

Einflussfaktoren einer Recyclinggerechten Konstruktion auf die Linear- und Kreislaufwirtschaft

Wallat, P.; Grasser, F.



Die recyclinggerechte Konstruktion ist kein neuer Ansatz dennoch nimmt die Bedeutung stets zu. Die Anforderungen an diese Konstruktionssystematik ändern sich allerdings fortwährend. Die Einflüsse sind vielschichtig und vielseitig. Die wesentlichen Einflüsse aus Technik, Wirtschaft und Recycling werden in diesem Artikel dargestellt, anschließend wird das methodische Vorgehen präsentiert um diese Einflüsse für die Recyclinggerechte Konstruktion aufzubereiten.

Design for a Circular Economy is not a new approach but the relevance is rising in a steady pace. The requirements for this design approach are constantly changing. Those influences are complex and versatile. The article shows the main influences from the technical, economic and recycling view, followed by the methodical procedure to generate sufficient information to aid the Design for Circular Economy.

Die Kreislaufwirtschaft

Die Kreislaufwirtschaft unterscheidet sich zur Linearwirtschaft im Wesentlichen durch die Rückgewinnung der in den Produkten enthaltenen Rohstoffen. Die Ausbeute aus den Altprodukten soll dabei nach Möglichkeit maximal sein. Die 100% Quote zu erreichen ist nicht in allen Fällen möglich. Durch notwendige Verarbeitungsschritte im Rückgewinnungsprozess ist es nicht möglich die Rohstoffe vollkommen im Kreislauf zu halten. Schon die aufgewendete Energie, zur Produktion der Güter, kann nicht vollständig zurückgewonnen werden.

Dennoch liegt hier, für einen rohstoffarmen Staat wie Deutschland, ein großes Potential, um auch in Zukunft ein gewisses Maß an Kontrolle über die Rohstoffströme zu haben.

Davon abgesehen steigt die Rohstoffeffizienz der natürlichen Rohstoffe. Dies wird auch im deutschen Ressourceneffizienzprogramm II angestrebt /1/. Weiterhin ist eine höhere Ressourceneffizienz gleichzeitig positiv für produzierenden Unternehmen. So kann bei gleichen Input mehr Output generiert werden oder bei einer Verringerung des Inputs ein gleicher Output geschaffen werden. Beides beeinflusst die Umsatzrendite positiv.

Die Europäische Union hat für die Kreislaufwirtschaft mit der Richtlinie 2008/98/EG /2/ eine weitere Grundlage geschaffen, um die Kreislaufwirtschaft und

die Bestrebungen normativ zu beschreiben. In Anlehnung an diese werden in diesem Forschungsumfeld fünf – englischsprachige – Kreislaufansätze betrachtet: *Reduce, Reuse, Repair, Remanufacturing* und *Recycling*.

Jeder Ansatz setzt an einer anderen Position innerhalb der Kreislaufwirtschaft und der Wertschöpfung an.

Wirtschaftliche Aspekte

Im Gegensatz zur linearen Wirtschaft liegt bei der Kreislaufwirtschaft auch nach der Nutzung eine Verantwortung beim Hersteller. Diese ist mit Kosten verbunden, welche der Hersteller schon in der Konstruktion und Produktion aufbringen muss oder nach der Nutzung zu investieren hat.

Damit steigen zwar die Kosten auf den ersten Blick, allerdings ist die erfolgsorientierte Unternehmung dazu bestrebt diese bestmöglich zu mitigieren. Liegt mehr Verantwortung beim Hersteller hat dieser auch mehr Interesse daran, dass das Produkt den jeweiligen Nutzen und die vom Kunden gewünschten Qualitätsansprüche erfüllt. Damit steigt neben den Kosten auch die Qualität, welches zu einer ähnlichen Wertigkeit führt.

Weiterhin eröffnen sich durch die Mehrverantwortung auch neue Geschäftsmodelle. So können Produkte die vorher der Endkunde konsumiert hat zu einer Dienstleistung werden. Der Waschsalon und die Waschmaschine im eigenen Haushalt spiegeln solch einen Kontrast wieder. Ein Hybridmodell ist die Waschmaschine zwar im eigenen Haushalt zu haben, aber nur der Nutzer zu sein, nicht aber der Besitzer. Anschließend werden die Waschladungen abgerechnet und nicht der Kauf der Maschine.

Recyclingaspekte

Das Recycling von Produkten dient nicht nur der Vermeidung von Abfällen welche deponiert werden. Die bereits im Umlauf befindlichen Materialien sind ebenfalls eine Rohstoffquelle für zukünftige Produkte.

Die Recyclingtechnik ist noch nicht in der Lage für jeden Einzelfall ein entsprechendes Verfahren bereitzustellen. Weiterhin gibt es Fälle, bei denen Recycling möglich ist, allerdings nicht kostendeckend.

Hierbei sind die Kreislaufwirtschaft und die Recyclingtechnik aufeinander angewiesen. Ohne die Kreislaufwirtschaft wird die Recyclingtechnik nur geringfügig weiterentwickelt. Ohne die Technik, wird auch die Wirtschaft nicht weiter ausgebaut. Daher ist eine beidseitige Abstimmung notwendig um den gesamten Wirtschaftszweig zu fordern und zu fördern.

Konstruktionsansprüche

Der Konstrukteur ist mit der Aufgabe betraut ein Produkt zu erschaffen, welches die vorgesehene Funktion erfüllt. Dem gegenüber stehen die Anforderungen der Recyclinggerechtigkeit. Dabei hat die Hauptfunktion Vorrang; ein recyclinggerechtes Produkt, welches seine Funktion nicht erfüllt, ist nicht marktfähig. Der Konstrukteur muss eine Lösung finden, welche mindestens diese beiden Kriterien erfüllt, um kreislaufgerechte Produkte zu konstruieren.

Recyclinggerechtigkeit ist grundsätzlich ein Mehraufwand in der Konstruktion. Mittels gut auskonstruierter Lösungen führt dieser Mehraufwand später zu Einsparungen in der Aufarbeitung. Dennoch ist die Recyclinggerechtigkeit immer ein weiteres Kriterium auf der Anforderungsliste, welches den Gesamtentwicklungsprozess mit zusätzlicher Komplexität anreichert.

Durch die Anforderung der Recyclinggerechtigkeit werden, je nach Intensität der Einhaltung, einige gewohnte Konstruktionsstrategien unzulässig. Für eine höhere Akzeptanz müssen der gesamten Konstruktionsabteilung, vom Leiter bis zum Detailkonstrukteur, alternative Lösungen als Ersatz für die bekannten Strategien geboten werden. Andernfalls ist die Akzeptanz an den entscheidenden Stellen gering.

Stand der Forschung am Institut für Maschinenwesen zur Recyclinggerechten Konstruktion

Die TU Clausthal (TUC) hat sich mit dem Forschungsschwerpunkt *Rohstoffsicherung und Ressourceneffizienz* für eine anspruchsvolle aber zukunftssträchtige Aufgabe entschieden. Eine Vielzahl von Instituten der Universität widmet sich der Bearbeitung unterschiedlichster Aspekte zum Thema.

Das Institut für Maschinenwesen (IMW) ist historisch mit der Konstruktion betraut. Die Konstruktionswissenschaft befindet sich stets im Wandel, durch technologischen Fortschritt entstehen neuen Anforderungen. Die Systematiken müssen diese neuen Anforderungen jeweils erfassen und die aktuellen Anforderungen adaptieren.

Die Recyclinggerechte Konstruktion hat hohe Schnittmengen mit andere Disziplinen. Die Recyclingtechnik hat selbstverständlich einen Einfluss auf die Recycelbarkeit der Produkte und damit auch auf deren Konstruktion. Damit haben auch die chemische und mechanische Verfahrenstechnik einen Einfluss auf die Recyclinggerechte Konstruktion. Selbstverständlich haben noch viele weitere Disziplinen einen Einfluss. Der Übersicht halber wird hier allerdings bei der Recyclingtechnik abgegrenzt und die Anschlussdisziplinen nicht einbezogen.

Der technische Bereich hat ebenfalls einen Einfluss auf die Konstruktion. Neue Werkstoffe, Sensoren und Produkthanforderungen, sind beispielhafte Nennungen für die Einflussfaktoren, welche die Recyclinggerechte Konstruktion positiv oder negativ beeinflussen.

Abhängig vom Innovationsgrad der Branche wird auch die Nutzungsdauer beeinflusst, damit steigt die Obsoleszenz von Baugruppen und Bauteilen in diesen innovativen Produkten. Hohe Stückzahlen gleicher Module und Bauteile werden auf spezialisierten Maschinen in hoher Geschwindigkeit gefertigt. Eine Detailänderung im Produkt kann mit einem hohen Änderungsaufwand verbunden sein. Das führt zu Zusatzkosten, die durch die Änderung erst wieder erwirtschaftet werden müssen.

Stückkosten, Materialbedarfe oder Produkttypen sind beispielhafte Einflussfaktoren aus dem Bereich der Wirtschaft. Hiesige Unternehmen haben abhängig von ihrer Größe eine Verantwortung gegenüber den Mitarbeitern oder, weitreichender, gegenüber der Gesellschaft. Die Wirtschaftlichkeit, und damit ein gewinnorientiertes Handeln, stellt wie auch die Konstruktion von nachhaltigen Produkten, eine Verantwortung gegenüber der Gesellschaft dar. Daraus entsteht das Dilemma günstig zu produzieren, aber nicht nachhaltig, oder nachhaltig aber nicht günstig. Durch den zusätzlichen internationalen Wettbewerb muss das Unternehmen die internen Wirtschaftsprozesse fortwährend optimieren um wettbewerbsfähig zu bleiben.

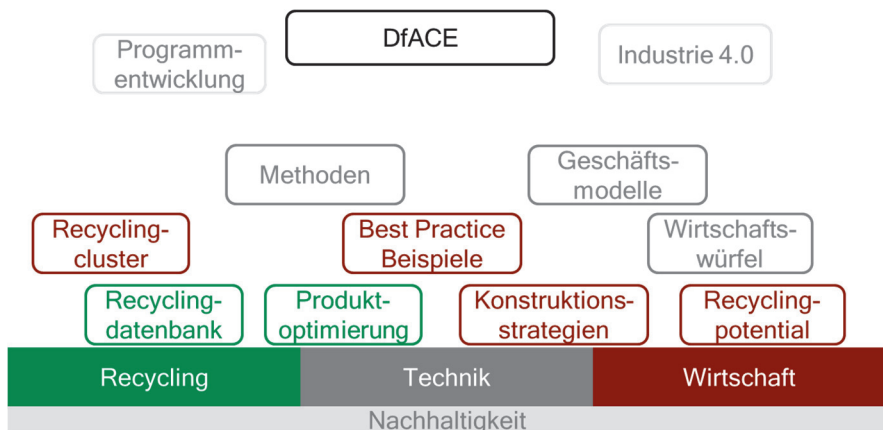


Abbildung 1: Auszug des Forschungsstands am Institut für Maschinenwesen: Recyclinggerechte Konstruktion

In Abbildung 1 ist der derzeitige Forschungsstand zu sehen, die nun folgenden Erläuterungen finden von unten nach oben statt. Auf Basis der Nachhaltigkeit liegen die drei großen Themengebiete: Recycling, Technik und Wirtschaft. All diese werden betrachtet. Die Leitfrage der Forschung ist:

„Welche Maßnahmen müssen im Konstruktionsprozess für Produkte getroffen werden, um die Rohstoffwiedergewinnung aus den Produkten nach der Nutzung zu maximieren?“

Anhand dieser Leitfrage werden weitere Fragestellungen für studentische Arbeiten ausgeschrieben. Die grün hinterlegten Felder stehen für bereits bearbeitete

Themenstellungen; die roten Felder sind in der Bearbeitung. Die detaillierten Fragestellungen zu den Feldern werden im Folgenden ausgeführt.

Die grau hinterlegten Felder sind geplante Arbeiten, bei diesen werden die Erkenntnisse der vorherigen Arbeiten aufgegriffen und die Fragestellung dahingehend aufgebaut. Die freien Flächen lassen Platz für Ansatzpunkte, die noch nicht genauer beschrieben werden können. Für die offenen Arbeiten ist geplant, dass diese stets aufeinander aufbauen oder einen Bezug zueinander haben.

Abschließend soll ein Programm entstehen, welches die gesamte Konstruktionsabteilung dabei unterstützt, Produkte für eine erweiterte Kreislaufwirtschaft zu erschaffen; Designed for Advanced Circular Economy – DfACE. Dies ist getreu dem Forschungsschwerpunkt der TU Clausthal eine sinnvolle Ergänzung zur Advanced Circular Economy. Eine digitale Lösung ist auch als Überführungsunterstützung für Industrie 4.0 zielführend.

Produktoptimierung von externen Festplattengehäusen

Umweltschutz ist ein aktuelles Thema mit zunehmender Bedeutung. Über zwei Drittel der deutschen Bevölkerung halten dieses Thema für sehr wichtig. Ziel der Arbeit ist es, den Recyclingstrom in der Kreislaufwirtschaft zu reduzieren und den Reuse-Strom zu erhöhen. In der Arbeit werden hierzu Produkte mit ihren Füge-techniken und den damit verbundenen Einfluss auf die Recyclingeignung des Produktes untersucht. Aus diesen Erkenntnissen wird eine Rekonstruktion des Produktes entwickelt.

In erster Linie soll eine Optimierung für die Kreislaufwirtschaft durch Nutzung der bekannten Füge-technik erreicht werden. Dafür ist eine nachvollziehbare und strukturierte Betrachtung notwendig. Dabei wird der Produkttyp und Recycling-ansatz für die jeweilige Baugruppe in Abhängigkeit der gewählten Füge-technik gewählt.

Das Überarbeiten von Produkten und anpassen auf eine recyclinggerechtere Konstruktion ist eine der ersten Tätigkeiten um praktische Kenntnisse zu erlangen. Die Analyse des Ist-Zustandes und anschließender Optimierung muss weiterhin unter den Gesichtspunkten der vorherigen Nutzerfreundlichkeit liegen, damit das Produkt auch nach der Optimierung noch die Anforderungen des Kunden erfüllt.

Die in der Konstruktion entwickelte Produktstruktur hat einen wesentlichen Einfluss auf die Recyclingeignung des Produktes. Dabei ist der Ansatz innerhalb der Kreislaufwirtschaft ebenfalls entscheidend. Weiterhin ist dann die angewandte Füge-technik innerhalb der Produktarchitektur ausschlaggebend.

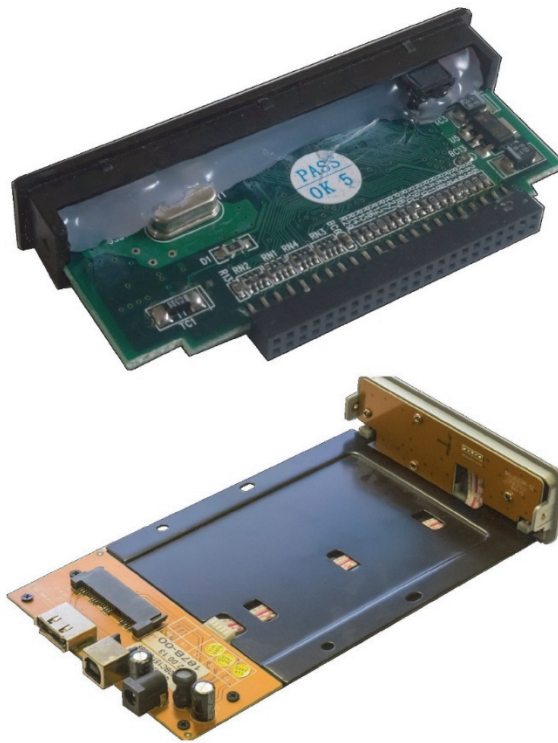


Abbildung 2: Komponenten von demontierten externen Festplatten /3/

Für die Forschungsfrage wurden sechs externe Festplatten und zwei Stichsäge demontiert und analysiert. In Abbildung 2 sind demontierte Komponenten beispielhaft abgebildet. Diese Erkenntnisse sind mithilfe der METUS-Raute, einem Werkzeug zur Visualisierung der Verknüpfung von Komponenten und ihrer physikalischen Beziehungen, in Abbildung 3 abstrahiert.

Mit bekannten Konstruktionsmethoden und den Erkenntnissen der Demontage wird eine Rekonstruktion entworfen und ein Prototyp auf einem 3D-Drucker hergestellt. Dieser Prototyp wird mit den demontierten Festplatten verglichen und es wird ermittelt, welcher Nutzen sich aus der Rekonstruktion schließen lässt.

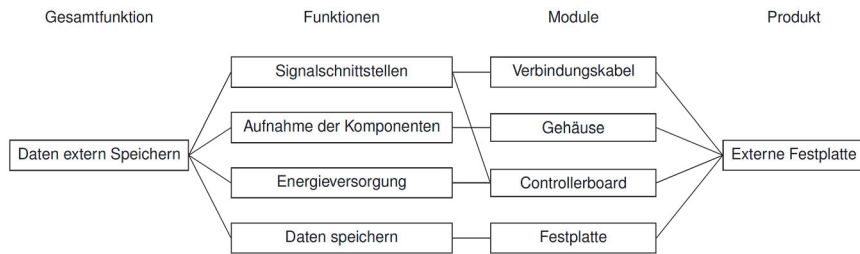


Abbildung 3: METUS-Raute zur Produktstruktur einer externen Festplatte /3/

Abschließend sollten das Vorgehen und die Dokumentation derart nachvollziehbar sein, dass dieses Vorgehen bei weiteren Untersuchungen anderer Produkte als Leitfaden genutzt werden kann.

Die in der Untersuchung erlangten Erkenntnisse werden anschließend auf Ansätze der Kreislaufwirtschaft bezogen, ausgewertet und abschließend auf ihrer Eignung bewertet. Zum Abschluss der Arbeit liegt ein Prototyp vor (Abbildung 4), welcher die theoretischen Ergebnisse praktisch untermauert.

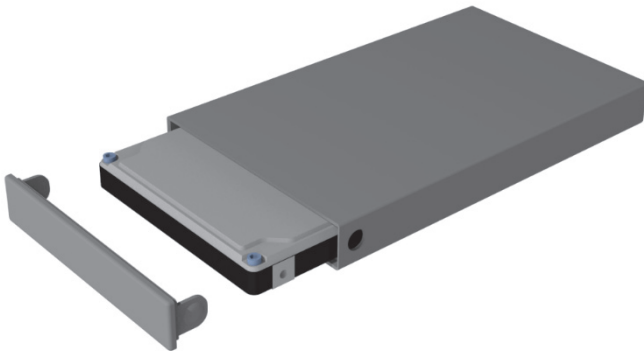


Abbildung 4: CAD Modell eines optimierten externen Festplattengehäuses /3/

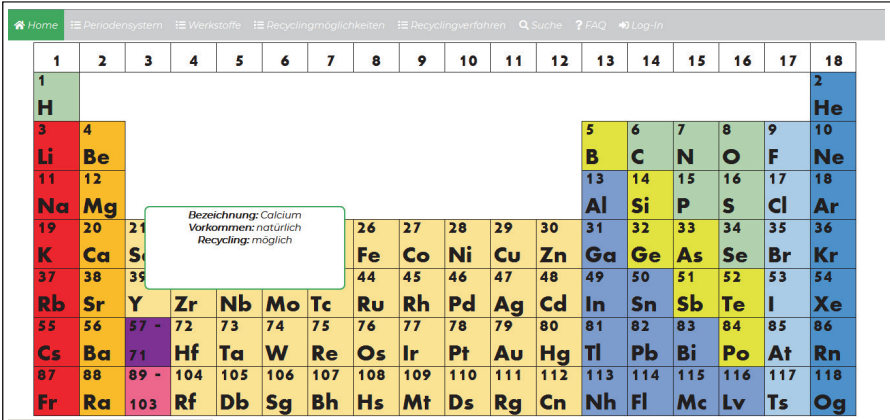
Als Erkenntnis lässt sich festhalten, dass recyclingorientierte Produktgestaltung auch in der heutigen Zeit noch großes Potential besitzt und sich damit wertvolle Primärressourcen einsparen lassen. In dieser Arbeit wird dies durch eine passende Materialwahl und durch die optimierte Demontierbarkeit der externen Festplattengehäuse erreicht. Als Gesamtnutzen der Rekonstruktion folgt eine Optimierung des Kreislaufprozesses.

Recyclingdatenbank

Wissen über bereits existierenden Recyclingverfahren und deren Wirtschaftlichkeit ist nötig um Produkte zu entwickeln, welche diesen Verfahren später zugeführt werden.

Im Konstruktionsprozess ist der Zugang zu Informationen von großer Bedeutung. Ein schneller und zuverlässiger Zugriff auf diese Daten unterstützt bei der Lösungsfindung und spart Zeit. Für eine kreislaufgerechte Produktgestaltung ist eine Vielzahl von Daten nötig, um eine optimale Lösung zu ermöglichen.

Durch die Erstellung einer Datenbank können Informationen, welche die Konstruktion für eine Kreislaufwirtschaft beeinflussen, langfristig abgelegt werden. Weiterhin muss ein einfacher Zugang gewährt werden. Um dies zu erreichen muss eine Onlinefähigkeit berücksichtigt werden.



The screenshot shows a web interface for a recycling database. At the top, there is a navigation bar with links for 'Home', 'Periodensystem', 'Werkstoffe', 'Recyclingmöglichkeiten', 'Recyclingverfahren', 'Suche', 'FAQ', and 'Log-In'. Below this is a periodic table of elements. A tooltip is displayed over the element Calcium (Ca), providing the following information: 'Bezeichnung: Calcium', 'Vorkommen: natürlich', and 'Recycling: möglich'. The periodic table is color-coded by groups, and the element numbers are visible in the bottom-left corner of each cell.

Abbildung 5: Screenshot der Onlinemaske mit Auszug der in der Datenbank erfassten Recyclingverfahren /4/

Der Kern der Kreislaufwirtschaft liegt in den chemischen Elementen und der notwendigen Rückgewinnung dieser Elemente. Daher liegt der Datenbank das Periodensystem der Elemente zu Grunde (siehe Abbildung 5). In einer Literaturrecherche werden anschließend bekannte Verfahren zu den jeweiligen Elementen ermittelt. Ziel ist die Hinterlegung der Wiedergewinnbarkeit der Elemente nach heutigem Wissensstand.

Für diese Aufgabenstellung ist eine breite und flache Bearbeitung der Thematik vorgesehen. Demnach werden in der Datenbank (noch) nicht alle Besonderheiten in der tiefe ermittelt und beschreiben. Eine Quellenangabe zu weiteren Informationen der Verfahren ist für eine spätere, weitere Ausarbeitung der Datenbank notwendig.

Die Datenbank soll weiterhin die Möglichkeit bieten, dass Nutzer ihr eigenes Wissen einbringen können. Um die Qualität der Datenbank aufrecht zu erhalten, muss vor der Implementierung eine Kontrolle der eingegebenen Daten erfolgen.

Für die spätere Weiterentwicklung der Datenbank muss die Software und ein zukunftsfähiges Format gewählt werden. Weiterhin ist eine ausführliche Dokumentation notwendig, um den Bearbeitern späterer Aufgabenstellungen den Einstieg zu ermöglichen.

Diese Arbeit stellt die Basis der Datenbank dar. Später werden weitere Funktionen zur Datenverknüpfung implementiert. Die jetzige Verknüpfung der chemischen Elemente mit den bisherigen Aufbereitungsverfahren soll später noch auf Werkstoffe und Produkte erweitert werden. Die nötigen Anbindungen dafür sind bei der Erstellung der Datenbank zu berücksichtigen.

Konstruktionsstrategien

Eine Vielzahl von Konstruktionsrichtlinien werden bereits in der Konstruktion verfolgt. Diese sind den Unternehmen und Konstrukteuren bekannt und die Arbeitsweise nach diesen Richtlinien ist vertraut. Werden die grundlegenden Recyclingansätze – *Reuse, Repair, Remanufacturing, Recycling* – in einen Kontext zu den bisherigen Richtlinien gesetzt erhöht sich die Zugänglichkeit und Akzeptanz dieser Ansätze.

Die Konstruktion stützt sich innerhalb der Produktentwicklung auf Konstruktions-schemata und -strategien. Diese sind strukturiert, nachvollzieh- und belastbar. Abhängig von den zu konstruierenden Produkten werden unterschiedliche Maßnahmen zur Zielerreichung angewandt. Diese sind beispielsweise betriebsintern gewollt oder gesetzlich gefordert.

Für die Linearwirtschaft konstruierte Produkte werden nur innerhalb deren Nutzungsphase betrachtet. Die Kreislaufwirtschaft berücksichtigt, unter anderem, zusätzlich die Nachnutzungsphase, unter den Aspekten wenig aus dem Wirtschaftskreislauf auszubringen und gleichzeitig die Neueinbringen von Rohstoffen zu verringern.

Für die kreislaufgerechte Konstruktion gibt es verschiedene Ansätze. Die grundlegenden, bekannten Ansätze werden erarbeitet und innerhalb des Kreislaufwirtschaftssystems eingeordnet. Die Vor- und Nachteile werden kurz herausgestellt.

Für das Erreichen der Ansätze gibt es unterschiedliche Maßnahmen innerhalb der Konstruktion. Bereits bekannte Maßnahmen werden unabhängig von den Ansätzen gesammelt und deren Hauptmerkmale zusammengefasst, weiterhin werden die positiven und negativen Einflüsse der Maßnahmen untereinander dargestellt.

Für jeden dargestellten Kreislaufansatz werden die gesammelten Maßnahmen betrachtet. Aus den Ergebnissen werden Konstruktionsstrategien erarbeitet. Diese

Konstruktionsstrategien werden anschließend für verschiedenen Produktgruppen oder Produkttypen betrachtet und bewertet.

Die möglichen Einflüsse der neu entwickelten Konstruktionsstrategien werden anhand des realen Marktes für ausgewählte Produktgruppen betrachtet und der zukünftige Einfluss daraus abgeschätzt. Bei dieser Darstellung werden vor allem die frei werdenden Rohstoffe aus den bereits produzierten Produkten der Vergangenheit betrachtet.

Recyclingpotentiale

Zur Prüfung, an welchen Produkten mit kleinen Änderungen viel bewirkt werden kann, wird festgestellt welche Produkte in hoher Stückzahl im Markt vertreten sind. Weiterhin ist von Interesse, wie hoch der Materialeinsatz bei dem entsprechenden Produkt ist. Die durchschnittliche Nutzungsdauer eines Produktes lässt auf den Zeitpunkt schließen, ab dem das Produkt in die Aufbereitung gegeben werden kann.

Für die ersten Analysen wird festgestellt, welche Produktgruppen ein hohes Marktvolumen haben. Hierbei ist der Betrachtungshorizont der Produkte umfangreich, allerdings beläuft sich dieser für die ersten Untersuchungen auf Deutschland. Weiterhin müssen Produkte betrachtet werden, welche homogen, also sehr ähnliche sind. Diese sind in Ihrer Funktion ähnlich, allerdings unterscheiden sie sich in der Produktarchitektur.

Nachdem eine breite Vielfalt erfasst worden ist, werden die gesammelten Produkte darauf untersucht, welche Rohstoffe sich in diesen befinden und ob diese recycelbar sind. Eine Abschätzung der durchschnittlichen Wertigkeit einer Produktgruppe, in Verbindung mit der Stückzahl, macht eine Vergleichbarkeit der Volumina möglich. Für die vertiefte Betrachtung wird die durchschnittliche Zeit am Markt betrachtet. Damit lässt sich das Sekundärrohstoffpotential über die Zeit abschätzen.

Für die ausgearbeiteten Produkte lassen sich Konstruktionsleitlinie, für den jeweiligen Recyclingansatz erarbeiten, welche auch mit geringen Aufwand einen hohen Nutzen für die Kreislaufwirtschaft erwarten lassen.

Recyclingcluster

Die Logistik hinter dem Recyclingprozess ist ein weiterer Einflussfaktor für die Wirtschaftlichkeit von Recyclingvorhaben. Weiterhin sind Informationen über die Route, mit allen Etappen, maßgeblich um Lücken im Kreislauf zu erkennen.

Für eine erste Übersicht wird geprüft wo in Deutschland Recycling stattfindet; um die Frage zu beantworten: Welche Produkte werden mit welchem Verfahren, an welchem Ort, zu welchem Preis, zu welchem Sekundärrohstoff.

Die Auflistung der Recyclingbetriebe muss entsprechend Umfangreich sein. Sowohl lokale Bündelungen von Unternehmen sind interessant, als auch deren Kapazität; um die gesamte Wertschöpfungskette abbilden zu können und den Kreis zu

schließen. Daher ist eine breite Recherche vorzuziehen. Im Gegenzug kann kein Anspruch auf Vollständigkeit für die Erfassung jedes einzelnen kleineren Betriebes erhoben werden.

Abschließend soll durch das Recyclingcluster eine Abbildung von bestehenden Recyclingkreisläufen und das Erkennen von Lücken in noch offenen Kreisen möglich sein.

Best Practice Beispiele

Bei Premiumprodukten liegt das Hauptaugenmerk des Kunden nicht immer auf dem günstigsten Preis. Das verschafft dem Hersteller mehr Freiheit bei der Konstruktion, da nicht immer die kostenminimale Alternative gewählt werden muss um die Kundenansprüche zu erfüllen.

Der Markt der Supersportmotorräder ist solch ein Premiummarkt. Innerhalb der Arbeit werden besondere Merkmale ausgewählter Motorräder mit Standardausführungen verglichen. Im Fokus liegen unter anderem Einarmschwingen und Bremssysteme.

Diese Besonderheiten werden auf Ihre Kreislaufwirtschaftseignung geprüft. Gerade bei langfristigen Investitionsgütern werden viele Komponenten so ausgelegt, dass diese zügig zu demontieren sind (*Design for Repair*). Dadurch kann im Falle eines Ausfalles eines einzelnen Modules das gesamte Produkt wieder zügig in Betrieb genommen werden.

Weiterhin müssen langfristige Investitionsgüter langlebig sein. Daher sind viele Komponenten, die nicht verschleifen, entsprechend robust ausgelegt (*Design for Reuse*). Dies steht gerade in der Fügetechnik nicht immer im Einklang mit dem vorherigen *Repair-Ansatz*. Dieser Konflikt muss innerhalb der Produktstruktur berücksichtigt werden.

Die Arbeit soll abschließend die Erkenntnis bringen, welche Konstruktionsmaßnahmen bereits am Markt vorhanden sind und welchen Einfluss diese auf die Kreislaufwirtschaft haben; für den Fall, dass der Kostendruck im Konstruktionsprozess, durch den Premiummarkt, geringe ist.

Ausblick zur weiteren Forschung

Wie in Abbildung 1 gezeigt setzt sich das Themenfeld aus den Bereichen Recycling, Technik und Wirtschaft zusammen. Bisher liegen die Arbeiten eng an jeweils einem der Themengebiete.

Für die folgenden Forschungsfragen werden die Ergebnisse der Arbeiten als Grundlage genutzt um die Schnittstellen intensiver zu bearbeiten. Die daraus hervorgehenden Ergebnisse werden stets weiter zusammengeführt. Abschließend werden die Ergebnisse in einer abschließenden Arbeit zusammengefasst.

Geplant ist die parallele Entwicklung einer CAD Schnittstelle die den Konstruktionsprozess, mit den erarbeiteten Erkenntnissen, auf allen Ebene der Konstruktionsabteilung unterstützen soll.

Zusammenfassung

Die Forschung an der TU Clausthal folgt zeitgemäß den Bedürfnissen der modernen Wirtschaft. Anforderungen aus der Politik, der Ökonomie und der Gesellschaft gewinnen an Gewicht und werden berücksichtigt. Die Forschung ist zunehmend interdisziplinär, dennoch ist die hohes Detailwissen in Fachdisziplinen notwendig, um eine weitere Optimierung möglich zu machen.

Durch die strukturierte Arbeitsweise soll gewährleistet werden, dass möglichst viele Details erfasst und anschließend berücksichtigt werden können. Die Überführung der Linearwirtschaft in eine Kreislaufwirtschaft ist notwendig um den Lebensstandard und Wohlstand weltweit aufrecht zu erhalten. Durch ein „Design for Advanced Circular Economy“ (DfACE) werden nicht nur die Effekte des immensen Weltkonsums gemildert, maßgeblicher ist, dass die Ursachen abgemildert oder vermieden werden.

Literatur

- /1/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: Deutsches Ressourceneffizienzprogramm II, Druck und Verlagshaus Zarbock GmbH & Co. KG Frankfurt am Main November 2016
- /2/ Europäisches Parlament, Richtlinie 2008/98/EG, November 2008
- /3/ Grasser, F.: Bachelorarbeit: Praktische Produktanalyse und Kreislaufwirtschaft angepasste Gestaltungsoptimierung, Institut für Maschinenwesen, TU Clausthal 2019
- /4/ Eberle, C.: Masterarbeit: Erstellung einer Datenbank zu Recyclingverfahren für die Elemente des Periodensystems, Institut für Maschinenwesen, TU Clausthal 2019