Energiedichte als Lithiumcobaltoxidakkus (LiCoO_2). Wer also bei gleichem Akkugewicht die weiteste Strecke mit dem Pedelec zurücklegen möchte, muss unter Umständen zwischen Sicherheitsansprüchen und Reichweite abwägen. Im Folgenden (vgl. Tabelle 4) werden die aktuell erhältlichen Akkutypen gegenübergestellt und ausgewählte Aussagen in Bezug auf Lebensdauer, Inhaltsstoffe, Sicherheitsverhalten, Kosten und Energiedichte zusammengefasst.

Tabelle 4

Typische Eigenschaften der in Pedelecs eingesetzten Akkutypen

Akkutyp	Energiedichte in Wh/kg	Bestandteile/Inhaltsstoffe	Lebensdauer/max. Ladezyklen entsprechend der Nutzung	Vor- und Nachteile
Lithiumionen (LiMn_2O_4)	110 - 130	Lithium Mangan Kupfer Aluminium Graphit	bis zu 1.000 Ladezyklen	+ geringe Selbstentladung + hohe Stabilität und Sicherheit + geringe Kosten
Lithiumionen (LiFePO_4)	110 - 130	Lithium Eisen Phosphor Kupfer Aluminium Graphit	mehr als 1.000 Ladezyklen möglich	+ geringe Selbstentladung + sehr hohe Stabilität und Sicherheit + schnelles Aufladen möglich + lange Lebensdauer + gute Rohstoffverfügbarkeit
Lithiumionen ($\text{Li}(\text{NixCoyMnz})\text{O}_2$)	140 - 160	Lithium Kobalt Nickel Mangan Kupfer Aluminium Graphit	mehr als 1.000 Ladezyklen möglich	+ geringe Selbstentladung + hohe Energiedichte + lange Lebensdauer
Lithiumionen (LiCoO_2)	140 - 160	Lithium Kobalt Nickel Kupfer Aluminium Graphit	bis zu 1.000 Ladezyklen möglich	+ geringe Selbstentladung + hohe Energiedichte - hohe Kosten
Nickelmetallhydrid (NiMH)	55 - 100	Nickel Eisen Kobalt Seltene Erden (Lanthan, Cer, Neodym, Praseodym)	bis zu 1.000 Ladezyklenmöglich	+ sehr hohe Stabilität und Sicherheit + geringe Kosten - sehr hohe Selbstentladung (ca. 20 % pro Monat) - geringe Energiedichte

Quelle: zusammenfassende Darstellung⁶⁹

Schwermetallgehalte

Aus einer Untersuchung der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) im Auftrag des Umweltbundesamtes⁷⁰ lässt sich folgern, dass Lithiumionenakkus zu den Batterien mit den geringsten Gehalten an gefährlichen und im Batteriegesetz geregelten Schwermetallen Quecksilber, Cadmium und Blei gehören. Für diese Studie wurden handelsübliche Batterien und Akkus auf ihre Schwermetallgehalte untersucht, darunter auch acht verschiedene Li-Ion-Akkus für Handys. Alle Li-Ion-Akkus der Stichprobe blieben mit Maximalwerten von 0,7 mg/kg Quecksilber, 0,5 mg/kg Cadmium und 7,6 mg/kg Blei weit unterhalb der Grenz- bzw. Kennzeichnungsschwellenwerte (Grenzwerte: 5 mg/kg Quecksilber, 20 mg/kg Cadmium, Kennzeichnungswert: 40 mg/kg Blei).

Klimabelastungen aus der Akkuherstellung

Die Frage nach den möglichen Klimabelastungen (Ökobilanzen) durch die Herstellung von Akkus für Pedelecs wurde bisher für zwei Lithiumionenakkus mit LiMn_2O_4 -Elektroden für die Anwendung in Elektrofahrrädern bzw. mit Lithiumkobaltelektroden untersucht. Diese Ökobilanzen kommen zu dem Ergebnis⁷¹, dass auf die Herstellung der Akkus, d.h. die Gewinnung der Materialien und den Fertigungsprozess, die größten Anteile der Umweltauswirkungen entfallen. Der Nettoeffekt aus dem Recycling ist hinsichtlich des Treibhauspotenzials – aufgrund des hohen Aufwands der Recyclingprozesse – hingegen nur gering. Insgesamt beträgt der Netto- CO_2 -eq-Ausstoß⁷² pro kWh Batterie für die Herstellung und Entsorgung 55 kg CO_2 -eq/kWh für den Li-Ion-Akku (LiMn_2O_4) bzw. 75 kg CO_2 -eq/kWh für den Li-Ion-Akku mit Lithiumkobaltelektroden.

Überträgt man diese Kennzahlen auf die Kapazität (rund 0,4 kWh) eines gängigen Pedelecakkus, dann sind seine Herstellung und Entsorgung für eine Treibhausgasemission (CO_2 -eq) von 22 bis 30 kg (55 bzw. 75 kg CO_2 -eq/kWh x 0,4 kWh) verantwortlich. Je nach Akku-Lebensdauer muss gegebenenfalls zusätzlich über die Lebensdauer des Pedelecs ein zweiter oder dritter Akku hinzugerechnet werden.

Darüber hinaus enthält das Pedelec im Vergleich zum Fahrrad ohne elektrischen Antrieb weitere notwendige Zusatzbauteile, wie z.B. den Elektromotor. Für batterieelektrische Pkw ist bekannt, dass die Batterieherstellung die Hauptumweltwirkungen aller zusätzlichen spezifischen Elektromobilitäts-Komponenten

eines Elektrofahrzeugs verursacht. Gleiches gilt für Elektrofahrräder. Aufgrund der Zusatzbauteile für das Pedelec ist hinsichtlich der Klimabelastungen bei der Herstellung das Fahrrad ohne elektrischen Antrieb die ökologischere Variante.

Die Betrachtung Pedelec versus Pkw (Ottomotor) zeigt hingegen einen eindeutigen Vorteil für die Pedelecs. In Kapitel 3.1 wurde unter anderem beschrieben, dass die Pedelecs im innerstädtischen Verkehr durch ihre größere Reichweite, Flexibilität und Wendigkeit durchaus mit einem Auto konkurrieren können. Vergleicht man in einer vereinfachten Gegenüberstellung die 22-30 kg Treibhausgasemissionen, die bei der Herstellung eines Pedelec-Akkus entstehen, mit den 21,5 kg Treibhausgasemissionen pro 100 km aus den eingesparten Pkw-Kilometern (siehe Tab. 2: 22,08 kg CO_2 (Pkw) – 0,564 kg CO_2 (Pedelec), inklusive indirekte Emissionen/Vorkette), sind bereits nach rund 100 Pedelec-Kilometern die Treibhausgasemissionen des Akkus beglichen.

Lange Nutzungsdauer der Pedelec-Akkus

Aufgrund der hohen Umwelrelevanz der Akkuherstellung ist die Lebensdauer des Akkus für die Klima- und Umweltwirkungen des Pedelecs der entscheidende Parameter: Je länger die Lebensdauer des Akkus, umso geringer die Umweltauswirkungen. In der Praxis wird die Lebensdauer insbesondere durch das Verhalten der Pedelec-Fahrerinnen und -Fahrer beeinflusst. Schon durch einfache Maßnahmen während der Nutzungsphase kann die Lebensdauer eines Akkus teilweise verdoppelt werden.

Einflussgrößen sind beispielsweise

- ▶ die Temperatur: zu hohe (über 50 °C) und zu niedrige Außentemperaturen (unter -10 °C) können die Akkukapazität irreversibel verringern, optimal sind Temperaturen zwischen 10 und 25 °C,
- ▶ das Ladeverhalten: Vermeidung einer kompletten Ladung und von Tiefentladung, dies wird durch Ladeassistenzsysteme optimal gesteuert,
- ▶ die Lagerungsbedingungen: während einer „Überwinterung“ des Akkus sollte dieser bei Zimmertemperatur gelagert und spätestens nach sechs Monaten wieder geladen werden. Optimal ist ein Ladezustand von 30-40 % während der Lagerung.

In der Batterie-Ratgeberbroschüre des Umweltbundesamtes⁷³ werden geeignete Lebensdauer verlängernde Maßnahmen verständlich beschrieben.



3.5 Rücknahme und Recycling der Pedelecs und Akkus

Durch verschiedene Alterungsprozesse, die von der Zeit (kalendarische Alterung), von den Umgebungsbedingungen und dem Nutzerverhalten abhängig, verringert sich im Laufe der Nutzung eines Pedelecs die verfügbare Kapazität. In der Regel hat ein Akku sein Lebensdauerende erreicht, wenn 80% der ursprünglich vom Hersteller angegebenen Nennkapazität unterschritten sind. Zeitversetzt zur steigenden Anzahl der jährlich verkauften Pedelecs (siehe Abb. 2) wird daher die Menge an ausrangierten Altakkus zukünftig stark steigen.

Lithiumionenakkus enthalten viele Wertstoffe (siehe Tab. 4). Aus diesem Grund ist es wichtig, die Altakkus in die richtigen Entsorgungswege bzw. Verwertungswege zu lenken.

Akkurücknahme

Um eine umweltverträgliche Verwertung und Entsorgung der Altbatterien zu ermöglichen, sieht das Batteriegesetz (BattG)⁷⁴ vor, dass Altbatterien getrennt vom Hausmüll zu erfassen sind. Die Pedelec-Akkus fallen entsprechend der gesetzlichen Definition im Batteriegesetz in die Kategorie der „Industriebatterien“, da sie ein Elektrofahrzeug antreiben. Die Altindustriebatterien werden von den Vertreibern kostenlos zurückgenommen. Dies gilt sowohl für Li-Ion- und NiMH-Akkus als auch für alle anderen Pedelec-Akkus, die eventuell aus älteren Pedelec-Modellen stammen können. Daneben können auch gewerbliche Altbatterieentsorger die Altindustriebatterien erfassen.

In der Praxis haben die Stiftung Gemeinsames Rücknahmesystem Batterien (GRS) und der Zweirad-Industrie-Verband (ZIV) eine Initiative für die Rücknahme von Pedelec-Altakkus eingerichtet, an der über 30 Pedelec-Hersteller und über 2.000 Fahrradhandelsgeschäfte beteiligt sind (Stand 2012). Dieses Rücknahmesystem trägt mit den entsprechend gestalteten separaten Sammelboxen für die Pedelec-Akkus und Informationsmaterialien zum Umgang mit den Altakkus (z.B. Isolierung der Pole) dem Umstand Rech-

nung, dass die Li-Ion-Altakkus entsprechend dem Gefahrgutrecht (ADR⁷⁵) verpackt und transportiert werden müssen.

Denn aufgrund der Eigenschaften von Lithium und Lithiumverbindungen sowie der hohen Energiedichte in Li-Ion-Batterien ist beim Umgang mit diesen Batterien besondere Vorsicht geboten. Typische Gefahren entstehen durch interne Kurzschlüsse (infolge der Beschädigung der Batterien durch mechanische Belastungen) und externe Kurzschlüsse (z.B. durch Kontakt mit Wasser, Berührung beider Pole) sowie durch Überhitzen der lithiumhaltigen Akkuzellen. Insofern ist ein vorschriftsmäßiger Umgang bei der Rücknahme und Verwertung von hoher Bedeutung.

Die Sammelquote für die lithiumhaltigen Altakkus ist bisher noch gering. Bei den Lithiumakkus, die zur Gruppe der Gerätebatterien zählen, betrug die Sammelquote, d.h. die gesammelte Menge an Altbatterien im Verhältnis zur in Verkehr gebrachten Menge, im Jahr 2011 lediglich 6%⁷⁶. Bei den Pedelec-Altbatterien lag sie in ähnlicher Größenordnung. Hauptursache hierfür ist die Langlebigkeit der Akkus und damit die zeitverzögerte Rückgabe zum Recycling bei gleichzeitig wachsendem Markt. Hinzu kommt wahrscheinlich auch eine Zwischenlagerung in den Haushalten (Hoarding-Effekt) und möglicherweise eine falsche Entsorgung über die Restmülltonne.

Rücknahme von Altpedelecs

Als elektrisch betriebenes Sportgerät fallen die Altelektrofahrräder in den Anwendungsbereich des Elektro- und Elektronikgerätegesetzes (ElektroG⁷⁷ Kategorie 7), soweit es sich um Fahrzeuge ohne Typgenehmigung handelt. Elektroaltgeräte und somit auch Altpedelecs werden an den kommunalen Sammelstellen, z.B. Wertstoffhöfen, kostenlos zurückgenommen.

Aufgrund des Gefahrenpotenzials und der besonderen Anforderungen an den Umgang mit den lithiumhaltigen Akkus ist es aus Sicht des Umweltbundesamtes sehr zu empfehlen, dass die Li-Ion-Akkus getrennt von den Pedelecs gesammelt



werden. Das lässt sich nach derzeitiger Rechtslage beispielsweise realisieren, indem die Verbraucherinnen und Verbraucher austauschbare Akkus vor der Rückgabe aus den Altpedelecs entnehmen und die Altpedelecs an der kommunalen Sammelstelle und die Altakkus im Fahrradhandel (dort, wo vergleichbare neue Akkus im Sortiment geführt werden) abgeben.

Recycling

Beim Recycling der Altpedelecs sind neben den allgemeinen Fahrradkomponenten, die überwiegend aus Aluminium und Stahl bestehen, insbesondere die Elektromobilitätskomponenten von Bedeutung: der Elektromotor und der Akku.

Der Motor enthält unter anderem Kupfer, Stahl und in den Permanentmagneten Seltene Erden, hauptsächlich Neodym. Da die Verfügbarkeit der Seltenen Erden mit erheblichen Unsicherheiten behaftet ist, werden sie zu den kritischen Rohstoffen gezählt⁷⁸. Entsprechend einer Prognose ist in Deutschland im Jahr 2020 mit einem Potenzial von 5,6 t Neodym aus Altpedelecs zu rechnen und damit mehr als für das Neodympotenzial aus Altwindkraftanlagen im Jahr 2020 vorhergesagt wird (2,9 t)⁷⁹. Technische Verfahren zur Wiederverwendung und -verwertung von seltenerdhaltigen Permanentmagneten aus Abfallströmen sind derzeit in der Entwicklung, insbesondere motiviert durch die Zunahme der Elektromobilität⁸⁰.

Der Li-Ion-Akku besteht aus einem Gehäuse (z.B. Stahl), einer Elektronikkomponente (Batteriemanagementsystem) und den Batteriezellen. In diesen sind (siehe Tabelle 4) verschiedene Metalle wie Lithium, Kupfer und Aluminium sowie teilweise Kobalt, Nickel und/oder Mangan enthalten. Durch die insgesamt steigende Elektromobilität und weitere aufstrebende Anwendungsgebiete wird der Bedarf an diesen Metallen zukünftig wachsen. Für die Metalle Kobalt, das von der EU-Kommission ebenfalls als kritischer Rohstoff eingestuft wird⁸¹, und Lithium wurde die Ressourcenverfügbarkeit vor dem Hintergrund des steigenden Bedarfs prognostiziert⁸². Während nach

Einschätzung von Fachleuten die geologischen Reserven von Lithium in den nächsten Jahrzehnten den Bedarf für alle Anwendungen decken werden, könnte bei Kobalt der kumulierte Verbrauch bereits zwischen 2040 und 2050 die heute bekannten Kobaltreserven von 7,3 Mio. Tonnen überschreiten, denn für Kobalt ist bis zum Jahr 2050 mit einer Veracht- bis Verzwanzigfachung des derzeitigen globalen Bedarfs zu rechnen. Aufgrund der langen Lebensdauer der Akkus wird das Recycling erst langfristig einen merklichen Beitrag zur Bedarfsdeckung leisten können.

Anlagen zum Recycling von Li-Ion-Akkus bestehen in Europa derzeit in Deutschland und Belgien. Durch die Rückgewinnung insbesondere der Metalle wie beispielsweise Eisen (Gehäuse), Kupfer, Nickel und Kobalt erreichte die Effizienz der Recyclingprozesse für lithiumhaltige Altbatterien im Jahr 2011 65% und übertraf damit die EU-Vorgabe von 50% im Durchschnitt der Verfahren⁸³. (Angabe für Gerätebatterien, für Pedelec-Akkus gelten entsprechende Werte). Das Lithium wird bisher nicht zurückgewonnen. Im Rahmen der Elektromobilitätsforschung wurden und werden seit 2009 mehrere Forschungsverbundprojekte gefördert, in denen bisher Verfahren zur Wiederverwendung und -verwertung von Li-Ion-Batterien mit hoher Recyclingeffizienz aus Elektrofahrzeugen entwickelt wurden (z.B. LithoRec, LiBri)⁸⁴ und werden (z.B. LithoRec II, EcoBatRec)⁸⁵, teilweise mit Prozessstufen zur Lithium-Rückgewinnung. Die Untersuchung der Umweltwirkungen zweier entwickelter Verfahren mittels Ökobilanz⁸⁶ zeigt insgesamt hinsichtlich des Treibhauspotenzials einen geringen Nettoeffekt aus dem Recycling der Li-Ion-Akkus aufgrund des hohen Aufwands der Recyclingprozesse, insbesondere der Prozessschritte zur Lithiumrückgewinnung. Für die anderen betrachteten Wirkungskategorien wie Versauerungspotenzial und Eutrophierung können deutliche Nettoeffekte durch das Recycling erreicht werden. Dazu tragen die hohen Rückgewinnungsraten von Kobalt-, Nickel-, Mangan- und Lithiumverbindungen und Komponenten wie Gehäuse, Leiterplatten, Kabel maßgeblich bei.

4. Handlungsempfehlungen

Politischen Entscheidungsträger/-innen verschiedener Ebenen (Bund, Land, Kommune) empfiehlt das Umweltbundesamt für die Entwicklung einer fahrradfreundlichen Infrastruktur ausreichend finanzielle und personelle Mittel bereitzustellen. Die oft höheren Geschwindigkeiten der Pedelecs verglichen mit herkömmlichen Fahrrädern und die gehobenen Anforderungen an sichere Abstellmöglichkeiten erfordern gezielte Investitionen. Im Radverkehr kann zudem schon eine geringe Investition eine große Wirkung erzielen. Denn die Förderung des Radverkehrs trägt zur Lösung vieler gesellschaftliche Herausforderungen bei: Klima- und Umweltschutz, Gesundheit, Verkehrsprobleme, Sicherung der Mobilität vor dem Hintergrund der demographischen Entwicklung, Teilhabe Aller am gesellschaftlichen Leben⁸⁷ und Verbesserung der Lebensqualität in Städten und auf dem Land. Die Formulierung strategischer Ziele seitens Bund, Land und Kommune hilft darüber hinaus, diese Herausforderungen zu bewältigen. Radverkehrsförderung ist eine Querschnittsaufgabe innerhalb der Verwaltung, für die Koordination ist die Ernennung von einer/m Radverkehrsbeauftragter/n empfehlenswert.

Pedelecs lassen sich im Wirtschaftsverkehr durch Unternehmen vielfältig einsetzen. Dies beinhaltet möglicherweise Transporte, für die ein Lastenrad zum Einsatz kommen kann, dienstliche Fahrten oder Wege auf dem Werksgelände. Viele der Pkw-Fahrten oder Fahrten mit Kleintransportern können durch Pedelecs oder Fahrräder ersetzt werden. Betriebswirtschaftlich rechnet sich der Einsatz. Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter können zum Beispiel im Rahmen des betrieblichen Mobilitäts- oder Gesundheitsmanagements für die Nutzung von Fahrrädern und Pedelecs begeistert werden. **Arbeitgeber/-innen** haben die Möglichkeit, ihren **Mitarbeitenden** anstelle eines Dienst-Pkw ein Pedelec auch zur privaten Nutzung zur Verfügung zu stellen.

Planerinnen und Planer sollten die aktuellen technischen Regelwerke bei der Planung von Radverkehrsanlagen beachten. Pedelec-Nutzerinnen und -Nutzer sind besonders auf die Einhaltung der Planungsvorgaben für Verkehrsinfrastruktur (vor allem folgende Richtlinien ERA 2010⁸⁸ und RiLSA 2010⁸⁹, HBR⁹⁰) angewiesen, um sicher im Straßen-



verkehr unterwegs zu sein. Diese Vorgaben werden jedoch häufig noch nicht umgesetzt, und bestehende Radverkehrsinfrastrukturen ebenso wie neue sollten in einem überschaubaren Zeitraum an die geltenden Empfehlungen angepasst werden.

E-Räder sind in der Regel sehr hochwertig und haben mehr Gewicht, daher benötigen die Nutzenden besonders gute, sichere und ebenerdige Fahrradabstellmöglichkeiten an ihren Fahrtzielen wie Arbeit, Bahn und Haltestellen, Einkaufs-, Freizeit- und Bildungseinrichtungen sowie am Wohnort. Die Errichtung liegt nicht allein in öffentlicher Hand; auch **Unternehmen, Verkehrsbetriebe, Wohnungsgenossenschaften und -gesellschaften sowie Bildungseinrichtungen** stehen in der Pflicht, ausreichende Angebote bereitzustellen.

Verbraucherinnen und Verbraucher sollten überlegen, ob sie ein Pedelec für Wege einsetzen können, die sie normalerweise mit dem Pkw bewältigen, oder ob sich die Anschaffung eines Pedelecs zu diesem Zweck lohnt. Denn Pedelecfahren hält fit und spart Geld. Der Akku des Pedelecs unterliegt besonderen Entsorgungsbestimmungen. Durch die Verbraucher/-innen entnehmbare Akkus können beim Fahrradhandel (überall dort, wo vergleichbare neue Akkus im Sortiment geführt werden) zurückgegeben werden. Von dort aus werden die Akkus gesammelt und sicher verwertet. Alte Pedelecs können recycelt werden. Sie werden genau wie ein Fernseher oder Toaster bei den kommunalen Sammelstellen (Recyclinghöfen) gesammelt und dann verwertet. Generell weist das Umweltbundesamt darauf hin, dass aufgrund des Gefahrenpotentials und der besonderen Anforderungen an den Umgang mit den lithiumhaltigen Akkus diese getrennt von den Altpedelecs erfasst werden sollen.

Schon durch einfache Maßnahmen während der Nutzungsphase kann die **Lebensdauer eines Akkus** teilweise verdoppelt werden. Optimal ist ein Temperaturbereich von 10-25 °C. Beim Laden sollten Tiefentladung und dauerhafte Vollladung vermieden werden. Während einer längeren Lagerung sollte der Akku bei Zimmertemperatur gelagert werden und einen Ladezustand von 30-40 % aufweisen. Nach spätestens sechs Monaten sollte der Akku wieder geladen werden⁹¹.

Der Fahrradhandel informiert Kundinnen und Kunden über wichtige rechtliche Regelungen im Zusammenhang mit der Nutzung der Pedelecs und E-Bikes. Gleiches gilt für **Verbände**. Hierzu zählt auch die Information über die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten dieser Fahrzeuge sowie Möglichkeiten bezüglich Testfahrten, Leasing und Verleih.

Weitere Informationsquellen

<http://www.nationaler-radverkehrsplan.de/pedelec>

<http://www.vcd.org/elektrofahrraeder.html>

<http://extraenergy.org/main.php>

<http://www.ziv-zweirad.de/>

<http://www.eradhafen.de/>

<http://www.adfc.de/pedelecs>



Modellprojekt „INMOD - elektromobil auf dem Land“ in Mecklenburg-Vorpommern: Hybridbus-Strecke mit Leih-Pedelec-Anbindung. Pedelecs sind aus Fahrradboxen mit Ladestation entnehmbar.

Anhang

Exkurs: E-Räder – Typenvielfalt und rechtliche Einordnung

Zweiräder mit Elektroantrieb lassen sich in zwei Gruppen unterscheiden. Einmal wird die Pedalkraft durch den Elektroantrieb verstärkt, zu dieser Gruppe gehören die Pedelecs. Sie fahren sich wie ein herkömmliches Fahrrad, allerdings mit einem kleinen Unterschied: Radfahrende müssen nur noch leicht in die Pedale treten, um zügig vorwärtszukommen, der Elektromotor unterstützt die Pedalkraft. Diese Räder fahren nicht von allein; ohne Treten bleiben sie stehen. Bei der anderen Gruppe, den sogenannten E-Bikes, wirkt der Elektromotor wie bei einem Moped oder Motorrad mit Verbrennungsmotor. Beschleunigung und Geschwindigkeit des Zweirades werden über einen Drehgriff oder über einen Schalter geregelt. Sie sind in der Regel auch nicht mehr mit Pedalen ausgestattet.

Elektrisch betriebene Zweiradfahrzeuge unterliegen je nach Motorstärke und erreichbarer Geschwindigkeit unterschiedlichen rechtlichen Regelungen. Hier wird sich auf Zweiräder, die mit einem Elektromotor ausgestattet sind und deren Masse 400 Kilogramm nicht überschreitet beschränkt. Sie gehören zur Gruppe der Light Electric Vehicles⁹².

a) Pedelecs – Zweirad mit Pedalen zum Treten

Innerhalb der Gruppe der Pedelecs sind zwei Typen im Handel erhältlich, bei denen die elektrische Unterstützung bei Geschwindigkeiten von 25 km/h oder 45 km/h abgeriegelt wird. Dadurch unterliegen sie auch unterschiedlichen straßenverkehrsrechtlichen Einstufungen. Die elektrische Unterstützung wird entweder durch Drehsensoren oder durch Kraft- bzw. Drehmomentsensoren gesteuert. Letztere dosieren die Unterstützung je nach Krafteinsatz; dadurch ergibt sich ein Fahrgefühl wie beim normalen Fahrrad.

Pedelec 25 – ein normales Fahrrad mit Elektromotorunterstützung bis 25 km/h

Die Pedelecs 25 sind im Verkehr inzwischen häufig zu sehen. Der Grad der Leistungsunterstützung kann durch eine am Lenker angebrachte Steuereinheit beeinflusst werden. Die Unterstützung endet, wenn eine Geschwindigkeit von 25 km/h erreicht wird. Es ist möglich, schneller als 25 km/h zu fahren, allerdings dann ausschließlich aus eigener Muskelkraft ange-

trieben. Trainierte Fahrer und Fahrerinnen erreichen Geschwindigkeiten von bis zu 30 km/h. In der seit 2009 geltenden europäischen Norm EN15194 „Fahrräder – Elektromotorisch unterstützte Räder – EPAC⁹³-Fahrräder“, die sich auf die Elektronik der Räder bezieht, werden die Toleranzen für die Geschwindigkeitsgrenzen der Elektroräder festgelegt. Demnach ist eine Unterstützung durch den Motor noch bis zu einer Geschwindigkeit von ca. 27 km/h zulässig. Technisch hochwertige Pedelecs 25 verfügen neben einem Kraftsensor noch über einen Drehsensor und können zudem die Trittfrequenz berücksichtigen, dadurch wird die unterstützende elektrische Kraft harmonischer und gleichmäßiger eingesetzt und der Fahrkomfort erhöht. Die Leistung von Pedelecs 25 ist auf 250 Watt begrenzt. Die Leistungsangabe bezieht sich auf die Dauerleistung der Elektromotoren, kurzfristig dürfen die Motoren auch mehr Leistung abgeben.

Pedelecs 25 werden trotz des elektromotorischen Hilfsantriebs nicht als Kraftfahrzeug eingestuft sondern gelten rechtlich als Fahrrad. Die rechtlichen Grundlagen für den Betrieb von Pedelecs 25 sind in im Straßenverkehrsgesetz (StVG) festgelegt. In § 1 Abs. 3 StVG werden unter anderem jene Fahrzeuge benannt, die als Kraftfahrzeuge einzuordnen sind. Dazu gehören nicht:

„Landfahrzeuge, die durch Muskelkraft fortbewegt werden und mit einem elektromotorischen Hilfsantrieb mit einer maximalen Nenndauerleistung von 0,25 kW ausgestattet sind, dessen Unterstützung sich mit zunehmender Fahrzeuggeschwindigkeit progressiv verringert und beim Erreichen einer Geschwindigkeit von 25 km/h oder früher, wenn der Fahrer im Treten einhält, unterbrochen wird.“

Diese sind wie Fahrräder zu behandeln.

Pedelecs 25 dürfen daher in öffentlichen Verkehrsmitteln mitgeführt werden, sofern die Fahrradmitnahme dort erlaubt ist. Alle anderen elektrisch angetriebenen Räder fallen unter den Begriff „Kraftfahrzeuge“ und dürfen nicht mitgenommen werden. Pedelecs 25 benötigen keine EU-Typgenehmigung, sind nicht zulassungs- oder versicherungspflichtig, es gibt keine Altersbeschränkung oder Helmpflicht. Pedelec-25-Nutzerinnen und Nutzer sind an die Regeln der Radwegbenutzung gebunden wie alle anderen Radfahrenden auch.

Als Sonderfall gelten Pedelecs 25, die mit einer Anfahr- oder Schiebehilfe ausgestattet sind. Dabei wird, ohne das in die Pedale treten nötig ist, auf Knopfdruck die Motorunterstützung aktiviert, die auf eine maximale Geschwindigkeit von 6 km/h begrenzt ist. Auch diese Pedelecs sind nach § 1 Abs. 3 StVG wie Fahrräder zu behandeln, es gelten also die soeben für Pedelecs ohne Anfahrhilfe beschriebenen Regeln.

Pedelec 45 – Ein Motorfahrzeug für Geschwindigkeiten bis 45 km/h mit Führerscheinplicht

Pedelecs 45, auch schnelle Pedelecs oder S-Pedelecs genannt, werden nach der EU Richtlinie 2002/24/EG den Kleinkrafträdern zugeordnet. Nach dem § 1 Abs. 2 StVG handelt es sich dabei um Kraftfahrzeuge. Bei diesen Rädern wird die Pedalkraft bis zu einer Höchstgeschwindigkeit von 45 km/h durch den Elektroantrieb unterstützt.

Diese Fahrzeuge benötigen eine EU-Typgenehmigung und eine Betriebserlaubnis. Ein Versicherungskennzeichen ist erforderlich sowie ein Pkw- oder Mofa-Führerschein.

Die Frage der Helmpflicht ist rechtlich noch nicht eindeutig geklärt. Nach § 21a Absatz 2 der Straßenverkehrsordnung (StVO) ist ein Helm zu tragen, wenn man ein Kraftfahrzeug mit einer bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit von über 20 km/h fährt oder auf ihm mitfährt. In der Betriebserlaubnis der S-Pedelecs sind 20 km/h als bauartbedingte Höchstgeschwindigkeit vermerkt, allerdings ist dies aus Sicht des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) nicht das entscheidende Kriterium. Auf eine Anfrage der Zeitschrift „Elektrobike“ hin wurde folgende Auskunft erteilt:

„Entscheidend ist die bauartbedingte Höchstgeschwindigkeit des jeweiligen Fahrzeuges (§21a StVO). Derzeit ist die bauartbedingte Höchstgeschwindigkeit anhand der dazu verbindlich von den Mitgliedstaaten anzuwendenden Vorschriften (Richtlinie 2002/24/EG) nur für rein durch Maschinenkraft angetriebene Kraftfahrzeuge eindeutig bestimmbar. Bund und Länder haben sich darauf geeinigt, dass bei Pedelecs, die in den Anwendungsbereich der Richtlinie 2002/24/EG fallen, die bauartbedingte Höchstgeschwindigkeit im Sinne des §21a Abs. 2 StVO als die Geschwindigkeit anzusehen ist, bei deren Erreichen die Unterstützung des elektromotorischen Hilfsantriebes unterbrochen wird. Werden die 45 km/h mit Motorunterstützung erreicht, folgt daraus eine Helmtragepflicht.“

Mit dieser Auslegung stellt das BMVI fest, dass die bauartbedingte Höchstgeschwindigkeit von S-Pedelecs bei 45 km/h liegt, da erst bei diesem Tempo die Motorunterstützung aussetzt. Durch diese Feststellung folgt in der Konsequenz die Helmpflicht für Pedelecs 45. Fraglich bleibt aber, ob die bauartbedingte Höchstgeschwindigkeit wirklich durch die Addition der Maschinenkraft und der potentiellen Leistung der fahrenden Person berechnet werden kann. Unklar bleibt auch, welche Art von Helm erforderlich ist und ob ein Fahrradhelm genügt oder ein Motorradhelm erforderlich ist. Angesichts dieser Unklarheiten ist eine eindeutige rechtliche Regelung hier dringend geboten. Ungeachtet dieser Diskussion wird den Verkehrsteilnehmern das Tragen eines Helms bei Geschwindigkeiten von über 30 km/h nahegelegt, da das Gefährdungspotenzial ab diesem Geschwindigkeitsbereich deutlich zunimmt.

Räder mit elektrischem Antrieb und einer bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit von bis zu 45 km/h und mit einer maximalen Nenndauerleistung von bis zu 4 kW werden als zweirädrige Kraftfahrzeuge mit der Bezeichnung Kleinkrafträder der Klasse L1e eingestuft. Sie benötigen deshalb zum Betrieb entweder eine allgemeine Betriebserlaubnis oder aber eine Einzel-Betriebserlaubnis.

Sowohl für E-Bikes als auch schnelle Pedelecs besteht eine Versicherungspflicht, gem. § 1 Pflichtversicherungsgesetz (PflVG). Es muss nach § 4 Absatz 3 Satz 1 FZV ein Versicherungskennzeichen nach § 26 angebracht sein.

„Durch das Versicherungskennzeichen wird für die Kraftfahrzeuge im Sinne des § 4 Absatz 3 Satz 1 in Verbindung mit § 3 Absatz 2 Satz 1 Nummer 1 Buchstabe d bis f nachgewiesen, dass für das jeweilige Kraftfahrzeug eine dem Pflichtversicherungsgesetz entsprechende Kraftfahrzeug-Haftpflichtversicherung besteht.“ (§ 26 Abs. 1 S. 1 FZV)

b) E-Bikes – Schnelle Zweiräder teilweise ohne Pedalen

Unter den E-Bikes gibt es eine sehr große Typenvielfalt. Sie fahren im Gegensatz zu den Pedelecs nur mit Motorkraft, also ohne Tretunterstützung. Pedale sind nicht erforderlich; falls vorhanden, dienen sie nur dem Notfall, z.B. wenn die Batterien unterwegs leergefahren worden sind. Ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal der E-Bikes ist die mit ihnen erreichbare Endgeschwindigkeit.

Nach der EU-Richtlinie 2002/24/EG werden E-Bikes (Leichtmofa bis Elektro-Kleinkraftrad) als Kleinkraftrad L 1e und Elektrokrafträder als Kleinkraftrad L 3e⁹⁴ eingestuft. Straßenverkehrsrechtlich handelt es sich bei Ihnen um Kraftfahrzeuge, die grundsätzlich zulassungspflichtig sind und eine Betriebserlaubnis und ein amtliches Kennzeichen benötigen. Je nach Motorleistung wird ein Führerschein der Klasse AM, A1 oder A benötigt, ein Motorradhelm ist vorgeschrieben.

E-Bikes bis 20 km/h – Leichtmofa

Diese E-Bikes unterliegen der Leichtmofa-Ausnahmerechtsverordnung, sie benötigen eine Betriebserlaubnis und ein Versicherungskennzeichen, sind jedoch vom Zulassungsverfahren befreit. Ihre maximale Motorleistung beträgt 500 Watt. Eine Mofa-Prüfbescheinigung ist erforderlich, wenn der Fahrer nach dem 1. April 1965 geboren wurde.

E-Bikes oder auch schnelle Pedelecs sind von einigen verkehrsrechtlichen Pflichten befreit, wenn sie die Anforderungen an ein Leichtmofa gemäß der Verordnung über Ausnahmen von straßenverkehrlichen Vorschriften (StVRAusV) vom 26.03.1993, die auch als Leichtmofa-Ausnahmerechtsverordnung bezeichnet wird, erfüllen. Dazu gehört das Leergewicht von bis zu 30 kg (Anlage zur Verordnung Punkt 1.1) und die maximale Leistung von bis zu 500 Watt (Punkt 2.2) sowie die motorbetriebene bauartbedingte Höchstgeschwindigkeit mit nicht mehr als 20 km/h. Werden diese und die anderen in der Verordnung aufgeführten Merkmale erfüllt, bedürfen diese Rad-Typen nur der lichttechnischen Einrichtungen für Fahrräder und der Fahrende ist von der Helmpflicht befreit.

„Mofas, die den in der Anlage aufgeführten Merkmalen entsprechen (Leichtmofas), dürfen abweichend von § 50 Abs. 6a und § 53 der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung lichttechnische Einrichtungen haben, wie

sie für Fahrräder nach § 67 der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung vorgeschrieben sind. Dies gilt nur, wenn die in der Anlage Nummer 1.7 genannten Auflagen erfüllt sind.“ (§ 1 StVRAusV)

„Abweichend von § 21a Abs. 2 der Straßenverkehrs-Ordnung brauchen die Führer der Leichtmofas während der Fahrt keinen Schutzhelm zu tragen.“ (§ 2 StVRAusV)

E-Bikes bis 25 km/h – Elektro-Mofa und Elektro-Kleinkrafträder (mit Pedalen)

Die Elektro-Mofas und die Elektro-Kleinkrafträder (mit Pedalen) benötigen eine Betriebserlaubnis und ein Versicherungskennzeichen, sind jedoch vom Zulassungsverfahren befreit.

Die maximale Motorleistung der Elektro-Mofas beträgt ebenso 500 Watt. Die Radwegbenutzung außerhalb geschlossener Ortschaften ist erlaubt. Innerorts ist sie es nur dann, wenn das Zusatzschild „Mofa frei“ vorhanden ist. Eine Mofa-Prüfbescheinigung ist erforderlich, wenn der Fahrer oder die Fahrerinnen nach dem 1. April 1965 geboren wurde.

Die Motorleistung der Elektro-Kleinkrafträder (mit Pedalen) mit einer Unterstützung bis 25 km/h beträgt maximal 1 kW.

Nach § 21a Abs. 2 StVO besteht für die E-Bikes bis 25 km/h und zwar sowohl für Elektro-Mofas als auch für Elektro-Kleinkrafträder (mit Pedalen) eine Pflicht für Motorradhelme. Sie gilt generell für Krafträder oder offene drei- oder mehrradrige Kraftfahrzeuge mit einer bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit von über 20 km/h.

E-Bike bis 45 km/h – Elektro-Kleinkraftrad

Die E-Bikes bis 45 km/h sind benötigen eine Typen- oder Einzelgenehmigung und ein Versicherungskennzeichen, sind jedoch vom Zulassungsverfahren befreit. Ihre Motorleistung ist auf maximal 4 kW begrenzt. Zum Fahren wird ein Führerschein der Klasse AM (wie Moped) benötigt, ein Motorradhelm ist vorgeschrieben. Radwege dürfen nicht benutzt werden.

Tabelle 5

Übersicht mögliche Betriebsmodi der Pedelecs, E-Bikes etc.

Typ	Antriebsart		
	reine Muskelkraft	reine Motorkraft	Kombination Muskel- und Motorkraft
Pedelec	ja	nein	ja
Pedelec mit Anfahrhilfe	ja	ja (bis 6 km/h)	ja
schnelles Pedelec	ja	nein	ja
E-Bike	nein	ja	nein

Quelle: Umweltbundesamt, eigene Darstellung

Tabelle 6

Übersicht Merkmale und rechtliche Verbindungen

	Rad-Typ					
	Pedelec 25	Pedelec 45	E-Bike bis 20 km/h Leichtmofa	E-Bike bis 25 km/h Elektro-Mofa	E-Bike bis 45 km/h Elektro-Kleinkraftrad	E-Bike Elektro-Kraftrad
Allgemeine rechtlich Einstufung	Fahrrad	Kraftfahrzeug mit Ausnahmeregelung	Kraftfahrzeug mit Ausnahmeregelung	Kraftfahrzeug	Kraftfahrzeug	Kraftfahrzeug
Zugrunde liegende Richtlinie	EU-Richtlinie 2002/24/EG (dort ausgenommen)	EU-Richtlinie 2002/24/EG	EU-Richtlinie 2002/24/EG	EU-Richtlinie 2002/24/EG	EU-Richtlinie 2002/24/EG	EU-Richtlinie 2002/24/EG
Straßenverkehrsrechtliche Einordnung	Fahrrad mit limitierter Tretunterstützung	Kleinkraftrad L1e	Kleinkraftrad L1e	Kleinkraftrad L1e	Kleinkraftrad L1e	Kraftrad L3e
Motorleistung (max.)	250 Watt	500 Watt	500 Watt	500 Watt	max. 4 kW	-
Motorantrieb ohne Pedalieren (max.)	mit Schiebehilfe bis 6 km/h	mit Schiebehilfe bis 6 km/h	bis 20 km/h	25 km/h	45 km/h	-
Motorunterstützung beim Pedalieren (max.)	bis 25 km/h	bis 45 km/h	bis 20 km/h	bis 25 km/h	-	-
Betriebserlaubnispflicht	nein	ja	ja	ja	ja	ja
Zulassungspflicht	nein	nein	nein	nein	nein	ja
Pflichtversicherung	nein	ja	ja	ja	ja	ja
Versicherungskennzeichen	nein	ja	ja	ja	ja	nein
Mofa-Prüfbescheinigung	nein	ja ⁹⁵	ja ⁹⁶	ja ⁹⁶	ja ⁹⁵	ja ⁹⁵
Fahrerlaubnis	nein	ja	nein	nein	ja	ja
Helmpflicht	nein	ja ⁹⁷	nein	Motorradhelm	Motorradhelm	Motorradhelm
Radwegebenutzung	ja	nein	ja ⁹⁸	nein ⁹⁹	nein	nein

Quelle: Umweltbundesamt, eigene Darstellung nach ZIV/Peter Barzel

Abkürzungsverzeichnis und Glossar

ADFC	Allgemeiner Deutscher Fahrradclub e.V.
ADR	Gefahrgutrecht: Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße
Akku	Akkumulatoren
BAM	Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung
BAST	Bundesanstalt für Straßenwesen
BattG	Batteriegesetz
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (ehemals BMU)
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (ehemals BMVBS)
BUND	Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V.
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CO ₂ -eq	CO ₂ -Äquivalente
ElektroG	Elektro- und Elektronikgerätegesetzes
EPAC-Fahrräder	Electric Power Assisted Cycle
ERA	Empfehlungen für Radverkehrsanlagen (ERA 2010)
FZV	Fahrzeug-Zulassungsverordnung
GRS	Stiftung Gemeinsames Rücknahmesystem Batterien
Hoarding-Effekt	Zwischenlagerung in den Haushalten
ILS	Institut für Landes und Stadtentwicklungsforschung
kWh	Kilowattstunden
LEV	Light Electric Vehicles, Leicht-Elektro-Fahrzeuge
LiCoO ₂	Lithiumcobaltoxid
Li-Ion	Lithiumionen
LiMn ₂ O ₄	Lithiummanganoxid
MiD 2008	Mobilität in Deutschland 2008
MIV	motorisierter Individualverkehr
Modal Shift	Verlagerung von Wegen von einem Verkehrsträger zum anderen, z.B. Verlagerung von Fahrten des MIV zum Umweltverbund
Modal Split	Anteile der einzelnen Verkehrsträger z.B. an den Wegen
NiCd	Nickelcadmium
NiMH	Nickelmetallhydrid
NO _x	Stickstoffoxide
NRVP	Nationaler Radverkehrsplan
ÖPNV, ÖPV	Öffentlicher Personennahverkehr, Öffentlicher Personenverkehr
ÖV	Öffentlicher Verkehr
Pb	Blei
PflVG	Pflichtversicherungsgesetz
PM ₁₀	Feinstaub mit Partikeln ≤ 10µg
Seltene Erden	Metalle z.B. Lanthan, Cer, Neodym, Praseodym – Elemente kommen i.d.R. nur in geringen Mengen in Mineralien
SO ₂	Schwefeldioxid
StVG	Straßenverkehrsgesetz
StVRAusnV	Verordnung über Ausnahmen von straßenverkehrlichen Vorschriften
TREMOD	Transport Emission Model, einem Rechenmodell zur Ermittlung der Klimagas- und Luftschadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs gerechnet
UBA	Umweltbundesamt
Umweltverbund	= Öffentlicher Verkehr, Fußverkehr, Radverkehr
VCD	Verkehrsclub Deutschland e.V.
WHO	World Health Organisation (Weltgesundheitsorganisation)
ZIV	Zweirad-Industrie Verband e.V.

Notizen

¹ Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung [Hrsg.] (2010): Mobilität in Deutschland 2008. Ergebnisbericht, Bonn/Berlin. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2012): Nationaler Radverkehrsplan 2020. Den Radverkehr gemeinsam weiter entwickeln. Berlin, S. 5.

² Die Bundesregierung: Nachhaltigkeit – ein politisches Leitbild
<http://www.bundesregierung.de/Content/DE/StatistischeSeiten/Breg/Nachhaltigkeit/0-Buehne/2014-01-03-ein-politisches-leitprinzip.html>
Zugriff am 07.04.2014.

³ Vgl. Umweltbundesamt [Hrsg.] (2012): Daten zum Verkehr. Ratgeber, Ausgabe 2012, Berlin, S. 46.

⁴ Umweltbundesamt [Hrsg.] (2013c): Potenziale des Radverkehrs für den Klimaschutz. UBA-Texte 19/2013. Dessau-Roßlau.

⁵ Vgl. Bundesanstalt für Straßenwesen [Hrsg.] (2013): Einsparpotentiale des Radverkehrs im Stadtverkehr. Bericht zum Forschungsprojekt: FE 70.0819/2008 – Berichte der BASt, Verkehrstechnik Heft V 227, Bergisch-Gladbach. --> Das Potential die Kfz-Fahrleistung zu verringern liegt lt. dieser Studie zw. 3 und 13%.

⁶ Vgl. Umweltbundesamt [Hrsg.] (2013d): Weiterentwicklung des Analyseinstruments Renewbility. RENEWBILITY II – Szenario für einen anspruchsvollen Klimaschutzbeitrag des Verkehrs. UBA-Texte 84/2013, Dessau-Roßlau. --> Der Anteil des MIV sinkt zugunsten von Rad-, Fuß- und Öffentlichem Verkehr bei einer ambitionierten Maßnahmengestaltung wodurch es zu einer Senkung der Emissionen im Verkehrsbereich lt. Szenario kommt.

⁷ Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung [Hrsg.] (2010): Mobilität in Deutschland 2008. Ergebnisbericht, Bonn/Berlin. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2012): Nationaler Radverkehrsplan 2020. Den Radverkehr gemeinsam weiter entwickeln. Berlin, S. 9.

⁸ 64.994 Hybridfahrzeuge: davon 1.119 Plug-In-Hybrid (extern aufladbare Hybridfahrzeuge), alle übrigen 63.875 Fahrzeuge sind nicht extern aufladbare Hybridfahrzeuge.

⁹ Kraftfahrtbundesamt 2013: Fahrzeugzulassungen. Bestand nach Umwelt-Merkmalen 1. Januar 2013. Seite 12. Bzw. Kurzstudie im Auftrag des BMVI: Schott, B., A. Püttner, T. Nieder, F. Maas u.a. (2013): Entwicklung der Elektromobilität in Deutschland im internationalen Vergleich und Analysen zum Stromverbrauch. Bremen, S.8.
http://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CDMQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.zsw-bw.de%2Fuploads%2Fmedia%2FPaper_Monitoring_EMobilitaet_Final_akt.pdf&ei=AjpNU-b7BMnTsgbq44CICw&usq=AFQjCNGmBSctpT9OID26PmDC8ZwQLznCxw&sig2=ZSzo-eu_JKe7GD6-Q957Pw&bvm=bv.64764171,d.Yms
Zugriff am 15.04.2014.

¹⁰ Zweirad Industrieverband (ZIV)
<http://www.ziv-zweirad.de/faq.html> (Stand Mai 2011)
Zugriff am 27.02.2014.

¹¹ Pressemitteilung ZIV vom 25.3.2014: E-Bike bescheren der Fahrradindustrie weiterhin gute Umsätze
http://www.ziv-zweirad.de/public/pm_25.03.2014_e-bikes.pdf
Zugriff am 31.03.2014.

¹² VCD - E-Rad Datenbank
<http://e-radkaufen.vcd.org/datenbank1.html>
Zugriff am 04.02.2014.

¹³ ZIV-Vortrag (2013) Zahlen – Daten – Fakten zum Fahrradmarkt in Deutschland, Folie 23
http://www.ziv-zweirad.de/public/pk_2013-ziv-praesentation_20-03-2013_ot.pdf
Zugriff am 04.02.2014.

¹⁴ Sinus Markt- und Sozialforschung GmbH [Hrsg.] (2014): Fahrrad-Monitor Deutschland 2013. Ergebnisse einer repräsentativen Online-Befragung
<http://www.adfc.de/monitor/fahrradland-deutschland--der-fahrrad-monitor-2013>
Zugriff am 10.03.2014.

¹⁵ ebd.

¹⁶ ZIV-Vortrag (2013) Zahlen – Daten – Fakten zum Fahrradmarkt in Deutschland, Folie 13
http://www.ziv-zweirad.de/public/pk_2013-ziv-praesentation_20-03-2013_ot.pdf
Zugriff am 04.02.2014.

¹⁷ Institut für Landes- und Stadtentwicklung gGmbH [Hrsg.]: Einstellungsorientierte Akzeptanzanalyse zur Elektromobilität im Fahrradverkehr. ILS-Forschung 01/2013. S. 33ff.

¹⁸ Vgl. auch <http://www.nationaler-radverkehrsplan.de/neuigkeiten/news.php?id=2456>
Zugriff am 04.02.2014
Kurzstudie im Auftrag des BMVI: Schott, B., A. Püttner, T. Nieder, F. Maas u.a. (2013): Entwicklung der Elektromobilität in Deutschland im internationalen Vergleich und Analysen zum Stromverbrauch. Bremen, S.8. bzw. TNO [Hrsg.] (2009): Regelmatig fietsen naar het werk leidt tot lager ziekteverzuim. Preventie en Zorg. Leiden. sowie UBA [Hrsg.] (2013c): Potenziale des Radverkehrs für den Klimaschutz. UBA-Texte 19/2013. Dessau-Roßlau, S. 7 --> Strecken bis 10km werden hier als verlagerbar (vom MIV auf das Fahrrad) angesehen.

¹⁹ Kairos Wirkungsforschung und Entwicklung gGmbH [Hrsg.]: Landrad. Neue Mobilität für den Alltagsverkehr in Vorarlberg. Endbericht, Bregenz 2010
http://landrad.at/fileadmin/downloads/110103_bericht_landrad.pdf
Zugriff am 03.02.2014.

- ²⁰ Hendriksen, I. [u.a.] (2008): Elektrisch Fietsen. Marktonderzoek en verkenning toekomstmogelijkheden https://www.tno.nl/content.cfm?context=thema&content=prop_publicatie&laag1=891&laag2=902&laag3=70&item_id=382&Taal=1
Zugriff am 17.02.2014.
- ²¹ Stadsgewest Haaglanden [Hrsg.] (2011) Elektrische fiets in Haaglanden. Haaglanden <http://www.fietsberaad.nl/library/repository/bestanden/Elektrische%20fiets%20in%20Haaglanden%20-%20vervolgonderzoek.pdf>
Zugriff am 07.01.2014.
- ²² Prof. Dr. Haefeli, U. (2012): Interface. Begleitforschung New Ride 2012. Langzeitprofil der E-Bike Käuferschaft in Basel http://www.newride.ch/documents/forschung/NR_BerichtLangzeitprofil2012_E-Bike_2012_08_28.pdf
Zugriff am 03.02.2014.
- ²³ Cykel Super Stier Kobenhavn <http://www.cykelsuperstier.dk>
Zugriff am 07.01.2014.
- ²⁴ Pedelec-Korridor <http://www.difu.de/projekte/2013/pedelec-korridor.html>
Zugriff am 25.03.2014 und http://www.stadtentwicklung.berlin.de/verkehr/planung/e_mobilitaet/de/e_fahrrad.shtml
Zugriff am 01.04.2014.
- ²⁵ Pedeleclection. Gefördert durch BMUB <http://pedeleclection.de>
Zugriff am 26.02.2014.
- ²⁶ Stadsgewest Haaglanden [Hrsg.] (2011): Elektrische fiets in Haaglanden. Haaglanden <http://www.fietsberaad.nl/library/repository/bestanden/Elektrische%20fiets%20in%20Haaglanden%20-%20vervolgonderzoek.pdf>
Zugriff am 07.01.2014.
- ²⁷ FEM EL BIKE (2012) FEM EL BIKE 2010/2011 <http://www.femelbike.at/images/fem-el-bike-hp-praes.pdf>
Zugriff am 03.02.2014.
- ²⁸ Prof. Dr. Haefeli, U. (2012): Interface. Begleitforschung New Ride 2012. Langzeitprofil der E-Bike Käuferschaft in Basel http://www.newride.ch/documents/forschung/NR_BerichtLangzeitprofil2012_E-Bike_2012_08_28.pdf
Zugriff am: 03.02.2014.
- ²⁹ UBA [Hrsg.] (2013c): Potenziale des Radverkehrs für den Klimaschutz. UBA-Texte 19/2013. Dessau-Roßlau, S.7.
- ³⁰ BAST [Hrsg.] (2013): Einsparpotentiale des Radverkehrs im Stadtverkehr. Bericht zum Forschungsprojekt: FE 70.0819/2008 – Berichte der BAST, Verkehrstechnik Heft V 227, Bergisch-Gladbach.
- ³¹ MID 2008, Wege bis 10 km, ohne MIV Mitfahrer.
- ³² Internetseite E-Bike-Finder <http://www.e-bike-finder.com/deutsche-post-plant-neue-pedelecs-fur-die-briefzustellung>
Zugriff am 23.01.2014.
- ³³ Pressemitteilung Joeys 21.08.2012 <http://www.joeys.de/press/PressArchivePage.do?pressReleaseId=8366>
Zugriff am: 27.01.2014.
- ³⁴ Gefördert durch BUMB <http://www.ich-ersetze-ein-auto.de/projekt/projektidee/>
Zugriff am: 27.01.2014.
- ³⁵ VCD-Projekt „Lasten auf die Räder“ <http://www.vcd.org/lastenrad.html>, gefördert vom BMUB (UBA-Verbandförderung)
- ³⁶ BUND Landesverband Bremen e.V. [Hrsg.] (2011): Klimafreundlich unterwegs. Elektrofahrräder in Unternehmen http://www.bund-bremen.net/themen_und_projekte/stadt_verkehr/verkehr/elektromobilitaet/pflegedienste_machen_mobil
Zugriff am: 07.01.2014.
- ³⁷ Das Projekt wurde vom BMVI (ehemals BMVBS) gefördert.
- ³⁸ BUND Landesverband Bremen e.V. [Hrsg.] (2011): Klimafreundlich unterwegs. Elektrofahrräder in Unternehmen, S.9. http://www.bund-bremen.net/themen_und_projekte/stadt_verkehr/verkehr/elektromobilitaet/pflegedienste_machen_mobil
Zugriff am 07.01.2014.
- ³⁹ Stadt Tübingen. Tübingen macht Blau <http://www.tuebingen-macht-blau.de/280.html>
Zugriff am 01.04.2014.
- ⁴⁰ Touristisches Fahrradverleihsystem mit E-Rädern Movelo <http://www.movelo.com/de/liste-aller-regionen>
Zugriff am 27.01.2014.
- ⁴¹ Keutmann, U. Präsentation 30.08.2013 Eurobike Travel Talk: Radreisen der Deutschen. Kontinuierliche Marktstudie. E-bikes im Tourismus: was wollen die Gäste, welche Angebote finden ihre Zielgruppe, http://www.eurobike-show.com/eb-wAssets/pdf/de/travel-talk/1_E-Bikes%20in%20tourism.pdf Zugriff am: 14.02.2014.
- ⁴² Twisk, D.A.M, Boele, M.J., u. W. (2013): Preliminary results from a field experiment on e-bike safety: speed choice and mental workload for middle-aged and elder cyclists, Proceedings of the International Cycling Safety Conference 2013, 20-21 November 2013, Helmond, NL http://www.icsc2013.com/papers/twisk2013_preliminary%20results.pdf
Zugriff am 31.03.2014.
- ⁴³ ISUP Ingenieurbüro für Systemberatung und Planung GmbH (2011): Auswirkungen aus der Nutzung von Pedelecs auf die Verkehrsplanung und die dort geltenden Standards unter Einbeziehung der neuen ERA 2010.

- ⁴⁴ Metropolregion Hannover – Braunschweig – Göttingen – Wolfsburg [Hrsg.] (2001): Machbarkeitsstudie Radschnellweg Metropolregion Hannover, Braunschweig, Göttingen, Wolfsburg
<http://www.nationaler-radverkehrsplan.de/praxisbeispiele/anzeige.html?id=2175>
 Zugriff am 04.02.2014.
 Metropole Ruhr (10.09.2013)
<http://www.metropoleruhr.de/presse/pressemitteilungen/pressemitteilungen-detail/archive/2013/september/article/radschnellweg-ruhr-rvr-legt-den-staedten-und-seinen-gremien-zwischenbericht-zur-machbarkeitsstudie.html>
 Zugriff am 04.02.2014.
- ⁴⁵ Internetseite Pedelecs und E-Bikes
<http://pedelec-elektro-fahrrad.de/news/vanmoof-10-intelligentes-e-bike-aus-den-niederlanden-fuer-pendler>
 Zugriff am 24.01.2014.
- ⁴⁶ Internetseite Pedeleconline.de
<http://www.pedeleconline.de/zubehoer/lock8-smarteschloss/#more-2075>
 Zugriff am 24.01.2014.
- ⁴⁷ Extra Energy e.V.:
<http://extraenergy.org/main.php?language=de&category=&subcateg=&id=42618> und <http://extraenergy.org/main.php?language=de&category=&subcateg=&id=19287>
 Zugriff am 24.01.2014.
- ⁴⁸ Gefördert im Rahmen der Modellregion Elektromobilität durch Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur und Ministerium für Energie, Infrastruktur und Landesentwicklung des Landes Mecklenburg-Vorpommern.
- ⁴⁹ Inmod Hochschule Wismar Fakultät Gestaltung Kompetenzzentrum Ländliche Mobilität
http://www.inmod.de/de/technologie/e_bike_box
 Zugriff am 24.01.2014.
- ⁵⁰ Inmod Hochschule Wismar Fakultät Gestaltung Kompetenzzentrum Ländliche Mobilität
http://www.inmod.de/de/forschung/preistraeger_e_bike_award_2012
 Zugriff am 24.01.2014.
- ⁵¹ RWE AG
<http://www.rwe.com/web/cms/de/1635662/e-bikes-ontour/e-bike-award/e-bike-award-2012/die-gewinner>
 Zugriff am 13.02.2014.
- ⁵² Emissionsfaktoren Pkw aus TREMOD Version 5.41, Emissionsfaktor Pedelec = Strommix Deutschland IN: UBA [Hrsg.] (2013a): Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 bis 2012. Climate Change 07/20013. Dessau-Roßlau.
- ⁵³ Emissionen die beim Betrieb des Fahrzeugs erzeugt werden.
- ⁵⁴ Annahme: Preis für 1 Liter Benzin (Super) € 1,52 im Jahr 2011
<http://www.adac.de/infotestrat/tanken-kraftstoffe-und-antrieb/kraftstoffpreise/kraftstoff-durchschnittspreise/default.aspx?ComponentId=51587&SourcePageId=185107>
- ⁵⁵ Annahme: Preis für 1 Liter Diesel € 1,41 im Jahr 2011 (Quelle siehe vorherige Fußnote).
- ⁵⁶ Verbrauch liegt bei Pedelecs zwischen 0,5 und 2 kWh (ExtraEnergy nach Oehler (2009): Elektrorad – Energiesparwunder oder Klima-Schwein?
<http://fahrradzukunft.de/9/elektrorad-akku>
 Zugriff am 21.10.2014).
- ⁵⁷ Abhängig davon, ob reiner Ökostrom oder Strommix bezogen/genutzt wird. Der Verbrauch ist zudem abhängig von der gewählten Unterstützungsstufe beim Pedelec, je geringer die elektrische Unterstützung desto geringer auch der Akkuverbrauch.
- ⁵⁸ Wert für 2011 = 0,253 €, Eurostat
http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php?title=File:Half-yearly_electricity_and_gas_prices,_second_half_of_year,_2009-2011_%28EUR_per_kWh%29-de.png&filetimestamp=20130918155102.
- ⁵⁹ Umweltbundesamt
<http://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschaedstoffe>
 Zugriff am 05.02.2014.
- ⁶⁰ Vgl. Umweltbundesamt
<http://www.umweltbundesamt.de/presse/presseinformationen/feinstaub-stickstoffdioxid-belasten-auch-2013>
 Zugriff am 04.03.2014.
- ⁶¹ Quelle für Pkw TREMOD Version 5.41, Pedelec – Emissionsberichterstattung des UBA
<http://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/emissionen-von-luftschaedstoffen>
 Zugriff am 15.04.2014.
- ⁶² UBA [Hrsg.] (2003): Reduzierung der Flächeninanspruchnahme durch Siedlung und Verkehr. Materialband. UBA-Texte 90/2003, Berlin.
- ⁶³ Die Bundesregierung [Hrsg.] (2002): Perspektiven für Deutschland. Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung. o.O., S.100.
- ⁶⁴ Statistisches Bundesamt [Hrsg.] (2012): Nachhaltige Entwicklung in Deutschland. Indikatorenbericht 2012, Wiesbaden, S.14 f.
- ⁶⁵ UBA [Hrsg.] (2003): Reduzierung der Flächeninanspruchnahme durch Siedlung und Verkehr. Materialband. UBA-Texte 90/2003, Berlin.
- ⁶⁶ Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung [Hrsg.] (2012): Nationaler Radverkehrsplan 2020. Den Radverkehr gemeinsam weiter entwickeln. Berlin, S. 75.
- ⁶⁷ ExtraEnergy e.V.: Pedelec-Testberichte des ExtraEnergy e.V. ab 2009, z.B. Testbericht Juli 2009
<http://extraenergy.org/main.php?language=de&category=products&subcateg=109&id=2719>
 Zugriff am 26.02.2014.

⁶⁸ Stiftung Warentest (2013) Test von 16 Elektrofahrrädern der Stiftung Warentest „Das Risiko fährt mit“ (6/2013) www.test.de

⁶⁹ Jossen, A.; Weydanz, W.(2006): Moderne Akkumulatoren richtig einsetzen. Sowie Buchert, M.; Jenseit, w.; Merz, C.; Schüler, D. (2011): Entwicklung eines realisierbaren Recyclingkonzepts für die Hochleistungsbatterien zukünftiger Elektrofahrzeuge – LiBri. Teilprojekt: LCA der Recyclingverfahren. S. 33
<http://www.erneuerbar-mobil.de/projekte/foerderprojekte-aus-dem-konjunkturpaket-ii-2009-2011/batterierecycling/abschlussberichte-recycling/lca-analyse-libri.pdf>
Zugriff am 26.02.2014.

⁷⁰Umweltbundesamt [Hrsg.] (2013b): Überprüfung der Quecksilber-, Cadmium- und Blei-Gehalte in Batterien. UBA-Texte 9/2013
<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/ueberpruefung-quecksilber-cadmium-blei-gehalte-in>.

⁷¹ In der Kurzstudie geht es allg. um wiederaufladbare Lithium-Batterien für den Einsatz in tragbaren Geräten, speziell für den Einsatz in Pedelecs liegen aktuell noch keine Untersuchungen zu Batterien / Akkus vor. Die Ergebnisse der Studie sind jedoch auf Pedelecs übertragbar, da es sich bei den Akkus (Speichermedien) um die gleichen Inhaltsstoffe handelt.
Lauwigi, C.; Schüler, D.; Quack, D.; Vogt, R. (2011): „PROSA Kurzstudie: Wiederaufladbare Lithium-Batterien für den Einsatz in tragbaren Geräten - Entwicklung der Vergabekriterien für ein klima-schutzbezogenes Umweltzeichen“
http://www.prosa.org/fileadmin/user_upload/Fallbeispiele/Lithiumbatterien_2011.pdf
Zugriff am 26.02.2014.

⁷² CO₂-eq = CO₂-Äquivalent: Das Kyoto-Protokoll benennt sechs Treibhausgase: CO₂, CH₄ (Methan), N₂O (Lachgas), F-Gase wie wasserstoffhaltige Fluorkohlenwasserstoffe (HFKW), perfluorierte Kohlenwasserstoffe(FKW), Schwefelhexafluorid (SF₆). Die Klimawirkung der einzelnen Gase wird nicht separat dargestellt, sondern auf die des CO₂ umgerechnet und allgemein als CO₂-Äquivalent angegeben. (Vgl. <http://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/treibhausgas-emissionen/die-treibhausgase>)
Zugriff am 06.03.2014.

⁷³ UBA-Ratgeber „Batterien und Akkus: Ihre Fragen – Unsere Antworten zu Batterien, Akkus und Umwelt“, Dessau-Roßlau 2012
<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/ratgeber-batterien-akkus>.
Zugriff am 26.02.2014.

⁷⁴ Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Batterien und Akkumulatoren. Batteriegesetz (BattG) vom 25. Juni 2009. BGBl. I S. 1582
<http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/battg/gesamt.pdf>
Zugriff am 26.02.2014.

⁷⁵ ADR = Europäisches Übereinkommen über die internatio-

nale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße.

⁷⁶UBA-Themenseite: Batterien:, „In Verkehr gebrachte Geräte-Batterien“
<http://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/produktverantwortung-in-der-abfallwirtschaft/batterien/batterierecycling-in-deutschland>
Zugriff am 04.03.2014.

⁷⁷ Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten. Elektro- und Elektronikgerätegesetz (ElektroG) vom 16. März 2005 (BGBl. I S. 762)
<http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/elektrog/gesamt.pdf>
Zugriff am 04.03.2014.

⁷⁸ European Commission (2010) Critical raw materials for the EU. Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials
http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/files/docs/report-b_en.pdf
Zugriff am 04.03.2014.

⁷⁹ Gößling-Reisemann, S.; u.a. (2013): Potential availability of secondary scarce metals from selected applications in Germany. Vortrag auf dem World Resources Forum 2013 in Davos, Schweiz
http://www.worldresourcesforum.org/files/WRF2013/Full%20Papers/Goessling-Reisemann%2CZimmermann%26Sander_WRF2013.pdf
Zugriff am 04.03.2014.

⁸⁰ TU Clausthal [Hrsg.] gefördert durch BMBF: Recycling von Komponenten und strategischen Metallen aus elektrischen Fahrtrieben (MORE – Motorrecycling)
<http://www.ifa.tu-clausthal.de/lehrstuehle/lehrstuhl-fuer-rohstoffaufbereitung-und-recycling/forschung/aktuelle-projekte/more/>
Zugriff am 04.03.2014.

⁸¹ European Commission (2010) Critical raw materials for the EU. Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials
http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/files/docs/report-b_en.pdf
Zugriff am 04.03.2014.

⁸² Umbrella (2011): Umbrella-Arbeitsgruppe Ressourcenverfügbarkeit im Rahmen der BMU-geförderten Projekte Litho-Rec und LiBri: Ressourcenverfügbarkeit von sekundären Rohstoffen – Potentialanalyse für Lithium und Kobalt - Abschlussbericht, Oktober 2011
<http://www.ptelektromobilitaet.de/projekte/batterierecycling/abschlussberichte-recycling/berichtressourcenverfuegbarkeit-projektuebergreifend.pdf>
Zugriff am 04.03.2014.

⁸³ UBA-Themenseite Batterien: In Verkehr gebrachte Geräte-Batterien
<http://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/produktverantwortung-in-der-abfallwirtschaft/batterien/batterierecycling-in-deutschland>
Zugriff am 04.03.2014.

⁸⁴ z.B. Förderprogramm Elektromobilität des BMUB. Förderprojekte aus dem Konjunkturpaket II (2009-2011). Batterierecycling
<http://www.erneuerbar-mobil.de/projekte/foerderprojekte-aus-dem-konjunkturpaket-ii-2009-2011/batterierecycling>
Zugriff am 04.03.2014.

⁸⁵ z.B. Förderprogramm Elektromobilität des Bundesministerium für Umwelt und Bauen. Vorhaben aus der Förderbekanntmachung von 2011. Batterierecycling
<http://www.erneuerbar-mobil.de/projekte/foerderung-von-vorhaben-im-bereich-der-elektromobilitaet-ab-2012>
Zugriff am 04.03.2014.

⁸⁶ Siehe LCA zu LiBri: Jossen, A.; Weydanz, W.(2006) (2. Quelle), und LCA zu LithoRec: Matthias Buchert, Wolfgang Jenseit, Cornelia Merz, Doris Schüler: „Ökobilanz zum ‚Recycling von Lithium-Ionen-Batterien‘ (LithoRec)“, Darmstadt, 2011
<http://www.erneuerbar-mobil.de/projekte/foerderprojekte-aus-dem-konjunkturpaket-ii-2009-2011/batterierecycling/abschlussberichte-recycling/lca-analyse-lithorec.pdf>
Zugriff am 04.03.2014.

⁸⁷ Vgl. S.18f.

⁸⁸ Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen [Hrsg.] (2010): Empfehlung für Radverkehrsanlagen.

⁸⁹ Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen [Hrsg.] (2010): Richtlinien für Lichtsignalanlagen.

⁹⁰ Forschungsgemeinschaft für Straßen- und Verkehrswesen [Hrsg.] (1998): Merkblatt zur wegweisenden Beschilderung für den Radverkehr.

⁹¹ UBA-Ratgeber „Batterien und Akkus: Ihre Fragen – Unsere Antworten zu Batterien, Akkus und Umwelt“, Dessau-Roßlau 2012. <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/ratgeber-batterien-akkus>.

⁹² Leicht-Elektro-Fahrzeuge

⁹³ Electric Power Assisted Cycle

⁹⁴ Zweirädriges Kraftfahrzeug ohne Beiwagen mit Hubraum über 50 cm³ bei Verbrennungsmotoren und/oder bauartbedingter Höchstgeschwindigkeit von mehr als 45 km/h

⁹⁵ in Fahrerlaubnis enthalten.

⁹⁶ wenn nach dem 1.4.1965 geboren.



⁹⁷ Verkehrsblatt Amtlicher Teil 2012, Nr. 193, Seite 848.

⁹⁸ Radwegbenutzungspflicht, wenn dies durch das Zeichen „Radweg“ angeordnet ist (Zeichen 237, 240 und 241) unklar!

⁹⁹ Radwegbenutzung außerhalb geschlossener Ortschaften erlaubt, innerorts nur, wenn Zusatzschild „Mofa frei“ vorhanden ist.



► **Diese Broschüre als Download**
[www.uba.de/publikationen/
e-rad-macht-mobil](http://www.uba.de/publikationen/e-rad-macht-mobil)

 www.facebook.com/umweltbundesamt.de
 www.twitter.com/umweltbundesamt