

Working Paper Sustainability and Innovation  
No. S 06/2016



Katharina Eckartz  
Simon Glöser-Chahoud  
Katrin Ostertag

Magnetrecycling bei Pedelecs:

Rahmenbedingungen und Akteure – Status  
Quo und Perspektiven

Die vorliegende Untersuchung entstand im Rahmen des Fraunhofer Leitprojekts „Kritikalität Seltener Erden“. Die Ergebnisse basieren auf Untersuchungen am Fraunhofer ISI im Rahmen von Arbeitspaket 10. Wir bedanken uns bei den Firmen, Verbänden sowie Institutionen, die uns für die Untersuchung als Ansprechpartner für Interviews zur Verfügung standen. Dies waren in alphabetischer Reihenfolge: Allgemeiner Deutscher Fahrrad-Club e. V. (ADFC), Coolrec (Niederlande), E-Bike-Verleih Bogen, ELPRO Umweltservice GmbH, Stevens Bikes, Verkehrsclub Deutschland (VCD), Verbund Service und Fahrrad (VSF), Zweirad-Industrie-Verband (ZIV), Wertstoffhof Karlsruhe. Darüber hinaus haben uns der Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung e. V. (BVSE) und Movelo mit kurzen Auskünften unterstützt.

## **Abstract**

Dieses Arbeitspapier untersucht die Möglichkeiten der Etablierung eines Recyclingsystems für NdFeB-Magnete aus Elektromotoren am Beispiel von Pedelecs. Die Ergebnisse basieren neben Literaturrecherchen auf Interviews mit Akteuren, die in den Pedelec Life-Cycle direkt oder indirekt involviert sind. In diesem Papier werden zunächst sowohl die Marktentwicklung wie auch die rechtlichen Rahmenbedingungen eingeführt. In diesem Zusammenhang werden auch Einflussfaktoren auf die Lebensdauer von Pedelecs diskutiert. Anschließend werden zunächst die im Pedelec Life-Cycle involvierten Akteure sowie ihre Beziehungen dargestellt. Anschließend wird der aktuelle Status-Quo der Kreislaufführung zusammengefasst und erwartete Entwicklungen diskutiert. Es stellt sich heraus, dass die Akteure aktuell relativ unvorbereitet bzgl. des Recyclings von Pedelecs bzw. der entsprechenden Motoren sind. Weiter stellen Fragen der korrekten Akku-Entsorgung oder -Revitalisierung aktuell noch ein dringenderes Problem im Vergleich zur Pedelec-Entsorgung dar. Es ist aber zu erwarten, dass Fragen zur Rücknahme mit steigender Anzahl von Alt-Pedelecs erhöht auftreten werden. Bzgl. der Rücknahme-Verpflichtung wurde festgestellt, dass nur ein sehr kleiner Anteil der Fahrradhändler tatsächlich einer Rücknahme-Verpflichtung unterliegt. Dies begründet sich in der Branchenstruktur des Fahrradhandels, die weiterhin durch verhältnismäßig kleine Händler geprägt ist.

Schlagwörter: NdFeB-Magnete, Pedelec Recycling, Recycling von Elektromotoren, Akteursanalyse, Seltene Erden

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Hintergrund und Zielsetzung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Rahmenbedingungen für die Kreislaufführung von Pedelecs .....</b>	<b>2</b>
2.1	Marktentwicklung und Nutzergruppen .....	2
2.2	Rechtliche Rahmenbedingungen für das Recycling von Pedelecs .....	5
2.3	Einflussfaktoren auf die Lebensdauer von Pedelecs .....	6
<b>3</b>	<b>Akteursanalyse.....</b>	<b>7</b>
3.1	Akteure im Pedelec Life-Cycle .....	8
3.2	Status-Quo der Kreislaufführung von Pedelecs und erwartete Entwicklung .....	10
<b>4</b>	<b>Fazit und Ausblick .....</b>	<b>13</b>
<b>5</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>15</b>

## 1 Hintergrund und Zielsetzung

Neodym-Eisen-Bor-Magnete (NdFeB) sind die derzeit stärksten Permanentmagnete und essenziell für die Herstellung kompakter, effizienter Synchron-Elektromotoren, die insbesondere in mobilen Anwendungen wie Hybrid- und batterieelektrischen Fahrzeugen sowie E-Bikes einen entscheidenden Bestandteil bilden. Wegen der nach wie vor unsicheren Versorgungslage mit den Seltenmetallen Neodym und Dysprosium (s. Buchholz et al. 2014), die als Rohstoffe für die Magnetherstellung dienen, beschäftigt sich das Leitprojekt „Kritikalität seltener Erden“ der Fraunhofer-Gesellschaft<sup>1</sup> institutsübergreifend mit Aspekten der Optimierung bestehender Magnetwerkstoffe, der Rohstoffsubstitution durch Entwicklung neuer Magnetwerkstoffe sowie des Recyclings von NdFeB-Magneten. Neben der Entwicklung technischer Ansätze zum Recycling von NdFeB-Magneten liegt ein weiterer entscheidender Aspekt für die Umsetzbarkeit und Wirtschaftlichkeit von Recyclingverfahren in den Materialmengen und -qualitäten, die für das Recycling zur Verfügung stehen. Um Erkenntnisse darüber zu gewinnen, müssen Rücknahme- und Behandlungswege von Altprodukten und Schrotten näher betrachtet werden.

Das nachfolgend beschriebene Projekt untersucht die Möglichkeiten der Etablierung eines Recyclingsystems für NdFeB-Magnete aus Elektromotoren am Beispiel von Pedelecs. Zwar werden in anderen Bereichen, insbesondere in der Automobilbranche (elektrische Kleinmotoren in konventionellen Pkw und Traktionsmotoren in Elektroautos), in Elektronikprodukten oder in Windgeneratoren ebenfalls große Mengen an NdFeB-Magneten verwendet. In den Vorarbeiten des Fraunhofer IWKS und des Fraunhofer ISI im Rahmen des gleichen Projektes wurde aber festgestellt, dass aufgrund der hohen Exportquote gebrauchter Autos der in Deutschland verbleibende Abfallstrom aus diesem Segment gering ist. Auch bei den anderen Produktgruppen gibt es verschiedene Gründe (u. a. lange Nutzungsdauern (z. B. in der Windkraft), kaskadische Nutzung, geringe Magnetgrößen), die die Etablierung geeigneter Recyclingrouten in naher Zukunft erschweren (vgl. Glöser-Chahoud et al. 2016). Die Analyse möglicher Recyclingwege von NdFeB-Magneten aus den Elektromotoren von Pedelecs bildet eine beispielhafte, klar abgrenzbare Nische, welche im Laufe

---

<sup>1</sup> <http://www.seltene-erden.fraunhofer.de/>.

der Entwicklung um andere sekundäre Rohstoffquellen ergänzt werden kann. Interessant ist in diesem Zusammenhang die bauliche Ähnlichkeit zu Lenkungsmotoren aus Autos. Der Hersteller Brose, beispielsweise, hat sein Antriebssystem für E-Bikes auf der Basis seines bereits etablierten Lenkungsmotors entwickelt (Brose Antriebstechnik 2014). Das Ziel im Rahmen des Aufbaus eines Recyclingsystems ist, eine möglichst hohe und sortenreine Sammlung der Magnete aus Altgeräten zu erreichen und damit eine gute Basis dafür zu schaffen, dass das Sekundärmaterial entweder zur Produktion von neuen Motoren oder alternativ die recycelte Magnetmasse zur Herstellung von neuen Magneten verwendet werden kann. Durch die Ähnlichkeit zu Lenkungsmotoren ist somit auch denkbar, dass sich durch die Etablierung eines Recycling-Systems für Elektromotoren aus Pedelecs positive Spill-Over-Effekte auf das Recycling von Lenkungsmotoren generieren lassen.

Im Rahmen dieses Projektes wurden zunächst die Entwicklung des Pedelec-Marktes und die rechtlichen Rahmenbedingungen für die Kreislaufführung von Pedelecs untersucht (vgl. Abschnitt 2). Darauf aufbauend wurden die in der Kreislaufführung involvierten Akteure identifiziert und ihre Rollen beleuchtet, um den Status-Quo der Kreislaufführung sowie mögliche Entwicklungspfade zu untersuchen (vgl. Abschnitt 3). Methodisch basiert die Untersuchung auf Literaturrecherchen und telefonischen Interviews mit betroffenen Akteursgruppen.

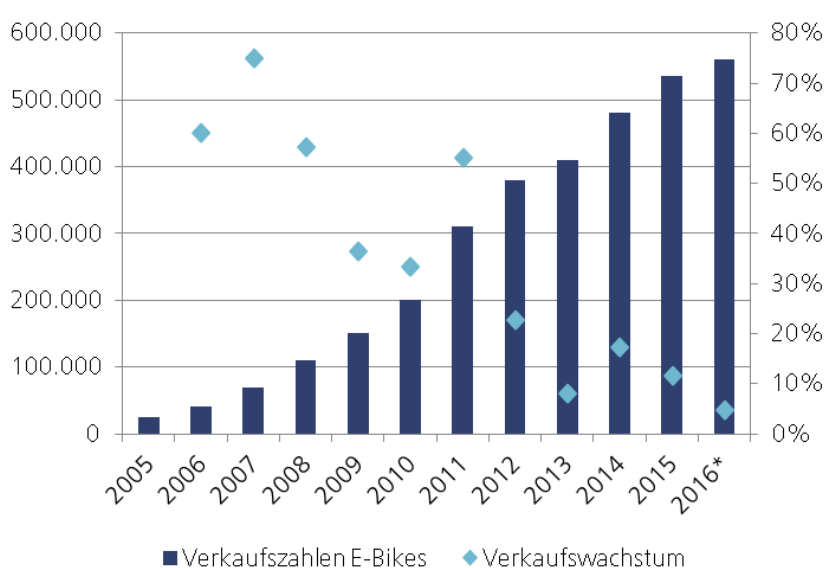
## **2 Rahmenbedingungen für die Kreislaufführung von Pedelecs**

### **2.1 Marktentwicklung und Nutzergruppen**

Im Bereich der Elektroräder gibt es rechtlich gesehen verschiedene Typen, für die unterschiedliche Rahmenbedingungen gelten, wobei im Alltag von allen Akteuren häufig der Begriff „E-Bike“ für alle Typen verwendet wird. Im Bereich der Räder mit Tretunterstützung (und z. T. Anfahrtsilfe) lässt sich grundsätzlich zwischen zwei Arten unterscheiden: dem Pedelec (Pedal Electric Cycle) und dem schnellen Pedelec (Pedelec 45 oder S-Pedelec genannt). Diese Unterscheidung ist gesetzlich relevant, da hieraus unterschiedliche Rechte und

Pflichten u. a. nach dem Straßenverkehrsgesetz<sup>2</sup> und im Rahmen der Abfallgesetzgebung einhergehen. Darüber hinaus gibt es E-Scooter, die ohne treten fahren. Diese sind vor allem im asiatischen Raum verbreitet; in Deutschland ist der Marktanteil dieser Geräte sehr gering. Von den in Deutschland verkauften E-Bikes ist der Großteil Pedelecs. Der ZIV schätzt, dass diese mehr als 95 % aller Käufe darstellen (ZIV 08.03.2016). Diese Untersuchung konzentriert sich deshalb auf Pedelecs.

Abbildung 1: Verkaufszahlen von Pedelecs in Deutschland



Quelle: ZIV, \*2016: Schätzung des ZIV, eigene Darstellung

Die Anzahl in Deutschland verkaufter Pedelecs steigt weiterhin kontinuierlich an, die Wachstumsraten waren in den letzten Jahren jedoch auf geringerem Niveau als vor 8-10 Jahren (vgl. Abbildung 1). Für 2016 rechnet der ZIV mit einer Steigerung der Verkäufe von 5 % gegenüber 2015 (ZIV 30.08.2016).

Nach Auskunft der Interviewpartner ist derzeit die hauptsächliche Nutzergruppe von Pedelecs die „ältere Generation“; der Großteil der verkauften Modelle sind City- oder Trekking-Pedelecs. Mit E-Mountainbikes soll ein Markt erschlossen werden, der vermehrt auch jüngere Generationen anspricht. Darüber hinaus bestehen derzeit Bestrebungen, über E-Lastenräder neue Facetten der urbanen

<sup>2</sup> Nach dem Straßenverkehrsgesetz (§ 1, Abs. 3) werden S-Pedelecs, z. B. im Gegensatz zu Pedelecs, nicht als Fahrräder klassifiziert. Daher ist für S-Pedelecs eine Allgemeine oder Einzelbetriebserlaubnis notwendig (ADFC 2014).

Mobilität zu etablieren. Hier sind denkbare Zielgruppen sowohl Lieferdienste aber z. B. auch Handwerker (mit wenig Material). Sowohl im E-Mountainbike- wie auch im E-Lastenbike-Segment wurden zuletzt verschiedene Innovationen vorgestellt; die genaue Marktentwicklung bleibt abzuwarten. Um ein Pedelec, unabhängig vom Typ, im Alltag nutzen zu können, werden gute Unterstellungsmöglichkeiten, ggf. mit Auflademöglichkeiten benötigt. Hiermit werden Menschen, die auf dem Land oder in Randgebieten wohnen, vermutlich bevorzugt angesprochen. Auf der anderen Seite bieten Pedelecs gerade im innerstädtischen Verkehr eine Mobilitätsalternative, die bzgl. der Reisezeiten gut abschneidet. Aufgrund der im Schnitt deutlich höheren Preise von Pedelecs gegenüber konventionellen Fahrrädern<sup>3</sup> ist die Zielgruppe darüber hinaus eher in gehobeneren Einkommensklassen verortet.

Aufgrund der bisherigen Marktentwicklung und bei einer angenommenen Lebensdauer von 8-10 Jahren ist damit zu rechnen, dass die Anzahl von Pedelecs, die einen „end-of-life“-Status erreicht, in den nächsten Jahren stark steigen wird. Basierend auf heutigen Verkaufszahlen (Abbildung 1) ergeben sich aus den Stoffstrommodell-basierten Arbeiten des Fraunhofer ISI unter der Annahme von durchschnittlich ca. 200 g Magnetmasse pro Pedelec und einer Verwendungsdauer von knapp 10 Jahren bis 2025 ca. 100 t/a NdFeB-Magnete (Glöser-Chahoud et al. 2016).

Die Stiftung Elektro-Altgeräte Register (EAR) veröffentlicht verschiedene Kennzahlen, sowohl zu den Rücknahmemengen als auch zu der Zusammensetzung gemischter Sammelgruppen (Stiftung EAR 2016). In diesen Statistiken werden Pedelecs in Kategorie 7 (Sport- und Freizeitgeräte für die Nutzung in privaten Haushalten) und somit in der Sammelgruppe 5 erfasst; eine Statistik über die Menge an erfassten Alt-Pedelecs ist aus diesen Informationen nicht zu extrahieren.

Von Bedeutung zur Etablierung einer Recyclinginfrastruktur kann auch der Europäische Markt sein. Hier sind insbesondere die Niederlande von Bedeutung. Zusammen stellen Deutschland und die Niederlande zurzeit über die Hälfte des Europäischen Pedelec-Marktes dar (ZIV 25.03.2014).

---

<sup>3</sup> Gute Fachhandelsprodukte sind ab ca. 2.500 € erhältlich.



## 2.2 Rechtliche Rahmenbedingungen für das Recycling von Pedelecs

Das Elektro- und Elektronikgerätegesetz (ElektroG) wurde 2015 basierend auf der im Kreislaufwirtschaftsgesetz geregelten Produktverantwortung (§23 KrWG) novelliert. Pedelecs fallen seither als Elektrogeräte in den Anwendungsbereich des Gesetzes (ElektroG §2 Abs. 2 Satz 7).<sup>4</sup>

Das ElektroG regelt insbesondere auch die Kennzeichnungs- und Rücknahmeverpflichtungen. Pedelecs sind vor dem Inverkehrbringen auf dem europäischen Markt so zu kennzeichnen, dass der Hersteller eindeutig zu identifizieren ist und festgestellt werden kann, dass das Gerät nach dem entsprechenden Stichtag erstmals auf dem europäischen Markt in den Verkehr gebracht wurden (§ 9 Abs. 1 ElektroG). Darüber hinaus haben Besitzer von entsprechenden Altgeräten die Pflicht, diese Altgeräte separat vom generellen Siedlungsabfall zu entsorgen (§ 10 Abs. 10 ElektroG). Bei der Sammlung und Rücknahme ist zwischen Geräten aus privaten Haushalten und denen von „anderen Nutzern als privater Haushalte“ zu unterscheiden.

Altgeräte von privaten Haushalten können durch öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger, die Vertreiber, d. h. die Händler, sowie die Hersteller (bzw. deren Bevollmächtigte) erfasst werden. Große Vertreiber (Verkaufsfläche für Elektro- und Elektronikgeräte mindestens 400 m<sup>2</sup>) sind gegenüber privaten Verbrauchern zur Rücknahme von Altgeräten verpflichtet<sup>5</sup>. Bei Elektrofahrrädern besteht diese Rücknahmeverpflichtung der Händler nur, wenn der Kunde ein neues Gerät mit den im Wesentlichen gleichen Funktionen wie das Altgerät kauft. Darüber hinaus können Pedelecs wie Elektroaltgeräte in den entsprechenden öffentlichen Wertstoffhöfen kostenlos (mit wenigen Ausnahmen) zurückgegeben werden.

Die Rücknahme von anderen Nutzern als privaten Haushalten erfolgt durch den Hersteller, der „eine zumutbare Möglichkeit zur Rückgabe“ zu schaffen hat (§ 19 ElektroG).

---

<sup>4</sup> Ähnlich fallen auch zweirädrige Fahrzeuge für den sportlichen Wettbewerb unter das ElektroG ([http://www.it-recht-kanzlei.de/neues-elektrogesetz.html?print=1#abschnitt\\_73](http://www.it-recht-kanzlei.de/neues-elektrogesetz.html?print=1#abschnitt_73)). S-Pedelecs und E-Scooter, die zum Betrieb eine Genehmigung benötigen, fallen nicht unter das ElektroG, sondern allgemein unter das Kreislaufwirtschaftsgesetz.

<sup>5</sup> Vertreiber dürfen darüber hinaus Altgeräte freiwillig zurück nehmen. Bei einer damit verbundenen Abholung beim Verbraucher können Sie für diese ein Entgelt verlangen (§ 17, Abs. 4 ElektroG).

Unabhängig von den oben eingeführten Rahmenbedingungen im Rahmen des ElektroG unterliegen gewerbliche Anbieter beim Verkauf von Gütern an Verbraucher einer Gewährleistungspflicht. Die Dauer der Gewährleistung beträgt beim Verkauf von Neugeräten 2 Jahre<sup>6</sup> und kann bei gebrauchten Gütern auf 1 Jahr reduziert werden<sup>7</sup>. Diese Thematik kann insbesondere beim gewerblichen Handel mit gebrauchten Pedelecs von Relevanz sein und einen Einfluss darauf haben, ob gebrauchte E-Bikes von kommerziellen Nutzern oder von Händlern zur Nutzung weiterverkauft werden. Bei privaten Verkäufen von gebrauchten Gütern kann die Gewährleistung vollständig ausgeschlossen werden. Somit kann die Gewährleistung u. U. die zu erwartende Lebensdauer von Pedelecs beeinflussen, wenn ein Sekundärmarkt hauptsächlich zwischen privaten Verbrauchern stattfinden würde.

### **2.3 Einflussfaktoren auf die Lebensdauer von Pedelecs**

Die oben genannten Schätzungen der Stoffströme aus Alt-Pedelecs nehmen eine Lebensdauer von 10 Jahren (inkl. der Lagerzeit nach Ende der Nutzung) an. Es kann jedoch auch zu Verzögerung zwischen Ende der Nutzung und der Zurückführung in den Recycling-Kreislauf kommen. Auf der einen Seite nimmt ein Fahrrad deutlich mehr Platz zur Aufbewahrung in Anspruch als ein altes Handy oder ein alter Laptop. Auf der anderen Seite ist es bei einer eher älteren Nutzergruppe nicht unwahrscheinlich, dass das alte Pedelec nicht unmittelbar nach Ende der Nutzung entsorgt wird.

Der geschätzten Lebensdauer liegt die Annahme zugrunde, dass der Akku der Pedelecs während der Nutzungsphase mindestens einmal erneuert wird. Hier ist es von großer Wichtigkeit, dass eine Verfügbarkeit von Ersatz-Akkus auch nach einem möglichen Produktionsstop eines Pedelec-Models gewährleistet ist. Die interviewten Experten beobachten einen Trend zu integrativen Akkus, jedoch keine Standardisierung der elektrischen Komponenten. Dies kann zur Folge haben, dass ggf. bei dem Tauschen des Akkus kein Ersatzakku mehr erhältlich ist, was sich in Folge negativ auf die Lebensdauer von Pedelecs auswirken würde. Ein Pedelec würde somit, im Vergleich zum konventionellen Fahrrad, zu einem schnelllebigem Gut gemacht. Hier wäre zum einen eine Standardisierung der elektrischen und elektronischen Komponenten wünschenswert und zum

---

<sup>6</sup> Siehe § 438, Abs. 1, Nr. 3 und Abs. 2 BGB.

<sup>7</sup> Siehe § 475, Abs. 2 BGB.

anderen eine Gewährleistung, dass derartige Ersatzteile auch noch nach einem möglichen Produktionsstopp eines Modells für eine gewisse Zeitdauer zur Verfügung stehen. Eine Initiative, die Bestrebungen in Richtung Standardisierung verfolgt, ist die Initiative „EnergyBus“. Sie setzt sich dafür ein, eine standardisierte Ladeinfrastruktur für Pedelecs zu etablieren. Hier ist aber – unserem Verständnis nach – weiterhin das Risiko gegeben, dass Akkus nicht zwischen Herstellern kompatibel sind. Es ist zu vermuten, dass eine Standardisierung der Akku-Anschlüsse sich darüber hinaus auch positiv auf ein mögliches „Refurbishment“ von Akkus auswirken würde. Eine „private Vorratshaltung“ ist im Akku-Bereich nicht angezeigt, da diese durch Alterungsprozesse Leistung einbüßen.

Eine Standardisierung im Bereich der Antriebe könnte unter Umständen dazu führen, dass sich – bei entsprechender Lebenserwartung dieser Motoren – Geschäftsmodelle zur Weiterverwendung der Antriebe in anderen Pedelecs entwickeln könnten.

Im Hinblick auf die Langlebigkeit von Pedelecs wäre somit eine langfristige Verfügbarkeit sowie eine Standardisierung von Komponenten von Vorteil. Die Vergabekriterien des Blauen Engels – ein Umweltzeichen, das Produkte auszeichnet, die besonders umweltschonend sind – beinhalten für Pedelecs eine langfristige Verfügbarkeit von Austauschakkus und Ersatzteilen. Danach müssen Ersatzakkus bis 5 Jahre ab Produktionseinstellung nachbestellt werden können (RAL gGmbH 2015). Zurzeit erfüllt allerdings kein Pedelec diese „Blauer Engel“-Standards (Umweltbundesamt 2016).

### 3 Akteursanalyse

Im Rahmen der folgenden Analyse wird der Pedelec Life-Cycle als der Kreislauf von der Herstellung der Magnete bis zum Recycling der Bestandteile und Materialien verstanden<sup>8</sup>. Ein Ziel der Akteursanalyse ist es, einen Einblick zu bekommen, welche Akteure in den Pedelec Life-Cycle involviert sind und wie diese in Bezug zueinander stehen. Dieser Zusammenhang wird in Abbildung 2 vereinfacht dargestellt. Ein zweites Ziel ist es, den Status-Quo der Kreislaufführung und Entsorgung von Pedelecs zu erheben und das Wissen der verschiedenen Akteure zusammenzutragen, um zu untersuchen, ob und wie das Recyc-

---

<sup>8</sup> Der Fokus liegt hier immer auf den Magnetmaterialien.

ling von NdFeB-Magneten aus Pedelec-Motoren gefördert oder etabliert werden kann.

Um das aktuell bestehende System zu verstehen sowie Möglichkeiten der getrennten Sammlung der Motoren aus Pedelecs zu untersuchen, verfolgt dieses Projekt den Ansatz, möglichst viele Akteursgruppen entlang des Pedelec Life-Cycles (Produktion, Nutzung und Verwertung) einzubeziehen. Dazu wurden zunächst – basierend auf Desk Research – sehr breit potenziell relevante Akteure aus dem Pedelec Life-Cycle identifiziert und kontaktiert. Im Laufe des Projektes wurden, insbesondere basierend auf Interview-Ergebnissen, weitere Akteure identifiziert. Abbildung 2 stellt den Zusammenhang zwischen den Akteuren schematisch dar. Mit einem großen Teil der identifizierten Akteure wurden Interviews durchgeführt.

### **3.1 Akteure im Pedelec Life-Cycle**

Der Pedelec Life-Cycle (siehe Abbildung 2) besteht aus fünf verschiedenen Stufen (Herstellung, Vertrieb, Nutzung, Rücknahme und Behandlung). Auf jeder dieser Stufen ist eine Anzahl verschiedener Akteure aktiv; dabei sind einzelne Akteure auch auf mehreren Stufen aktiv. Die erste Stufe des Life-Cycles besteht aus Herstellern von Permanent-Magneten, die Motoren-Hersteller beliefern, welche wiederum Pedelec-Hersteller beliefern. Ein großer Industrie-Verband, der einen Großteil der deutschen Fahrrad- und auch Pedelec-Produktion vertritt, ist der Zweirad-Industrie-Verband (ZIV). Pedelec-Hersteller beliefern Fahrradhändler verschiedener Größe sowie sonstige Händler, die dauerhaft oder als Aktion Pedelecs vertreiben. Aus Kreislaufwirtschaftsaspekten sind hier insbesondere große Fahrradhändler wichtige Akteure, da sie den oben genannten Rücknahme-Verpflichtungen nach dem ElektroG unterliegen. Die dritte Spalte stellt Verbraucher sowohl privater als auch gewerblicher Natur dar. Ein wichtiger Verband im Bereich der privaten Verbraucher ist der ADFC. Im gewerblichen Bereich sind Pedelec-Verleiher und Leasing-Firmen relevante Akteure.

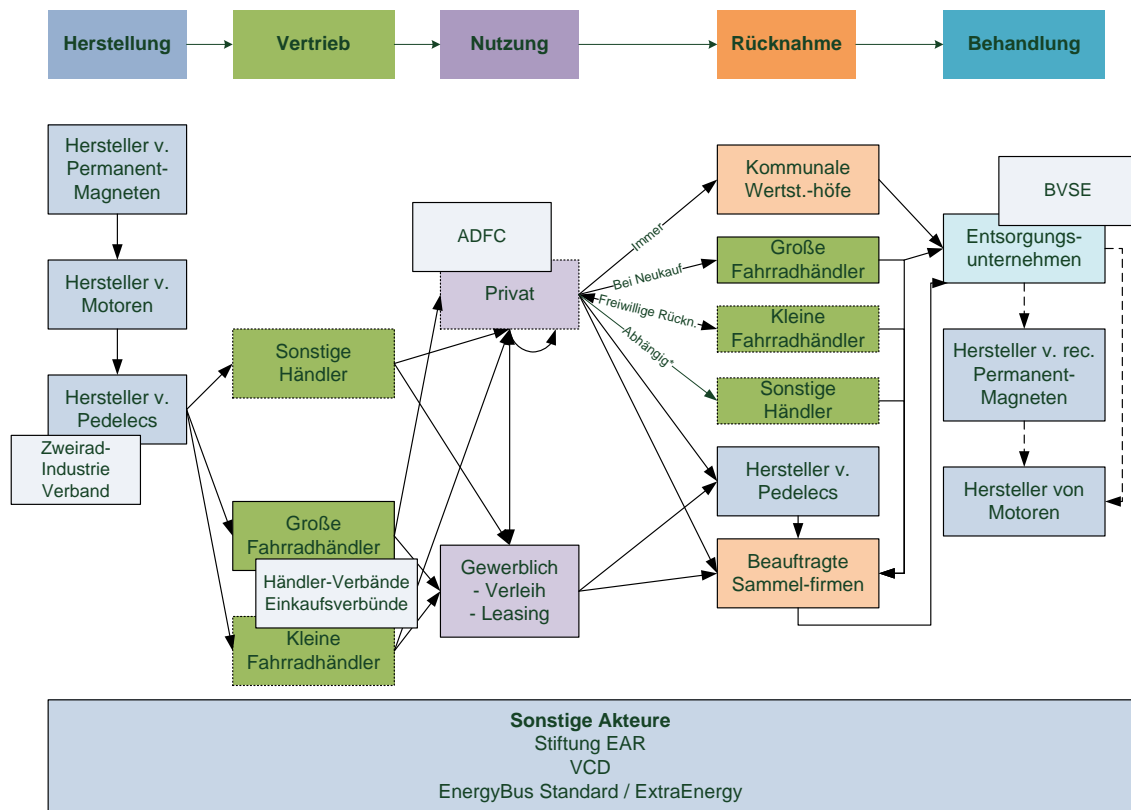
Zusätzlich zu den unmittelbar in den Pedelec Life-Cycle involvierten Akteuren gibt es eine Reihe von Akteuren, die direkt (Stiftung EAR) oder indirekt (weitere sonstige Akteure) in den Pedelec Life-Cycle involviert sind. Die Stiftung Elektro-Altgeräte Register (EAR) stellt eine gemeinsame Einrichtung der Elektro- und Elektronik-Geräte-Hersteller dar. Die EAR nimmt verschiedene Aufgaben wahr: eine Aufgabe besteht in der Registrierung von Herstellern und ihren Bevollmächtigten. Zusätzlich werden die Bereitstellung der Sammelbehälter und die

Altgeräte-Abholung bei den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern koordiniert. Darüber hinaus werden u. a. die Mengen der in den Verkauf gebrachten Elektrogeräte erfasst (Stiftung EAR 2015) und die in Abschnitt 2.1 bereits erwähnten Kennzahlen (z. B. Rücknahmemengen, Zusammensetzung gemischter Sammelgruppen) veröffentlicht (Stiftung EAR 2016).

A priori wurden drei Akteursgruppen von der Befragung ausgeschlossen. In Abbildung 2 werden diese mit einer gestrichelten Umrandung dargestellt. Zum einen wurden keine Interviews mit kleinen sowie sonstigen Händler geführt, da bei ersteren keine Rücknahme-Verpflichtung für Alt-Pedelecs besteht und die Rücknahme-Verpflichtung bei sonstigen Händlern abhängig von der Größe der Verkaufsfläche von Elektronik-Produkten ist. Eine Rücknahme-Verpflichtung besteht, wie in Abschnitt 2.2 erläutert, zum einen für die kommunalen Wertstoffhöfe, zum anderen für große Händler bei Erwerb eines neuen Gerätes. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit der freiwilligen Rücknahme. Die gesammelten Pedelecs können dann entweder einer weiteren Nutzungsphase (dies trifft ggf. bei einer Rücknahme über die Händler zu; siehe ebenfalls Abschnitt 2.2 zur Gewährleistung) oder dem Wertstoffkreislauf zugeführt werden.

Zum anderen wurden private Verbraucher, im Sinne von Einzelpersonen, ebenfalls a priori ausgeschlossen, da es für das Ziel des Projektes ausreichend erscheint, mit dem ADFC als Verbraucherverband zu sprechen.

Abbildung 2: Akteure im Bereich des Pedelec Life-Cycles



Legende:

Boxen mit durchgehender Umrandung: kontaktierte / analysierte Akteursgruppen

Boxen mit gestrichelter Umrandung: von der Untersuchung a priori ausgeschlossene Akteursgruppen

\* Rücknahmepflicht wenn die Verkaufsfläche für Elektro- und Elektronikgeräte mindestens 400 m<sup>2</sup> groß ist.

Quelle: eigene Darstellung

### 3.2 Status-Quo der Kreislaufführung von Pedelecs und erwartete Entwicklung

Bei der Erhebung des Status-Quo zeigt sich, dass die Akteure aktuell relativ unvorbereitet bzgl. des Recyclings von Pedelecs bzw. der entsprechenden Motoren sind. Die korrekte Pedelec-Entsorgung ist nach Auskunft der Befragten auch noch kein derzeit dringendes Verbraucher-Problem. Der Verbraucher-Fokus ist aktuell eher auf der korrekten Akku-Entsorgung bzw. ihrer möglichen Revitalisierung. Es ist aber zu erwarten, dass Fragen zur Rücknahme mit steigender Anzahl von Alt-Pedelecs erhöht auftreten werden. Insbesondere bestehen aber auch an dem interviewten Wertstoffhof in Karlsruhe noch sehr wenige Erfahrungen mit der Rücknahme von Pedelecs.

Im Bereich der Flottennutzung von Pedelecs liegt der Fokus in dieser Studie auf dem Pedelec-Verleih, um zu untersuchen, ob sich aus dieser Nutzung ein ho-

mogener Abfallstrom zusammenführen ließe. Derzeit existieren in der Flottenutzung verschiedene Geschäftsmodelle: große Verleiher (z. B. Movelo) verleihen an Ausleihstationen Pedelecs für eine begrenzte Zeit; danach werden diese Pedelecs an Endverbraucher weiterverkauft. Es gibt jedoch auch kleinere Anbieter, die Eigentümer ihrer Flotte sind und planen, die Pedelecs nach einer längeren Nutzungsdauer an Endverbraucher weiterzuverkaufen. Die im kommerziellen Bereich eingesetzten Pedelecs werden also sehr wahrscheinlich nach einer ersten kommerziellen Nutzung an Privatverbraucher weiterverkauft. Damit fällt ein „gebündelter“ und verhältnismäßig homogener Altproduktstrom zurzeit nicht an, und keiner der interviewten Experten rechnet in der nahen Zukunft mit einer Änderung. Eine Möglichkeit, einen derartigen Strom zu etablieren, wäre, wenn Flottennutzer die von ihnen genutzten Pedelecs bis zum Ende der Nutzungsdauer nutzen und diese danach gebündelt in den Recycling-Prozess übergeben würden.

Im Hinblick auf die Rolle der Fahrradhändler im Rücknahme-Prozess besteht zum einen die Frage, ob ein Pedelec nur abgegeben werden kann, wenn ein anderes Pedelec gekauft wird, oder ob auch ein Fahrradkauf ausreichen würde. Die praktische Umsetzung wird im Zweifelsfall von der Kundenorientierung des Fahrradhändlers abhängen. Relevanter ist jedoch die Erkenntnis, dass die absolute Minderheit der Fahrradhändler überhaupt einer Rücknahmeverpflichtung unterliegt, weil die Verkaufsfläche für E-Bikes (und ggf. andere Elektrogeräte) in der Regel deutlich unter dem gesetzlichen Schwellenwert liegt. Zu den „großen Vertreibern“ mit Rücknahmeverpflichtung gehören insbesondere auch große Online-Händler, die wiederum zur Rücknahme auf Service-Dienstleister aus der Recycling-Industrie zurückgreifen. Dies bedeutet, dass – falls sich nicht aus Kundenorientierung eine andere Praxis etabliert – bei Pedelecs die kommunalen Wertstoffhöfe die primäre Anlaufstelle zur Rückgabe von Altpedelecs darstellen dürften.

Der kontaktierte kommunale Wertstoffhof hat bislang noch keine ausgeprägten Erfahrungen mit der Rücknahme von Pedelecs. Die Betreiber rechnen interessanter Weise jedoch nicht damit, dass sie im Rücknahme-System eine große Rolle spielen werden. Sie gehen davon aus, dass die Hauptrolle im Rücknahme-System von den Händlern getragen wird. Das gleiche gilt, wie im vorherigen Abschnitt diskutiert, in umgekehrter Weise für die Händler. Damit gehen die Akteure der wahrscheinlichsten Rückgabewege jeweils nicht davon aus, die Rücknahmerolle zu übernehmen. Aus rechtlicher Sicht ist es wahrscheinlicher, dass die Entsorgung über die Wertstoffhöfe stattfinden wird. Da diese Entsorgung jedoch für die Verbraucher mit „Aufwandskosten“ verbunden ist, bleibt

abzuwarten, ob die Verbraucher ihrer korrekten Entsorgungspflicht nachkommen oder ob die Pedelec-Entsorgung, analog der Fahrrad-Entsorgung, durch „unangeschlossenes Abstellen“ demnächst zu einem erhöhten Elektroschrottaufkommen im urbanen Raum führen wird.

Durch Gespräche mit Herstellern hat sich herauskristallisiert, dass sich das Interesse an End-of-Life-Geräten auf Qualitätskontrolle und Produktweiterentwicklung beschränkt.

Im Rahmen des Projektes wurde darüber hinaus versucht, die Rolle des ElektroG auf das Recycling zu erfassen. Nach Auffassung des ZIV ist die größte Wirkung, dass das ElektroG verlangt, dass Elektrogeräte leicht zerlegbar sind. Andere Akteure erwarten, dass es dazu führt, dass den Verbrauchern eine ordnungsgemäße Rückgabe erleichtert wird. Die Frage ist nach der Diskussion oben jedoch, ob dieser Effekt auch für Pedelecs greift. Die weiteren Einschätzungen sind ebenfalls nicht eindeutig positiv. Besonders Akteure aus der Recyclingwirtschaft äußern sich pessimistisch über den Einfluss, insbesondere da Sortierkategorien weiter verhältnismäßig breit angelegt sind. Darüber hinaus teilen die interviewten Akteure aus dem Bereich der Sekundärrohstoffbehandlung (sowohl kommerziell wie auch in der Forschung) die Einschätzung, dass zu aktuellen Marktpreisen ein Recycling der Magnete nicht profitabel ist. Sie sind desweiteren der Auffassung, dass das Recyclinggeschäft von Technologiemetallen nachfragegetrieben ist: gäbe es einen Abnehmer, der die Magnete zu einem ausreichenden hohen Preis abkaufen würde, würde der Recycling-Sektor diese auch systematisch aus den entsprechenden Produkten ausbauen. Aktuell zeichnet sich ein Trend zu Tretlagermotoren ab. Innerhalb dieses Projektes konnte jedoch nicht bewertet werden, inwiefern die Demontagekosten sich bei Tretlagermotoren von denen von Nabenmotoren (entweder im Vorder- oder im Hinterrad) unterscheiden. Im Bereich der Aufbereitung der ausgebauten Motoren werden verschiedene Strategien probiert. Eine der Strategien ist ein manuelles Ausbauen der Magnete, eine alternative Strategie ist ein Schreddern der Motoren und eine anschließende Fraktionstrennung. Hier sind insbesondere Prozesskosten und Prozessverluste gegeneinander abzuwiegen. Derzeit laufen verschiedene Forschungsprojekte, in denen verschiedene Strategien der Aufbereitung getestet werden. Beispiele sind hier das im Rahmen der BMBF-Fördermaßnahme „r<sup>4</sup> – Innovative Technologien für Ressourceneffizienz – Bereitstellung wirtschaftsstrategischer Rohstoffe“ geförderte Projekt *SEMAREC*<sup>9</sup>

---

<sup>9</sup> <http://www.r4-innovation.de/de/semarec.html>



und das auf europäischer Ebene geförderte Projekt *MAGNETRONIC-REC* (Centro Tecnológico L'Urederra 2014).

## 4 Fazit und Ausblick

Das Ziel dieser Untersuchung war es zu analysieren, ob Pedelecs einen potenziellen Abfallstrom darstellen, der den Aufbau einer Recyclinginfrastruktur für NdFeB-Magneten unterstützen könnte. Die Ergebnisse der Analyse zeigen, dass der Rücklauf von Alt-Pedelecs gerade erst beginnt und die Akteure aktuell noch verhältnismäßig unvorbereitet sind. Möglicherweise sind weitere politische Unterstützungsmaßnahmen notwendig, damit in absehbarer Zukunft ein passender Abfallstrom für die Anwendung von Recyclingtechnologien zur Verfügung steht. Auch können veränderte Marktbedingungen (Rohstoffpreise, Kosten und Qualität der Aufbereitung) die Anreize für die Rücknahme und Kreislaufschließung bei gebrauchten Pedelecs steigern. Wie in anderen Bereichen auch, leiden auch hier die Anreize zum Recyceln unter den aktuell niedrigen Rohstoffpreisen. Zusätzlich befindet sich die entsprechende Technologie noch im Entwicklungsstadium. Die eingangs festgestellte Ähnlichkeit der Pedelec-Motoren zu Lenkungsmotoren aus Autos könnte die Entwicklung eines entsprechenden Recycling-Systems unterstützen.

Bezüglich möglicher Kanäle zur Rückführung wird die Rücknahme über die kommunalen Wertstoffhöfe als wahrscheinlichste Option eingeschätzt, da der Großteil der Fahrradhändler relativ kleine Verkaufsflächen für Pedelecs hat und damit nicht unter die Rücknahme-Verpflichtungen des ElektroG fällt. Es kann allerdings sein, dass insbesondere bei „Ersatzkäufen“ doch ein Großteil der Alt-Pedelecs aus Gründen der Kundenbindung über die Händler freiwillig zurückgenommen wird. Die genaue Bedeutung der Akteure wird sich erst im Laufe der nächsten Jahre mit steigenden Rücklaufzahlen herauskristallisieren.

Ein weiteres Ergebnis dieser Untersuchung ist die Bedeutung von Langlebigkeit und Standardisierung der elektrischen und elektronischen Komponenten. Im Hinblick auf die erwartete Lebensdauer von Pedelecs erscheinen die langfristige Verfügbarkeit sowie eine Standardisierung von Komponenten begünstigend. Allerdings ist aktuell keine Tendenz erkennbar, dass eine Langlebigkeit von Pedelecs verfolgt wird. Dies wird insbesondere darin deutlich, dass eine Tendenz zu integrativen Akkus, jedoch keine Tendenz zur Standardisierung von elektronischen Komponenten beobachtet wird. Darüber hinaus ist auffällig, dass zurzeit kein Pedelec die Standards des „Blauen Engels“ erfüllt, die insbesonde-

re auch auf die langfristige Verfügbarkeit von Austauschakkus und Ersatzteilen abzielen. Während eine kürzere Lebensdauer den erwarteten Recyclingstrom erhöht, was ggf. die Etablierung einer Recyclinginfrastruktur begünstigt, steht eine derartige Entwicklung den Zielen einer Kreislaufwirtschaft an sich entgegen. Hier ist daher zu untersuchen, wie eine Langlebigkeit erreicht werden könnte; denkbar sind dabei sowohl Hersteller-Selbstverpflichtungen wie auch gesetzliche Vorgaben.

## 5 Literaturverzeichnis

ADFC (Hg.) (2014): Verbraucherinformation zu Pedelecs und E-Bikes. Online verfügbar unter [http://www.adfc.de/files/2/135/Pedelec-Verbraucherinformation\\_2014.pdf](http://www.adfc.de/files/2/135/Pedelec-Verbraucherinformation_2014.pdf), zuletzt geprüft am 21.11.2016.

Brose Antriebstechnik (2014): Unser e-Bike Antrieb. Online verfügbar unter <http://www.brose-ebike.com/de/der-antrieb/>, zuletzt geprüft am 22.11.2016.

Buchholz, Peter; Huy, Dieter; Liedtke, Maren; Schmidt, Michael (2014): DERA-Rohstoffliste 2014. Angebotskonzentration bei mineralischen Rohstoffen und Zwischenprodukten - potenzielle Preis- und Lieferrisiken. Berlin: Deutsche Rohstoffagentur (DERA) (DERA Rohstoffinformationen, 24). Online verfügbar unter [http://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/DERA\\_Rohstoffinformationen/rohstoffinformationen-24.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](http://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/DERA_Rohstoffinformationen/rohstoffinformationen-24.pdf?__blob=publicationFile&v=4), zuletzt geprüft am 13.10.2016.

Centro Tecnológico L'Urederra (Hg.) (2014): Design and construction of a recycling line for neodymium-iron-boron (NIB) magnets from electronic wastes. Online verfügbar unter <http://www.magnetronic-rec.eu/>, zuletzt geprüft am 22.11.2016.

Glöser-Chahoud, Simon; Pfaff, Matthias; Tercero Espinoza, Luis; Faulstich, Martin (2016): Dynamische Materialfluss-Analyse der Magnetwerkstoffe Neodym und Dysprosium in Deutschland. In: Ulrich Teipel und Armin Reller (Hg.): Rohstoffeffizienz und Rohstoffinnovationen. Band 4. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, S. 257–288.

RAL gGmbH (2015): Vergabegrundlage für Umweltzeichen, Elektrofahrräder, RAL-UZ 197. Online verfügbar unter [https://www.blauer-engel.de/sites/default/files/raluz-downloads/vergabegrundlagen\\_de/UZ-197.zip](https://www.blauer-engel.de/sites/default/files/raluz-downloads/vergabegrundlagen_de/UZ-197.zip), zuletzt geprüft am 21.11.2016.

Stiftung EAR (Hg.) (2015): Die Stiftung EAR und ihre Aufgaben. Online verfügbar unter <https://www.stiftung-ear.de/ueber-uns/>, zuletzt geprüft am 15.11.2016.

Stiftung EAR (Hg.) (2016): Kennzahlen. Online verfügbar unter <https://www.stiftung-ear.de/service/kennzahlen>, zuletzt geprüft am 15.11.2016.

Umweltbundesamt (2016): Langlebige Elektrofahrräder. Hg. v. RAL gGmbH. Online verfügbar unter <https://www.blauer-engel.de/de/produktwelt/haushalt-wohnen/elektrofahrraeder>, zuletzt geprüft am 21.11.2016.

ZIV (25.03.2014): E-Bikes bescheren der Fahrradindustrie weiterhin gute Umsätze. Berlin. Stephan Schreyer. Online verfügbar unter <http://www.ziv->

[zweirad.de/fileadmin/redakteure/Downloads/PDFs/PM\\_25.03.2014\\_E-Bikes.pdf](http://zweirad.de/fileadmin/redakteure/Downloads/PDFs/PM_25.03.2014_E-Bikes.pdf), zuletzt geprüft am 21.11.2016.

ZIV (08.03.2016): Zahlen – Daten – Fakten zum Deutschen E-Bike-Markt 2015. E-Bike Verkäufe übertreffen die Erwartungen. Bad Soden. David Eisenberger. Online verfügbar unter [http://www.ziv-zweirad.de/fileadmin/redakteure/Downloads/Marktdaten/PM\\_2016\\_08.03.\\_E-Bike-Markt\\_2015.pdf](http://www.ziv-zweirad.de/fileadmin/redakteure/Downloads/Marktdaten/PM_2016_08.03._E-Bike-Markt_2015.pdf), zuletzt geprüft am 22.11.2016.

ZIV (30.08.2016): Industrie startet solide in die Fahrradsaison. Friedrichshafen. David Eisenberger. Online verfügbar unter <http://www.ziv-zweirad.de/presse/pressemitteilungen/detail/article/industrie-startet-solide-in-die-fahrradsaison/>, zuletzt geprüft am 21.11.2016.



## **Autoren**

Katharina Eckartz, Simon Glöser-Chahoud, Katrin Ostertag

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI  
(Competence Center Nachhaltigkeit und Infrastruktursysteme)

## **Kontakt**

Dr. Katharina Eckartz  
Competence Center Nachhaltigkeit und Infrastruktursysteme  
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI  
Breslauer Straße 48 | 76139 Karlsruhe  
Telefon +49 721 6809-336 | Fax +49 721 6809-135  
[katharina.eckartz@isi.fraunhofer.de](mailto:katharina.eckartz@isi.fraunhofer.de)  
<http://www.isi.fraunhofer.de>

Karlsruhe, November 2016