

# Transformation des Stadt- und Regionalverkehrs durch Elektrofahrräder?

Ausgangsanalyse im Anwendungsfeld Mobilität  
im Rahmen des Projekts Trafo 3.0

Berlin, 06.01.2017

## Autorinnen

Ruth Blanck  
Friederike Hülsmann

## Geschäftsstelle Freiburg

Postfach 17 71  
79017 Freiburg

### Hausadresse

Merzhauser Straße 173  
79100 Freiburg  
Telefon +49 761 45295-0

## Büro Berlin

Schicklerstraße 5-7  
10179 Berlin  
Telefon +49 30 405085-0

## Büro Darmstadt

Rheinstraße 95  
64295 Darmstadt  
Telefon +49 6151 8191-0



[info@oeko.de](mailto:info@oeko.de)  
[www.oeko.de](http://www.oeko.de)

# Inhalt

<b>1.</b>	<b>Hintergrund</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>Gegenstand und Reichweite der Transformation</b>	<b>6</b>
2.1.	Worin besteht die Transformation?	6
2.2.	Wie tiefgreifend („revolutionär“) ist die Transformation im Hinblick auf das Handlungsfeld Mobilität?	7
2.3.	Wie tiefgreifend („revolutionär“) ist die Transformation im Hinblick auf die Gesamtgesellschaft?	7
2.4.	Was könnten gesellschaftliche Indikatoren zur Abbildung des Transformationsprozesses sein?	8
<b>3.</b>	<b>Beschreibung und Analyse des bisherigen Transformationsprozesses</b>	<b>13</b>
<b>4.</b>	<b>Beschreibung der Umweltwirkungen und ihrer Ursachen im Anwendungsfeld</b>	<b>16</b>
4.1.	Wesentliche Umweltwirkungen im Anwendungsfeld Mobilität derzeit	16
4.2.	Mögliche Umweltwirkungen einer Transformation	17
4.3.	Mögliche andere Nachhaltigkeitswirkungen einer Transformation	30
<b>5.</b>	<b>Analyse zentraler Wirkbeziehungen zwischen den System-Elementen im Anwendungsfeld</b>	<b>34</b>
5.1.	Wodurch werden Verhalten und Lebensstile im Anwendungsfeld wesentlich beeinflusst und wie?	34
5.2.	Wodurch werden Technologien, Produkte und Dienstleistungen im Anwendungsfeld wesentlich beeinflusst und wie?	42
5.3.	Wodurch werden materielle Infrastrukturen im Anwendungsfeld wesentlich beeinflusst und wie?	45
5.4.	Was sind insgesamt die <i>wichtigsten</i> derzeitigen Wirkungen der System-Elemente im Hinblick auf eine Nachhaltigkeitstransformation?	50
<b>6.</b>	<b>Überlegungen zur weiteren Gestaltung der Transformation</b>	<b>52</b>
<b>7.</b>	<b>(Zwischen-) Fazit</b>	<b>54</b>

## 1. Hintergrund

Wie können Transformationen in Richtung Nachhaltigkeit angestoßen und unterstützt werden? Das vom Öko-Institut zusammen mit Praxispartnern durchgeführte BMBF-Forschungsprojekt Trafo 3.0<sup>1</sup> setzt sich mit dieser Frage auseinander und zielt darauf ab, Empfehlungen für die Praxis zu erarbeiten. Neben theoretischen Ansätzen aus bestehender Literatur werden die begonnenen Transformationen in drei konkreten Anwendungsfeldern detailliert ausgewertet und begleitet: papierloses Publizieren und Lesen, die Nutzung von Elektrofahrrädern im Stadt- und Regionalverkehr sowie nachhaltiges Produzieren und Konsumieren von Fleisch.

Das Projekt „denkt“ dabei in sozio-technischen Systemen, wie Mobilität & Verkehr, deren Konfiguration – und auch Umweltwirkungen – sich aus den Merkmalen und dem Zusammenspiel diverser Elemente technischer und sozialer Natur ergibt, wie in nachfolgender Grafik dargestellt und in der Tabelle am Beispiel Mobilität näher erläutert. Die Grafik veranschaulicht zudem, dass drei System-Elemente wesentlich für die Umwelt-Auswirkungen in einem sozio-technischen System sind: a) Verhalten & Lebensstile; b) Technologien, Produkte, Dienstleistungen; und c) materielle Infrastrukturen. Diese beeinflussen sich gegenseitig und werden zudem durch die anderen System-Elemente wesentlich beeinflusst.

**Abbildung 1-1: Zusammenspiel der System-Elemente**



Quelle: Eigene Darstellung

<sup>1</sup> „Gestaltungsmodell für sozialökologische Transformationsprozesse in der Praxis: Entwicklung und Erprobung in drei Anwendungsfeldern“, Förderkennzeichen 01UT1426. Mehr Informationen unter [www.trafo-3-0.de](http://www.trafo-3-0.de)

**Tabelle 1-1: System-Elemente erläutert am Beispiel Mobilität**

<b>System-Element</b>	<b>Erläuterung</b>	<b>Bsp. Mobilität</b>
Verhalten und Lebensstile	(Konsum-)Handlungen, Alltagspraktiken, Routinen und Gewohnheiten – von der Einzelhandlung bis zum Lebensstil	Kaufverhalten, Verkehrsmittelwahl, Verkehrs- und Fahrverhalten
Technologien, Produkte, Dienstleistungen	Alle Artefakte und Leistungen, die Menschen erwerben, nutzen und mit denen sie umgehen (einschließlich in der Produktion)	Fahrzeuge, Antriebstechniken, Abgas-Behandlung, Assistenzsysteme, Sharing-Angebote, ÖPNV
Materielle Infrastrukturen	Vergleichsweise dauerhafte materielle Strukturen, die Handlungsräume abstecken – vom Haushalt bis zu Stadtstruktur	Straßen & Radwege, Tankstellen & Ladestationen, IT-Infrastruktur
Werte und Leitbilder	Subjektive, lebensstilspezifische und gesellschaftliche Orientierungen wie Werte, Ziele, Normen, Einstellungen, Leitbilder und Vorstellung dessen, was als ‚normal‘ gilt	Mobilitätsleitbilder, Symbolik & Status von Verkehrsträgern und deren Nutzung
Soziale und zeitliche Strukturen	Vergleichsweise dauerhafte soziale Gesellschaftsstrukturen (z. B. Arbeitszeiten oder Geschlechterrollen)	Arbeits-, Versorgungs- und Freizeitwege, Rolle von Home-Office und Videokonferenzen
Märkte inkl. Finanzmarkt	Marktorganisation und -strukturen (z. B. Konzentrations- bzw. Wettbewerbsgrad) sowie Angebot & Nachfrage, Preise und Finanzierungsmöglichkeiten	Angebotslage, Preise (auch für Kraftstoffe), Finanzierungsmodelle für Autokauf und Leasing
Forschung, Bildung, Wissen	Inhalt und Umfang vorhandenen Wissens sowie die Mechanismen und Organisation der Erzeugung und Vermittlung von neuem Wissen	Umweltwissenschaften, Verkehrs-/Mobilitätsforschung, Verkehrs-Erziehung
Politische Instrumente und Institutionen	Staatlich-institutioneller Rahmen (Verfassung, staatliche Organe, Zuständigkeiten, Verfahren) wie auch politische Steuerungsinstrumente	StVO, Fahrzeug-/Technik-Standards & Normen, Kfz- und Kraftstoff-Steuer(vergünstigung)en

Quelle: Eigene Darstellung

Das vorliegende Papier ist eine Ausgangsanalyse für das Anwendungsfeld der Elektrofahrräder. Diese auf einer Literaturlauswertung basierende Ausgangsanalyse wurde als Grundlage für weitere Arbeiten und Praxisinitiativen durchgeführt. Bei Elektrofahrrädern und deren Nutzung handelt es sich um einen sehr dynamischen Forschungsgegenstand. Die vorliegende Analyse erhebt daher nicht den Anspruch auf Vollständigkeit, sondern stellt eine Auswahl von aus Sicht der Autorinnen relevanten Aspekten, Zusammenhängen und Diskussionen mit Stand Sommer 2016 (teilweise aktualisiert auf Frühjahr 2017) zusammen.

Die Struktur des Papiers basiert weitgehend auf einer für alle Anwendungsfelder einheitlichen Vorlage. Kapitel 1 gibt einen ersten Überblick über die Transformation durch Elektrofahrräder und ordnet sie in den Kontext ein. Kapitel 2 gibt einen (historischen) Überblick über die bisherige Entwicklung und den Stand der Transformation. Kapitel 3 beschreibt die möglichen Umweltwirkungen durch Elektrofahrräder sowie wesentliche der Umwelt- und Nachhaltigkeitsbilanz zu Grunde liegende Faktoren, unter Berücksichtigung der Umweltwirkungen des Status quo. In

Kapitel 4 werden anhand einer Transformations-Heuristik die wesentlichen Elemente des sozio-technischen Systems (Rad-)Verkehr sowie deren Wechselwirkungen näher untersucht. In Kapitel 5 werden erste Überlegungen zur Gestaltung der Transformation angestellt. Abschließend wird ein Zwischenfazit der Ausgangsanalyse gezogen.

## 2. Gegenstand und Reichweite der Transformation

### 2.1. Worin besteht die Transformation?

Betrachtet wird die durch die Produktinnovation Elektrofahrrad ausgelöste (Teil-)Transformation im Mobilitätsbereich. Zentrale Fragestellungen der Untersuchung sind zum einen, in wie weit diese Produktinnovation nachhaltigkeitsfördernd wirkt und zum anderen, welche Optionen und mögliche Maßnahmen für eine Unterstützung der Nachhaltigkeitswirkung zur Verfügung stehen. Untersucht werden vorwiegend Elektrofahrräder mit Tretunterstützung, welche auch als „Pedelec“ (= PEDalELECtricCycle) bezeichnet werden.

Gesetzlich werden in Deutschland mehrere Typen von Elektrofahrrädern unterschieden: Pedelec-25, S-Pedelecs und E-Bikes. Bei einem Pedelec-25 wird der Fahrer bis maximal 25 km/h von einem Motor mit max. 250 Watt Nennleistung unterstützt, so lange er in die Pedale tritt. Höhere Geschwindigkeiten können nur mit Muskelkraft erreicht werden. Das Pedelec-25 ist auf EU-Ebene und in Deutschland als Fahrrad eingestuft. Es kann daher auf Radwegen benutzt werden, erfordert keinen Führerschein und ist versicherungsfrei. Das sogenannte S-Pedelec oder Pedelec-45 funktioniert prinzipiell genauso wie ein Pedelec-25, lässt jedoch Geschwindigkeiten von 45 km/h und eine Motorleistung von max. 500 Watt zu. Es wird in Deutschland als Kleinkraftrad eingestuft. Daher erfordert die Nutzung einen Führerschein der Klasse M, das Tragen eines Helmes, und die Benutzung von Radwegen ist nicht erlaubt. Als „E-Bikes“ werden durch den Gesetzgeber Elektrofahrräder bezeichnet, welche ohne Tretunterstützung funktionieren. Sie gelten ebenfalls als Kleinkrafträder. Mit 95% machen jedoch Pedelecs-25 den wesentlichen Anteil am Elektrofahrrad-Markt in Deutschland aus (ZIV, 2016b). Dies dürfte vor allem an deren Einstufung als Fahrräder liegen, wie ein Vergleich mit China zeigt. Dort werden sämtliche elektrischen Zweiräder als Fahrräder eingestuft, und elektrische Zweiräder ohne Tretunterstützung haben einen hohen Marktanteil. Begrifflich besteht eine gewisse Unschärfe, da in Deutschland im praktischen Sprachgebrauch der Begriff „E-Bikes“ im Widerspruch zur gesetzlichen Definition oft für alle Elektrofahrräder mit Tretunterstützung genutzt wird – d.h. vor allem für die meistverkauften Pedelec-25. International wird die Bezeichnung „E-Bike“ ebenfalls praktisch für sämtliche zweirädrigen Fahrzeuge mit Elektroantrieb verwendet. Im Folgenden wird der Begriff „Pedelec“ speziell für elektrische Fahrräder mit Tretunterstützung verwendet und der Begriff „Elektrofahrrad“ für alle elektrischen Zweiräder, wobei meist jedoch Pedelecs aufgrund ihrer derzeit hohen Verbreitung im Fokus stehen.

Die Verbreitung von Elektrofahrrädern in Deutschland hat seit dem Jahr 2005, vor allem aber in den letzten Jahren eine beträchtliche Dynamik entwickelt. 1,2 Millionen Privathaushalte in Deutschland besaßen zum Jahresanfang 2014 bereits mindestens ein Elektrofahrrad und es gab 1,6 Millionen Exemplare dieser Fahrradart in den privaten Haushalten (Destatis, 2015). Zum Vergleich: Der Gesamtbestand an Fahrrädern lag im Jahr 2015 bei rund 72 Mio. (Neuberger, 8.3.16).

Durch die Produkteigenschaften dieses neuen Verkehrsmittels ergeben sich neue Mobilitätsoptionen, welche zu einer Veränderung des Mobilitätsverhaltens führen. Aus Nachhaltigkeitssicht ist diese mögliche Transformation des Mobilitätsverhaltens besonders relevant. Zusätzlich gibt es auch Veränderungen auf Seiten der Produktion. Bei der Transformation durch das Elektrofahrrad handelt es sich um eine weltweite Entwicklung, wobei in den letzten Jahren vor allem China eine bedeutende Rolle gespielt hat (siehe Kapitel 1). Geographischer Bezugsrahmen für die folgenden Überlegungen ist Deutschland, mit Ausblick auf Europa und die weltweiten Entwicklungen.

## 2.2. Wie tiefgreifend („revolutionär“) ist die Transformation im Hinblick auf das Handlungsfeld Mobilität?

Das Ausmaß der Transformation lässt sich zum heutigen Zeitpunkt noch nicht vollständig abschätzen. Die zunehmende Nutzung von Elektrofahrrädern allein wird für eine nachhaltige Transformation des gesamten Verkehrssektors nicht ausreichen. Denn zum komplexen Handlungsfeld von Mobilität und Verkehr zählen z.B. auch der lange Distanzen überwindende Güter-, Luft- und Seeverkehr mit ihrem weiter wachsenden Energieverbrauch. Für lange Strecken (über 25 oder über 50 Kilometer) sind Elektrofahrräder wohl eher keine relevante Alternative.

Allerdings sollte das Potenzial von Elektrofahrrädern und seine Transformationskraft auch nicht unterschätzt werden. Das Elektrofahrrad schafft gegenüber dem konventionellen Fahrrad neue Einsatzdimensionen, und zwar mindestens in vierfacher Hinsicht. Es führt zu einer Erweiterung der Nutzungsmöglichkeiten des Fahrrads in Bezug auf

- NutzerInnenkreis (z.B. ältere Menschen),
- Einsatzzwecke (z.B. Lastentransport, Holen/Bringen von Kindern),
- Aktionsradius (längere Strecken)
- Topographie (hügelige Regionen).

Die multimodale Kombination von Elektrofahrrädern mit dem öffentlichen Verkehr kann zusätzliche Potenziale zur Verlagerung von motorisiertem Individualverkehr (MIV) auch für längere Strecken erschließen. Das Elektrofahrrad ist beispielsweise für PendlerInnen attraktiv und reduziert das MIV Verkehrsaufkommen zu Spitzenzeiten.

Eine weitergehende Transformation ist denkbar, wenn man auch weitere Möglichkeiten der „leichten Elektromobilität“ für den Verkehr auf kurzen Distanzen in den Blick nimmt, z.B. Segways und E-Scooter oder elektrisch betriebene Kleinstfahrzeuge.

In Kombination mit den Optionen, die sich z.B. durch Digitalisierung und Multimodalität ergeben – wie z.B. die einfache Umsetzung und Nutzung von Fahrradverleihsystemen – können Elektrofahrräder und leichte Elektromobilität einen wichtigen Baustein für die nachhaltige Transformation des Verkehrs darstellen. Öffentliche Fahrradverleihsysteme werden von immer mehr europäischen Großstädten etabliert; Verleihsysteme mit Elektrofahrrädern gibt es z.B. bereits in Madrid und Kopenhagen.

Im städtischen Güterverkehr (für die „letzte Meile“) sowie für den privaten Transport von Waren sind Lastenräder mit Elektrounterstützung eine nachhaltige Alternative. Nach dem EU-Projekt „cyclelogistics“ wären rund 50% der motorisierten Wege in Städten prinzipiell für eine Verlagerung aufs Lastenrad geeignet (Wrighton, 2015). Kriterien für dieses Potenzial sind eine Länge unter 7 Kilometer sowie der Transport von Lasten in einem Umfang von bis zu 200 kg. Wenngleich 50% zunächst nach einer sehr hohen Zahl klingt, ist zu beachten, dass sich dies auf den Anteil der Wege, nicht aber der (klimarelevanten) Verkehrsleistung bezieht, zu welcher vor allem die langen Wege beitragen.

## 2.3. Wie tiefgreifend („revolutionär“) ist die Transformation im Hinblick auf die Gesamtgesellschaft?

Im Vergleich zu anderen Entwicklungen wie z.B. der Digitalisierung, welche beinahe alle gesellschaftlichen Bereiche erfasst und der sich kaum jemand entziehen kann, scheint die

Transformation durch Elektrofahrräder zunächst relativ eng begrenzt auf das Handlungsfeld Mobilität und berührt – zumindest bisher – nicht die gesamte Gesellschaft.

Allerdings könnte es potenziell zukünftig zu spürbaren Veränderungen im Stadt- und Straßenbild kommen, wenn man die Vision einer Stadt vor Augen hat, in der immer mehr Autos durch Elektrofahrräder ersetzt werden. Damit würde die Transformation dann nicht mehr nur die NutzerInnen, sondern auch die Nicht-NutzerInnen von Elektrofahrrädern betreffen. Beispielsweise kommt es zu spürbar positiven Effekten durch die Reduktion von Lärm und Luftschadstoffen. Allerdings können auch zusätzliche Konflikte zwischen verschiedenen VerkehrsteilnehmerInnen auftauchen, wenn die Infrastruktur nicht entsprechend angepasst wird. Beispiele wie Kopenhagen oder Münster zeigen aber, dass es bei einem hohen Anteil von RadfahrerInnen zu „Lerneffekten“ von übrigen VerkehrsteilnehmerInnen kommt.

Auf Seiten der Produktion von Elektrofahrrädern ist die Transformation – z.B. im Vergleich zur Transformation der Automobilproduktion in Richtung Elektrifizierung – weniger tiefgreifend bzw. geht reibungsloser vonstatten. Während bei einer Transformation der deutschen Automobilwirtschaft hin zur ausschließlichen Produktion von elektrischen Pkw die Kernkompetenz „Verbrennungsmotor“, bei der Deutschland ein Technologie- und Marktführer ist, ersatzlos wegfallen würde, ist es bei der Fahrradproduktion eher so, dass mit dem elektrischen Antrieb gegenüber dem konventionellen Fahrrad ein Element hinzukommt und sich auch zusätzliche Absatzmärkte ergeben. Im Gegensatz zur Automobilindustrie besteht daher weniger Angst vor Arbeitsplatzverlusten durch den Elektrifizierungstrend.

#### **2.4. Was könnten gesellschaftliche Indikatoren zur Abbildung des Transformationsprozesses sein?**

Ein Indikator zur Abbildung des Transformationsprozesses sollte diesen möglichst adäquat und intuitiv nachvollziehbar widerspiegeln. Indikatoren, welche den gesamten Verkehrssektor betreffen (wie z.B. die CO<sub>2</sub>-Emissionen oder der Energieverbrauch im Verkehr) sind dazu weniger geeignet, da die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrssektors wohl auch noch mittelfristig vor allem durch die Entwicklungen und Minderungspotenziale im motorisierten Verkehr dominiert werden. Mögliche Indikatoren, welche im Folgenden dargestellt und untersucht werden, sind:

- 1) Absatz von Elektrofahrrädern
  - a) In Deutschland
  - b) Global
- 2) Elektrofahrrad-Bestand
- 3) Anteil der Fahrleistung der Elektrofahrräder an der gesamten Verkehrsleistung und an der Fahrradleistung (herkömmlich und elektrisch).

Während die ersten beiden Indikatoren sich auf den reinen Absatz von Elektrofahrrädern beziehen, berücksichtigt der letztgenannte Indikator auch das tatsächlich realisierte Verkehrsverhalten und kann daher eher einen Anhaltspunkt liefern für Verlagerungswirkungen. Allerdings sind bisher hierzu keine ausreichenden repräsentativen Indikatoren vorhanden. Zum Zeitpunkt der letzten repräsentativen deutschlandweiten Verkehrserhebung „Mobilität in Deutschland 2008“ (Follmer et al., 2010) spielten Elektrofahrräder noch praktisch keine Rolle und wurden daher nicht erhoben. In der laufenden MiD-Befragung, deren Ergebnisse 2018 vorliegen sollen, werden die TeilnehmerInnen sowohl zum Besitz eines Elektrofahrrads befragt als auch die konkret mit dem Elektrofahrrad zurückgelegten Wege erhoben. Aufgrund von Datenverfügbarkeit und Aussagekraft scheinen die Indikatoren zum Absatz und Bestand von Elektrofahrrädern in Deutschland am

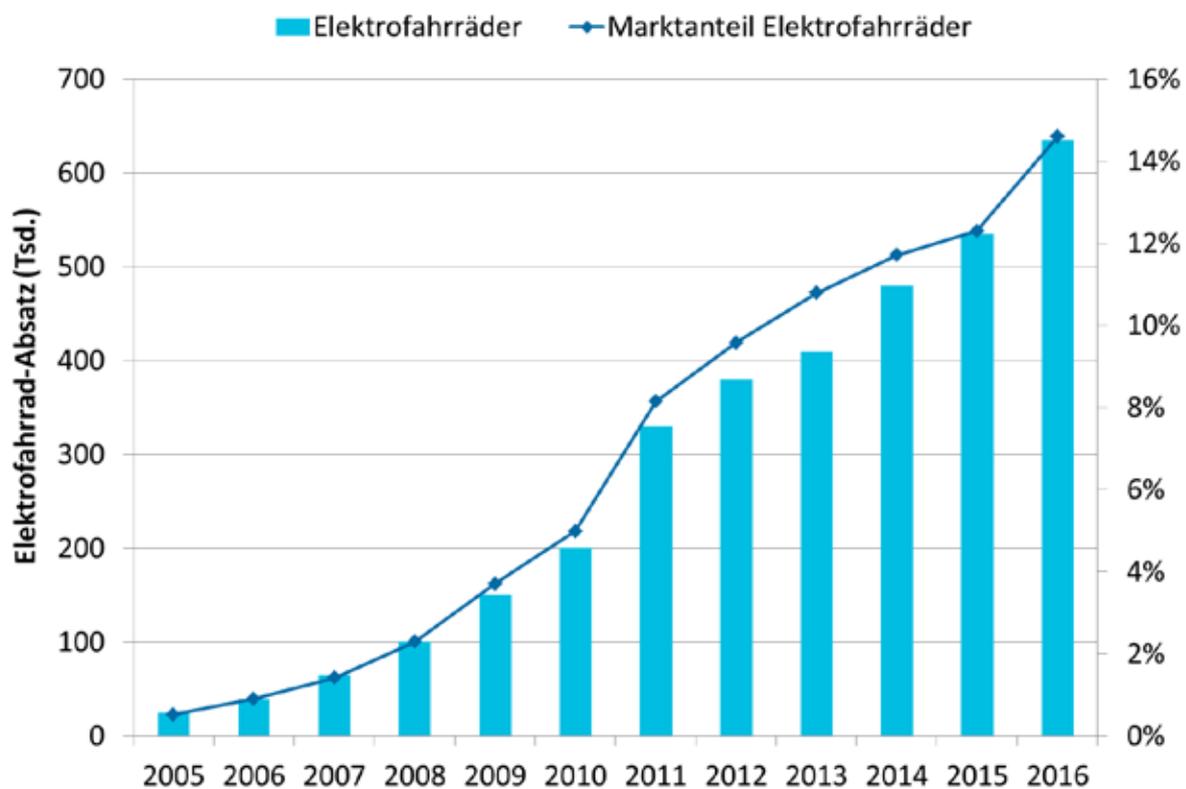
besten zur Abbildung des Transformationsprozesses geeignet, wie im Folgenden genauer ausgeführt wird.

#### 2.4.1.1. Indikator 1a: Absatz von Elektrofahrrädern in Deutschland

Abbildung 2-1 zeigt die Entwicklung des Absatzes von Elektrofahrrädern in Deutschland im Zeitraum 2005 bis 2015. Während dieses Zeitraums ist der Marktanteil von Elektrofahrrädern am Fahrradmarkt von 1% auf 12% angestiegen. Im Jahr 2015 waren bereits 535.000 der 4,35 Mio. verkauften Fahrräder Elektrofahrräder.

Dieser Indikator gibt einen guten Anhaltspunkt zu den Wachstumsraten des Elektrofahrrad-Marktes und zu der Transformation auf Seiten der Produktion bzw. des Absatzes.

**Abbildung 2-1: Verkaufszahlen von Elektrofahrrädern in Deutschland**



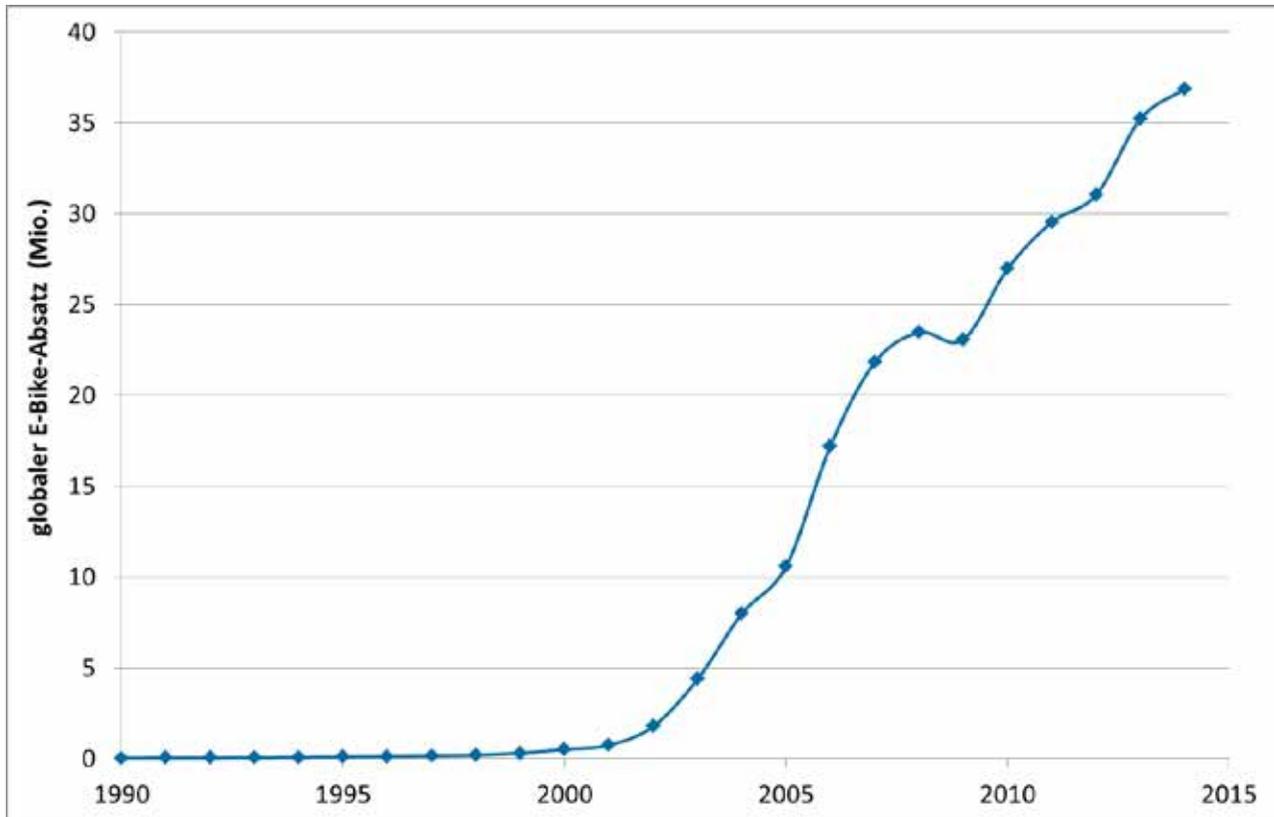
Quelle: eigene Darstellung nach ZIV

#### 2.4.1.2. Indikator 1b: Verkaufszahlen von E-Bikes weltweit

Abbildung 2-2 zeigt die weltweite, sehr dynamische Entwicklung des Absatzes von E-Bikes (d.h. inklusive der in China vor allem dominierenden E-Scooter) im Zeitraum 1990 bis 2014 (Jamerson & Benjamin, 2015). Die Entwicklung wird stark vom chinesischen Markt dominiert, welcher im Jahr 2013 einen Marktanteil von über 95% an den weltweit verkauften E-Bikes aufwies (näheres dazu siehe den Exkurs in Kapitel 4). Die Unterschiede zwischen dem chinesischen und dem deutschen Markt sind so groß und der chinesische Marktanteil so hoch, dass dieser Indikator kaum Rückschlüsse auf den Stand der Transformation in Deutschland zulässt.

Allerdings spielen die globalen Märkte für die Transformation in Deutschland durchaus eine Rolle (z.B. wenn es um die Produktentwicklung, Märkte, Rohstoffverfügbarkeit, oder internationale Standardisierung geht). Daher kann dieser Indikator ergänzend Aufschluss über die Rahmenbedingungen für die Transformation in Deutschland geben.

**Abbildung 2-2: Verkaufszahlen von Elektrofahrrädern weltweit**

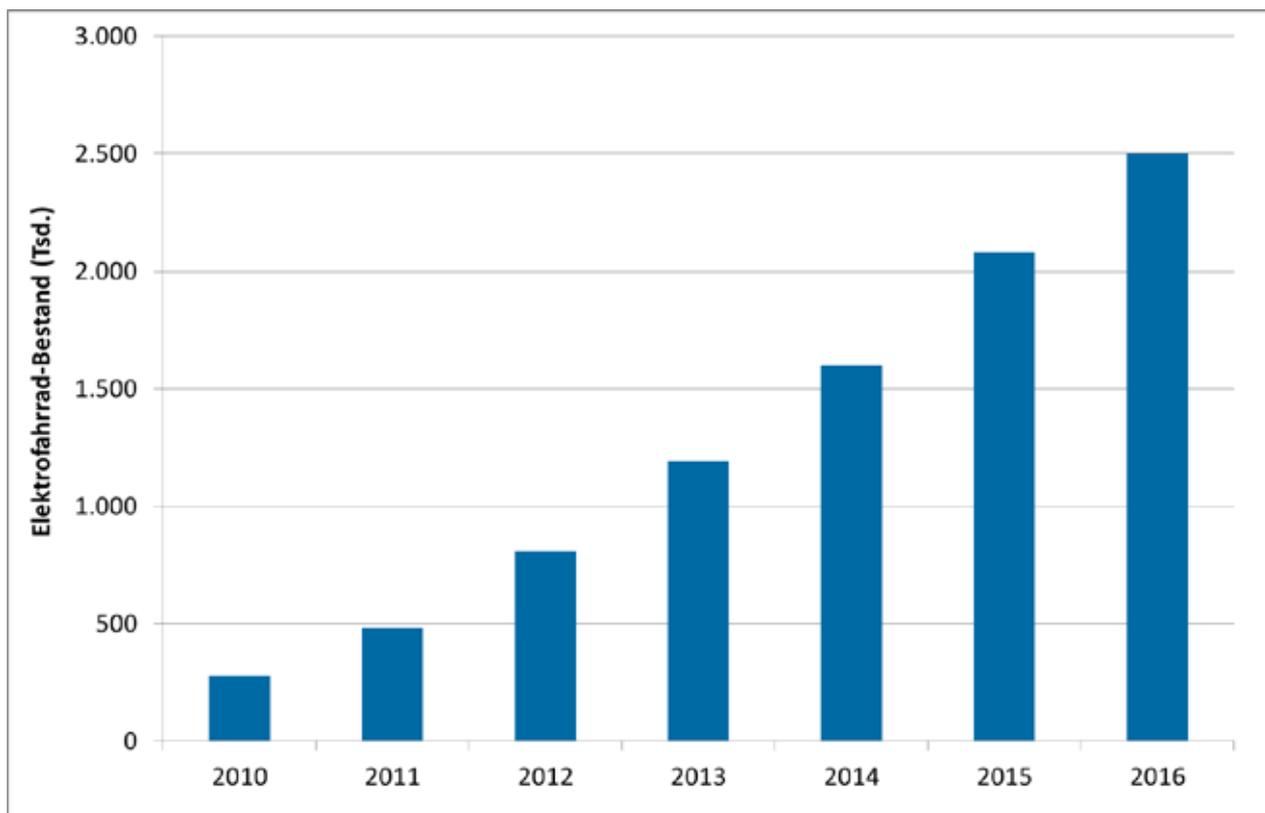


Quelle: eigene Darstellung nach ZIV

**2.4.1.3. Indikator 2: Bestand Elektrofahrräder in Deutschland**

Abbildung 2-3 zeigt die Entwicklung des Bestandes an Elektrofahrrädern in Deutschland. Hierzu werden keine regelmäßigen Daten veröffentlicht, so dass die Zahlen auf Basis von (Destatis, 2015) und Daten des Zweirad-Industrie-Verbands abgeleitet wurden. Demnach gab es Anfang 2016 bereits rund 2,5 Mio. Elektrofahrräder in Deutschland, was in etwa 3,5% des gesamten Fahrradbestandes entspricht.

Im Gegensatz zum Elektrofahrrad-Absatz ist der Elektrofahrrad-Bestand besser geeignet als Proxy für die Relevanz des Elektrofahrrads für die Mobilität in Deutschland, dafür aber weniger geeignet für die Veränderungen auf Seiten der Produktion.

**Abbildung 2-3: Elektrofahrrad-Bestand in Deutschland (zum 1.1. des Jahres)**

Quelle: eigene Darstellung nach ZIV, (Destatis, 2015)

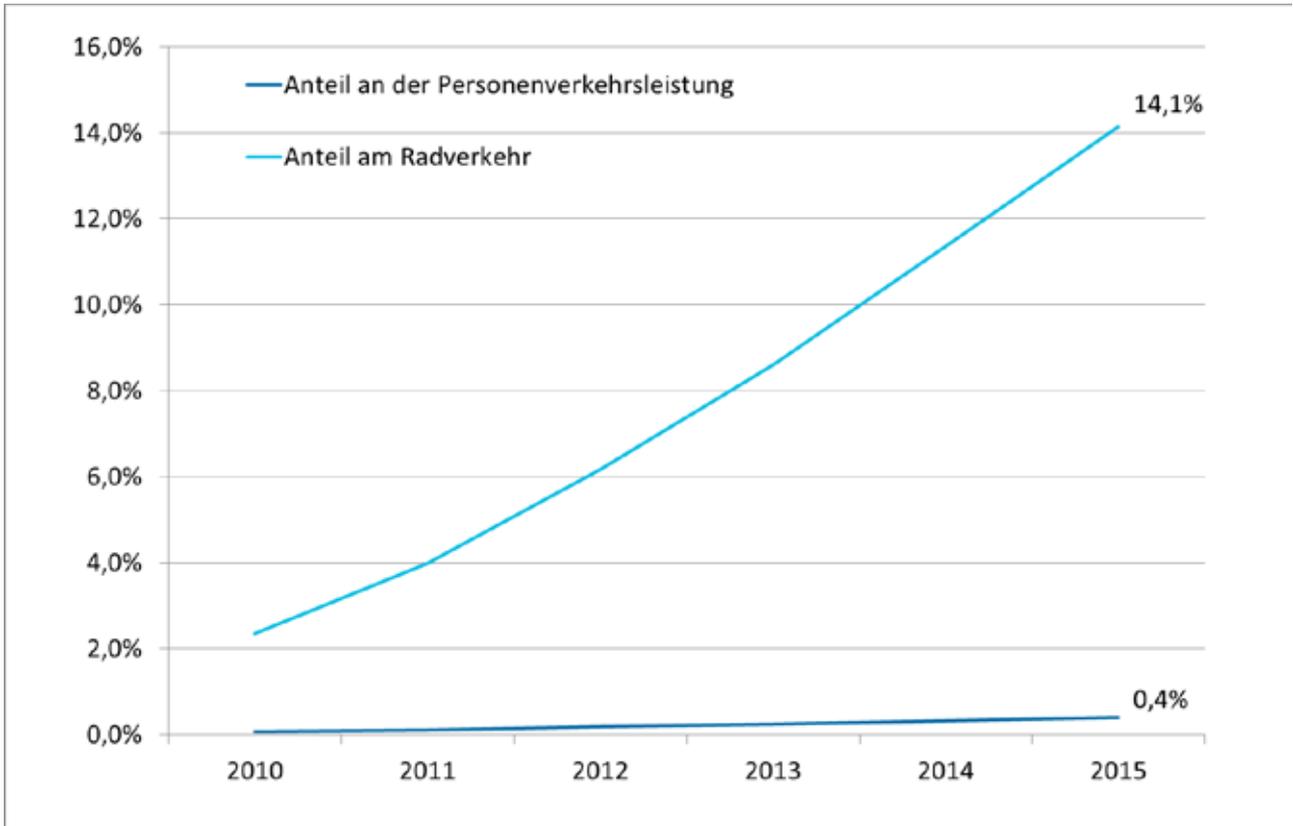
#### 2.4.1.4. Indikator 3: Anteil von Elektrofahrrädern an der Verkehrsleistung

Die Verkehrsleistung von Elektrofahrrädern und ihr Anteil am gesamten Verkehr ist eine für die Umweltwirkung relevante Größe. Da Elektrofahrräder längere Distanzen zurücklegen als konventionelle Fahrräder, lässt sie sich nicht unmittelbar aus dem Bestand von Elektrofahrrädern ableiten. Elektrofahrräder werden bisher in Statistiken wie z.B. „Verkehr in Zahlen“ nicht gesondert ausgewiesen und wurden auch in der letzten deutschlandweiten repräsentativen Mobilitätsbefragung („Mobilität in Deutschland“) nicht erhoben. Daher können Aussagen zum Anteil des Elektrofahrrads am Radverkehr und am gesamten Personenverkehr nur auf Basis von Annahmen bzw. Daten aus nicht-repräsentativen Studien getroffen werden.

In (kairos, 2010) wird eine durchschnittliche Jahresfahrleistung von rund 1.400 km ermittelt (3-Mal so hoch wie die Fahrleistung eines konventionellen Fahrrads). (Lienhop, 2015) kommt sogar auf eine durchschnittliche Jahresfahrleistung von 2.500 km. Bei einem Bestand von 2,5 Mio. Elektrofahrrädern ergibt sich daraus ein Anteil von 11% bis 19% an der Radverkehrsleistung. Für die in Abbildung 2-4 dargestellte Entwicklung wurde ein mittlerer Wert von 2.000 km pro Jahr angenommen. Unter dieser Annahme lag der Anteil der Elektrofahrräder am Radverkehr im Jahr 2015 bei rund 14%, während der Anteil im Jahr 2010 noch bei ca. 1% lag. Bezogen auf die gesamte Personenverkehrsnachfrage in Deutschland ist der Anteil der Elektrofahrräder mit 0,4% noch vergleichsweise gering, aber auch nicht mehr vernachlässigbar.

Auch dieser Indikator lässt allerdings keine unmittelbaren Schlüsse auf die Entwicklung der CO<sub>2</sub> – Emissionen im Handlungsfeld Mobilität zu, denn diese können natürlich auch trotz eines wachsenden Anteils von Elektrofahrrädern ansteigen (z.B. wenn der Verkehr insgesamt zunimmt).

**Abbildung 2-4: Anteil von Elektrofahrrädern an der Verkehrsleistung des Radverkehrs in Deutschland sowie Anteil an der gesamten Personenverkehrsleistung**



Quelle: eigene Berechnungen (Quellen siehe Text)

### 3. Beschreibung und Analyse des bisherigen Transformationsprozesses

Erste Patente für elektrische Fahrräder gab es bereits im 19. Jahrhundert (electricbike, 2013). Einen Innovationsschub bekamen Ideen zu alternativer Mobilität durch die Erdölkrise im Jahr 1973. Im Jahr 1989 baute Michael Kutter das erste fahrfähige Elektrofahrrad mit Tretunterstützung (Pedal Assist System, PAS), welches heute als „Pedelec“ bezeichnet wird. Es handelte sich um eine echte Innovation aus der Nische, denn zu diesem Zeitpunkt glaubte kaum jemand an die Zukunft dieser „merkwürdigen Mischung“ und Michael Kutter musste Pionierarbeit leisten, um seine Idee zu verwirklichen. Ab 1993 produzierte Yamaha – und damit ein etablierter Wirtschaftsakteur – ein Pedelec in Serie und schaffte damit eine größere Verbreitung in Japan, wo vor allem Geschäftsleute diese neue Mobilitätsoption nutzten. Yamaha leistete politische Lobbyarbeit sowohl in Japan als auch in Europa, um das Pedelec juristisch dem Fahrrad gleichzustellen, und schuf damit eine wichtige Voraussetzung für den Markterfolg (Budde & Neupert, 2015).

In Deutschland kamen die ersten Modelle ebenfalls in den 1990er Jahren auf den Markt. Zu dieser Zeit – nach der 2. Ölkrise 1986 – schien auch und gerade bei Pkw die Elektromobilität vor einem Durchbruch zu stehen; z.B. wurde in Kalifornien ein verpflichtender Anteil emissionsfreier Fahrzeuge an den Neuzulassungen definiert und auch in Deutschland wurde Elektromobilität gefördert. Während im Jahr 1992 auf dem Weltmarkt erst insgesamt drei verschiedene Modelle verfügbar waren (Neupert, 2012), wurden Elektrofahrräder in der Branche in den 90er Jahren stärker zum Thema. Im Jahr 1999 präsentierten auf der internationalen Fahrradmesse in Köln mehrere Hersteller, darunter auch etablierte Akteure wie Daimler-Chrysler, Elektrofahrräder. Diese waren meist mit Nickel-Cadmium Akkus ausgestattet. Die ersten marktreifen Elektrofahrräder waren Tiefeinsteiger und stießen bei der überwiegenden Mehrheit der Radfahrer in Deutschland noch auf starke Abwehrreaktionen. Dies veranschaulicht z.B. das folgende Zitat aus einem Zeitungsartikel der „Zeit“:

*"Alter Opa" und "Warmduscher" sind noch die nettesten Zurufe, die man auf einer Probefahrt zu hören bekommt. (Blum, 1999)*

Einen wesentlichen Schub enthielt die Entwicklung des Elektrofahrrads durch technologische Fortschritte, einerseits bei den im Motor verwendeten Permanentmagneten und andererseits durch die Marktreife von Lithium-Ionen-Batterien. Sowohl die E-Motoren auf Neodym-Eisen-Bor-Magneten Basis als auch die Lithium-Ionen Batterien zeichnen sich durch hohe Leistungen bei vergleichsweise geringem Gewicht und Volumen aus und sind für Elektrofahrräder daher ideal.

Der Ursprung dieser technologischen Innovationen lag in Skaleneffekten in anderen, bereits deutlich größeren Industrien. Neodym-Magneten gelangten durch den Computer-Boom Ende der 90er Jahre in die Massenproduktion, wodurch sich der Preis deutlich reduzierte. Die Leistung von Elektrofahrrädern konnte dadurch deutlich verbessert werden.

Lithium-Ionen-Batterien erlebten zu Beginn des Jahrtausends durch den Einsatz in Handys und Laptops einen Boom. Der Preis für Lithium-Ionen-Zellen reduzierte sich von 2.600 \$/kWh im Jahr 1999 auf 240 \$/kWh im Jahr 2011 (Cluzel & Douglas, 2012). Im Jahr 2005 waren die auf Seiten des Herstellungsprozesses möglichen Verbesserungen weitgehend umgesetzt, und seit diesem Zeitpunkt kamen Lithium-Ionen-Batterien auch verstärkt in Elektrofahrrädern zum Einsatz. Dadurch wurde die Energiemenge je Gewicht/Größe um den Faktor 6-8 verbessert. Zu Beginn des Einsatzes von Lithium-Ionen-Batterien gab es öfter Berichte über „Batteriebrand“; Diese anfänglichen Probleme gingen jedoch relativ rasch zurück. Im Jahr 2011 wurde der Verein BATSO e.V. zur Batteriesicherheit gegründet (Budde et al., 2012).

Durch Änderung des Straßenverkehrsgesetzes mit Wirkung zum 21. Juni 2013 wurde in Deutschland definiert, dass Pedelec-25 nicht als Kraftfahrzeuge eingestuft werden, sondern als Fahrräder. Dadurch ist kein Führerschein notwendig und es gelten dieselben Regeln für die Benutzung von Radwegen wie für Fahrräder. Die Rechtslage für S-Pedelecs war länger unklar; sie werden mittlerweile als Kleinkrafträder eingestuft.

In den letzten Jahren kam es zu einer deutlichen Diversifizierung der Produktpalette und technologischen Weiterentwicklungen, welche jedoch noch nicht abgeschlossen sind. (Budde et al., 2012) vergleichen die produktseitige Entwicklung von Elektrofahrrädern mit der Entwicklung von Telefonen bzw. Mobiltelefonen und stellen die These auf, dass wir uns heutzutage im Stadium des „Motorola-Knochens“ befinden – eines der ersten Handys, welches praktikabel war, aber hinsichtlich Gewicht, Größe und Funktion auch nicht annähernd vergleichbar mit dem heutigen Smartphone. Bei Elektrofahrrädern gebe es also noch beträchtliches Entwicklungspotenzial. Nach Einschätzung von Hannes Neupert vom Verein ExtraEnergy.org wird das konventionelle Fahrrad zukünftig nur noch in einigen „geschützten Nischen“ überleben und Elektrofahrräder werden praktisch den gesamten Markt übernehmen; Konventionellen Fahrrädern stünde demnach ein ähnliches Schicksal bevor wie der mechanischen Schreibmaschine oder der Schallplatte (Budde et al., 2012).

### **Exkurs: Der Transformationsprozess in China**

Für die Überlegungen zur weiteren Gestaltung des Transformationsprozesses ist eine Analyse des Transformationsprozesses in China als dem mit Abstand größten Markt für E-Bikes hilfreich. In China werden unter „E-Bike“ sämtliche zweirädrigen elektrischen Fahrzeuge mit Pedalen bezeichnet. Im Jahr 2010 waren 16,1% davon Elektrofahrräder, 26,2% E-Scooter und der Rest eine Mischform zwischen diesen beiden Typen (Ruan et al., 2014). Im Folgenden wird der Entwicklungsprozess in China auf Basis von (Ruan et al., 2014) kurz skizziert.

*Entwicklungsphase (1995-1999):* Während dieser Phase wurden erste E-Bikes entwickelt. Diese hatten jedoch noch eine begrenzte Reichweite von 30 km und eine sehr kurze Lebensdauer von Batterien und Motoren. Im Jahr 1996 verbot Shanghai verbrennungsmotorische Motorräder aufgrund der hohen Luftverschmutzung, wodurch ein erster Markt für E-Bikes entstand. Das E-Bike war günstiger und einfacher zu nutzen als ein Motorrad, bot aber deutliche Vorteile gegenüber dem konventionellen Fahrrad, so dass Nischenmärkte vor allem auch bei älteren Menschen und Frauen entstanden.

*Einstieg in die Massenproduktion (2000-2005):* Während dieser Phase führten Forschung und Entwicklung zu wesentlichen Fortschritten der Batterietechnologie. Nach Shanghai verbannten weitere Städte Motorräder. Gleichzeitig wurde im Zuge des SARS-Virus-Ausbruchs im Jahr 2003/04 die Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel weniger attraktiv. Im Jahr 2004 wurde das „Road Transportation Safety Law“ verabschiedet, welches alle E-Bikes als nicht-motorisierte Verkehrsmittel klassifizierte. Dadurch konnten E-Bikes ohne Führerschein und Helm gefahren werden und die Benutzung der Radwege war erlaubt.

*Markthochlaufphase (2005-2010):* Durch die zunehmende Diffusion von E-Bikes verbesserte sich die Leistung deutlich. Die Lebenserwartung der Motoren stieg um den Faktor 5 und die Herstellungskosten sanken auf 21% der ursprünglichen Kosten. Unterstützend wirkte hier auch die gute Verfügbarkeit seltener Erden, welche für den Elektromotor benötigt werden. Bleisäurebatterien wurden mit einem Anteil von rund 90% vorherrschende Speichertechnologie. Durch die Zunahme der E-Bikes auf den Radwegen kam es jedoch vermehrt zu Konflikten und Unfällen, so dass verschiedene Städte E-Bikes verboten.

*Sättigungsphase (seit 2010):* Als Reaktion auf die Sicherheitsprobleme veröffentlichte die chinesische Regierung ein neues Set von Standards, in welchem alle zweirädrigen elektrischen Fahrzeuge über 20 km/h Höchstgeschwindigkeit und 40 kg Gewicht als motorisierte Fahrzeuge klassifiziert werden und daher nicht mehr auf den Fahrradwegen benutzt werden dürfen. Dieses Gesetz wurde jedoch bisher nicht verabschiedet. Weiterhin führte die Regierung staatliche Förderungen von E-Bikes für ländliche Regionen in Höhe von 13% des Anschaffungspreises ein. Nachdem es zu einigen fatalen Unfällen und Umweltverschmutzung im Zusammenhang mit Bleisäurebatterien gekommen war, gelten seit 2011 deutlich höhere Auflagen an die Herstellung und das Recycling. Dadurch kam es zu einem Preisanstieg der Bleisäurebatterien und mehrere Hersteller wichen auf die teureren, aber leistungsfähigeren Lithium-Ionen-Akkus aus. Seit 2010 ist die Zahl der verkauften E-Bikes in China nicht mehr deutlich angestiegen und lag im Jahr 2013 bei 33,7 Mio. Stück. Perspektivisch für 2050 erwartet (Jamerson & Benjamin, 2015) noch eine Zunahme auf 51 Mio. verkaufte Elektrofahrräder.

Zusammenfassend lassen sich also folgende Erfolgsfaktoren für die Transformation in China ausmachen (Weiss et al., 2015):

- Technologische Verbesserung: zunehmende Reichweite und Lebensdauer der (Blei-)Batterien sowie Verbesserungen bei den Elektromotoren (bürstenloser Gleichstrommotor, Neodym-Magnete)
- Kaufpreise: Die Kaufpreise für Elektrofahrräder gingen zwischen 1999 und 2006 um ein Drittel zurück
- Betriebskosten: Rückgang des Strompreises bei gleichzeitigem Anstieg des Benzinpreises
- Infrastruktur: In mehreren Städten wurde die Radverkehrsinfrastruktur ausgebaut
- Sinkende Attraktivität der Alternativen: Im motorisierten Individualverkehr kam es vermehrt zu Stau; Öffentlicher Verkehr erschien zunehmend unbequem.
- Kultur: Es entwickelte sich eine zunehmende Radfahrkultur, wobei möglicherweise auch der Ausbruch von SARS im Jahr 2003 eine Rolle spielte, welcher dazu führte, dass der öffentliche Verkehr zunehmend unattraktiv erschien.

Es gab also sowohl sogenannte „Pull“-Faktoren, welche zu einer steigenden Attraktivität von Elektrofahrrädern führten, als auch „Push“-Faktoren, welche die Attraktivität der Alternativen MIV und ÖV reduzierten. Neben den ökonomischen Faktoren (Kaufpreise, Betriebskosten) spielten auch die Verbesserungen beim Produkt und die Infrastruktur eine wichtige Rolle.

Der Transformationsprozess in Deutschland bzw. Europa findet unter anderen Rahmenbedingungen statt. Der Handlungsdruck der Politik beim Thema Luftschadstoffe ist geringer als in den sehr hoch belasteten chinesischen Städten, wenngleich auch in Deutschland die zulässigen Grenzwerte immer wieder überschritten werden. Vor dem Hintergrund des im Schnitt deutlich höheren Haushaltseinkommens als in China ist möglicherweise der Kosteneffekt für viele Haushalte weniger prioritär als andere Vorteile des Elektrofahrrads (z.B. Spaß, Gesundheit). Allerdings sind auch die Anschaffungspreise in Deutschland deutlich höher. Während in China das Elektrofahrrad vor allem als Alternative zum Motorrad und für breite Bevölkerungsschichten attraktiv wurde, ist das Elektrofahrrad in Deutschland bisher vor allem für ältere Menschen und PendlerInnen attraktiv.

Dennoch lässt sich von der Entwicklung in China lernen, dass das Zusammenspiel von geeigneten Rahmenbedingungen und geeignetem politischem Handeln zu einem raschen Transformationsprozess führen kann.

## 4. Beschreibung der Umweltwirkungen und ihrer Ursachen im Anwendungsfeld

Dieses Kapitel beschreibt die wesentlichen Umweltwirkungen im Anwendungsfeld Mobilität derzeit sowie die mögliche Wirkung der Transformation durch Elektrofahrräder auf die Umweltwirkungen.

### 4.1. Wesentliche Umweltwirkungen im Anwendungsfeld Mobilität derzeit

#### Energiebedarf und Treibhausgasemissionen

Auf den Verkehrssektor entfallen heute 28% des Endenergiebedarfs und etwa 18% der Treibhausgasemissionen in Deutschland. Berücksichtigt man auch die internationalen Luft- und Seeverkehre, so fällt der Anteil des Verkehrs an den Treibhausgasemissionen noch höher aus. Eine angestrebte Treibhausgasminde rung in Deutschland von 80 bis 95% bis zum Jahr 2050 kann ohne einen signifikanten Beitrag des Verkehrssektors nicht erreicht werden. Für die THG-Emissionen im Verkehr wurde mit dem Klimaschutzplan 2050 eine Minderung um 40-42% bis 2030 beschlossen. Spezifische Ziele für den Verkehrssektor existieren zudem in Bezug auf die Endenergie. Im Rahmen des Energiekonzepts hat sich die Bundesregierung das Ziel gesetzt, den Endenergiebedarf des Verkehrssektors gegenüber 2005 bis zum Jahr 2020 um 10% und bis zum Jahr 2050 um 40% zu senken. Bisher befindet sich der Verkehrssektor nicht auf dem Zielpfad zur Erreichung des Ziels für 2020. Auch für die den Verkehr betreffenden Ziele der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie aus dem Jahr 2002 ist eine Zielverfehlung absehbar. So stieg die Transportintensität im Güterverkehr seit 1999 um 8% an, Ziel für das Jahr 2020 ist eine Reduktion um 5%. Die Personentransportintensität sank um 9%, das Ziel bis 2020 ist jedoch eine Reduktion um 20%. Die Ziele hinsichtlich Anteile von Schiene (25% in 2015) und Binnenschiff (14% in 2015) am Modal Split im Güterverkehr können bereits als verfehlt bezeichnet werden, was jedoch bis zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht entsprechend kommuniziert wurde oder in zusätzlichen Maßnahmen resultierte. Der größte Anteil der Treibhausgasemissionen des Verkehrs entfällt auf den Pkw. Insgesamt haben dadurch Pkw einen Anteil von rund 12% an den gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland.

#### Luftschadstoffe

Die Schadstoffemissionen des Verkehrs sind in den vergangenen Jahren stark gesunken. Neben dem flächendeckenden Einsatz von blei- und schwefelfreien Kraftstoffen ist diese Entwicklung vor allem der serienmäßigen Fahrzeugausstattung mit Technologien zur Abgasnachbehandlung zu verdanken – dem Katalysator in Benzinfahrzeugen und dem Rußpartikelfilter in Dieselfahrzeugen. Trotz dieser Fortschritte ist die Belastung der Luft mit Feinstaub, Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) und Ozon an vielen Orten nach wie vor zu hoch. Die höchsten Feinstaub- und NO<sub>2</sub>-Belastungen treten in innenstädtischen Gebieten und an Straßen mit hohem Verkehrsaufkommen auf, während der Grenzwert für Ozon vornehmlich im vorstädtischen oder ländlichen Raum überschritten wird.

Feinstaub, der direkt und indirekt dem Verkehr zuzurechnen ist, entsteht bei motorischen Verbrennungsprozessen sowie aus Abrieb (Reifen, Bremsen) und Aufwirbelung. Feinstaubpartikel werden vor allem von Dieselmotoren in Pkws, Lastwagen, Bussen, Lokomotiven und Schiffen ausgestoßen. Während der Verkehr deutschlandweit 17 - 30% der PM<sub>10</sub>-Emissionen verursacht (Feinstaubpartikel mit einem maximalen Durchmesser von 10 Mikrometern), ist der Verkehr in Städten mit 25 - 55% der PM<sub>10</sub>-Emissionen die dominierende Staubquelle (Randelhoff, 2012). Beeinträchtigungen der Gesundheit sind die Folge: PM<sub>10</sub> kann beim Menschen in die Nasenhöhle, PM<sub>2,5</sub> bis in die Bronchien und Lungenbläschen und ultrafeine Partikel bis in das Lungengewebe und sogar in den Blutkreislauf eindringen. Allein in Deutschland sterben nach Schätzungen der

Europäischen Umweltagentur (EEA) jährlich ca. 59.500 Menschen vorzeitig an den Folgen der Feinstaubbelastung.

## **Lärm**

Der Verkehr führt in Deutschland auch zu hohen Beeinträchtigungen durch Lärm. Eine repräsentative Umfrage zum „Umweltbewusstsein in Deutschland 2016“ hat ergeben, dass sich 76% der deutschen Bevölkerung vom Straßenverkehrslärm gestört oder belästigt fühlen (davon 23% stark oder äußerst stark), 39% vom Schienenverkehrslärm und 44% vom Flugverkehrslärm. Die Bundesregierung strebt deshalb eine Reduzierung der Verkehrslärmbelastung trotz steigenden Verkehrsaufkommens an. Im Nationalen Verkehrslärmschutzpaket II formuliert das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung folgende Lärmschutzziele, die bis zum Jahr 2020 gegenüber 2008 erreicht werden sollen: Minderung der Belästigung durch Lärm um 50% im Schienenverkehr, um 30% im Straßenverkehr und in der Binnenschifffahrt sowie um 20% im Flugverkehr.

## **Flächenverbrauch**

Des Weiteren beansprucht der Verkehr große Flächen. Von der Siedlungs- und Verkehrsfläche (SuV-Fläche), die zu ca. 46% aus versiegeltem Boden besteht, entfallen ca. 37% auf Verkehrsflächen. Damit nimmt der Verkehrssektor 5,1% der Gesamtfläche Deutschlands in Anspruch. Die Bundesregierung hat in der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie das Ziel festgelegt, den Flächenverbrauch auf maximal 30 Hektar pro Tag (ha/d) zu verringern. Im Durchschnitt der Jahre 2011-2014 betrug der Flächenverbrauch rund 69 Hektar pro Tag in Deutschland, von denen 17,5 ha/d (2014 sogar 23 ha/d) auf die Verkehrsflächen entfielen. Dem motorisierten Individualverkehr wird dabei besonders viel Platz zugestanden.

## **4.2. Mögliche Umweltwirkungen einer Transformation**

Immerhin 10% des Energieverbrauchs von Pkw entstehen auf Strecken unter 5 km und 30% auf Strecken unter 15 km (Follmer et al., 2010). Es bestehen also noch deutliche Potenziale zur Verlagerung aufs (Elektro-) Fahrrad. Wie im Folgenden dargestellt wird, geht eine solche Verlagerung mit positiven Umweltwirkungen einher.

Im Folgenden werden dafür zunächst die wesentlichen Umweltauswirkungen durch Elektrofahrräder dargestellt. Anschließend werden die Beiträge der einzelnen System-Elemente (Technologien & Produkte, Verhalten & Lebensstile, materielle Infrastrukturen) zu den Umweltwirkungen näher beleuchtet, und schließlich ein gesamtes Minderungspotenzial durch Elektrofahrräder für verschiedene Szenarien bestimmt.

### **4.2.1. Übersicht über wesentliche Umweltwirkungen durch Elektrofahrräder**

Von herausragender Bedeutung für die Umweltauswirkungen von Elektrofahrrädern ist, welches Verkehrsmittel (z.B. Pkw, öffentlicher Verkehr, konventionelles Fahrrad) durch Elektrofahrräder ersetzt wird bzw. ob Wege auch zusätzlich zurückgelegt werden, d.h. zusätzlicher Verkehr induziert wird. Als Alternative zum eigenen Pkw oder zumindest zum Zweitwagen können Elektrofahrräder zur Verringerung von Flächen- und Ressourcenbedarf beitragen, ebenso wie zur Reduktion von Lärm und Schadstoffen in Städten. Während sich bei der Substitution von Pkw eindeutig positive Umwelteffekte ergeben, gilt dies nicht für die Substitution von nicht-motorisiertem Verkehr. Nach der derzeitigen Studienlage ist jedoch von einem insgesamt deutlich positiven Umweltbeitrag auszugehen. Dies wird im Folgenden anhand zentraler

Umweltwirkungskategorien näher dargestellt. Dabei wird auf die Themen Klimaschutz, Ressourcenschutz, Luftschadstoffe, Flächenverbrauch und Lärm eingegangen.

### Klimaschutz

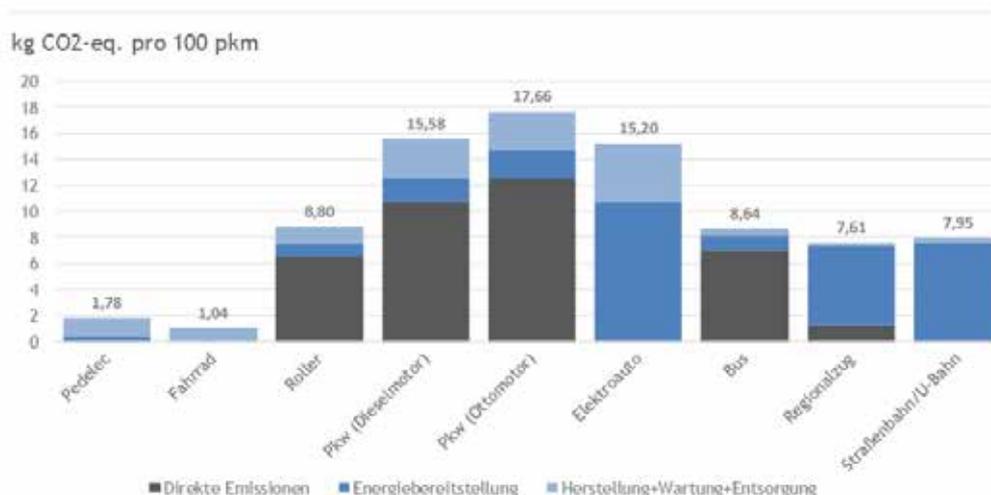
Bei der Nutzung von Elektrofahrrädern entstehen keine direkten Emissionen. Elektrofahrräder verbrauchen wenig Strom, so dass auch die Vorkettenemissionen der Stromerzeugung vergleichsweise gering ausfallen. Der spezifische Energieverbrauch von Elektrofahrrädern (Pedelects) beträgt unter 1 kWh je Kilometer. (Lienhop, 2015) ermittelt in einem Feldversuch einen durchschnittlichen Energieverbrauch von 0,73 kWh/km.

Bei dem durchschnittlichen deutschen Strommix und einem Stromverbrauch von 0,7 kWh / 100km entstehen durch die Stromerzeugung Treibhausgasemissionen in Höhe von rund 0,36 t CO<sub>2</sub> / 100 km. Zum Vergleich: Die Treibhausgasemissionen aus dem Betrieb eines konventionellen Pkw inklusive der Kraftstoffherstellung liegen rund 40-Mal so hoch. Auch gegenüber einem Elektroauto ist das Elektrofahrrad hier klar im Vorteil.

Auch wenn die Herstellung, Wartung und Entsorgung bei der Bilanzierung der Treibhausgasemissionen mitberücksichtigt wird, ist das Elektrofahrrad gegenüber den meisten anderen Verkehrsmitteln klar im Vorteil (Lienhop, 2015). Insgesamt konnten in dem in (Lienhop, 2015) durchgeführten Feldtest je Pedelect-Kilometer 70 g CO<sub>2</sub>e eingespart werden.

Abbildung 4-1 zeigt sowohl die direkten Emissionen der Fahrzeugnutzung, als auch die Vorkettenemissionen der Energiebereitstellung (Stromherstellung, Kraftstoffproduktion) sowie die Emissionen aus Herstellung, Wartung und Entsorgung. (Lienhop, 2015) legt dabei eine mittlere Lebensfahrleistung eines Pedelects von 15.000 Kilometer zu Grunde.

**Abbildung 4-1: Treibhausgasemissionen verschiedener Verkehrsmittel über den Lebensweg je Personenkilometer**



Quelle: (Lienhop, 2015)

Mit 1,78 kg CO<sub>2</sub>e / 100 pkm sind die Emissionen eines Elektrofahrrads im Vergleich zu anderen Verkehrsmitteln außer dem Fahrrad und dem Zu-Fuß-Gehen sehr niedrig. Der Großteil der Emissionen von Elektrofahrrädern fällt bei der Herstellung an. Bei THG-Emissionen in Höhe von

210 kg durch Herstellung, Wartung und Entsorgung ergeben sich umgerechnet 1,42 kg CO<sub>2</sub>e / pkm – d.h. rund 4 Mal so viel wie durch die Vorkettenemissionen der Stromerzeugung. Selbst wenn der Energiebedarf des Elektrofahrrads nicht bei 0,7 kWh / 100 km, sondern doppelt so hoch liegt, wären die Gesamtemissionen mit 2,14 kg CO<sub>2</sub>e / km immer noch um den Faktor 7 niedriger als die Emissionen eines Pkw.

Die Vorkettenemissionen der Stromerzeugung, welche bereits bei heutigem Strommix aufgrund des niedrigen Energiebedarfs von Elektrofahrrädern vergleichsweise niedrig sind, könnten langfristig bei einer vollständigen Dekarbonisierung des Stromsektors entfallen, so dass dann nur noch die Herstellung ins Gewicht fallen würde.

### **Luftschadstoffe:**

Luftschadstoffe entstehen im Zusammenhang mit Elektrofahrrädern nur bei der Energiebereitstellung und der Fahrradproduktion. Damit fallen sie im Gegensatz zu den Luftschadstoffen von verbrennungsmotorisch angetriebenen Verkehrsmitteln typischerweise nicht direkt in urbanen Zentren und dicht besiedelten Gebieten an und haben dadurch weniger negative Auswirkungen auf die Gesundheit, d.h. die Immissionsbelastung reduziert sich. Zudem ist auch die absolute Höhe der Luftschadstoffemissionen im Vergleich zum Pkw und auch im Vergleich zu den öffentlichen Verkehrsmitteln gering (Lienhop, 2015). Gerade für Kommunen, die durch EU-Vorgaben zur Reduktion von Luftschadstoffen angehalten sind, können Luftschadstoffe ein wichtiger Treiber für die Förderung von Alternativen zum Pkw sein.

### **Lärm**

Ähnlich wie das herkömmliche Fahrrad erzeugt das Elektrofahrrad kaum Lärmemissionen und hat dadurch enorme Vorteile gegenüber dem Pkw. Auch wenn ein Pkw elektrisch fährt, entstehen ab ca. 30 km/h Lärmemissionen durch die Rollgeräusche der Reifen.

### **Flächenverbrauch**

Der Flächenverbrauch von Elektrofahrrädern ist deutlich niedriger als jener von Pkw. Ein abgestelltes Fahrrad benötigt etwa 1,2 m<sup>2</sup>, ein Auto im Schnitt rund 12 m<sup>2</sup> (Lienhop, 2015). Im Vergleich zum Pkw liegt der Anteil der Radverkehrsfläche an der gesamten Verkehrsfläche in Berlin bei rund 3% - bei einem Wegeanteil von 15% (Agentur für clevere Städte, 2015a). Dennoch werden ausreichend breite Fahrradwege benötigt, um die Potentiale des schnellen Radfahrens der Elektrofahrräder nutzen zu können. Zudem sind die infrastrukturellen Anforderungen zur Abstellung der Fahrräder niedriger verglichen mit dem Pkw, aber höher im Vergleich zu herkömmlichen Fahrrädern, da Elektrofahrräder möglichst barrierefrei zugänglich und ausreichend gesichert sein müssen.

Nicht nur im ruhenden Zustand ist der Flächenbedarf von Fahrrädern und Elektrofahrrädern geringer als derjenige von Pkw, sondern auch im fließenden Verkehr. Verschiedene Quellen zeigen für Fahrräder eine Spannweite von 0,2 – 0,4 „Passenger Car Equivalent Units“ (PCEUs) auf, d.h. hinsichtlich der Kapazität der Infrastruktur entspricht ein Fahrrad 0,2 – 0,4 Pkws. Nach Untersuchungen von (Jin et al., 2015) in China kann durch E-Bikes die Kapazität der Infrastruktur gegenüber konventionellen Fahrrädern nochmals um rund 50% erhöht werden, d.h. ein E-Bike entspricht 0,66 konventionellen Fahrrädern.

## Ressourcenbedarf

Zur Herstellung der Batterie werden Metalle wie Lithium, Mangan, Kobalt, Nickel sowie Kupfer benötigt, kommen aber in weit aus geringerem Maße im Vergleich zum elektrischen Pkw zum Einsatz. Im Vergleich zum herkömmlichen Fahrrad ist der Materialbedarf höher und kann bei zunehmender Nachfrage relevante Größenordnungen erreichen (s.u.).

### 4.2.2. Beitrag von Technologien, Produkten, Dienstleistungen zu den Umweltwirkungen

Im Folgenden wird ein Überblick über die Umweltauswirkungen der Produktion und Produktbeschaffenheit von Elektrofahrrädern gegeben. Wie oben dargestellt, hat über den Lebenszyklus betrachtet die Produktion des Elektrofahrrads den wesentlichen Anteil an den entstehenden Treibhausgasemissionen.

Während im Ausland (z.B. China) häufig noch Blei-Akkus im Einsatz sind, werden in Deutschland und Europa fast ausschließlich Lithium-Ionen-Akkus sowie vereinzelt Nickelmetallhydridakkus genutzt. Für die Lithium-Ionenbatterien werden u.a. die Metalle Lithium, Mangan, Kobalt, Nickel sowie Kupfer benötigt.

Als problematisch stellt sich die mangelnde Standardisierung von Akkus dar. Aufgrund der Sorge, dass ein spezifisches Akkumodell zukünftig nicht mehr erhältlich ist, neigen einige Elektrofahrrad-NutzerInnen dazu, schon bei der Anschaffung einen „Vorratskauf“ von mehreren Akkus zu tätigen – obwohl die Alterung der Akkus zu einem sukzessiven Kapazitätsverlust führt (Lienhop, 2015). Dies wirkt sich ungünstig auf die Ökobilanz aus.

Die Herstellung und Entsorgung eines Akkus mit 300 Wh beträgt nach (Lienhop, 2015) rund 22 kg CO<sub>2</sub>e und macht somit 16% der Gesamtemissionen der Elektrofahrradherstellung aus. Andere Quellen kommen auf etwas niedrigere Werte mit Emissionen zwischen 22 und 30 kg CO<sub>2</sub>e für einen Akku mit 400 Wh (Wachotsch et al., 2014). Werden also mehrere Akkus gekauft – zum Wechseln des Akkus oder weil dieser defekt ist – erhöhen sich die spezifischen Emissionen der Elektrofahrradnutzung entsprechend um rund 10-15%.

Lithium-Ionen-Akkus werden nach der Nutzung einem stofflichen Recycling zugeführt, um Kobalt, Nickel, Kupfer und Kunststoffe zurückzugewinnen. Die meisten Recyclingverfahren sind allerdings noch nicht in der Lage, Lithium wiederzuverwenden – auch weil sich dies ökonomisch derzeit nicht lohnt. Zudem sind die meisten Recyclingverfahren auf Grund der mangelnden Standardisierung der Akkus sehr aufwendig. (Amrhein et al., 2016) plädieren daher für eine Wiederverwendung der Akkus in einem stationären Speichercluster zur Stabilisierung von Frequenz und Spannung im Strom-Verteilnetz. Eine solche Stabilisierung wird bei einem zunehmenden Anteil erneuerbarer Energien im Stromsektor notwendig. Dies wäre zudem im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (Wiederverwendung vor Recycling), würde die Ressourceneffizienz um 70% steigern und könnte das Image von Elektrofahrrädern verbessern. Es ist jedoch zu bedenken, dass wahrscheinlich eine hohe Standardisierung der Akkus eine zentrale Voraussetzung wäre, um dieses Konzept umzusetzen.

Bei global hohen Produktionszahlen von Elektrofahrrädern ist auch der Ressourcenbedarf für den Akku und den Elektromotor (üblicherweise einen permanenterregten Synchronmotor) nicht zu vernachlässigen. In der folgenden Tabelle ist der spezifische Materialbedarf für den Akku und den Elektromotor eines Pedelecs dargestellt. Zu Grunde gelegt ist ein Gesamtgewicht für die Pedelec-Batterie von 2,85 kg.

**Tabelle 4-1: Materialbedarfe für Akku und Elektromotor eines Pedelecs**

Material	Gramm je Pedelec
Dysprosium	3,25
Kobalt	28,8
Kupfer	2635
Lithium	34,5
Mangan	210,9
Natürlicher Graphit	270
Neodym	79
Nickel	55,6
Praseodym	19,8

Quelle: Buchert et al.

Für die Relevanz der Materialbedarfe in globalem Maßstab – insbesondere vor dem Hintergrund der Kritikalität bestimmter Rohstoffe – ist die zukünftige Entwicklung der Produktion von Elektrofahrrädern von Bedeutung. (Jamerson und Benjamin, 2015) prognostizieren einen Anstieg der Verkaufszahlen in den USA und Europa, d.h. den derzeitigen Haupt-Märkten für Elektrofahrräder mit Tretunterstützung und Lithium-Ionen-Batterien, auf 20 Mio. bis 2035. Perspektivisch sind aber auch höhere Verkaufszahlen denkbar. Wenn man die Trends bis 2050 extrapoliert bzw. auch in Asien zunehmend Lithium-Ionen-Akkus genutzt werden (Ruan et al., 2014), könnte die Produktion von Elektrofahrrädern mit Lithium-Ionen-Akkus auch auf 100 Mio. steigen.

Die folgende Tabelle zeigt daher für die heutige Produktion von Elektrofahrrädern in Deutschland und den USA sowie für Szenarien von 20 Mio. bzw. 100 Mio. Elektrofahrrädern, wie sich der daraus entstehende Materialbedarf im Vergleich zur heutigen Primärgewinnung der verwendeten Materialien verhält. Es wird deutlich, dass sich insbesondere der Bedarf an Neodym, Lithium, Praseodym und Dysprosium in relevanten Größenordnungen bewegen könnte, wenn der Elektrofahrrad-Absatz deutlich zunimmt. Bei verschiedenen Rohstoffen besteht allerdings auch die Möglichkeit des Recyclings. Weiterhin kann es perspektivisch möglich werden, besonders kritische seltene Erden durch andere Ressourcen zu substituieren.

**Tabelle 4-2: Materialbedarfe für Akku und Elektromotor von Pedelecs in % der heutigen Primärgewinnung**

	1,329 Mio. (heute)	20 Mio.	100 Mio.
Dysprosium	0,3%	5%	24%
Kobalt	0,0%	0,5%	2,6%
Kupfer	0,0%	0,3%	1,4%
Lithium	0,1%	2%	10%
Mangan	0,0%	0,0%	0,1%
Natürlicher Graphit	0,0%	0,5%	2,4%
Neodym	1%	7%	38%
Nickel	0,0%	0,0%	0,2%
Praseodym	0,4%	6%	31%

Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis von (Buchert et al., 2015)

#### 4.2.3. Beitrag von Verhalten & Lebensstilen zu den Umweltwirkungen

Der folgende Abschnitt gibt einen Überblick über die Soziodemographie, das Mobilitätsverhalten von Elektrofahrzeug-NutzerInnen allgemein und spezifisch über die Nutzung des Elektrofahrzeugs sowie zu den Mobilitätseinstellungen verschiedener NutzerInnentypen. Hierbei kann auf mehrere Studien zurückgegriffen werden, in welchen das Mobilitätsverhalten von Elektrofahrzeug-NutzerInnen anhand von Befragungen und/oder Mobilitätstagebüchern erhoben wurde. Nicht bei allen angesprochenen Aspekten ist der Bezug zur Umweltwirkung unmittelbar; Für das Verständnis der sich abzeichnenden Veränderung und zukünftiger Potenziale ist jedoch ein Gesamtbild über die NutzerInnen und die Nutzung von Elektrofahrzeugen hilfreich, so dass diese Aspekte hier mit aufgeführt werden.

#### Soziodemographie von Elektrofahrzeug-NutzerInnen

In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse unterschiedlicher Studien zur Soziodemographie der Elektrofahrzeug-NutzerInnen im Überblick dargestellt, in chronologischer Reihenfolge.

Insgesamt waren Elektrofahrzeug-NutzerInnen zu Beginn des „E-Bike-Booms“ überwiegend männlich und etwas älter als der Bundesdurchschnitt; und ein Viertel bis zu ein Drittel ist eingeschränkt in seiner Mobilität (Lienhop, 2015; MacArthur et al., 2014; Preißner et al., 2013). Dass sich - ähnlich wie bei neuen multimodalen Mobilitätsoptionen wie z.B. Carsharing – zunächst vor allem Männer vom Elektrofahrzeug angesprochen fühlten, könnte an der höheren Affinität für technische Innovationen liegen. Im Gegensatz zu multimodalen Mobilitätsoptionen mit einer überwiegend jungen NutzerInnengruppe sind Elektrofahrzeug-BesitzerInnen meist im mittleren und höheren Erwachsenenalter. Hier kommt eindeutig der Vorteil des Elektrofahrzeugs, sich trotz physischer Einschränkungen fortbewegen zu können, zum Tragen.

**Tabelle 4-3: Soziodemographische Kenngrößen von Elektrofahrzeug-NutzerInnen: Studienergebnisse im Überblick**

	Gesamt-bev.		Befragung			E-Bike
	Deutschland	Landrad	Salzburg	ILS	Pedelection	Pendeln
<b>Jahr</b>	2013	2009/2010	2011	2012	2013/2014	2014/2015
<b>Region</b>		Vorarlberg	Salzburg	Deutschland	Deutschland	Deutschland
<b>Durchschnittsalter</b>	44	46		58	55,6	44
<b>Anteil männlich</b>	49%	67%	64%	76%	70%	55%

Quelle: (Grünheid & Fiedler, 2013; KFV & ElectroDrive Salzburg, 2011; Lienhop, 2015; Preißner et al., 2013; Vonach, 2011)

Die Ergebnisse des Projekts „E-Bike Pendeln“ scheinen nahezulegen, dass es eine Veränderung bei den NutzerInnengruppen gibt, d.h. dass sich mittlerweile Frauen und Männer gleichermaßen für das Elektrofahrzeug interessieren und auch der Altersschnitt gesunken ist.

Keine Veränderung scheint es bisher hinsichtlich des Bildungsgrades zu geben; dieser liegt tendenziell über dem Bundesdurchschnitt.

Das Nettoeinkommen der Elektrofahrzeug-NutzerInnen verhält sich bei der „Pedelection“-Befragung (Lienhop, 2015) ähnlich wie der Bundesdurchschnitt. Darüber hinaus ist der Motorisierungsgrad bzw. die Pkw-Verfügbarkeit bei Elektrofahrzeug-BesitzerInnen höher als bei Personen, die kein Elektrofahrzeug besitzen. Zudem verfügen sie weniger häufig über eine Zeitkarte des Öffentlichen Verkehrs (Preißner et al., 2013).

### Nutzungshäufigkeiten von Elektrofahrzeugen

(Lienhop, 2015) hat mit der Studie „Pedelection“ Elektrofahrzeug-NutzerInnen zu ihrem Mobilitätsverhalten allgemein und spezifisch zu ihrer Nutzung von Elektrofahrzeugen in verschiedenen Städten Deutschlands befragt. Die Ergebnisse können nur eine Tendenz aufzeigen, da die Stichprobe aufgrund von Selbstselektion nicht repräsentativ ist und dadurch Verzerrungen aufweisen kann. Das Mobilitätsverhalten wurde nicht nur qualitativ in Form von problemzentrierten Interviews, sondern auch anhand von Wegeprotokollen quantitativ erhoben. Über sieben Tage viermal im Jahr zu den verschiedenen Jahreszeiten wurden Fahrten und Gänge von 70 TeilnehmerInnen dokumentiert. Zusätzlich wurden die Fahrten und Ladevorgänge mittels Energiekostenmessgerät und eines Fahrradcomputers aufgezeichnet. Nach der Einschätzung der TeilnehmerInnen von Pedelection zur Nutzungshäufigkeit von Verkehrsmitteln fahren 98% mehrmals pro Woche mit dem Elektrofahrzeug, 82% mehrmals pro Woche mit dem Auto und 43% mit dem Fahrrad.

Im Demonstrationsvorhaben „bike + business 2.0“ wurde das Mobilitätsverhalten von 148 NutzerInnen, die in suburbanen Siedlungsbereichen des Ballungsraums FrankfurtRheinMain wohnen, anhand von Mobilitätstagebüchern analysiert (Regionalverband Frankfurt Rhein Main, 2011). Dabei wurde ermittelt, dass 44% der Elektrofahrzeug-NutzerInnen mehrmals wöchentlich das Elektrofahrzeug nutzen. Die NutzerInnen legen 21,8% der Wege mit dem Elektrofahrzeug, 33,5% mit dem Pkw und 24,3% mit dem ÖV zurück. Zum Vergleich, der durchschnittliche Modal Split in

Agglomerationsräumen mit herausragenden Zentren weist einen Fahrradanteil von 11,7%, Pkw-von 40,5% und ÖV-Anteil von 12,4% auf (Follmer et al., 2010).

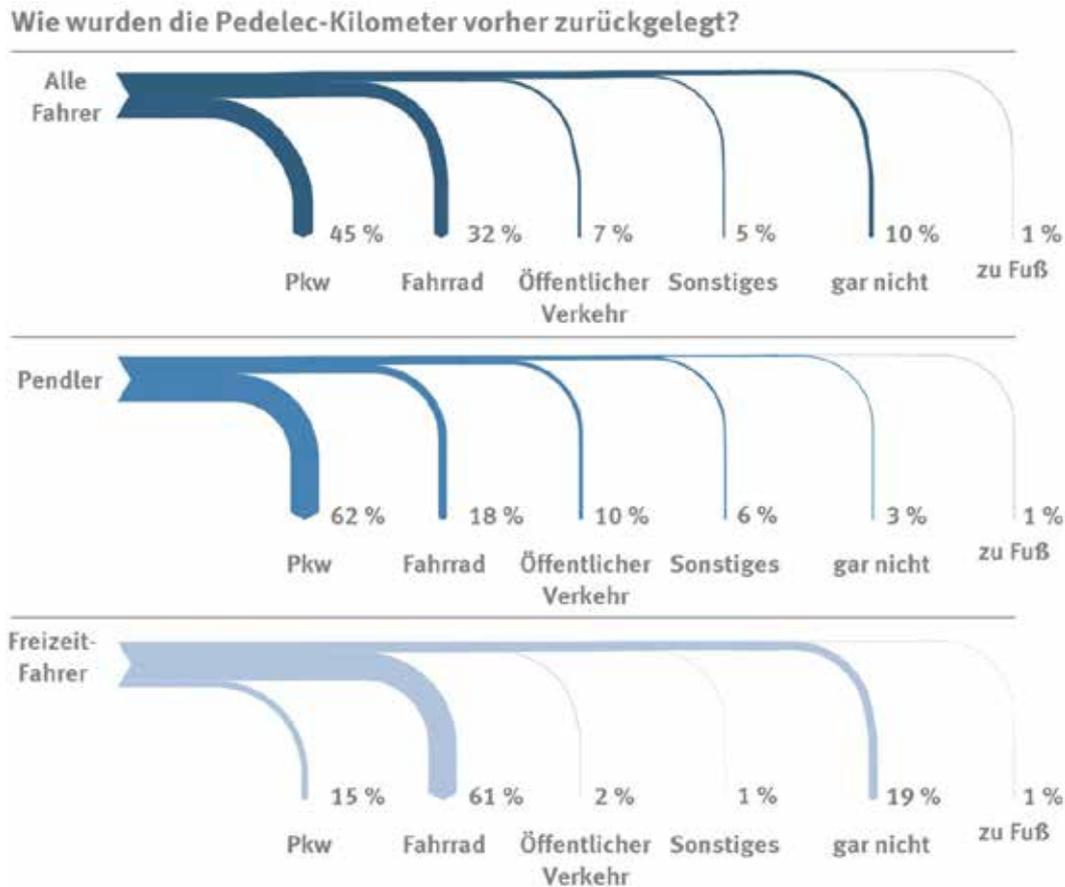
Eine wiederum etwas geringere Nutzungshäufigkeit hat das Vorhaben Electrodrive mittels Befragungen von 174 NutzerInnen von Elektrofahrrädern in Salzburg herausgefunden. Demnach fahren 35,5 % mehrmals pro Woche mit dem Elektrofahrrad (KFV & ElectroDrive Salzburg, 2011).

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse der Studien, dass Elektrofahrräder, sind sie einmal angeschafft, häufig genutzt werden. Die Nutzungshäufigkeit von Elektrofahrrädern variiert jedoch stark zwischen den Studien. Die Ergebnisse der Pedelec Studie weichen besonders stark von den anderen Ergebnissen ab. Dies lässt sich u. a. vor allem darauf zurückführen, dass es sich bei den NutzerInnen um viele (Elektro-)Fahrrad-Begeisterte handelt, die im Durchschnitt nicht unbedingt einem/-r typischen Elektrofahrrad-NutzerIn entsprechen.

**Verlagerungseffekte**

76% der Pedelec-TeilnehmerInnen gaben an, dass sie durch den Kauf eines Elektrofahrrads das Auto weniger nutzen. Der ÖPNV wird nach subjektiver Einschätzung zu 43% weniger häufig genutzt (siehe Abbildung 4-2). Bei Berufstätigen ist das Verlagerungspotenzial vom Auto auf das Elektrofahrrad besonders hoch. AlltagsnutzerInnen verlagern in etwa gleich viele Wege vom Auto und Fahrrad auf das Elektrofahrrad, insgesamt aber weniger als der Durchschnitt (Lienhop, 2015).

**Abbildung 4-2: Veränderung der Verkehrsmittelnutzung seit dem Pedelec-Kauf (Lienhop, 2015)**



Quelle: (Lienhop, 2015)

Nach den Analysen von (KFV & ElectroDrive Salzburg, 2011) nutzten 50% der Elektrofahrrad-NutzerInnen vorher das Fahrrad und 30% das Auto.

Diese Verlagerungseffekte vom Auto und vom Fahrrad auf das Elektrofahrrad werden anhand einer weiteren Studie von (kairos, 2010) analysiert. Sie führten Befragungen und Stichtagserhebungen mit 196 Privatpersonen in Vorarlberg durch und fanden heraus, dass nach dem Kauf eines Elektrofahrrads 45% der bisherigen Wege mit dem Elektrofahrrad zurückgelegt werden. Dabei wird herkömmliches Fahrradfahren fast vollständig ersetzt, Auto und ÖPNV Fahrten um jeweils ein Drittel reduziert (Vonach, 2011).

Aus den Studienergebnissen ergibt sich, dass es Verlagerungspotentiale vom Auto auf das Elektrofahrrad gibt. Gleichzeitig, zum Teil aber in etwas geringerem Maße werden Wege, die mit dem ÖV zurückgelegt wurden, nun mit dem Elektrofahrrad getätigt und das herkömmlich Fahrrad wird zu einem großen Anteil bis zu fast vollständig durch das Elektrofahrrad ersetzt.

### Wegelängen

Die durchschnittliche Distanz, die mit einem Elektrofahrrad zurückgelegt wird, schwankt zwischen 7 und 11 km je nach Region. Pedelecs werden auch für kurze Distanzen als eine gute Alternative angesehen und für Strecken unter 5 km viel genutzt. Mit dem Pedelec werden durchschnittlich mehr Kilometer als mit dem Fahrrad gefahren (Lienhop, 2015) (Regionalverband Frankfurt Rhein Main, 2011; Vonach, 2011). Wenn dadurch – wie die oben dargestellten Studienergebnisse zeigen – eine Verlagerung überwiegend auch vom Pkw und ÖPNV bewirkt wird, geht dies mit einer positiven Umweltwirkung einher.

### Wegezwecke

Das Elektrofahrrad wird für verschiedene Wegezwecke genutzt. Dazu zählen Pendel-, Alltags- und Freizeitfahrten. Im Demonstrationsvorhaben „bike + business 2.0“ gaben mehr als die Hälfte der Befragten an, das Pedelec überwiegend dienstlich, ein Viertel privat und geschäftlich sowie 12% nur privat zu benutzen (Regionalverband Frankfurt Rhein Main, 2011). Auch (MacArthur et al., 2014) identifizierten dienstliche Wege als den Hauptwegezweck. Sie haben Befragungen über soziale Medien in mehreren Bundesstaaten der USA mit über 500 TeilnehmerInnen durchgeführt. In Salzburg dagegen wird das Elektrofahrrad von älteren Personen überwiegend für Freizeitfahrten, aber auch für Einkaufsfahrten genutzt. Bei den unter 40-Jährigen dominieren wiederum die Arbeitswege, dicht gefolgt von den Einkaufsfahrten (KFV & ElectroDrive Salzburg, 2011).

### Mobilitätstypen

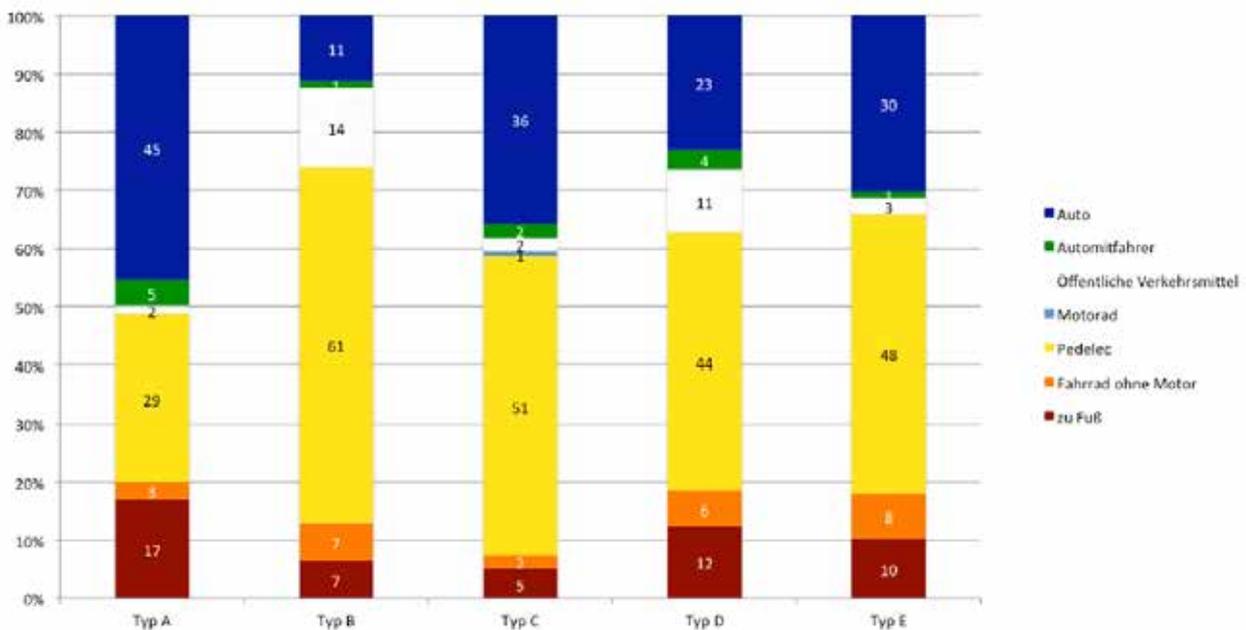
(Vonach, 2011) hat die Pedelec-NutzerInnen anhand einer Faktorenanalyse verschiedenen Mobilitätstypen zugeordnet.

- Der/die **überzeugte AutofahrerIn** (Typ A) nutzt das Pedelec mit 29% vor allem für kurze bis mittlere Strecken. Ab 5 km wird fast nur noch das Auto genutzt. Der Öffentliche Verkehr ist für diesen Typen nicht sonderlich praktikabel und nicht gut erreichbar.
- Der/die **sportliche AlltagsradlerIn** (Typ B) hat eine sehr positive Einstellung zum Pedelec und nutzt dieses mit 61% im Vergleich zu dem/der durchschnittlichen Pedelec-NutzerIn am

meisten. Das Pedelec ist auch für längere Strecken bis zu 12 km das Verkehrsmittel der Wahl. Dieser Typ ist zudem gut an den ÖV angebunden.

- Der/die **skeptische AutofahrerIn** (Typ C) nutzt das Pedelec mit 51% häufiger als der/die durchschnittliche Pedelec-NutzerIn und ersetzt dabei vor allem Wege, die er/sie zuvor mit dem herkömmlichen Fahrrad und Auto zurückgelegt hat. Der Großteil von Wegen bis 10 km wird mit dem Pedelec zurückgelegt. Der ÖV spielt eine untergeordnete Rolle.
- Der/die **umweltbewusste Flexible** (Typ D) schätzt das Pedelec sehr positiv ein und nutzt dieses mit 44% Anteil am Modal Split. Das Pedelec ist auch für längere Strecken bis zu 12 km das bevorzugte Verkehrsmittel. Insgesamt ist dieser Typ sehr multimodal unterwegs.
- Der/die **pragmatische GelegenheitsradlerIn** (Typ E) ist vom Pedelec begeistert, da es ihm/ihr Freude bereitet, dieses zu nutzen. Daneben ist das Auto häufig das bevorzugte Verkehrsmittel, wird dennoch skeptisch betrachtet. Der ÖV spielt eine untergeordnete Rolle. Das Pedelec ersetzt zu großen Teilen das Auto und das herkömmliche Fahrrad und wird für Strecken bis zu 10 km am häufigsten genutzt (siehe Abbildung 4-3).

**Abbildung 4-3: Modal Split der Mobilitätstypen A bis E nach dem Kauf eines Pedelecs**



Quelle: (Vonach, 2011)

Die Analyse der Mobilitätstypen zeigt, dass das Elektrofahrrad nicht nur für einen bestimmten NutzerInnentypen attraktiv ist, sondern die Nutzung aus unterschiedlichen Motivationen heraus entstehen kann. Daraus ergeben sich verschiedene Ansatzpunkte der Transformation, welche zu einer Veränderung des Modal Split hin zu umweltfreundlichen Verkehrsmitteln beitragen können.

### Mobilitätsausstattung

Einige der möglichen positiven Umwelteffekte durch Elektrofahrräder – z.B. hinsichtlich Flächenverbrauch und Ressourcenbedarf – werden erst dann realisiert, wenn durch ein Elektrofahrrad ein Pkw ersetzt werden kann. Zu den Effekten von Elektrofahrrädern auf die Motorisierungsrate gibt es bisher nur wenige Forschungsergebnisse. In den Projekten „E-Bike

Pendeln“ (Czowalla, 2016) (n=208) und „Pedelection“ (Lienhop, 2015) (n=71) konnte kein signifikanter Effekt auf den Pkw-Besitz festgestellt werden. Befragungen z.B. von Fahrradhändlern zeigen jedoch, dass es in einzelnen Fällen durchaus zu einer Abschaffung von z.B. Zweitwagen kommt.

Die Möglichkeit, ein Elektrofahrrad auszuprobieren, führt häufig zur Anschaffung eines Elektrofahrrads. Im Projekt „E-Bike Pendeln“ (Czowalla, 2016) hatten sich bei einer Zweitbefragung, welche im Abstand von einigen Wochen bis wenigen Monaten nach einer solchen Testphase stattfand, bereits 18% ein Elektrofahrrad angeschafft und weitere 36% dachten darüber nach. Zusätzlich gab es einen Effekt auf die Nutzung des konventionellen Fahrrads – hier gaben 15% an, eine Anschaffung zu planen.

### **Nutzung von Ökostrom**

Wie oben dargestellt, schlägt die Nutzungsphase des Elektrofahrrads wegen des geringen Stromverbrauchs weniger stark zu Buche als die Produktionsphase. Durch die Nutzung von Ökostrom kann die individuelle Klimabilanz dennoch verbessert werden. Voraussetzung dafür ist, dass der Ökostromtarif relevante Qualitätskriterien erfüllt wie z.B. die Förderung des Ausbaus zusätzlicher erneuerbarer Energien und damit tatsächlich zu einer Verdrängung von konventionellem Strom aus dem Strommix. In der Stichprobe von (Lienhop, 2015) lag der Anteil der Elektrofahrrad-NutzerInnen, welche Ökostrom beziehen, mit rund 40% etwa doppelt so hoch wie im bundesdeutschen Durchschnitt.

#### **4.2.4. Beitrag von materiellen Infrastrukturen zu den Umweltwirkungen**

Eine geeignete Radverkehrsinfrastruktur trägt zur Förderung des Radverkehrs bei. Andererseits ist Infrastruktur auch wiederum selbst ein Verursacher von Umweltwirkungen: Sie verbraucht Ressourcen, trägt zur Flächenversiegelung bei und im Zusammenhang mit Ausbau und Erhalt werden Treibhausgasemissionen verursacht.

Bei den materiellen Infrastrukturen für Elektrofahrräder ist es sinnvoll, nach den Infrastrukturen für das Fahren einerseits und den Infrastrukturen für das Parken, Abstellen und Laden andererseits zu unterscheiden. Zur ersten Kategorie gehören z.B. Radwege, Radfahrstreifen, Lichtsignalanlagen und Radschnellwege. Zur zweiten Kategorie gehören Stellplätze und Lademöglichkeiten sowohl im öffentlichen Raum als auch bei der Arbeit oder am Wohnort.

Die Verantwortung für Radverkehrsinfrastrukturen liegt überwiegend in kommunaler Hand. Der Bund ist nur zuständig für Radwege an Bundesstraßen und Bundeswasserstraßen. Daher gibt es regional und kommunal einen sehr unterschiedlichen Stand der Infrastruktur. „Vorreiterstädte“ zeigen ein hohes Potenzial für den Radverkehr (Ahrens et al., 2013).

Der Bau und die Instandhaltung von Verkehrsinfrastrukturen benötigen Ressourcen, verursachen Treibhausgasemissionen und können zu Flächenzerschneidung führen. Bei Pkw bewegen sich die dem Pkw-Verkehr zuzurechnenden Treibhausgasemissionen für Bau und Unterhalt der Straßeninfrastruktur in einer Größenordnung von etwa 8 g CO<sub>2</sub>e/pkm, was in etwa 6% der Emissionen durch den Fahrzeugbetrieb entspricht (Mottschall & Bergmann, 2013).

Wie oben dargestellt, ist der Flächenbedarf für eine Radverkehrsinfrastruktur deutlich geringer als für den Pkw. Eine Verbesserung und Ausweitung der Radverkehrsinfrastruktur ist zunächst mit zusätzlichem ökonomischem und ökologischem Aufwand verbunden. Dieser kann jedoch gering gehalten werden, wenn die bestehende Straßenverkehrsinfrastruktur umgewidmet wird (z.B. durch Ausweisung von Radfahrstreifen auf der Fahrbahn). Die Radverkehrsführung auf der Fahrbahn gilt

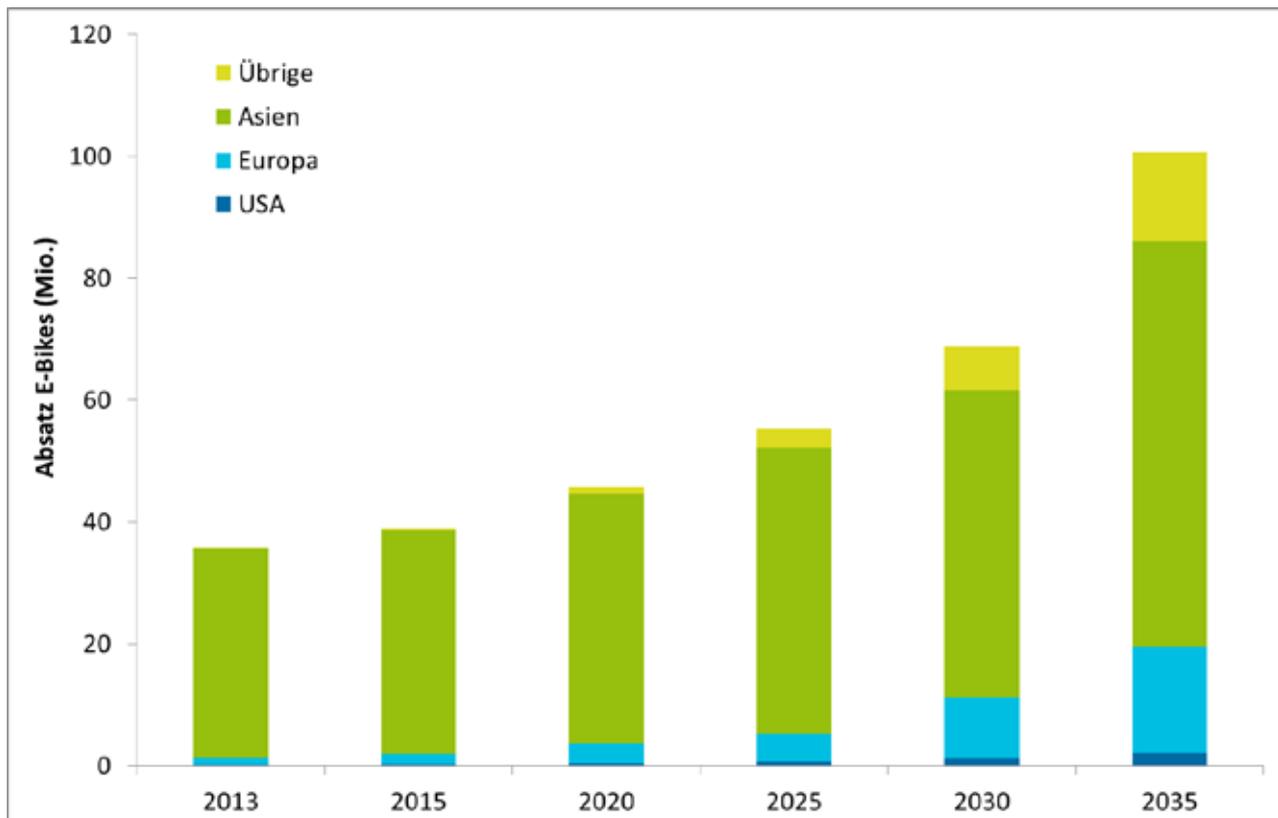
im Gegensatz zu gemeinsamer Führung mit dem Fußverkehr auf baulich getrennten Wegen zunehmend für sicherer und besser geeignet für die Erfordernisse eines zunehmenden Radverkehrs. Für den Radverkehr sind stärker noch als für den Pkw ein guter Oberflächenbelag und damit eine regelmäßige Instandhaltung wichtig.

Durch zunehmende Nutzung von Elektrofahrrädern können in gewissem Ausmaß Anpassungen und Verbesserungen der Radverkehrsinfrastruktur notwendig werden, um deren Potenzial auszuschöpfen. Neben der bereits genannten Möglichkeit der Umwidmung von Straßenraum zugunsten des Fahrrads sind auch Radschnellwege eine mögliche Option.

Zusammenfassend: Um das Potenzial von Elektrofahrrädern auszuschöpfen, sind Verbesserungen und Anpassungen der Radverkehrsinfrastruktur sinnvoll (siehe Kapitel 5.3). Dabei entstehen zunächst ökonomische und ökologische Aufwendungen. Wenn es dadurch zu einer Verlagerung und Reduktion des Pkw-Verkehrs kommt, werden diese jedoch mittelfristig überkompensiert, da die Belastung der Straßeninfrastruktur sinkt und damit auch der Aufwand für Instandhaltung und Neubau.

#### **4.2.5. Szenarien zum Minderungspotenzial einer Transformation**

Für die Beurteilung des Umfangs möglicher Umweltwirkungen ist eine Abschätzung des Marktpotenzials von Elektrofahrrädern notwendig. Die folgende Abbildung zeigt eine Prognose des weltweiten Absatzes von E-Bikes nach (Jamerson & Benjamin, 2015). Hierbei enthalten sind nicht nur Elektrofahrräder mit Tretunterstützung und Lithium-Ionen-Akku, wie sie hauptsächlich in Deutschland und den USA verkauft werden, sondern auch die in Asien üblichen Elektroroller. Für Europa, wo hauptsächlich Elektrofahrräder mit Lithium-Ionen-Akku auf dem Markt sind, wird ein Anstieg des Absatzes von 1,155 Mio. in 2013 auf 17,5 Mio. in 2035 prognostiziert.

**Abbildung 4-4: Prognose der Entwicklung des E-Bike-Absatzes weltweit bis 2035**

Quelle: Eigene Darstellung nach Jamerson (2015)

Derzeit hat Deutschland mit rund 35% einen hohen Anteil am Elektrofahrrad-Absatz in Europa. Würde dieser Marktanteil konstant bleiben, so entspräche dies für 2035 einem Absatz von rund 6 Mio. Elektrofahrrädern, was höher liegt als die heute insgesamt verkauften Fahrräder.

(Lienhop, 2015) geht in ihrem konservativen Szenario von einem maximalen Potenzial von 25% am Fahrradmarkt aus, was einem jährlichen Absatz von 0,95 Mio. Elektrofahrrädern entspricht und bis zum Jahr 2030 zu einem Elektrofahrrad-Bestand in Höhe von 6,5 Mio. führen würde.

(Budde et al., 2012) stellen dagegen die These auf, dass das Fahrrad mit dem Elektrifizierungsvirus „unheilbar infiziert“ ist und es sich bei dem konventionellen Fahrrad um ein Auslaufmodell handelt. Gegen diese These spricht möglicherweise der deutlich höhere Anschaffungspreis von Elektrofahrrädern. Andererseits zeigt das Beispiel Smartphone, dass bei gesteigertem Nutzen auch deutlich höhere Kosten in Kauf genommen werden, und zwar auch von Personen mit niedrigem Einkommen. Die Aussagekraft dieses Vergleichs ist natürlich begrenzt, da ein Smartphone im Gegensatz zu einem Elektrofahrrad für viele Menschen zu einer wesentlichen Voraussetzung für soziale Teilhabe geworden ist. Dennoch soll im Folgenden auch ein sehr optimistisches Maximalpotenzial bestimmt werden unter der Annahme, dass nahezu der gesamte heutige Fahrradbestand elektrifiziert wird und das Elektrofahrrad zu einem Standardverkehrsmittel für alle wird. Hierfür wird die Annahme von einem Elektrofahrrad-Bestand von 60 Mio. Fahrrädern getroffen. Für die Minderungswirkung werden auf Basis von (Lienhop et al., 2015) 70 g/km (für Fahrzeugherstellung und Betrieb) angenommen, sowie zusätzlich eine Reduktion von 4 g/km auf Grund des geringeren Infrastrukturbedarfs. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4-4 dargestellt.

**Tabelle 4-4: Treibhausgasminderungspotenzial durch Elektrofahrräder**

	heute	Szenario konservativ	Szenario optimistisch
Elektrofahrrad-Bestand (Mio.)	2	6,3	60
Jahresfahrleistung (km)	2.000	2.000	2.000
Gesamtfahrleistung (Mrd. km)	4	12,6	120
Anteil an pkm 2010 (%)	0,4%	1,1%	10,6%
Minderung THG- Emissionen (Tsd. t CO <sub>2</sub> e )	296	932	8.880

Quelle: Eigene Berechnungen; Quellen siehe Text.

Demnach könnten rein theoretisch unter den sehr optimistischen Annahmen bis zu 8,8 Mio. t CO<sub>2</sub>e eingespart werden. In diesem Szenario liegt die Fahrleistung von Elektrofahrrädern bereits rund 3-Mal so hoch wie die heutige Fahrradfahrleistung und hätte einen Anteil von rund 10% am gesamten Personenverkehr. Hinter der Berechnung dieser Minderungspotenziale steht die Annahme, dass bei einer zunehmenden Elektrofahrrad-Nutzung und einem Rückgang von motorisiertem Individualverkehr auch die Anzahl der Pkw in gleichem Maß zurückgeht und dadurch die Emissionen der Produktion eingespart werden.

Die dargestellten Umweltwirkungen sind mit Emissionsfaktoren berechnet, welche sich auf den Status quo beziehen. Perspektivisch werden sich je nach Entwicklung und Gestaltung des Transformationsprozesses Änderungen in den spezifischen Umweltwirkungen ergeben. Beispiele dafür sind

- die Dekarbonisierung des Stromsektors, welche die Emissionen durch den Fahrbetrieb von Elektrofahrrädern reduziert,
- die Reduktion der Ressourceninanspruchnahme für die Herstellung von Elektrofahrrädern (durch Wiederverwertung, Recycling, Verlängerung der Lebensdauern).

Auch bei den übrigen Verkehrsmitteln, wie dem Pkw und dem öffentlichen Verkehr, sind jedoch zukünftig Reduktionen der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen zu erwarten.

### 4.3. Mögliche andere Nachhaltigkeitswirkungen einer Transformation

Neben den bereits beschriebenen Umweltaspekten sind vor allem soziale Nachhaltigkeitswirkungen zu nennen, zudem gibt es ökonomische Auswirkungen durch die zunehmende Produktion von Elektrofahrrädern.

#### Reduktion von Mobilitätsarmut

Zunächst lässt sich konstatieren, dass Elektrofahrräder das Spektrum möglicher Verkehrsmittel erweitern und somit eine zusätzliche Mobilitätsoption darstellen. Im besten Fall könnten sie dazu beitragen, Mobilitätsarmut zu reduzieren. Mobilitätsarmut bezeichnet dabei die verringerte Möglichkeit zur Verwirklichung vorhandener Mobilitätsbedürfnisse, die zu einer Benachteiligung im gesellschaftlichen Leben führt (Runge, 2005). Ursachen für Mobilitätsarmut sind vielfältig, lassen sich aber zusammenfassend durch die drei folgenden Aspekte beschreiben:

- Mangelhafte verkehrliche Anbindung,
- Hohe Kosten für Mobilität,
- Persönliche oder subjektiv wahrgenommene Einschränkungen.

Mangelhafte verkehrliche Anbindung entsteht z.B. dann, wenn es eine geringe Taktdichte des öffentlichen Verkehrs (ÖV) bzw. keine gut erreichbaren ÖV-Haltestellen gibt, oder auch bei schlechten Bedingungen für Fuß- und Radverkehr. Hier könnte das Elektrofahrrad möglicherweise für bestimmte Regionen Abhilfe schaffen, insbesondere dann, wenn es als Zubringer zum ÖV genutzt wird.

Hohe Kosten für Mobilität, vor allem in Kombination mit niedrigem Einkommen, können Einschränkungen in anderen Lebensbereichen notwendig machen, um Mobilität zu finanzieren, oder eine Einschränkung der Mobilität selbst erfordern. Hinsichtlich der Mobilitätskosten ist das Elektrofahrrad durch die hohen Anschaffungskosten gegenüber dem konventionellen Fahrrad klar im Nachteil. Gegenüber dem konventionellen Pkw sind die Kilometerkosten jedoch geringer. Bei Pkw liegen die Kilometerkosten (nach den „ADAC Autokosten“) je nach Fahrzeugmodell in der Größenordnung von 30 ct/km (Opel Corsa) bis 70 ct/km (Audi A4) oder höher, d.h. im Durchschnitt bei über 50 ct/km. Für das Elektrofahrrad hängen die Kilometerkosten vor allem von den Anschaffungskosten ab. Geht man von einem Kaufpreis von 1.500 Euro, einer jährlichen Fahrleistung von 2.000 Kilometern und einer Nutzungsdauer von 6 Jahren aus, so ergeben sich umgerechnet knapp 17 ct/Kilometer. Die Stromkosten fallen mit etwa 0,2 ct/km kaum ins Gewicht. Für Wartung und Reparatur kommen nochmals Kosten in Höhe von 3-4 ct/km dazu, so dass sich insgesamt fürs Elektrofahrrad Kosten in Höhe von rund 20 Cent pro Kilometer ergeben.

Zu den persönlichen Einschränkungen zählen z.B. körperliche Einschränkungen oder auch subjektive Gefühle wie Bedrohung und Unsicherheit. Für körperlich eingeschränkte Personen kann das Elektrofahrrad somit die Mobilitätsoptionen deutlich erweitern. Dies gilt auch für Personen ohne Führerschein.

## **Unfälle**

Das Unfallrisiko beim Fahrradfahren ist im Vergleich zu anderen Verkehrsmitteln tendenziell hoch. Allerdings sinkt das Unfallrisiko mit steigendem Radverkehrsanteil, u.a. weil die RadfahrerInnen dann im Straßenbild präsent sind und von AutofahrerInnen besser wahrgenommen werden (Pucher et al., 2010). (Schleinitz et al., 2014) zeigen anhand einer Beobachtung von 90 FahrradfahrerInnen über einen Zeitraum von vier Wochen, dass es durch Elektrofahrräder nicht zu einer erhöhten Anzahl an Unfällen und kritischen Situationen kommt, sondern diese sich in einer ähnlichen Größenordnung bewegen wie beim konventionellen Fahrrad. Längerfristige und repräsentative Statistiken bleiben abzuwarten.

## **Gesundheit**

Fahrradfahren wirkt förderlich auf die Gesundheit. Zwar haben RadfahrerInnen ein erhöhtes Unfallrisiko als andere VerkehrsteilnehmerInnen, insgesamt jedoch überwiegt der Gesundheitsnutzen das Risiko (Pucher et al., 2010). Neben den direkt individuell positiven Effekten durch das Radfahren sind auch die sekundären Effekte zu nennen, welche – zumindest bei einer gleichzeitigen Reduktion des motorisierten Verkehrs durch Verlagerungseffekte – entstehen, nämlich die Reduktion von Lärmemissionen und Schadstoffen. Diese führen dann nicht nur zu einem individuellen, sondern zu einem kollektiven Nutzen und der Senkung gesellschaftlicher Gesundheitskosten.

Auf der politischen Ebene wird dieser Aspekt zunehmend wahrgenommen. So heißt es in einer Erklärung der EU-Verkehrsminister zum Rad als klimafreundliches Verkehrsmittel vom Oktober 2015:

*„Wenn jeder Erwachsene in der EU jeden Tag fünfzehn Minuten zusätzlich zu Fuß gehen oder Rad fahren würde, könnten nach vorsichtigen Schätzungen der Weltgesundheitsorganisation jährlich bis zu 100 000 vorzeitige Todesfälle, die im Zusammenhang mit mangelnder körperlicher Bewegung stehen, vermieden werden.“*

*(Ministere du Developpement durable et des Infrastructures, 2015)*

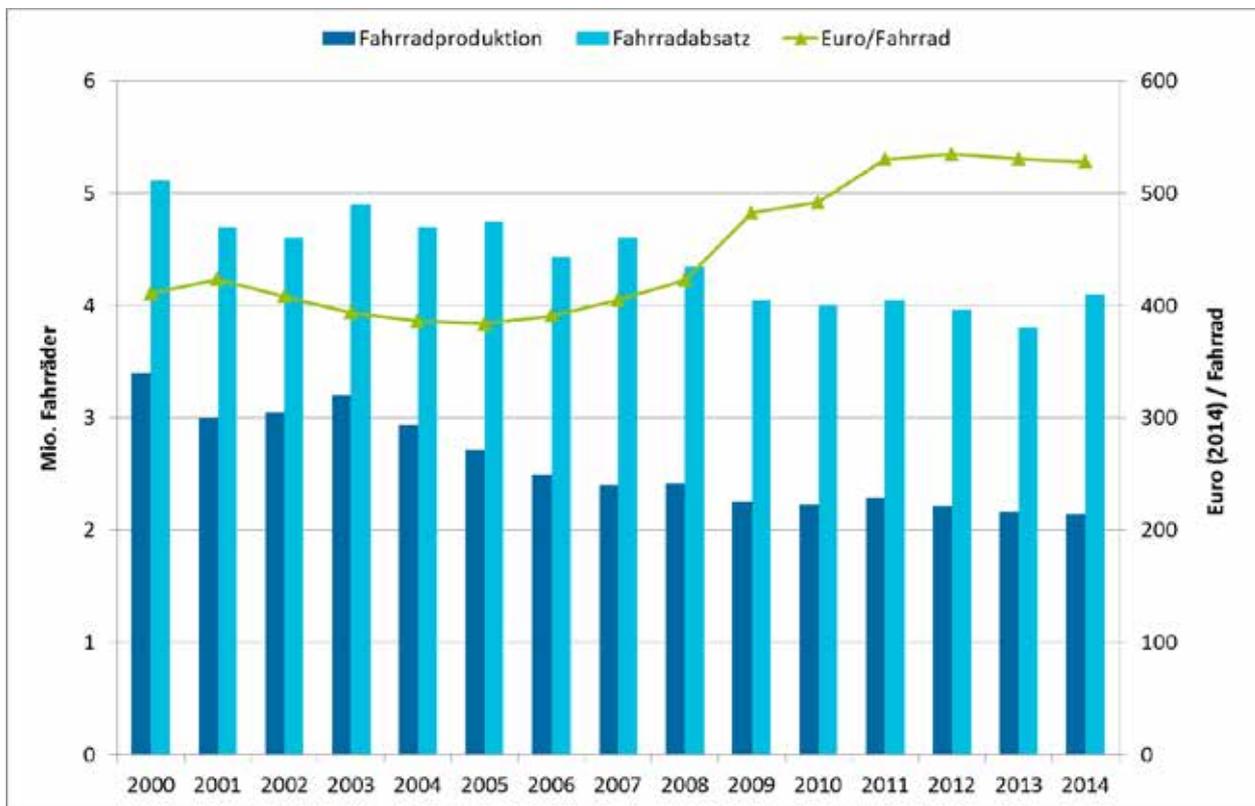
Bei politischen Entscheidungen zur Verkehrsplanung kann die Berücksichtigung solcher Kosten ein entscheidender Hebel sein – so zum Beispiel in Dänemark, wo die ökonomische Kosten-Nutzen-Analyse standardmäßig Parameter wie z.B. Gesundheit enthält (<http://www.cycling-embassy.dk/2015/06/30/making-politicians-invest-in-bicycle-infrastructure/>).

### Volkswirtschaftliche Effekte durch Elektrofahrräder

Eine zunehmende Produktion von Elektrofahrrädern kann Effekte auf die Beschäftigung haben, sowohl in der Produktion als ggf. auch im Handel / Service (z.B. bei häufigerer Wartung).

Der Gesamtmarkt für Fahrräder in der EU hat nach (CONEBI, 2015) einen Umfang von 20 Mio. Stück, die Produktion in Europa beläuft sich mit rund 12 Mio. auf 60% des Fahrradabsatzes. Ein ähnliches Verhältnis von Produktion und Absatz zeigt sich auch für Deutschland (Abbildung 4-5).

Abbildung 4-5: Fahrradmarkt in Deutschland

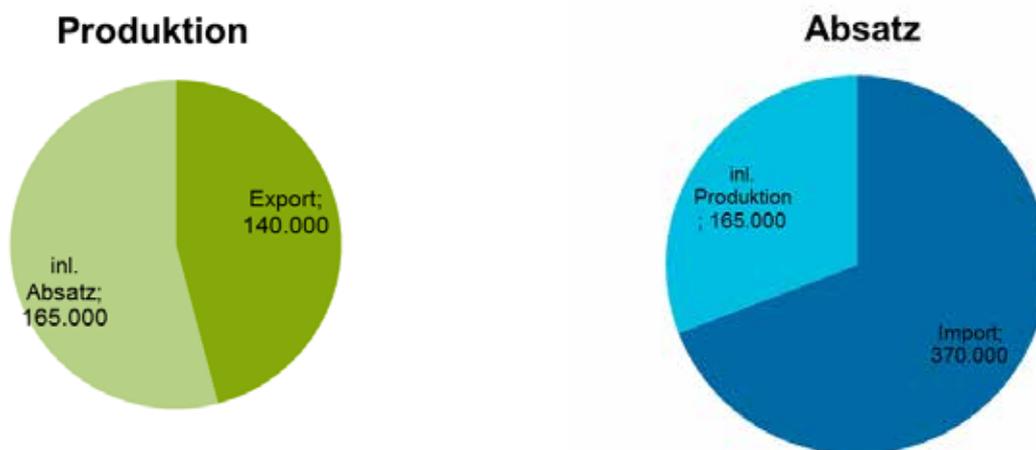


Quelle: Eigene Darstellung nach (CONEBI, 2015)

Die Produktion von Fahrrädern in Deutschland ist in den letzten 10 Jahren von über 3 Mio. Stück auf nur noch gut 2 Mio. Stück zurückgegangen. Dennoch ist Deutschland mit einem Anteil von 18% der zweitgrößte Fahrradproduzent in Europa (nach Italien mit 23%). Deutlich sichtbar ist der Einfluss von Elektrofahrrädern auf den durchschnittlichen Anschaffungspreis pro Fahrrad. Während dieser im Zeitraum 2000 – 2007 relativ konstant bei 400 Euro (2014) lag, ist er mittlerweile auf deutlich über 500 Euro pro Fahrrad gestiegen.

Auch bei Elektrofahrrädern ist der inländische Absatz größer als die inländische Produktion (Abbildung 4-6). Einem Absatz von 525.000 Elektrofahrrädern im Jahr 2015 stand eine Produktion von 305.000 Fahrrädern gegenüber. Importe von Elektrofahrrädern kommen zu rund 2/3 aus der EU und zu rund 1/3 aus Asien (Neuberger, 8.3.16). Exporte von in Deutschland produzierten Elektrofahrrädern gehen fast ausschließlich in die EU.

**Abbildung 4-6: Produktion und Absatz von Elektrofahrrädern in Deutschland im Jahr 2015**



Quelle: eigene Darstellung nach (Neuberger, 8.3.16)

Quelle: eigene Darstellung nach (Neuberger, 8.3.16)

Die Beschäftigung in der Fahrradindustrie in Deutschland ist im Zeitraum 2000 - 2014 annähernd im gleichen Ausmaß wie die Fahrradproduktion zurückgegangen, um 40% auf 2.500 Beschäftigte. Zugenommen hat jedoch die Beschäftigung im Bereich von Teilen & Zubehör auf 1.300 Beschäftigte (CONEBI, 2015). Es ist denkbar, dass hier auch die Elektrofahrräder eine Rolle spielen. In jedem Falle spürbar ist der „Elektrofahrrad-Effekt“ beim Umsatz der Fahrradbranche: Dieser lag im Jahr 2000 inflationsbereinigt bei 2,1 Mrd. Euro<sub>2014</sub>, ging bis 2006 durch den sinkenden Absatz auf 1,7 Mrd. Euro<sub>2014</sub> zurück, lag aber im Jahr 2014 wieder über dem Niveau von 2000. (CONEBI, 2015).

## 5. Analyse zentraler Wirkbeziehungen zwischen den System-Elementen im Anwendungsfeld

Um den Status quo und Transformationsprozesse sozio-technischer Systeme besser verstehen und beeinflussen zu können, gilt es zu analysieren, wie die in Kapitel 1 genannten System-Elemente zusammenhängen. Im Folgenden werden daher die drei in dem Dreieck zentral gestellten Systemelemente (Verhalten & Lebensstile; Produkte, Technologien & Dienstleistungen; Materielle Infrastrukturen) näher untersucht. Durch welche der anderen System-Elemente werden die Elemente mit direkten Umweltauswirkungen wesentlich beeinflusst und wie? Durch welche konkreten Werte / Marktstrukturen / Politikinstrumente usw.? Nachhaltigkeitsfördernd oder -hemmend oder beides (je nach Ausprägung)? Welche Hauptakteure stehen dahinter?

### 5.1. Wodurch werden Verhalten und Lebensstile im Anwendungsfeld wesentlich beeinflusst und wie?

#### 5.1.1. Werte und Leitbilder

Werte und Leitbilder haben einen wesentlichen Einfluss auf das Mobilitätsverhalten. Das vorherrschende Mobilitätsleitbild war seit dem Siegeszug des verbrennungsmotorischen Pkw und der Massenmotorisierung in den 1950er/60er Jahren stark geprägt durch den Pkw-Besitz. Das Fahrrad – zu Beginn des 20. Jahrhunderts noch ein wichtiges Transportmittel – verlor im Zuge der Massenmotorisierung an Bedeutung und wurde zum Transportmittel von Kindern und armen Leuten. In den 1980er Jahren erlebte das Fahrrad eine erste Renaissance, u.a. bedingt durch die wachsende Umweltbewegung und durch sinkende Vorteile des Pkw in der Stadt. Gegen das Leitbild der 1960er Jahre „Autogerechte Stadt“ wurde Anfang der 1990er Jahre das Leitbild „Stadt der kurzen Wege“ gesetzt. Das Leitbild der „autogerechten Stadt“ wird zwar heute nicht mehr propagiert, wirkt aber durch die geschaffenen materiellen und mentalen Infrastrukturen immer noch nach.

Seit mehreren Jahren werden immer wieder Anzeichen für einen allmählichen Wandel des auf den Pkw-Besitz fokussierten Mobilitätsleitbildes beobachtet. So scheint der Pkw in der jüngeren Generation seine Bedeutung teilweise einzubüßen, und Stichworte wie Flexibilität, Nutzen statt Besitzen, Multimodalität beschreiben mögliche Tendenzen für einen Wertewandel. Das Auto ist in der jüngeren Generation weniger als früher eine Bedingung für soziale Integration. Erste Veränderungen weg vom Auto, hin zu mehr Multimodalität lassen sich anhand von Studien beobachten (Deffner et al., 2014). Dies könnte sich auf die Zunahme des Fahrradverkehrs begünstigend auswirken, insbesondere für den Stadtverkehr. Eine nicht-repräsentative Umfrage des DIFU unter über 6000 BundesbürgerInnen zum Thema „Zukunftsstadt“ ergab, dass 47% der Befragten im Stadtverkehr künftig am liebsten mit dem Fahrrad oder Elektro-Fahrrad unterwegs sein möchten (Walter et al., 2015). Städte konkurrieren bereits heute immer stärker untereinander um ein hohes Maß an Lebensqualität, denn in der zunehmend mobilen Dienstleistungsgesellschaft ist die Attraktivität von Städten ein wesentlicher Standortfaktor.

Vorschläge für neue Mobilitätsleitbilder werden auch aus wissenschaftlichen Kreisen eingebracht. Beispielsweise zu nennen ist das vom Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE) vertretene Konzept einer „nachhaltigen Mobilitätskultur“ mit Verknüpfung der Verkehrsträger und Multioptionalität oder das in (Rammler & Zimmer, 2011) dargestellte Konzept der „Selbstbeweglichkeit“, welches gekennzeichnet ist durch Multifunktionalität, Unabhängigkeit, Flexibilität, Selbstbestimmtheit.

Seit mehreren Jahren ist eine Renaissance des Fahrradfahrens in den Städten zu beobachten. So stellt (Götz, 2006) bereits im Jahr 2006 anhand einer repräsentativen Befragung in Freiburg fest: „Nutzungs-, Symbolisierungs- und Erlebnismöglichkeiten, die früher motorisierten Fahrzeugen vorbehalten waren, werden insbesondere in Freiburg auf das moderne Zweirad übertragen: eine personalisierte Beziehung zum Fortbewegungsmittel, das Erleben von Freiheit und Unabhängigkeit, Geschwindigkeitsgenuß/-rausch, Risikoerlebnis, Technikfaszination, Off-road-Abenteuer.“ Gerade auch in den letzten Jahren wurde das Fahrrad mehr und mehr zum Lifestyle-Attribut, wie z.B. am Trend zu „Singlespeed“-Rädern bzw. „Fixies“ erkennbar ist – stylische Fahrräder mit fixiertem Gang, welche vor allem in Großstädten bei jungen Leuten beliebt sind.

Darüber hinaus entwickelte sich auch ein zunehmender „Aktivismus von unten“ für die Belange des Fahrradverkehrs. So entstand 1992 in San Francisco die „critical Mass“-Bewegung. Diese breitete sich als unhierarchische Form der direkten Aktion weltweit in zahlreiche Städte aus.

In diesem Zusammenhang ist zu beobachten, dass sich die Radfahrkultur gegenüber früher verändert hat. RadfahrerInnen werden heute meist als weniger rücksichtsvoll wahrgenommen, Begriffe wie „Kampfradler“ werden geprägt. Ursache dafür sind möglicherweise schnellere und bessere Räder. Ein weiterer Treiber für diesen „Kulturwandel“ könnte der zunehmende Verteilungskampf um den begrenzten städtischen Raum sein.

Trotz dieser Entwicklungen wird auf der bundespolitischen Ebene häufig noch an dem klassischen, am Pkw ausgerichteten Mobilitätsleitbild festgehalten. Untermauern lässt sich diese These z.B. anhand der Strategie der Bundesregierung für Elektromobilität. Der Begriff „Elektromobilität“ wird vor allem mit dem Automobil in Verbindung gebracht und das Elektrofahrrad wird selten mitgedacht. (Nowack und Sternkopf, 2015) interpretieren diese Besetzung des Begriffs Elektromobilität für das Automobil sogar als bewusst verfolgte Strategie der Automobilindustrie. Deutschland soll „Leitmarkt und Leitanbieter“ für Elektromobilität werden und bis zum Jahr 2030 sollen 6 Mio. E-Pkw auf Deutschlands Straßen unterwegs sein. Das Elektroauto wird dabei meist im Vergleich zu seinem verbrennungsmotorischen Äquivalent bewertet; nur selten wird über den reinen „Antriebsaustausch“ in Richtung völlig neuer Mobilitätskonzepte gedacht (Rammler & Zimmer, 2011). Auf Bundesebene gibt es zwar den „nationalen Radverkehrsplan“ (NRVP), im Vergleich z.B. zur Förderung der (Auto-)Elektromobilität ist die Unterstützung für Elektrofahrräder jedoch marginal. Die Substitution von Pkw wird als Bedrohung für den Automobilstandort Deutschland und die davon abhängigen Arbeitsplätze gesehen.

In den Medien dominiert nach wie vor das Automobil und nimmt über 90% der Berichterstattung zum Thema Verkehr ein (Agentur für clevere Städte, 2015b). Immer wieder wird jedoch auch in den Medien über den Wertewandel und das Fahrrad als Verkehrsmittel der Zukunft berichtet.

Speziell hinsichtlich des Elektrofahrrads ist zu konstatieren, dass dieses zu Beginn auf breite Ablehnung stieß. Pioniere für die Nutzung von Elektrofahrrädern waren vor allem ältere Menschen und das Elektrorad wird von NutzerInnen konventioneller Fahrräder teilweise mit „Unsportlichkeit“ assoziiert. Diese Bilder wandeln sich jedoch. Zunehmend nutzen auch BerufspendlerInnen Elektrofahrräder und eine immer breitere Produktpalette auch von sportlichen Rädern oder E-Mountainbikes sorgt für einen höheren potenziellen NutzerInnenkreis, wodurch sich auch das Image von Elektrofahrrädern wandeln könnte. Diese Erweiterung des NutzerInnenkreises ist für die Ausschöpfung des (Verlagerungs-)Potenzials von hoher Relevanz. Der Faktor Akzeptanz und Attraktivität spielt auch dann eine Rolle, wenn es darum geht, mit dem Rad anstatt mit dem Pkw zur Arbeit oder zum Kunden zu fahren. Das Auto stellt in einigen/vielen Unternehmen ein Statussymbol dar und wird als repräsentativ angesehen. Hier müssen Ängste und Widerstände zum Teil noch überwunden werden und ein Kultur- und Mentalitätswandel stattfinden.

Zusammenfassend: Der sich abzeichnende Wertewandel bei Mobilitätsleitbildern wirkt unterstützend auf den Radverkehr. Wenn dem Elektrofahrrad der Imagewandel von einem Gefährt für „alte, unsportliche Leute“ zu einem modernen, nachhaltigen, attraktiven Verkehrsmittel gelingt und auch die politische Ebene dem (E-)Radverkehr eine wichtigere Rolle zuspricht, kann auch das Elektrofahrrad davon profitieren. Dies würde die Reichweite der Transformation also deutlich erhöhen.

### 5.1.2. Materielle Infrastrukturen

Infrastrukturelle und technologische Rahmenbedingungen stellen eine zentrale Voraussetzung für eine Veränderung im Mobilitätsverhalten hin zum Radverkehr dar. Dies zeigen verschiedene nationale und internationale Beispiele, wenngleich es nur wenig unabhängige und fundierte Vorher-Nachher-Untersuchungen gibt (Pucher et al., 2010). In New York erhöhte sich nach Einführung geschützter Fahrradstreifen auf zentralen Straßen der dortige Radverkehrsanteil um rd. 60% und die Spuren für den Kfz-Verkehr konnten reduziert werden (New York City Department of Transportation, 2014).

Deutschlandweit sind 39% der Bundesstraßen, 25% der Landesstraßen und 16% der Kreisstraßen mit Radwegen ausgestattet (inkl. Mehrzweckstreifen und Radwegen, die auch von FußgängerInnen mitbenutzt werden (Difu, 2014)). Die materielle Infrastruktur – d.h. Radwege, Radspuren, Abstellanlagen, etc. – ist in Deutschland kommunal bzw. regional jedoch sehr unterschiedlich. Insgesamt besteht in vielen Kommunen Verbesserungs- und Anpassungsbedarf.

In dem vom ADFC durchgeführten „Fahrradklimatest“ wurde im Jahr 2014 die Durchschnittsnote 3,8 vergeben, wobei Großstädte über 200.000 EinwohnerInnen tendenziell schlechter abschneiden als kleinere Städte. „Vorreiterstädte“ wie Münster, Karlsruhe, Freiburg, Hannover, und Bremen schaffen jedoch Noten mit einer zwei vor dem Komma (ADFC, 2015a). Positiv zu vermerken ist: Zwischen 1991 und 2005 hat sich das Fahrradklima nach dem ADFC-Test um beinahe eine Note verbessert, ging danach aber wieder leicht zurück.

In einem von der „Copenhagenize Design Company“ erstellten Ranking von 122 Städten über 600.000 EinwohnerInnen weltweit nach ihrer Fahrradfreundlichkeit landen zwei deutsche Städte unter den Top 20 (Berlin auf Platz 10 und Hamburg auf Platz 19). Kopenhagen liegt auf Platz 1, unter den Top 5 befinden sich drei niederländische Städte, und auch Frankreich hat mittlerweile 4 Städte unter den Top 20. Im weltweiten Vergleich sind deutsche Großstädte also wohl eher als fahrradfreundlich einzustufen. Im europäischen Vergleich kann man Deutschland jedoch keineswegs als Vorreiter bezeichnen. Und auch außerhalb Europas gibt es Städte wie z.B. New York, welche eine ambitionierte Radverkehrspolitik verfolgen.

Größte Hemmnisse sind nach dem ADFC-Fahrradklimatest 2014 vor allem geduldetes Parken auf Radwegen, ungeeignete Ampelschaltungen, fehlender Winterdienst für Radwege sowie Unterbrechungen durch Baustellen (ADFC, 2015a).

Speziell für ElektrofahrradnutzerInnen relevante Hemmnisse sind vor allem fehlende Stellplätze, schmale Radwege, Treppen, rutschige Bodenbeläge, enge Kurvenradien und Hindernisse auf Radwegen wie z.B. Baustellen (Wachotsch et al., 2014).

Ebenfalls relevant ist die Frage, ob sich der/die NutzerIn eines Elektrofahrrads auf der vorhandenen Infrastruktur sicher fühlt. Routenwahl und Fahrverhalten werden dadurch beeinflusst, vor allem bei älteren Menschen (Alrutz et al., 2015). Bereits kleine Anpassungen können die subjektiv wahrgenommene Sicherheit erhöhen; So ist z.B. die „durchgezogene Linie“ als Abgrenzung von Radwegen ein wesentlicher Faktor für die gefühlte Sicherheit.

Aufgrund der höheren Anschaffungskosten gegenüber konventionellen Fahrrädern kommt der Diebstahlprävention eine größere Bedeutung zu. Speziell für Elektrofahrräder muss daher die Möglichkeit bestehen, diese zu Hause und im öffentlichen Raum sicher abzustellen. Zudem ist die Zugänglichkeit von Stellplätzen besonders wichtig, da Elektrofahrräder aufgrund ihres Gewichtes ebenerdige Fahrradabstellmöglichkeiten benötigen (Wachotsch et al., 2014) und das Fehlen geeigneter Abstellmöglichkeiten ein Nutzungshemmnis darstellt. Nach einer Befragung in (Rudolph, 2014) stellen rund 2/3 der Pedelec-BesitzerInnen ihr Pedelec zu Hause in der eigenen Garage ab, nur 3% am Straßenrand, und der Rest in Keller, Wohnung oder Hausflur. Entsprechend gibt es Anzeichen, dass z.B. in Gründerzeitvierteln ohne geeignete Abstellmöglichkeiten die Pedelec-Dichte geringer ist.

Bei der Ladeinfrastruktur können fehlende Standards die Nutzung der Ladesäulen hemmen.

Eine weitere natürlich gegebene Rahmenbedingung stellt die Topographie dar. Vor allem in hügeligen Wohnumgebungen ist der Elektrofahrrad-Besitz hoch. In der Stichprobe von (Preißner et al., 2013) besaßen durchschnittlich 25,8% der Befragten ein Elektrofahrrad; In ziemlich hügeligen oder sehr hügeligen Wohnumgebungen waren es mit über 33% deutlich mehr. Dass beim konventionellen Fahrrad die Topographie ein wesentliches Hindernis darstellt, zeigt eine Auswertung in (Ahrens et al., 2013). Ab einem Anteil von 20% Strecken im Straßennetz mit einem Neigungswinkel über 2% sinkt der Radverkehrsanteil deutlich. Gut die Hälfte der deutschen Bevölkerung lebt in solchen hügeligen Regionen. Nach einer Internetumfrage in Bayern mit über 8000 RadfahrerInnen war Sicherheit das wichtigste Thema, welches für eine Stärkung des Radverkehrs genannt wurde. Am zweithäufigsten wurde eine an die Bedürfnisse des Radverkehrs angepasste Infrastruktur genannt, z.B. ausreichend breite Radwege und Schutzstreifen, die eine zügige Fahrweise erlauben (BStMi, 2016).

### **5.1.3. Märkte/Marktstrukturen & Finanzsysteme**

Funktionierende Märkte können zu einer vielfältigen Produktpalette und guten Preis-Leistungs-Verhältnissen beitragen. Bei Elektrofahrrädern hat sich der Markt – wie oben dargestellt – in den letzten Jahren sehr dynamisch entwickelt. Die Entwicklung eines Massenmarktes hat in der Vergangenheit in China bereits deutlich zur Kostensenkung von E-Bikes beigetragen (-30% zwischen 1999 und 2005). In Deutschland war der Preisrückgang weniger ausgeprägt, was u.a. auf die Erhöhung der Batteriekapazität sowie weiterer Verbesserungen (LED-Lampen, Aluminiumrahmen, Scheibenbremsen) zurückzuführen sein könnte. Das Angebot bzw. die Vielfalt an Elektrofahrrädern, welche an unterschiedliche Kundenansprüche angepasst sind, ist zentral für die Frage, welche Nutzergruppen potenziell angesprochen werden. Ein wachsender Markt und die Ausdifferenzierung der Produktpalette, welche an unterschiedliche Kundenbedürfnisse angepasst ist, können hier einen wichtigen Beitrag leisten. Dass dieser Ausdifferenzierungsprozess tatsächlich stattfindet, lässt sich z.B. anhand der Produkttests von ExtraEnergy e.V. gut beobachten. Hier werden mittlerweile Elektrofahrräder in 12 verschiedenen Kategorien getestet, welche von Klassik, Business, Sport, Reha über Lifestyle bis hin zu Lastenrädern reichen. Im Jahr 2015 wurden die Kategorien „Jugend“ und „Flotte“ neu aufgenommen (Budde et al., 2015). Es ist denkbar, dass auch klassische Automobilhersteller in die Produktion von Elektrofahrrädern in Zukunft zunehmend einsteigen. Den Beginn machte Daimler mit dem „smart eBike“ im Jahr 2012, es folgte BMW mit dem „e-Cruisebike“. Im Jahr 2015 stellte auch VW eine Konzeptstudie eines e-Bikes mit einigen technischen Innovationen wie z.B. der Integration eines ABS-Systems vor.

Bei den Vertriebswegen von Elektrofahrrädern dominiert mit 69% der Fachhandel. 13% der Elektrofahrräder werden über das Internet verkauft und der Rest z.B. in SB-Warenhäusern und Baumärkten (Neuberger, 8.3.16).

Bei einer stark ansteigenden Nachfrage kann es allerdings auch zu Engpässen auf dem Markt kommen. Ursache hierfür ist, dass es für viele Komponenten von Elektrofahrzeugen nur einen möglichen Lieferanten gibt, welcher diese in exakt der gewünschten Qualität liefern kann. Die Fahrzeughersteller müssen diese Komponenten dann oft schon zwei Jahre im Voraus bestellen. Wird die Nachfrage unterschätzt, kommt es zu Engpässen und langen Lieferzeiten. Dies war beispielsweise zu Beginn des Jahres 2015 der Fall (Budde & Neupert, 2015).

#### 5.1.4. Technologien, Produkte, Dienstleistungen

Marktreife, Zuverlässigkeit und Kosten relevanter Technologien sind entscheidende Faktoren für die Attraktivität eines Fahrzeuges für den/die NutzerIn – sowohl bei (Elektro-)Fahrern als auch bei Pkw. Gehen neue Technologien mit veränderten Eigenschaften einher, welche als eine Nutzungseinschränkung wahrgenommen werden, so kann dies ein relevantes Hemmnis für die Nutzung darstellen. Dies ist beispielsweise bei Elektroautos mit ihrer begrenzten Reichweite der Fall. Während bei Elektroautos die *Nutzeneinschränkung* gegenüber dem konventionellen Äquivalent häufig im Vordergrund steht, ist bei Elektrofahrzeugen der *Zusatznutzen* durch die elektrische Unterstützung vorherrschend – wenngleich sich durch die Elektrifizierung einige andere Eigenschaften, z.B. das Gewicht, nachteilig verändern. Auf diesen Unterschied ist höchstwahrscheinlich ein Großteil des Markterfolgs von Elektrofahrzeugen zurückzuführen.

Technologischer Fortschritt bei Elektrofahrzeugen kann zukünftig zu höherer Reichweite, besserer Leistung, geringerem Wartungsaufwand führen. Dies alles sind Faktoren, welche die Attraktivität des Elektrofahrers gegenüber anderen Verkehrsmitteln erhöhen. Längere Reichweiten der Akkus führen dazu, dass weniger Ladestationen benötigt werden und weitere Anwendungen, z. B. im Freizeitbereich möglich werden. Weitere Entwicklungen zur smarten Steuerung und Integration der elektrischen Antriebsunterstützung steigern die Attraktivität des Elektrofahrers. Als Hauptnachteile von Elektrofahrzeugen werden genannt (KFV & ElectroDrive Salzburg, 2011):

- Gewicht des E-Bikes (37,4%)
- die geringe Akkureichweite (19,0%)
- die Störanfälligkeit und Servicefahrten (10,3%).

In den letzten Jahren kam es immer wieder zu (mehr oder weniger großen) Bränden oder Unfällen aufgrund von E-Bike-Akkus. Die Ursachen sind nicht immer eindeutig und können, je nach Hersteller des Akkus, Handhabung oder individueller Bedingungen variieren. 2013 kam eine Person im Zuge eines Brandes durch einen überhitzten Akku sogar zu Tode.

Zum Stichwort Dienstleistungen ist weiterhin zu nennen: Es kann eine Konkurrenzsituation zwischen öffentlichem Verkehr und (Elektro-) Fahrzeugen geben. Die Mitnahme von Elektrofahrzeugen im ÖV ist teilweise nicht erlaubt.

Neben den Fahrzeugtechnologien spielen auch Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) für das Mobilitätsverhalten eine immer stärkere Rolle. Dies gilt einerseits bei der Wahl des Verkehrsmittels, denn Smartphone-Apps ermöglichen je nach Weg einen einfachen Vergleich von Zeit und Kosten für verschiedene Verkehrsmitteloptionen, was ein multimodales Verkehrsverhalten unterstützen kann. Andererseits kann auch das Fahrrad und insbesondere das Elektrofahrzeug immer mehr zum digital vernetzten Verkehrsmittel werden: Navigationssysteme erleichtern die Nutzung des Fahrrads; Die Aufzeichnung von Leistungs- und Fitnessdaten ist ebenfalls möglich.

### 5.1.5. Soziale und zeitliche Strukturen

#### Zeit für Mobilität

Zeitliche Strukturen sind für das Verkehrsverhalten besonders relevant. Laut MiD 2008 liegt die Unterwegszeit pro Person und Tag bei 79 min. Die durchschnittlich für Mobilität aufgewendete Zeit ist in der Vergangenheit relativ konstant bei 1 Stunde pro Tag geblieben (Follmer et al., 2010). Die Zunahme des Verkehrs ist somit nicht auf längere Unterwegszeiten, sondern auf die Beschleunigung des Verkehrs bzw. den Umstieg auf schnellere Verkehrsmittel zurückzuführen.

Ein genereller Vorteil der Fahrrad-Nutzung gegenüber dem Auto besteht in den meist einfacheren Abstellmöglichkeiten, d.h. es entsteht am Ende einer Fahrt kein zusätzlicher Zeitverlust aufgrund von Parkplatzmangel und Parksuchverkehr (Lienhop et al., 2015, Vonach 2011). Somit ist auch die Reduktion von Parkraum ein mögliches, wichtiges Instrument zur Förderung des Radverkehrs. Auswertungen von umfangreichen Mobilitätsbefragungen wie z.B. der MiD zeigen, dass Zeit ein wichtiger Faktor bei der Moduswahl ist. Wege im ÖPNV dauern mit 41 Minuten durchschnittlich am längsten, alle anderen Modi liegen im Bereich 19 bis 25 Minuten. Freizeitwege dauern mit durchschnittlich 32 Minuten am längsten, am kürzesten sind Wege zum Einkauf mit 15 Minuten. Ausbildungs- und Arbeitswege dauern 23 bzw. 27 Minuten. Die tägliche Zeitaufwendung für Mobilität steigt zunächst mit zunehmendem Alter an, verbleibt dann ab etwa 18 Jahren konstant auf einem hohen Niveau über 80 Minuten am Tag und unterschreitet diesen Wert erst mit einem Alter von etwa 70 Jahren. Die längsten Unterwegszeiten pro Tag erreichen Berufstätige unter 30 Jahren mit 91 Minuten und StudentInnen mit 95 Minuten am Tag.

Die Beschleunigung des Fahrradverkehrs bzw. die Verlangsamung des motorisierten Individualverkehrs ist eine erfolversprechende Strategie für die Verlagerung aufs Fahrrad. Mit Elektrofahrrädern werden höhere Durchschnittsgeschwindigkeiten erzielt als mit konventionellen Fahrrädern, so dass Elektrofahrräder zu einer Beschleunigung des Radverkehrs und damit zu einer Verlagerung beitragen. Mögliche Begrenzungen für die Beschleunigung des Radverkehrs stellen jedoch die Infrastruktur und die Rahmenbedingungen dar. Weitere Strategien, um das Verlagerungspotenzial aufs Fahrrad auszuschöpfen, sind daher die Beschleunigung durch fahrradfreundliche Schaltung der Lichtsignalanlagen („grüne Welle fürs Rad“) sowie der Ausbau der Infrastruktur, z.B. durch Radschnellwege.

#### Wohnen und Arbeiten

Arbeitswege haben einen wesentlichen Anteil an den THG-Emissionen des Personenverkehrs. Für Klimaschutz im Verkehr ist es daher relevant, ob sich der Arbeitsweg potenziell mit umweltfreundlichen Verkehrsmitteln zurücklegen lässt. Nicht überall ist die Anbindung an den öffentlichen Verkehr bzw. die Bereitschaft, diesen zu nutzen, gegeben. Elektrofahrräder mit ihrem gegenüber Fahrrädern erweiterten Aktionsradius können hier einen Hoffnungsträger darstellen.

Dafür ist jedoch wichtig, dass Wohnen und Arbeiten nicht zu weit voneinander entfernt sind. Bis vor einigen Jahren war ein stetiger Anstieg der durchschnittlichen Pendeldistanzen zu beobachten, von durchschnittlich 14,6 km im Jahr 1999 auf 16,6 km im Jahr 2013. In Berlin hat sich das PendlerInnenaufkommen seit dem Jahr 2000 um über 40% erhöht (Czowalla, 2016). Dieser Trend hat sich jedoch etwa seit dem Jahr 2008 deutlich abgeflacht. Mögliche Ursachen für die Trendsättigung sind:

- die Entspannung auf dem Arbeitsmarkt, welche dazu führt, dass mehr Freiheit bei der Auswahl des Arbeitsortes besteht;

- der Trend zur Reurbanisierung, so dass die PendlerInnenverflechtungen zwischen Stadt und Umland zurückgehen,
- der in diesem Zeitraum zu verzeichnende Anstieg der Kraftstoffpreise, welcher weite Pendeldistanzen ökonomisch unattraktiver macht.

Zum letzten Aspekt ist zu bemerken, dass der seit 2015 zu beobachtende deutliche Rückgang der Kraftstoffpreise zu einem Anstieg der Pendlerdistanzen bzw. generell des motorisierten Verkehrs führen könnte – hierzu liegen jedoch noch keine aktuellen Daten vor.

Insgesamt sind die Pendlerverkehre nach wie vor von wichtiger und zunehmender Bedeutung. Werden sie mit dem Pkw zurückgelegt, so entstehen nicht nur Treibhausgasemissionen, sondern es entsteht auch ein enormer Bedarf an Parkraum – z.B. entspricht der Flächenbedarf für die rund 150.000 AutopendlerInnen in Berlin rechnerisch etwa 200 Fußballfeldern<sup>2</sup>.

Gerade fürs Pendeln kann das Elektrofahrrad eine attraktive Alternative darstellen. Dies wurde auch in dem Pilotprojekt „E-Bike Pendeln“ (Czowalla, 2016) gezeigt. Selbst bei Distanzen von 15 bis 20 Kilometern stellt das Elektrofahrrad demnach eine attraktive Alternative dar; Bei 50% der in dem Projekt begleiteten NutzerInnen konnte ein neu angeschafftes Elektrofahrrad aus dem Stand ein Auto ersetzen.

## Demographischer Wandel

Vor dem Hintergrund des demographischen Wandels wird es immer mehr ältere Personen geben, die mobil sein wollen und auch bereit sind Fahrrad zu fahren, aber physisch nicht mehr in der Lage sind dieses zu nutzen. 30% der TeilnehmerInnen (Elektrofahrrad-NutzerInnen) in den USA gaben an, dass sie physisch an ihre Grenzen kommen, wenn sie ein herkömmliches Fahrrad fahren. Hier kann das Elektrofahrrad aufgrund der elektrischen Unterstützung eine Alternative darstellen (MacArthur et al., 2014). Insgesamt ist jedoch davon auszugehen, dass der Effekt des demographischen Wandels auf die Transformation im Vergleich zu den möglichen Effekten eines Imagewandels und einer stärkeren Nutzung auch durch jüngere Menschen eher gering ausfällt.

### 5.1.6. Forschung, Bildung, Wissen

Neben der Politik können Umwelt-NGOs und die Wissenschaft die Bewusstseinsbildung unterstützen, die technologische Entwicklung unterstützen und deren Wirkungen auf das Verkehrsverhalten und die Umwelt analysieren. Beispiele für NGOs sind der VCD (Verkehrsclub Deutschland), der ADFC und auf internationaler Ebene LEVA (light electric vehicle association). Letztere unterstützte z.B. die Entwicklung von Industriestandards sowie verbraucher- und industriefreundlicher Regulierungen. Darüber hinaus zeichnet LEVA Individuen und Unternehmen aus, die zur Entwicklung der Elektrofahrräder beigetragen haben (Jamerson, 2015).

In der Forschungslandschaft gibt es eine begrenzte, aber wachsende Anzahl von Veröffentlichungen zum Thema. Seit 2014 existiert die „Light Electric Vehicle Education + Research Initiative“ (LEVER) als Kooperation dreier US-amerikanischer Universitäten, welche sich ausschließlich mit Fragen rund um die leichte Elektromobilität beschäftigt. In Deutschland gibt es keine entsprechend übergeordnete Forschungsinstitution, sondern mehrere Akteure, welche sich mit dem Thema Elektrofahrrad wissenschaftlich auseinandersetzen. Im Vergleich z.B. zum E-Pkw ist die Forschungslandschaft jedoch eher begrenzt.

---

<sup>2</sup> Bei einem Besetzungsgrad von 1,3 werden  $150.000/1,3 = 115.400$  Parkmöglichkeiten à  $12 \text{ m}^2$  benötigt; die Fläche eines typischen Fußballfeldes beträgt  $7.140 \text{ m}^2$ .

### 5.1.7. Politikinstrumente & Institutionen

Politikinstrumente und Institutionen haben einen hohen Einfluss auf die Rahmenbedingungen und damit auf die Attraktivität des Elektrofahrrads.

#### **Einstufung von Elektrofahrrädern: „Fahrrad“ oder „Kleinkraftrad“?**

Ob ein Elektrofahrrad tatsächlich als „Fahrrad“ eingestuft wird und damit ohne Führerschein, Versicherung, Helm und auf dem Radweg benutzt werden darf, ist ein wesentlicher Faktor für dessen Attraktivität. Dies zeigt bereits der Vergleich der Elektrofahrrad-Märkte in Europa, wo nur Pedelec-25 dieses Privileg zu Teil wird, und China, wo auch Elektrofahrräder ohne Tretunterstützung als Fahrräder gelten und einen deutlich höheren Marktanteil haben als die hierzulande üblichen Pedelecs. Da NutzerInnen von Elektrofahrrädern bis 45 km/h die Radverkehrsinfrastruktur nicht nutzen können, stellt dies eine wesentliche Einschränkung in der Nutzung von S-Pedelecs dar (Lienhop, 2015; Vonach, 2011).

#### **Dienstwagenprivileg für Fahrräder**

Seit 2012 gilt das Dienstwagenprivileg auch für Fahrräder. Genauso wie bei Dienstwagen können (Elektro-)Fahrräder durch den Arbeitgeber angeschafft und dem Arbeitnehmer zur Nutzung überlassen werden. Der Arbeitnehmer muss in diesem Fall nur 1% des Anschaffungspreises eines Elektrofahrrads versteuern, was in der Regel deutlich günstiger ist als die private Anschaffung eines Elektrofahrrads.

Die Dienstrad-Regelung ist allerdings noch vergleichsweise wenig bekannt. Nach einer Befragung, welche (Czowalla, 2016) unter InteressentInnen an einem Pilotprojekt zum Pedelec-Pendeln durchführten, haben 65% der Befragten noch nichts davon gehört. Es ist zu vermuten, dass der Bekanntheitsgrad in der Bevölkerung noch deutlich geringer ist. Daten dazu, wie oft vom Dienstwagenprivileg für Fahrräder und speziell Elektrofahrräder tatsächlich Gebrauch gemacht wird, sind nicht bekannt.

#### **Helmpflicht**

Beim 55. Deutschen Verkehrsgerichtstag (25.-27.01.2017) wurde von Seiten des MdB Martin Burkert, Vorsitzender des Verkehrsausschusses im Bundestag, die Forderung nach einer Helmpflicht für E-Bike Fahrer laut. Der ZIV hinterfragt diese Initiative und gibt zu Bedenken, dass die Einführung einer Helmpflicht für E-Bike- oder Fahrradfahrer die Fahrradnutzung hemmen würde. Gleichzeitig verweist er auf den Nationalen Radverkehrsplan (NRVP 2020).

#### **Verkehrsregeln bzw. Straßenverkehrsordnung**

Derzeit sind die Richtlinien für Radverkehrsanlagen und die Straßenverkehrsordnung nicht speziell an Elektrofahrräder angepasst (Alrutz et al., 2015). Eine Zunahme des Radverkehrs und neue Infrastrukturen wie z.B. Radschnellwege erfordern möglicherweise die Anpassung der Verkehrsregeln durch die Politik. Beispielsweise haben Elektrofahrräder in der Schweiz Nummernschilder. Aus Sicherheitsaspekten wird auch die Helmpflicht immer wieder diskutiert. Allerdings könnte eine zu starke Verregelung dazu führen, dass das Fahrradfahren als „Lifestyle“ und damit die Verlagerung auf das Rad leidet.

## Mobilitätsmanagement

Die Kommunikation mit den BürgerInnen seitens der Politik und Verwaltung und deren Beteiligung kann Veränderungen im Mobilitätsverhalten der BürgerInnen hin zu umweltfreundlichen Verhalten, wie z.B. der Nutzung des Fahrrads statt des Autos unterstützen. Wichtige Elemente sind dabei, Informationen für die Öffentlichkeit regelmäßig bereitzustellen, die BürgerInnen in die Planung miteinzubinden sowie verschiedene Arten der Umsetzung zu testen. Letzteres können z.B. Bewegungszonen sein, um herauszufinden wie das Rad in diesem System genutzt wird (Deffner und Heffer, 2015).

## Klimaschutzpläne und Zukunftsvisionen für den Verkehr

Die Politik hat nicht nur mit konkreten Instrumenten Einfluss auf das alltägliche Verkehrsverhalten, sondern übt auch durch die Veröffentlichung langfristiger Strategien und Klimaschutzpläne einen indirekten Einfluss aus. Zwar werden diese nicht unbedingt von einem breiten Publikum wahrgenommen, sie können aber z.B. für die Akteure in der Wirtschaft, für Investoren und für nachgeordnete politische Institutionen wie z.B. Kommunen eine Richtung vorgeben und somit mittelbar über Märkte und Infrastrukturen letztlich auf das Mobilitätsverhalten wirken.

Auf europäischer Ebene wurde im Weißbuch Verkehr (EK, 2011) die Vision einer „emissionsfreien Innenstadt“ festgehalten, und nachhaltiger Verkehr in Städten ist ein erklärtes Ziel der EU („Sustainable Urban Mobility Plans“). Auf bundespolitischer Ebene wird derzeit der „Klimaschutzplan 2050“ entwickelt.

## Kommunale Förderung der Elektrofahrrad-Nutzung

In vielen Kommunen gibt es diverse Akteure, die rund um den Radverkehr involviert sind. Oft fehlen jedoch ein Gesamtkonzept und die Verstetigung von Maßnahmen. Beispielsweise gibt es in München einen Grundsatzbeschluss Radverkehr. Darüber hinaus läuft parallel ein Programm zur Förderung von Elektromobilität, welches die Nachfrage nach Pedelecs unterstützt. Darüber hinaus gibt es einige Einzelprojekte, die den Einsatz z.B. von Lastenfahrrädern testen. Zum einen kann es Vorteile haben, viele kleine Projekte von verschiedenen Akteuren zu einem Thema zu initiieren. Das Thema wird in der Verwaltung selbst und in der Öffentlichkeit bekannt und die Akzeptanz für weitere Schritte dazu steigt. Wenn allerdings die involvierten Akteure kein gemeinsames Konzept und keine übergeordnete Zielstellung über die Zeit entwickeln, dann werden viele Projekte nicht weiterverfolgt und Maßnahmen nicht verstetigt. Gründe dafür, dass es keinen Beauftragten für den Themenbereich gibt, der Gesamtkonzepte und Zielstellungen erarbeitet, können auch unzureichend finanzielle und personelle Ausstattungen der Kommunen sein.

## 5.2. Wodurch werden Technologien, Produkte und Dienstleistungen im Anwendungsfeld wesentlich beeinflusst und wie?

### 5.2.1. Werte & Leitbilder

Elektrofahrräder fügen sich in den gesellschaftlichen Trend zur zunehmenden Digitalisierung und Vernetzung ein. Sie verfügen über die Möglichkeit zur Aufzeichnung von Daten über Fahrverhalten und Fitnesszustand. Auch eine individuelle Anpassung an den/die NutzerIn über Apps ist denkbar.

### 5.2.2. Märkte/Marktstrukturen & Finanzsysteme

Die Produktion von Elektrofahrrädern greift auf globalisierte Lieferketten zurück. Komponenten für Elektrofahrräder kommen aus aller Welt. Die größten europäischen Produzenten von Motoren für Elektrofahrräder sind Bosch (DE), Brose Antriebstechnik (DE), Derby Cycle (DE) und Accell Group (NL). Große internationale Produzenten sind TranzX (TW), Panasonic (JP), Shimano (JP) und Yamaha (JP).

Nach (Budde & Neupert, 2015) sind die Lieferketten derzeit wenig flexibel. Für viele Komponenten gibt es nur einen möglichen Lieferanten, welcher diese in der gewünschten Qualität liefern kann. Die Hersteller müssen schon zwei Jahre im Voraus die Komponenten bestellen und sich auf Absatzzahlen festlegen. Wenn die Nachfrage nach Elektrofahrrädern dann höher liegt als von den Herstellern erwartet, kommt es zu Lieferschwierigkeiten – so beispielsweise Anfang 2015. Eine Bevorratung mit den notwendigen Komponenten ist kaum möglich, da diese in der Regel einmal im Jahr leicht angepasst werden und von den KundInnen erwartet wird, dass immer die jeweils aktuellsten Komponenten verbaut sind. Eine Flexibilisierung der Lieferketten sowie längere Innovationszyklen, welche dann aber mit tatsächlichen Produktverbesserungen und nicht nur kleinen kosmetischen Änderungen verbunden sind, könnte hier Abhilfe schaffen.

Ebenso können Entwicklungen in anderen Märkten eine Auswirkung auf den Elektrofahrrad-Markt haben. Dies war beispielsweise der Fall, als die Kostendegression von Lithium-Ionen-Akkus durch Notebooks und Handys ihren Einsatz im Elektrofahrrad-Bereich ermöglichte, und damit zu einer deutlichen Verbesserung der Leistungsfähigkeit von Elektrofahrrädern und einer entsprechenden Attraktivitätssteigerung führte. Die Kosten können durch zunehmende Nachfrage und Weiterentwicklung der Technologien zukünftig weiter sinken.

### 5.2.3. Verhalten & Lebensstile

Das Fahrrad ist für eine zunehmende Anzahl Menschen nicht mehr nur ein reiner Gebrauchsgegenstand, sondern wird mehr und mehr zu einem „Lifestyle“-Attribut, welches ähnlich wie Mode ein Statement über seinen Besitzer nach außen darstellt und eine Aussage über seinen Lebensstil trifft. Dies zeigt beispielsweise der in den letzten Jahren zu beobachtende Fixie-Trend. Gerade von jüngeren Menschen wird das Produkt Elektrofahrrad häufig noch als „Produkt für ältere Menschen“ wahrgenommen. Dagegen steht für ältere Menschen die Sicherheit und Praktikabilität im Vordergrund.

Den Kundenwünschen zu entsprechen, spielt für die Hersteller eine wichtige Rolle. Durch Produkttests wie von ExtraEnergy können potenzielle KäuferInnen einordnen, ob ein angebotenes Produkt zu ihrem Lebensstil „passt“. Möglicherweise ist aufgrund des stark expandierenden Marktes für Elektrofahrräder der Konkurrenzdruck bei den Herstellern bislang noch nicht allzu hoch, so dass die Orientierung an den Kundenwünschen und die Diversifizierung des Produktes, welche an unterschiedliche Lebensstile angepasst ist, in Zukunft noch zunehmen könnten.

### 5.2.4. Forschung, Bildung, Wissen

Für die Weiterentwicklung des Elektrofahrrads war die Forschung im Bereich von Batterietechnologien und Elektromotoren entscheidend. Zwar gab es bereits im 19. Jahrhundert einzelne Elektrofahrräder, aber ihren Siegeszug in Europa traten sie erst an, nachdem Lithium-Ionen-Batterien und Elektromotoren auf Basis von Neodym-Eisen-Bor-Permanentmagneten als Komponenten verwendet werden konnten. Dadurch konnte die Leistungsfähigkeit gesteigert werden, bei gleichzeitig niedrigerem Gewicht und Volumen.

Die Forschung und Weiterentwicklung im Bereich des Pedelecs ist jedoch längst noch nicht abgeschlossen. Die meisten heutigen Pedelecs verfügen über einen parallel hybriden Antrieb. Dies bedeutet, sowohl Muskelkraft als auch der Motor sind in der Lage, das Pedelec anzutreiben. Eine noch wenig verbreitete Alternative sind seriell hybride Pedelecs (auch „digitale Fahrräder“), bei welchen die mechanische Antriebsenergie (Muskelkraft) zunächst durch einen Generator in elektrische Energie umgewandelt wird und sich der Antrieb allein durch die elektrische Energie speist. Die Pedale fungieren als Generator; Kette und Riemen zur Kraftübertragung entfallen. Ein möglicher Nachteil besteht in dem Wirkungsgradverlust, der entsteht, wenn die mechanische Energie zunächst in elektrische Energie und dann wieder in mechanische Energie umgewandelt wird (Budde & Neupert, 2015). Dem gegenüber bietet das seriell hybride Elektrofahrrad jedoch eine Reihe von Vorteilen: Die zeitliche Entkopplung von Muskelkräfteeinsatz und Muskelkraftoutput wird möglich, d.h. der Akku kann über Muskelkraft „aufgeladen“ werden. Zudem wird die mechanische Komplexität des Elektrofahrrads reduziert, wodurch die Herstellungs- und Wartungskosten sinken könnten. Darüber hinaus kann das seriell hybride Pedelec einfach an Kundenbedürfnisse angepasst werden – z.B. ist es mit einer Steuerung via Smartphone-Apps denkbar, das Elektrofahrrad je nach Bedarf auch als Home-Trainer oder Stromversorgung bei Outdoor-Aktivitäten zu nutzen – viele Gründe, die dafür sprechen, dass sich das seriell hybride Pedelec zukünftig vermehrt durchsetzen könnte.

Hier gibt es eine gewisse Parallele zum Automobil, bei dem neben dem rein elektrischen Fahrzeug ebenfalls derzeit der parallel hybride Antrieb dominiert, für die Zukunft jedoch vielfach von einer stärkeren Marktdurchdringung von seriell hybriden Antrieben (Range Extendern) ausgegangen wird. Denkbar ist es zudem, dass auch andere für den Pkw entwickelte Technologien auf das Elektrofahrrad übertragen werden, vor allem wenn die Automobilhersteller eigene Elektrofahrräder entwickeln. So stellte VW Ende 2015 eine Elektrofahrrad-Konzeptstudie mit ABS-System vor.

### 5.2.5. Politikinstrumente & Institutionen

#### Blauer Engel

Im Juni 2015 wurden Kriterien für die Vergabe eines „blauen Engels“ an Pedelec-25 veröffentlicht (RAL gGmbH, 2015). Die Kriterien umfassen:

- Lange Akku-Lebensdauer und Verfügbarkeit von Ersatzakkus
- Mechanische und elektrische Sicherheit
- Garantieleistungen für den Verbraucher
- Reduzierung von Schadstoffen im Akku, Griffen und Sattel
- Langlebige, reparaturfreundliche und recyclinggerechte Konstruktion

Bisher (Stand April 2016) gibt es noch keine Pedelecs mit blauem Engel. Möglicherweise könnte dies an den strengen Kriterien für die Akkus liegen.

#### Batterierecycling

Ebenfalls reguliert ist das Batterierecycling von Elektrofahrrädern. Laut der EU-Richtlinie 2006/66/EG sind die Hersteller von Batterien und Akkus verpflichtet, Recycling-Systeme einzurichten. Bei Lithium-Ionen-Batterien müssen 50% stofflich verwertet werden.

## Künstliches Fahrgeräusch

Für elektrische Fahrzeuge im Raum der Europäischen Union wird ab 1.7.2019 ein „Acoustic Vehicle Alerting System“ (AVAS) verpflichtend, d.h. ein künstlicher Motorklang, um Unfällen vorzubeugen. Es ist denkbar, dass auch Elektrofahrräder unter diese Richtlinie fallen. Solche Systeme könnten und sollten so gestaltet werden, dass sie als positiv wahrgenommen werden (Haußmann, 2015).

## Standardisierung

Auf Seiten der Batterie (Sicherheit, Standard-Ladeschnittstelle etc.) gab es in den letzten Jahren Fortschritte (Budde & Neupert, 2015). Handlungsbedarf besteht noch bei der generellen Standardisierung des Pedelecs, vor allem auf der internationalen Ebene. Das für Motorräder und Mopeds zuständige Komitee der ISO fühlt sich für Elektrofahrräder nicht zuständig. Nach längerem Abwägen hat sich das für Fahrräder zuständige Komitee (ISO TC 149) bereit erklärt, sich des Themas Pedelec anzunehmen (Budde & Neupert, 2015).

## 5.3. Wodurch werden materielle Infrastrukturen im Anwendungsfeld wesentlich beeinflusst und wie?

### 5.3.1. Werte & Leitbilder

Werte und Leitbilder wirken nicht nur direkt auf Verhalten und Lebensstile, sondern auch über die politischen Strukturen auf die materiellen Infrastrukturen und Rahmenbedingungen, unter denen Mobilität sich abspielt. Die Schaffung von mehr Raum fürs Fahrrad konkurriert meistens mit der Straßeninfrastruktur des MIV, ÖPNV und Fußverkehrs. Für die Bereitstellung und Wartung der Straßeninfrastruktur sind über Jahrzehnte unter dem Leitbild „autogerechte Stadt“ (s.o.) Strukturen gewachsen, in die viele Akteure sowohl seitens des Bundes, Landes und der Kommune sowie der Wirtschaft, Verbände bis hin zur Wissenschaft involviert sind. Diese eingefahrenen Strukturen hemmen die Transformation und es bedarf viel Zeit, diese zu verändern und das Fahrrad als ein Verkehrsmittel zu etablieren, welches einen entsprechenden Bedarf an Infrastruktur und vor dem Hintergrund ökologischer und sozialer Aspekte zusammen mit dem Fußverkehr sogar einen höheren hat (Deffner & Hefter, 2015). Diese transformationshemmende Struktur fällt nicht nur in den Bereich der infrastrukturellen, sondern auch in den der ökonomischen Pfadabhängigkeiten: das gesamte Straßennetz ist aufeinander abgestimmt, die Straßen für den Pkw- und Lkw-Verkehr sind bereits gebaut. Neue Radwege zu bauen, bedeutet meistens einen gleichzeitigen Rückbau von Infrastruktur für den Pkw- und Lkw-Verkehr.

Möglicherweise transformationsunterstützend ist der derzeitige Trend zu einer höheren Mitbestimmung der BürgerInnen (z.B. via Bürgerbeteiligungen). Mehrere Städte wie z.B. Bremen führen für die Gestaltung ihrer Verkehrsentwicklungspläne entsprechende Bürgerbeteiligungsverfahren durch. Ob sich durch solche Verfahren jedoch tatsächlich eine nachhaltige Infrastruktur ergibt, lässt sich jedoch nur schwer feststellen.

Ebenfalls transformationsunterstützend könnte das Thema Verkehrssicherheit wirken. Auf EU-Ebene sowie in immer mehr europäischen Ländern wird mit dem Leitbild „Vision Zero“ – dem Langfristziel einer Reduktion der Verkehrstoten auf Null – ein umfassender Paradigmenwechsel beim Thema Verkehrssicherheit gefordert. Unter anderem soll beim Neu-, Aus- und Umbau von Straßen konsequent die Verkehrssicherheit mitgedacht werden. Bisher hat sich Deutschland allerdings noch nicht auf dieses Leitbild verpflichtet.

### 5.3.2. Verhalten & Lebensstile

Verhalten und Lebensstile können eine indirekte Wirkung auf die Infrastrukturen haben: Wenn durch einen stetig zunehmenden Radverkehr „Fakten geschaffen“ werden, setzt dies die politischen Akteure unter Druck, infrastrukturseitige Anpassungen vorzunehmen. Möglicherweise ebenfalls eine Wirkung auf die politischen Entscheidungsträger können Aktionsformen haben, welche für eine bessere Radverkehrsinfrastruktur eintreten, wie z.B. die „Critical Mass“-Bewegung oder die vom ADFC in Berlin organisierte „Sternfahrt“.

Andererseits können Verhalten und Lebensstile auch ein Hemmnis für die Umsetzbarkeit von Infrastrukturvorhaben darstellen. Beispielsweise wird die Reduktion von Pkw-Verkehr und Parkplätzen in Einkaufsstraßen vom Einzelhandel häufig mit der Angst verbunden, dass dann die KundInnen ausbleiben. Aktuelle praktische Forschung aus New York (New York City Department of Transportation, 2013) zeigt jedoch, dass ein nachhaltiges Straßendesign mit mehr Raum für Rad- und Fußverkehr deutlich zur Stärkung der lokalen Wirtschaft beiträgt.

### 5.3.3. Märkte/Marktstrukturen & Finanzsysteme

Die für den (Elektrofahrrad-)Verkehr zentrale Infrastruktur (Radwege, Radfahrstreifen, Abstellmöglichkeiten) liegt in staatlicher Verantwortung, so dass Märkte hier keine direkte wichtige Rolle spielen.

### 5.3.4. Technologien, Produkte, Dienstleistungen

Die derzeitige Verkehrsinfrastruktur wurde hauptsächlich durch die Technologie „Auto“ geprägt. Die Verfügbarkeit des Pkw und der Ausbau der Straßeninfrastruktur wiederum führten zur Beschleunigung des Verkehrs und hatte dadurch wiederum eine Rückwirkung auf die Siedlungsstruktur (z.B. Suburbanisierung), da nun längere Wege in derselben Zeit zurückgelegt werden konnten. Wenngleich es Anzeichen für einen Wandel gibt (Reurbanisierung), sind vielerorts die gewachsenen Siedlungsstrukturen und Verkehrsinfrastrukturen stark von der Technologie des Automobils geprägt.

Die Radverkehrsinfrastruktur dagegen ist vielfach noch nicht an die Verwendung des Fahrrads als Alltagsverkehrsmittel angepasst. Darüber hinaus stellt das neue Produkt Elektrofahrrad höhere Anforderungen an die Radverkehrsinfrastruktur, welche bislang noch kaum Berücksichtigung finden:

- Durch höhere Geschwindigkeiten von Elektrofahrrädern wächst der Geschwindigkeitsunterschied zum Fußverkehr. Für auf dem Bürgersteig geführte Radwege kann sich hieraus ein höheres Unfallrisiko ergeben, z.B. wenn bei Überholvorgängen auf den Bürgersteig ausgewichen wird. Kommunen sollten daher die Anordnung der Radwegbenutzungspflicht kritisch überprüfen. Die Voraussetzung dafür ist bereits geschaffen, denn seit der StVO-Neufassung vom 01.04. 2013 gelten strengere Anforderungen an die Ausweisung der Radwegbenutzungspflicht und diese stellt nur noch die Ausnahme dar. Generell scheint die Führung von Radwegen auf der Fahrbahn für die Belange von Elektrofahrrädern geeigneter. Es ist jedoch wichtig, dass die Aufhebung der allgemeinen Radwegbenutzungspflicht in der Bevölkerung bekannter wird – sonst besteht die Gefahr von Konflikten mit AutofahrerInnen, die sich durch FahrradfahrerInnen ihres Straßenraumes beraubt fühlen, obwohl es doch einen Radweg gibt. Bei höheren Geschwindigkeiten könnten ggf. auch größere Kurvenradien notwendig werden.

- Bei zunehmender Anzahl von Elektrofahrrädern werden die Geschwindigkeiten heterogener. Damit steigt die Bedeutung von Überholmöglichkeiten. Die gesetzlich festgelegte Mindestbreite benutzungspflichtiger Radwege (nach der VwV zu § 2 Abs. 4 StVO) reicht hierzu möglicherweise nicht aus (Alrutz et al., 2015).
- Überprüft werden sollte auch der in den „Empfehlungen für Radverkehrsanlagen“ (ERA) angegebene Anhalteweg von 25 m bei nasser Fahrbahn und 30 km/h; Bei höheren Geschwindigkeiten und verzögerten Reaktionszeiten von SeniorInnen reicht dieser möglicherweise nicht aus. (Alrutz et al., 2015).
- Das Elektrofahrrad kann höhere Distanzen als ein konventionelles Fahrrad überwinden. Um dieses Potenzial voll auszuschöpfen, kann eine speziell darauf ausgerichtete Infrastruktur wie z.B. Radschnellwege erforderlich sein. Radschnellwege (RS) sind spezielle Fahrradwege, die Reisezeiten und Kräfteinsatz minimieren sollen. Sie sind gekennzeichnet durch direkte, möglichst geradlinig ausgeführte Wege, die ausschließlich Fahrrädern vorbehalten sind und möglichst eine eigene Infrastruktur aufweisen, und daher besonders für hohe Radverkehrsaufkommen gut geeignet sind. Andere europäische Ländern wie Dänemark oder die Niederlande sind Vorreiter beim Bau von Radschnellwegen. In Kopenhagen sind Radschnellwege ein wesentlicher Teil der Radverkehrsstrategie – welche dazu geführt hat, dass der Radverkehrsanteil bereits bei nahezu 50% liegt. Mittlerweile gewinnen Radschnellwege auch in Deutschland an Bedeutung. Zum Stand August 2014 waren in Deutschland 237 km Radschnellwege in Planung (Fischer et al., 2016); Das derzeit größte laufende Projekt in Deutschland ist der „Radschnellweg Ruhr“, welcher auf 101 Kilometer zwischen Duisburg und Hamm 10 große Städte im Ruhrgebiet verbinden wird und bis 2020 fertiggestellt werden soll. Die Kostenschätzung beläuft sich auf 183 Mio. Euro, d.h. rund 1,8 Mio. Euro je Kilometer.
- Eine günstigere Alternative zu Radschnellwegen sind attraktive Radverkehrsachsen abseits der Hauptstraßen wie z.B. Fahrradstraßen. Auch ein guter Fahrbahnbelag auf Radwegen ist von Bedeutung, um höhere Geschwindigkeiten zu realisieren.
- Breitere Elektrofahrräder wie z.B. Lastenfahrräder gehen mit einem höheren Platzbedarf einher.
- Elektrofahrräder können auch in Regionen benutzt werden, wo der Radverkehr zuvor aufgrund topographischer Gegebenheiten nur einen geringen Anteil am Modal Split hatte. Möglicherweise ergibt sich dadurch in einigen Regionen Nachholbedarf bei der Radverkehrsinfrastruktur.
- Elektrofahrräder benötigen sichere, bestenfalls überdachte Abstellanlagen.

Grundsätzlich gehen (Alrutz et al., 2015) davon aus, dass mit den heute bereits gültigen technischen Regelwerken wie den „Empfehlungen für Radverkehrsanlagen“ (ERA) die Anforderungen durch Elektrofahrräder prinzipiell bereits ausreichend adressiert werden. Problematisch sei jedoch, dass viele der heutigen Radverkehrsanlagen nicht dem Standard dieser Regelwerke entsprechen. Diese Einschätzung – d.h. dass die ERA ausreichende Standards für Elektrofahrräder beinhalten - beruht allerdings auf der Beobachtung, dass sich die derzeitigen Geschwindigkeiten zwischen konventionellen Fahrrädern und Pedelecs nicht sehr stark unterscheiden – was möglicherweise daran liegt, dass Pedelecs immer noch überwiegend von SeniorInnen genutzt werden. Bei einer zukünftigen Erweiterung des Nutzerkreises könnte es daher zu größeren Geschwindigkeitsdifferenzen kommen.

### 5.3.5. Forschung, Bildung, Wissen

Um die Voraussetzungen für den Radverkehr und damit nachhaltige Mobilität zu verbessern, sind gut ausgebildete Stadt- und VerkehrsplanerInnen wichtig. Sie sollten sowohl planerische Fachkenntnisse, strategisches politisches Denken als auch Kommunikationsfähigkeiten besitzen

(Deffner & Hefter, 2015). Seit 2007 gibt es die vom Verkehrsministerium geförderte „Fahrradakademie“ des Deutschen Instituts für Urbanistik (DIFU) für die Weiterbildung von RadverkehrsplanerInnen.

Um Elektrofahrräder in die breite Masse zu tragen, darf es bei dem Thema Radverkehr seitens der PlanerInnen nicht nur um einzelne Radwege, sondern besonders um den Radverkehr als System gehen. Möglicherweise sind die Erfordernisse einer für Elektrofahrräder geeigneten Infrastruktur bei den meisten RadverkehrsplanerInnen noch nicht ausreichend verankert.

Für die Transformation ist es wichtig, den Nutzen einer nachhaltigen Verkehrsinfrastruktur mit mehr Raum für Rad- und Fußverkehr mit wissenschaftlich fundierten Methoden belegen zu können. Ein Vorreiter ist z.B. das „New York City Department of Transportation“, welches seit dem Jahr 2008 konsequent einen Plan für „Sustainable Streets“ verfolgt und parallel dazu detaillierte Evaluationen durchführt (z.B. zum Thema Sicherheit im Straßenverkehr, ökonomische Auswirkungen).

### 5.3.6. Politikinstrumente & Institutionen

Bei der Gestaltung der Radverkehrsinfrastrukturen kommt der Politik und Verwaltung eine zentrale Bedeutung zu. Die jeweilige Verantwortung für Radverkehrsanlagen ist dabei abhängig vom Straßentyp (Bundesstraßen, Landesstraßen, kommunale Straßen) der jeweiligen politischen Ebene zugeordnet.

Die Hauptverantwortung liegt bei den Kommunen, welche für den Großteil der Radverkehrsinfrastruktur verantwortlich sind. Ihnen mangelt es jedoch sehr häufig an finanziellen und personellen Ressourcen. Teilweise fehlt auch das Engagement bzw. die Information über Fördermöglichkeiten z.B. von EU-Ebene. Im Gegensatz z.B. zum ÖPNV ist Radverkehrspolitik in den Kommunen bisher eine „freiwillige Aufgabe“, da es keine entsprechende gesetzliche Grundlage gibt. Entsprechend gibt es auch nicht in allen Kommunen Radverkehrsbeauftragte, sondern meist nur in größeren Städten. Ihre Befugnisse sind zudem begrenzt (Bracher, 2013).

Welche Bedeutung dem Radverkehr bei der Planung zukommt, liegt nicht zuletzt auch an den Einstellungen und der Ausbildung der in der Verwaltung agierenden PlanerInnen – sind diese mit einem vom Automobil geprägten Mobilitätsleitbild ausgebildet worden, so kann es auch an Know-how und Einsatz für die Belange des Radverkehrs mangeln.

Dies zeigt sich in einem teilweise schlechten Zustand der Radverkehrsanlagen. 40% aller an innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen festgestellten Sicherheitsmängel betreffen Anlagen des Radverkehrs (Alrutz et al. 2015).

Das Land kann dazu beitragen, regionale Radverbindungen zu stärken: Die Planung und der Bau von Radschnellwegen, die häufig Stadt und Umland miteinander verbinden und für die Nutzung von Elektrofahrrädern besonders attraktiv sind, hängt von der Kommunikation zwischen den Kommunen ab. Die Landesregierung Nordrhein-Westfalens hat beschlossen, dass in Zukunft für Bau und Instandhaltung von Radschnellwegen außerhalb von Städten mit mehr als 80.000 Einwohnerinnen und Einwohnern das Land zuständig sei und nicht nur die Städte und Gemeinden. Damit stehen sie als „Radschnellverbindungen des Landes“ auf einer Stufe mit Landesstraßen. (Ministerium für Bauen, Wohnen, Stadtentwicklung und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen 2016). Darüber hinaus gibt es auch auf Landesebene Ziele zum Radverkehr. Beispielsweise hat sich die Landesregierung von Baden-Württemberg das Ziel gesetzt, dass der Radverkehr bis zum Jahr 2020 einen Anteil von 20% am Modal Split haben soll.

Die Bundesebene sieht ihre Verantwortung für den Radverkehr bei der Infrastruktur auf die Radwege an Bundesstraßen und Bundeswasserstraßen beschränkt. Darüber hinaus nimmt der Bund eine koordinierende und unterstützende Rolle für den Radverkehr ein. Dazu zählt z.B. der Beschluss des „Nationalen Radverkehrsplans 2020“ im Jahr 2012. In diesem wird das Ziel festgelegt, dass der Anteil des Radverkehrs an den Wegen bis zum Jahr 2020 auf 15% steigen soll (BMVBS, 2012). Zum Vergleich, laut Mobilitätspanel wurden 2013 12,9% aller Wege mit dem Fahrrad zurückgelegt.

Von verschiedenen Akteuren wie dem VCD oder dem ADFC wird kritisiert, dass dieses Ziel nicht mit ausreichenden Maßnahmen und finanziellen Mitteln hinterlegt ist. So sind im Haushaltsplan für 2015 etwa 89 Mio. Euro für Radwege an Bundesstraßen vorgesehen, gut 1 Mio. Euro für Radwege an Bundeswasserstraßen, und die Mittel des nationalen Radverkehrsplans für nicht-investive Maßnahmen belaufen sich auf rund 3 Mio. Euro. Demgegenüber fordert der ADFC Mittel in Höhe von 400 Mio. Euro, darunter 350 Mio. Euro für Radwege an Bundesstraßen und 50 Mio. Euro für Modellprojekte wie z.B. Radschnellwege (ADFC, 2015b). Nach einem im Auftrag der Bundestagsfraktion Bündnis 90 / Die Grünen erstellten Rechtsgutachten gibt es begrenzte, aber durchaus vorhandene Spielräume des Bundes, bei der Förderung des Radverkehrs eine stärkere Rolle einzunehmen (Klinski, 2016). Möglichkeiten wären z.B.:

- Investitionsförderprogramme für Kommunen und Länder auflegen,
- Anreize zur Fahrradnutzung bei der Pendlerpauschale einführen.
- Eventuell Radwege, welchen eine weiträumige Verkehrsfunktion zukommt, als „Bundesfernradwege“ der Bundesauftragsverwaltung zuordnen.

Auf europäischer Ebene hat der Radverkehr in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen. Auf einem informellen Radverkehrsgipfel der EU-Verkehrsminister im Oktober 2015 verabschiedeten diese eine „Erklärung zum Rad als klimafreundliches Verkehrsmittel“. Diese fordert die EU-Kommission zur Entwicklung einer EU-weiten Radverkehrsstrategie auf sowie zur Etablierung einer europäischen Kontaktstelle für den Radverkehr (Ministère du Développement durable et des Infrastructures, 2015).

Wenn die Politik aus Sicht der BürgerInnen sich nicht ausreichend für den Radverkehr engagiert, werden auch Instrumente der direkten Demokratie genutzt. So wird in Berlin ein „Volksentscheid Radverkehr“ vorbereitet (Team Volksentscheid Fahrrad, 2016), in welchem unter anderem zwei Meter breite Radverkehrsanlagen an jeder Hauptstraße, 100 km zusätzliche Radschnellwege und 200.000 zusätzliche Abstellplätze an Haltestellen des ÖV gefordert werden. Seitens der Politik werden diese Ziele dafür kritisiert, dass dadurch andere Verkehrsarten benachteiligt würden. Dagegen argumentieren die Initiatoren des Volksentscheides, dass gerade durch zusätzliche Radverkehrsanlagen die Fußwege (durch weniger RadfahrerInnen auf Fußwegen) und Straßen (durch zusätzliche Umsteiger vom Pkw aufs Rad) entlastet würden.

Bremsende Akteure auf der politischen Ebene sind Interessensgruppen, die die bestehenden Systeme wahren wollen. Dies sind zum einen die Automobilindustrie und Verbände der Automobilindustrie, die kein Interesse daran haben, dass Infrastruktur, die bisher vorrangig für den MIV ausgelegt ist, im Sinne der „Flächengerechtigkeit“ neugeordnet wird und dass es zur Verlagerung vom MIV auf das Rad kommt. Darüber hinaus könnten größere Unternehmen, die mit den Pkw gut erreichbar bleiben wollen, die Entwicklung des Fahrradverkehrs über Einflussnahme der Politik hemmen.

#### 5.4. Was sind insgesamt die *wichtigsten* derzeitigen Wirkungen der System-Elemente im Hinblick auf eine Nachhaltigkeitstransformation?

Die folgende Tabelle stellt die wichtigsten derzeitigen Wirkungen der System-Elemente im Hinblick auf eine Nachhaltigkeitstransformation dar.

**Tabelle 5-1: Wirkung der System-Elemente auf die Nachhaltigkeitstransformation**

	<b>Wirkungen auf Verhalten &amp; Lebensstile</b>	<b>Wirkungen auf Technologien, Produkte und Dienstleistungen</b>	<b>Wirkungen auf materielle Infrastrukturen</b>
<b>Werte und Leitbilder</b>	Trend zu Flexibilität und Gesundheit führt zu mehr Radverkehr, weniger Pkw-Besitz (aber auch Gegen-Trends wie SUVs)		Wandel des Leitbilds von der „autogerechten Stadt“ zur „lebenswerten Stadt“ kann langfristig auf Infrastruktur wirken
<b>Materielle Infrastrukturen</b>	Sichere Radwege und Abstellmöglichkeiten sind zentrale Voraussetzung für (Elektro)Fahrrad-Nutzung – derzeit noch nicht gegeben	/	/
<b>Märkte und Finanzsysteme</b>	Zunehmender Massenmarkt begünstigt Kostensenkung und steigert die Attraktivität von Elektrofahrrädern	Mangelnde Standardisierung von Komponenten und Akkus führt zu Produktions-hemmnissen	
<b>Technologien, Produkte und Dienstleistungen</b>	Ausdifferenzierung der Produktpalette von Elektrofahrrädern erhöht Attraktivität in neuen Nutzergruppen; Weiterentwicklung der Akkus erhöht Nutzungspotenzial	/	
<b>Verhalten und Lebensstile</b>	/	Individualisierung von Elektrofahrrädern ist möglich; Fahrrad als „Lifestyle“-Attribut unterstützt Ausdifferenzierung der Produktpalette	Zunahme des Radverkehrs und Aktionen (z.B. Sternfahrt, Critical Mass) üben Druck auf die Politik aus zur Anpassung der Radverkehrs-Infrastruktur
<b>Soziale und zeitliche Strukturen</b>	Geschwindigkeit des (E-)Rads im Vergleich zum Pkw ist wichtig für das Verlagerungspotenzial	Der Digitalisierungstrend kann durch das Produkt Elektrofahrrad im Gegensatz zum konventionellen Rad optimal aufgegriffen werden	Demographischer Wandel und Inklusion stellen erhöhte Anforderungen an die Infrastruktur (Barrierefreiheit)
<b>Forschung, Bildung, Wissen</b>		Technischer Fortschritt; Produkttests (wie z.B. ExtraEnergy) erhöhen Vergleichbarkeit und geben Anreize zur Anpassung der Produkte an die Kundenwünsche	Forschung zu den (positiven) Effekten einer radverkehrs-freundlichen Infrastruktur z.B. auf Gesundheit, lokale Wirtschaft, etc. ist wesentlich für den Abbau von Widerständen
<b>Politikinstrumente und Institutionen</b>	Generell hohe kommunale Einflussmöglichkeiten auf den Radverkehr ; bisherige Regulierung (z.B. StVO) stark autozentriert	Standardisierung, Vorgaben für Akku - Recycling	Begrenzte finanzielle / personelle Ressourcen in der Verwaltung hemmen den Ausbau der Radverkehrs-Infrastruktur; Konkurrenz mit der Straße

Quelle: Eigene Darstellung

## 6. Überlegungen zur weiteren Gestaltung der Transformation

In diesem Kapitel werden erste Ideen für mögliche künftige transformationsfördernde Initiativen / Interventionen und Akteure beschrieben werden. Wie könnten für eine nachhaltige Transformation die wichtigsten o.g. Wirkbeziehungen beeinflusst werden und durch wen? Auf welchen positiven Trends kann man evtl. aufzusetzen?

Die Tragweite der Transformation, die durch die Anschaffung und Nutzung des Elektrofahrrads ausgelöst wurde, kann durch verschiedene Faktoren künftig unterstützt werden. Zum einen kann die Nachfrage nach Elektrofahrrädern selbst gefördert werden. Zum anderen ist eine integrierte Betrachtung der umweltfreundlichen Mobilität notwendig, um im Sinne einer nachhaltigen Transformation das Verkehrsverhalten umweltfreundlicher zu gestalten.

Als wesentliche Zukunftsaufgabe für die weitere Verbreitung von Elektrofahrrädern nennt (Budde & Neupert, 2015) die weltweite Harmonisierung der Standards. Unterschiedliche Akkus und verschiedene Ladevorrichtungen führen zu Nutzungshemmnissen und zusätzlichen Kosten; Mangelnde Standardisierung von Elektrofahrrad-Komponenten kann zu Produktionshemmnissen und Lieferschwierigkeiten führen. Diesen Entwicklungen/Aspekten kann mit weltweiten Standards entgegengewirkt werden.

Aufgrund der steigenden Nachfrage und des damit verbundenen zunehmenden Materialbedarfs an endlichen Rohstoffen wie Lithium und Neodym werden das Recycling und die Wiederverwendung der Akkus eine wichtige Zukunftsaufgabe, um die Nachhaltigkeit des Produkts Elektrofahrrad sicher zu stellen.

Neben der rein technologischen Produktverbesserung könnten auch die Anbieter von Elektrofahrrädern deren Akzeptanz und Verbreitung beeinflussen. Wenn etablierte Akteure wie die Automobilindustrie stärker in die Produktion von Elektrofahrrädern einsteigen, könnten sie möglicherweise die Nachfrage erhöhen, da sie das Image einer hohen Produktqualität auszeichnet und sie zudem eine Sicherheit bieten, dass Wartung und Ersatzteile langfristig verfügbar sind. Im Gegensatz zu kleineren Herstellern besteht nicht die Gefahr, dass sie schnell wieder vom Markt verschwinden (Jamerson & Benjamin, 2015). Im negativen Fall könnte jedoch eine solche stärkere Konzentration der Marktmacht auch negative Folgen für die Kunden haben. Weitere fördernde Faktoren der Transformation sind politische Instrumente, welche auch auf den oben angesprochenen Aspekt der integrierten Gestaltung der Mobilitätsoptionen eingehen können. Diese können auf unterschiedlichen politischen Ebenen (EU, Bund, Land und Kommunen) ansetzen.

Die EU kann vor allem über Zielvorgaben, beispielsweise die des Weißbuchs von 2011 (EK, 2011) zu emissionsarmen und -freien Städten, oder über Vorgaben zur Reduktion von Lärm und Luftschadstoffen, die Nutzung von Elektrofahrrädern beeinflussen. Sie kann zudem mit Förderprogrammen für den Wissensaustausch zwischen den Mitgliedsländern sorgen sowie über Forschungsprogramme zum Wissensaufbau beitragen. Im Rahmen von Horizon 2020 soll die Forschung zu „electric 2-wheelers“ mit 5-8 Mio. Euro gefördert werden.

Auf Bundesebene können Elektrofahrräder gestärkt werden, indem diesen ein höheres politisches Gewicht auch im Vergleich zu batterie- und hybridelektrischen Pkw zukommt. Dafür wäre es denkbar, eine Institution oder Plattform ähnlich der auf die Förderung der Auto-Elektromobilität ausgerichteten NPE (Nationale Plattform für Elektromobilität) für Elektrofahrräder zu schaffen und Förderprogramme stärker auf Elektrofahrräder auszurichten. Darüber hinaus sollten im Rahmen der StVO klare Regelungen für die Nutzung von S-Pedelecs ohne Tretunterstützung auf

Radwegen getroffen werden. Der Zweirad-Industrie-Verband schlägt vor, dass für S-Pedelecs bis zu 45 km/h Radwege außerhalb geschlossener Ortschaften mit einem Zusatzschild nutzbar sein sollten, da gerade diese eine Alternative zum Pkw darstellen und attraktiv für PendlerInnen sind. (ZIV, 2016a). Auch bei den Empfehlungen für Radverkehrsanlagen sollte der Bund überprüfen, ob diese für einen wachsenden Elektrofahrradverkehr geeignet sind.

Darüber hinaus könnten über Kampagnen oder Informationsveranstaltungen die Regelungen zum Dienstfahrrad bekannter gemacht werden, da diese Option der vergleichsweise günstigen Nutzung von Elektrofahrrädern bisher noch wenig bekannt ist.

Bei der Finanzierung der Infrastruktur könnte der Bund die Länder und Kommunen stärker unterstützen (z.B. über das Entflechtungsgesetz/Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz (GVFG)).

Die Länder können die Gelder, die sie über das Entflechtungsgesetz erhalten, gezielter und verstärkt für den Ausbau und die Instandhaltung von Radverkehrsinfrastruktur nutzen. Denn gerade gute ausgebaute Radwege und Radschnellwege erleichtern die Nutzung von Elektrofahrrädern.

Die Länder sollten Zuwendungen für kommunale Radverkehrsanlagen dabei an die Einhaltung der ERA-Standards und an den Nachweis der Einsatzgrenzen für die gemeinsame Führung des Rad- und Fußgängerverkehrs koppeln (Alrutz et al., 2015). Von einer Verbesserung der Radverkehrsinfrastruktur profitieren nicht nur Elektrofahrräder, sondern auch konventionelle Fahrräder. Zusätzlich kann das Land durch beispielsweise Arbeitsgruppen die Kommunikation zwischen Kommunen zum Ausbau von Radschnellwege unterstützen und auch bei der Planung von Radwegen und Förderung von Projekten zu Elektrofahrrädern unterstützen.

Die Kommune hat vor Ort am meisten Gestaltungsspielraum und die Möglichkeit, die Nutzbarkeit und Sichtbarkeit von Elektrofahrrädern in Kombination mit anderen umweltfreundlichen Verkehrsmitteln unter Berücksichtigung der Mobilitätsbedürfnisse zu erhöhen. Daneben können übergeordnete Zielsetzungen der Kommunen wie eine Reduktion von Luftschadstoffen, Lärm und Flächenverbrauch und die Erhöhung der Lebensqualität Maßnahmen zur Förderung umweltfreundlicher Verkehrsmittel unterstützen.

Maßnahmen der Kommunen können folgende sein:

- die Einführung von Mobilitätskonzepten anstatt von Stellplatzschlüsseln u. a. zur Bereitstellung von Abstellmöglichkeiten für Fahrräder anstatt für Pkw (Haller et al., 2013),
- Programme zum Testen von Elektrofahrrädern wie z.B. in München,
- Schaffung von Mobilitätsstationen mit Elektrofahrrädern als Bestandteil und der direkten Verbindung zum ÖV und anderen Mobilitätsangeboten,
- Einführung von Fahrradverleihsystemen mit Elektrofahrrädern wie z.B. in Aachen (Velocity),
- Aufnahme von Elektrofahrrädern in den kommunalen Fuhrpark,
- Mitnahmemöglichkeit von Elektrofahrrädern im ÖV.

Für die Nutzung von Elektrofahrrädern im ländlichen Raum spielen Bike and Ride Möglichkeiten eine wichtige Rolle.

Darüber hinaus können Kaufprämien für Elektrofahrräder deren Nutzung erhöhen. Dies geschieht z.B. in München, wo im Rahmen einer Förderrichtlinie neben Elektrofahrzeugen für gewerbliche und gemeinnützige Anwendungen auch Pedelecs gefördert werden (Stadt München, 2015).

## 7. (Zwischen-) Fazit

Der Transformationsprozess durch Elektrofahrräder steht nicht mehr ganz am Anfang, ist aber auch längst noch nicht abgeschlossen. Mit einem Anteil von über 12% (2014) am Fahrradmarkt und einem Anteil an der Radverkehrsleistung von schätzungsweise 9 bis 16 % sind sowohl auf Seiten der Fahrradproduktion als auch beim Mobilitätsverhalten bereits spürbare Veränderungen zu verzeichnen.

Bei den *Werten und Leitbildern* zu Mobilität ist ein langsamer Wandel erkennbar, welcher sich begünstigend auf die Nutzung des Elektrofahrrads auswirken könnte. Um einen breiteren Nutzerkreis anzusprechen, sollte jedoch die teilweise immer noch vorherrschende Konnotation des Elektrofahrrads als „Fahrrad für alte Leute“ überwunden werden.

Bei dem *Produkt* Elektrofahrrad gab es in den letzten Jahren bereits deutliche Fortschritte hinsichtlich Lebensdauer und Umfang der Produktpalette. Es besteht jedoch noch Weiterentwicklungspotenzial. Neben der Verbesserung der für den Nutzer relevanten Produkteigenschaften (Gewicht, Reichweite) könnte eine mögliche „nächste Stufe“ des Elektrofahrrads der seriell hybride Antrieb sein, welcher Komplexität reduzieren und einen Zusatznutzen mit sich bringen könnte.

Auf Seiten der *Märkte* mangelt es vor allem an einer Standardisierung, um die Verfügbarkeit und Austauschbarkeit von Elektrofahrrad-Komponenten zu verbessern.

Noch kaum fortgeschritten ist der Transformationsprozess bei den *materiellen Infrastrukturen*. Wenngleich es einzelne Pilotprojekte wie z.B. Radschnellwege gibt, ist der Großteil der Radverkehrsinfrastruktur nicht in ausreichendem Maße an die Erfordernisse eines wachsenden (Elektro-)Fahrradverkehrs angepasst.

Bei den *Politikinstrumenten und Institutionen* besteht ebenfalls noch Handlungsbedarf. Mehrere Kommunen haben das Potenzial des Elektrofahrrads für die Reduktion von Lärm, Schadstoffen und Flächenverbrauch erkannt und loten entsprechende Fördermöglichkeiten aus. Eine übergreifende koordinierende politische Institution zur Förderung des Elektrofahrradverkehrs (entsprechend beispielsweise zur NPE) existiert bisher nicht, obwohl Elektrofahrräder deutlich höhere Absatzzahlen aufweisen als E-Pkw. Das Dienstwagenprivileg kann für Elektrofahrräder genutzt werden, ist aber noch nicht hinlänglich bekannt, obgleich Pendlerverkehre ein hohes Potenzial für die Einsparung von Treibhausgasemissionen aufweisen. Auch bei der politischen Regulierung von schnellen Pedelecs (S-Pedelecs) und E-Bikes besteht Nachholbedarf, denn diese schnelleren Elektrofahrräder könnten das Verlagerungspotenzial erhöhen, wenn die Rahmenbedingungen für ihre Nutzung attraktiver gestaltet werden.

Die Zahl der *Forschungsprojekte* ist in den letzten Jahren angestiegen, was die Wissensbasis zum Elektrofahrrad vergrößert hat. Es besteht jedoch weiterer Forschungsbedarf. Bisher gibt es keine deutschlandweiten repräsentativen Daten zum Mobilitätsverhalten von ElektrofahrradnutzerInnen. Weiterhin ist zur Vermeidung von Sicherheitsrisiken der Wissensaufbau in der Bevölkerung ein wichtiges Handlungsfeld.

Insgesamt kann der Transformationsprozess durch Elektrofahrräder zu mehr ökologischer und sozialer Nachhaltigkeit führen. Trotz begrenzter politischer Förderung hat das Produkt Elektrofahrrad innerhalb weniger Jahre einen beträchtlichen Markt erobert. Mit einer geeigneten Unterstützung könnte diese Entwicklung verstetigt werden. Optimalerweise sollte dies als Teil einer Gesamtstrategie für eine nachhaltige Gestaltung von Mobilität und Verkehr geschehen.

Zusammenfassend scheinen für die weitere Gestaltung der Transformation vor allem zwei Themen von besonderer Relevanz. Zum einen sind dies das Image von Elektrofahrrädern und die Erweiterung des Nutzerkreises, zum anderen das Thema Infrastruktur. Beide Themen sollen im Verlauf des Projektes anhand von folgenden Praxisbeispielen und Initiativen untersucht bzw. begleitet werden:

- Praxisinitiative „Elektrofahrräder für Neubürger in München“, mit Begleitung und Befragung;
- Best-Practice-Beispiel „Elektrofahrräder in der Tourismusregion Dahme-Spreewald“
- ExpertInnenengespräche mit Kommunen (u.a. München, ggf. Stuttgart, Berlin) sowie ggf. ergänzende Gespräche mit ExpertInnen / WissenschaftlerInnen, insbesondere mit Fokus auf das Thema Infrastruktur und kommunale Rahmenbedingungen.

- Agentur für clevere Städte (Hrsg.) (2015a). Wem gehört die Stadt? Der Flächen-Gerechtigkeits-Report. Mobilität und Flächengerechtigkeit. Eine Vermessung Berliner Straßen, Berlin.
- Ahrens, G.-A.; Becker, U.; Böhmer, T.; Richter, F. & Wittwer, R. (2013). Potenziale des Radverkehrs für den Klimaschutz (Umweltbundesamt (UBA), Hrsg.) (Texte 19/2013). Dessau: Technische Universität Dresden (TU Dresden).
- Allgemeiner deutscher Fahrrad-Club (ADFC) (2015a). ADFC-Fahrradklimatest 2014. Ergebnistabelle Länder, ADFC.
- Allgemeiner deutscher Fahrrad-Club (ADFC) (2015b). "Brauchen wir einen König?". Nationaler Radverkehrskongress: ADFC fordert mehr Engagement des Bundes.
- Alrutz, D.; Bohle, W.; Hacke, U.; Lohmann, G. & Friedrich, N. (2015). Potenzielle Einflüsse von Pedelecs auf die Verkehrssicherheit. Schlussbericht der Forschungsarbeit Nr. FE 82.0533 der Bundesanstalt für Straßenwesen. Hannover, Darmstadt: Planungsgemeinschaft Verkehr (PGV); Institut Wohnen und Umwelt (IWU).
- Amrhein, S.; Schneider, M. & Kaloudis, M. (2016). Ein zweites Leben für den Akku. Standards für Lithium-Ionen-Batterien in Elektrofahrrädern sind aus Gründen des Umweltschutzes unausweichlich. ReSource (1).
- Bayerisches Staatsministerium des Innern, für Bau und Verkehr (BStMi) (2016). Ergebnisse der Internetumfrage zum Radverkehr, BStMi. Verfügbar unter <http://www.stmi.bayern.de/med/aktuell/archiv/2016/160203radumfrage/>.
- Blum, W. (1999, 28. Oktober). Schweissfrei in die Pedale. Japanische Manager haben das Powerbike entdeckt. Nun sollen Elektromotoren auch deutsche Radfahrer zu bequemen Höchstleistungen antreiben. ZEIT. Verfügbar unter [http://pdf.zeit.de/1999/44/Schweissfrei\\_in\\_die\\_Pedale.pdf](http://pdf.zeit.de/1999/44/Schweissfrei_in_die_Pedale.pdf), zuletzt abgerufen am 02.03.2016.
- Bracher, T. (2013). Radverkehr fördern: Pflichtaufgabe für Bund, Länder und Gemeinden, Difu. Difu-Berichte: 2/2013.
- Buchert, M.; Schüler, D.; Prakash, S.; Möller, M.; Köhler, A. & Degreif, S. (2015). Substitution als Strategie zur Minderung der Kritikalität von Rohstoffen für Umwelttechnologien – Potentialermittlung für Second-Best-Lösungen. 2. Zwischenbericht. (nicht veröffentlicht) (Umweltbundesamt (UBA), Hrsg.). Öko-Institut.
- Budde, A.; Dagers, T.; Neupert, H.; Fuchs, A.; Lewis, T.; Manthey, N.; Neumann, H.; Roetynck, A.; Törpsch, A. & Vogt, W. (2012). Go Pedelec Handbuch (Go Pedelec Projektkonsortium, Hrsg.), Wien, zuletzt abgerufen am 2.
- Budde, A.; Herb, F. & Neupert, H. (2015). 26 bikes tested! ExtraEnergy Pedelec & E-Bike Magazin (März).
- Budde, A. & Neupert, H. (2015). 15 Pedelecs on test! + 4 prototypes. ExtraEnergy Pedelec & E-Bike Magazin (August 2015).
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) (2014). Radverkehr in Deutschland. Zahlen, Daten, Fakten (Deutsches Institut für Urbanistik (Difu), Hrsg.), zuletzt abgerufen am 31.03.2016.
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) (2012). Nationaler Radverkehrsplan 2020. Den Radverkehr gemeinsam weiterentwickeln, Berlin, zuletzt abgerufen am 30.03.2016.
- Cluzel, C. & Douglas, C. (2012). Cost and performance of EV batteries. Final report (Element Energy Limited, Hrsg.), zuletzt abgerufen am 02.03.2016.
- Confederation of the European Bicycle Industry (CONEBI) (Hrsg.) (2015). European Bicycle Market. 2015 edition. Industry & Market Profile

- , zuletzt abgerufen am 21.01.2016.
- Czowalla, L. (2016). EBikePendeln: Nutzungs- und Akzeptanzkriterien von Elektrofahrrädern im beruflichen Pendelverkehr. Abschlussbericht der wissenschaftlichen Begleitforschung (Institut für Transportation Design (ITD), Hrsg.), Braunschweig.
- Deffner, J. & Hefter, T. (2015). Sustainable mobility cultures and the role of cycling planning professionals. (ISOE Policy Brief 3/2015). Institute for Social-Ecological Research (ISOE). Verfügbar unter <http://www.isoe.de/fileadmin/redaktion/Downloads/Mobilitaet/policy-brief-isoe-2015-3.pdf>.
- Deffner, J.; Hefter, T. & Götz, K. (2014). Multioptionalität auf dem Vormarsch? Veränderte Mobilitätswünsche und technische Innovationen als neue Potenziale für einen multimodalen Öffentlichen Verkehr. In O. Schwedes (Hrsg.), *Öffentliche Mobilität* (2. Aufl., S. 201–227). Springer Verlag.
- (2016, Februar). Der Entwurf des Berliner Radverkehrsgesetzes (BerRG). Wichtige Punkte des BerRG und eine Stellungnahme zu den Vorwürfen aus der Politik, Berlin.
- electricbike (2013). <https://www.electricbike.com/e-bike-patents-from-the-1800s/>. Verfügbar unter <https://www.electricbike.com/e-bike-patents-from-the-1800s/>.
- (2015). Erklärung zum Rad als klimafreundliches Verkehrsmittel. Luxembourg.
- Europäische Kommission (EK) (2011). Weissbuch - Fahrplan zu einem einheitlichen europäischen Verkehrsraum - Hin zu einem wettbewerbsorientierten und ressourcenschonenden Verkehrssystem. KOM(2011) 144 endgültig, Brüssel.
- Fischer, C.; Blanck, R.; Brohmann, B. & Cludius, J. (2016). Konzept zur absoluten Verminderung des Energiebedarfs: Potenziale, Rahmenbedingungen und Instrumente zur Erreichung der Energieverbrauchsziele des Energiekonzepts. Forschungskennzahl 03KSE057 (Umweltbundesamt (UBA), Hrsg.). Öko-Institut.
- Follmer, R.; Gruschwitz, D.; Jesske, B.; Quandt, S.; Lenz, B.; Nobis, C.; Köhler, K. & Mehlin, M. (2010). Mobilität in Deutschland 2008. Datensätze der MiD 2008. Berlin, Bonn: Institut für angewandte Sozialwissenschaft (Infas); Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR).
- Götz, K. (2006). <http://fahrradzukunft.de>. Verfügbar unter <http://fahrradzukunft.de>.
- Grünheid, E. & Fiedler, C. (2013). Bevölkerungsentwicklung. Daten, Fakten, Trends zum demografischen Wandel, BIB.
- Haller, W.; Gerstenberger, T. & Bytzeck, C. (2013). Mobilitätskonzept für Mitte Altona – Freie und Hansestadt Hamburg. Bericht zum Projekt Nr. 1290 (Freie und Hansestadt Hamburg, Hrsg.). SHP Ingenieure.
- Haußmann, M. (2015). Sound für Elektro- und Hybridfahrzeuge (Acoustic Vehicle Alerting Systems (AVAS)), Hochschule der Medien Stuttgart. Stuttgart.
- Jamerson, F. & Benjamin, E. (2015). Electric Bikes Worldwide Report (Electric Battery Bicycle Company, Hrsg.), Naples, Harbor Springs.
- Jin, S.; Qu, X.; Zhou, D.; Xu, C.; Ma, D. & Wang, D. (2015). Estimating cycleway capacity and bicycle equivalent unit for electric bicycles. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* (77), S. 225–248.
- kairos (2010). Landrad. Neue Mobilität für den Alltagsverkehr in Vorarlberg. Endbericht, Bregenz.
- Klinski, S. (2016). Zuständigkeiten des Bundes bei der Förderung des Radverkehrs und der Radverkehrsinfrastruktur. Rechtsgutachten. Erstellt im Auftrag der Bundestagsfraktion Bündnis 90/Die Grünen, zuletzt abgerufen am 07.06.2016.

- Kuratorium für Verkehrssicherheit (KFV); ElectroDrive Salzburg (2011). Auswertung der Befragung von E-Bike-Nutzern in Salzburg.
- Lienhop, M. (2015). Pedelection - Verlagerungs- und Klimaeffekte durch Pedelec-Nutzung im Individualverkehr. Endbericht.
- MacArthur, J.; Dill, J. & Person, M. (2014). E-Bikes in North America. Results from an online survey. Portland State University.
- Mottschall, M. & Bergmann, T. (2013). Treibhausgas-Emissionen durch Infrastruktur und Fahrzeuge des Straßen-, Schienen- und Luftverkehrs sowie der Binnenschifffahrt in Deutschland. Arbeitspaket 4 des Projekts "Weiterentwicklung des Analyseinstruments Renewability" (Umweltbundesamt (UBA), Hrsg.) (Texte 96/ 2013). Berlin: Öko-Institut.
- Neuberger, S. (8.3.16). Zahlen - Daten - Fakten zum Fahrradmarkt in Deutschland 2015. ZIV Wirtschaftspressekonferenz, Berlin.
- Neupert, H. (2012). 20 Jahre ExtraEnergy - Eine Rückschau von Hannes Neupert. Verfügbar unter <http://extraenergy.org/main.php?language=de&category=extraenergy&subcateg=22&id=24987>, zuletzt abgerufen am 04.04.2016.
- New York City Department of Transportation (Hrsg.) (2013). The Economic Benefits of Sustainable Streets.
- Nowack, F. & Sternkopf, B. (2015). Lobbyismus in der Verkehrspolitik. Auswirkungen der Interessenvertretung auf nationaler und europäischer Ebene vor dem Hintergrund einer nachhaltigen Verkehrsentwicklung (IVP Discussion Paper 2/2015), Berlin.
- Preißner, C. L.; Kemming, H. & Wittowsky, D. (2013). Einstellungsorientierte Akzeptanzanalyse zur Elektromobilität im Fahrradverkehr (Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung (ILS), Hrsg.) (ILS-Forschung 01/2013), Dortmund.
- (New York City Department of Transportation, Hrsg.) (2014). Protected Bicycle Lanes in NYC. Presentation. Verfügbar unter <http://www.nyc.gov/html/dot/downloads/pdf/2014-11-bicycle-path-data-analysis.pdf>, zuletzt abgerufen am 31.03.2016.
- Pucher, J.; Dill, J. & Handy, S. (2010). Infrastructure, programs, and policies to increase bicycling: An international review. Preventive Medicine 50, S. 5106–5125.
- RAL gGmbH (2015): Vergabegrundlagen für Umweltzeichen: Elektrofahrräder (2015).
- Rammler, S. & Zimmer, R. (2011). Leitbilder und Zukunftskonzepte der Elektromobilität. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), zuletzt abgerufen am 17.10.2015.
- Randelhoff, M. (2012). Umweltzonen in Deutschland - Eine Einführung. Verfügbar unter <http://www.zukunft-mobilitaet.net/11735/analyse/umweltzonen-sinn-grundlage-deutschland-pm10/>.
- Regionalverband Frankfurt Rhein Main (Hrsg.) (2011). bike + business 2.0. Pedelecs als Bestandteil des betrieblichen Mobilitätsmanagements.
- Ruan, Y.; Hang, C. C. & Wang, Y. M. (2014). Government's role in disruptive innovation and industry emergence: The case of the electric bike in China. Technovation 34, S. 785–796.
- Rudolph, F. (2014). Klimafreundliche Mobilität durch Förderung von Pedelecs. Lokale Langfristszenarien über die Wirkung von Instrumenten und Maßnahmen am Beispiel der Stadt Wuppertal. Dissertation, Bergische Universität Wuppertal. Wuppertal. Verfügbar unter [urn:nbn:de:hbz:468-20140804-145435-0](http://nbn:de:hbz:468-20140804-145435-0), zuletzt abgerufen am 31.05.2016.
- Runge, D. (2005). Mobilitätsarmut in Deutschland? (Fachgebiet Integrierte Verkehrsplanung TU Berlin, Hrsg.) (IVP Schriften).

- Schleinitz, K.; Franke-Bartholdt, L.; Petzoldt, T.; Schwanitz, S.; Gehlert, T. & Kühn, M. (2014). Pedelec-Naturalistic Cycling Study. Technische Universität Chemnitz (TU Chemnitz); Unfallforschung der Versicherer (UDV).
- Stadt München (2015). Förderrichtlinie Elektromobilität. im Rahmen des Integriertes Handlungsprogramms zur Förderung der Elektromobilität in München. IHFEM 2015.
- Statistisches Bundesamt (Destatis) (2015). 1,2 Millionen Haushalte in Deutschland mit Elektrofahrrad. Wiesbaden.
- Vonach, M. W. (2011). Zum Einfluss des Habitus auf den Modal Split. Die Wahrnehmung von Potenzial und Grenzen von Verkehrsmitteln bei Pedelecbesitzern im Projekt Landrad. Masterarbeit, Universität Wien. Wien.
- Wachotsch, U.; Kolodziej, A.; Specht, B.; Kohlmeyer, R. & Petrikowski, F. (2014). E-Rad macht mobil. Potenziale von Pedelecs und deren Umweltwirkung (Umweltbundesamt (UBA), Hrsg.) (Hintergrund August 2014), Dessau-Roßlau.
- Walter, J.; Falkenberg, L. & Peters, M. (2015). "Ein Tag in deiner Stadt der Zukunft". Ergebnisse aus der Difu-Umfrage im Rahmen der Ausstellung „Zukunftsstadt“ im Wissenschaftsjahr 2015 (Deutsches Institut für Urbanistik (Difu), Hrsg.), Köln.
- Weiss, M.; Dekker, P.; Moro, A.; Scholz, H. & Patel, M. K. (2015). On the electrification of road transportation – A review of the environmental, economic, and social performance of electric two-wheelers. Transportation Research Part D: Transport and Environment 41, S. 348–366.
- Wrighton, S. (2015). Cyclelogistics Final Public Report (Forschungsgesellschaft Mobilität (FGM), Hrsg.).
- (Agentur für clevere Städte, Hrsg.) (2015b). Zeitungen analysiert: Zu viel Autos, zu wenig Bus und Bahn, Fuß und Rad.
- Zweirad-Industrie-Verband (ZIV) (2016a). StVO-Novelle, ZIV. Verfügbar unter <http://www.ziv-zweirad.de/de/news/detail/article/stvo-novelle/>.
- Zweirad-Industrie-Verband (ZIV) (2016b). Pressemitteilung: Zahlen-Daten-Fakten zum Deutschen E-Bike-Markt 2015. Bad Soden.