

# Analyse von Schwierigkeiten bei der Konzeptionierung von nachhaltiger automobiler Lichttechnik

Christian Rogalski, Mathias Niedling

## Abstract/Zusammenfassung

Mit steigendem Konsumentenbewusstsein für das Thema Nachhaltigkeit steigt gleichzeitig auch der Bedarf an immer nachhaltigeren Produkten. Dies betrifft auch die Automobilindustrie und damit auch deren Zulieferer. Um Kreislaufprozesse zu ermöglichen, Materialien bestmöglich wiederzugewinnen und so den Einfluss auf die Umwelt größtmöglich zu reduzieren sind in der Literatur Methoden zum Ökodesign oder der recyclinggerechten Konstruktion beschrieben. Demgegenüber stehen Anforderungen an die Produkte, welche die Funktion des Produktes in der Anwendung garantieren sollen. Anforderungsprofil und Ökodesign-Vorgaben können sich jedoch behindern oder sogar widersprechen. Im Rahmen dieses Papers werden am Beispiel eines automobilen Scheinwerfers zunächst Elemente identifiziert, die nicht dem Ökodesign entsprechen. Anschließend werden in Kombination mit den Anforderungen Ursachen für diese Bauweisen identifiziert und potenzielle Verbesserungen diskutiert, um ökologische Vorteile zu erzielen.

**Index Terms:** Anforderungen, Kreislaufwirtschaft, Nachhaltigkeit, Automobile Lichttechnik

## 1 Introduction/Einleitung

Die Idee der Nachhaltigkeit ist allgegenwärtig und findet sich auch in den Strategien vieler Firmen wieder. Die Gesetzgebung zwingt Unternehmen zum Umdenken [1] und auch die Kunden vieler Firmen legen zunehmend Wert auf nachhaltige Produkte [2]. Dies hat auch die Automobilindustrie erkannt. Ressourcen sollen entlang der Wertschöpfungskette geschont und Emissionen verringert werden [3,4,5]. Ein vielversprechender Ansatz zur Erreichung dieser Ziele ist die Kreislaufwirtschaft.

Hierbei wird versucht die Menge der verwendeten Ressourcen, die zur Herstellung eines Produktes notwendig sind, größtmöglich zu reduzieren, die Lebensdauer des Produktes oder einzelner Komponenten größtmöglich zu verlängern und Komponenten oder Materialien am Ende ihrer Lebensdauer bestmöglich zurückzugewinnen [6].

Dabei kann zum einen zwischen offenen und geschlossenen Kreisläufen und zum anderen zwischen zehn verschiedenen Ansätzen unterschieden werden, diese reichen von dem Verzicht auf Funktionen bis zur Rückgewinnung von Energie durch das Verbrennen der Materialien [6]. In einem geschlossenen Kreislauf werden die



Komponenten und Materialien wieder für gleiche Produkte, oder Produkte derselben Funktion genutzt, während die Ressourcen in einem offenen Kreislauf auch für andere Produkte genutzt werden.

Damit ein Produkt kreislauffähig ist, muss es dafür ausgelegt sein. Das sog. Ökodesign zeigt Möglichkeiten in der Produktentwicklung auf, um beispielsweise recyclinggerechte Bauteile herzustellen.

Heutige Scheinwerfer in der automobilen Lichttechnik erfüllen jedoch vielseitige Anforderungen, die Kreislaufprozesse erschweren können. Im Rahmen dieser Ausarbeitung werden Kreislaufprozesse aufgezeigt und Anforderungen zugeordnet.

## 2 Scheinwerfersysteme

Scheinwerfersysteme sind fester Bestandteil der automobilen Lichttechnik und befinden sich an der Fahrzeugfront. Sie erfüllen zum einen gesetzlich geforderte Sicherheitsfunktionen, wie die Ausleuchtung der Straße und zum anderen auch Designanforderungen und bieten Herstellern von Kraftfahrzeugen damit eine Möglichkeit die Erkennbarkeit ihrer Marke sicherzustellen.

### 2.1 Funktionen

Zur Erreichung der Anforderungen müssen verschiedene Funktionen erfüllt werden. Zum einen muss eine lichttechnische Einrichtung verbaut sein, sodass die Straße ausgeleuchtet werden kann und die Sichtbarkeit des Fahrzeuges selbst erhöht wird [7]. Diese müssen vor Umwelteinflüssen geschützt werden und mit dem Fahrzeug verbunden werden. Dies wird mittels der Kombination eines Gehäuses und einer transparenten Abschlusscheibe sichergestellt.

Moderne Beleuchtungseinrichtungen verwenden zur Erzeugung des Lichts mit LEDs bestückte Leiterplatten. Diese sind zwar deutlich effizienter als konventionelle Halogenleuchtmittel [8], erzeugen dennoch so viel Abwärme, dass die Leiterplatten passiv gekühlt werden müssen. Bei heute vielfach verwendeten Projektionssystemen werden die Leiterplatten zusammen mit entsprechenden Optikelementen an sog. Tragrahmen befestigt.

Um das Erscheinungsbild des Scheinwerfers zu verbessern, werden die Tragrahmen, aber auch Verkabelungen im hinteren Bereich des Gehäuses, mit sog. Blenden oder Abdeckrahmen verkleidet. Diese Bauteile haben i. d. R. dekorative Aufgaben.

### 2.2 Materialien

Um die zuvor beschriebenen Funktionen zu erfüllen, werden kosten- und prozessoptimierte Materialien verwendet. Ein Großteil heutiger Scheinwerfersysteme besteht aus verschiedenen technischen Kunststoffen, darunter vor allem Polycarbonat und Polypropylen. Um die gewünschten Materialeigenschaften zu

erzielen können zusätzlich Füllstoffe wie Glasfasern eingesetzt werden. Weitere Materialien sind im wesentlichen Aluminium für das Thermomanagement, Stahl für Befestigungselemente und Kupfer zur Versorgung und Steuerung der Beleuchtungseinrichtungen.

### 3 Herausforderungen und Potenziale

Die zuvor beschriebenen Materialien zur Erfüllung der geforderten Funktionen müssen gleichzeitig auch einer Vielzahl an Anforderungen gerecht werden. Diese können sich auf mechanische Eigenschaften, die Funktionssicherheit während der Nutzungsphase oder auf Design und Herstellkosten beziehen. Dies führt zu einem komplexen Anforderungsmix.

Um Herstellungskosten zu reduzieren, ist der Aufbau von Scheinwerfern hinsichtlich der Montage optimiert. Dies kann dazu führen, dass eine Demontage des Systems am Ende des Produktlebens erschwert oder sogar verhindert wird. Hierbei muss man zusätzlich zwischen dem angestrebten Kreislaufansatz unterscheiden.

Bei Ansätzen bei denen ganze Komponenten oder Teile wiederverwendet werden, müssen diese zerstörungsfrei entnommen werden können. Liegt der Fokus auf die Rückgewinnung der Materialien, sind nicht zerstörungsfreie Entnahmen möglich. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass durch eine gezielte Materialsortierung der Recyclinggrad beeinflusst werden kann [9].

Im Rahmen der weiteren Untersuchung werden zunächst zehn verschiedene Kreislaufansätze beschrieben. Anschließend erfolgt eine Zuordnung von Anforderungen an Scheinwerfersysteme, welche Einfluss auf diese Ansätze nehmen.

#### 3.1 Ansätze in der Kreislaufwirtschaft

Wie zuvor beschrieben wurde, gibt es eine Vielzahl von Ansätzen und Herangehensweisen zur Kreislaufwirtschaft, wie sie in Abbildung 1 dargestellt sind. Die zentrale Gemeinsamkeit all dieser Ansätze ist es, dass der Einsatz von (fossilen) Ressourcen langfristig reduziert wird [6].

Der Kreislaufansatz, welcher einer linearen Wirtschaft am nächsten kommt, ist das Wiedergewinnen. Hier wird versucht, die den Materialien inhärente Energie durch Verbrennung zu gewinnen und für die Strom- und Wärmeenergiegewinnung zu nutzen.

Der zweite Ansatz, das Recycling, verfolgt das Ziel, die jeweiligen Materialien der verschiedenen Komponenten wieder zu verwenden. Dabei ist offen, ob die jeweiligen Materialeigenschaften beeinflusst werden.

Bei den beiden Ansätzen Umfunktionieren und Wiedereinsatz werden verbaute Komponenten wiederverwendet. Bei letzterem für gleiche Funktionen. Dabei kann es sich sowohl um einzelne Bauteile als auch ganze Baugruppen handeln.

Das Auffrischen und Reparieren von Bauteilen verlängert die Lebensdauer ganzer Systeme durch die Wartung oder den Austausch einzelner Komponenten.

Die Wiederverwendung zielt darauf ab, dass das ganze Produkt durch eine zweite Partei weitergenutzt wird, ohne wiederaufgefrischt zu werden.

Mit den Kreislaufansätzen Reduktion, Umdenken und Ablehnen wird massiv in das Produkt als solches eingegriffen. Durch die effizientere Gestaltung einzelner Komponenten, die Integration mehrerer Einsatzmöglichkeiten in verschiedenen Nutzungsszenarien oder dem Verzicht auf bestimmte Funktionalitäten können insgesamt weniger Ressourcen eingesetzt werden. Denn jedes Produkt, das nicht gebaut wird, muss später nicht wieder dem Kreislauf zugeführt werden, in dem wiederum Ressourcen zur Verarbeitung genutzt werden müssen.

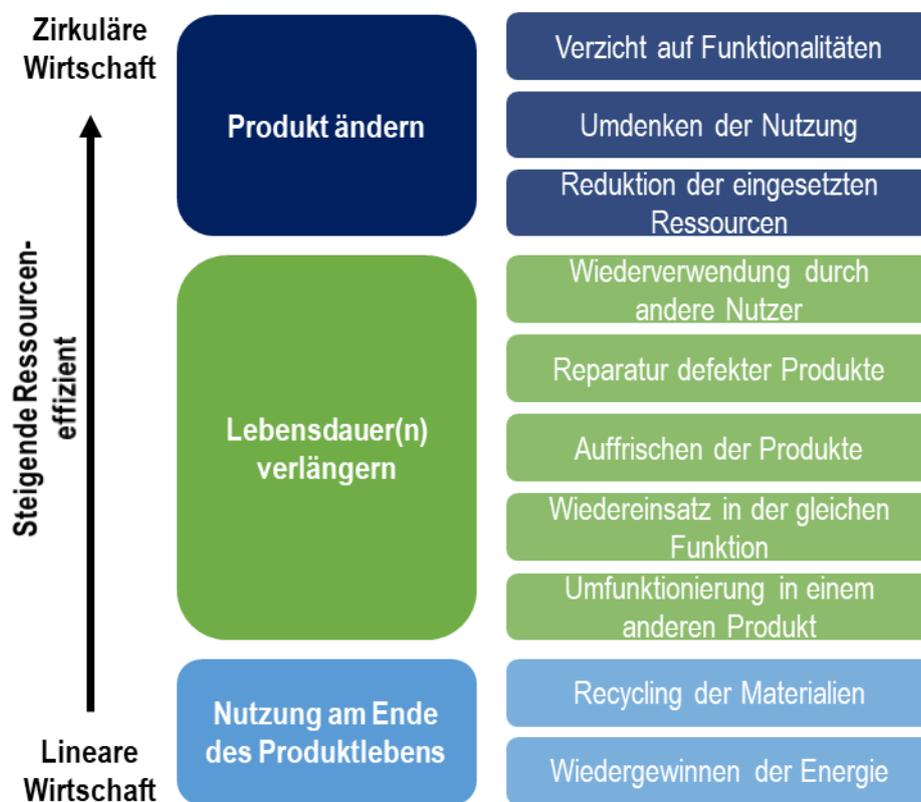


Abbildung 1: Kreislaufansätze, eigene Darstellung nach [6]

Nicht alle Kreislaufansätze sind für Scheinwerfersysteme kurzfristig denkbar. Auf Scheinwerfer kann aufgrund gesetzlicher Vorschriften nicht verzichtet werden. Ebenso wird bereits aufgrund ökonomischer Überlegungen die Materialnutzung auf ein Minimum reduziert, weswegen diese Betrachtung im Rahmen dieses Papers entfällt. Die Wiedergewinnung der Energie wird ebenso ausgeklammert, da keine Restriktionen diesbezüglich vorliegen.

### 3.2 Anforderungen

Moderne Scheinwerfersysteme sind robuste mechatronische Systeme mit langen Produktlebensdauern. Zusammen mit der Fähigkeit das Erscheinungsbild eines

Fahrzeuges zu prägen, wird mit jedem Scheinwerfer ein komplexes System entwickelt, das unterschiedlichsten Umweltbedingungen standhalten muss, die stark von der Art des Antriebsstrangs und dem Nutzungsort abhängen.

Zusammenfassend lassen sich zwei integrale Anforderungsgruppen identifizieren, welche direkten Einfluss auf die Kreislauffähigkeit von Produkten nehmen. Zum einen die Anforderungen, welche sich auf die Funktionssicherheit während der Nutzung beziehen und zum anderen Anforderungen, die das Design betreffen. Zu ersteren gehören auch mechanische Gesichtspunkte.

Nach einem freien Fall aus einer bestimmten Höhe dürfen sich keine Teile lösen. Dies ist besonders bei versteckten Bauteilen wichtig, um keine potenziell unentdeckten Risiken zu erzeugen. Selbes gilt auch für die Standhaftigkeit gegenüber Vibrationen. Durch die Fahrt auf der Straße und besonders auch bei Verbrennungsmotoren induziert durch den Motor treten Schwingungen auf, die das System nicht negativ beeinflussen dürfen.

Da Scheinwerfer außenliegende Bauteile sind müssen diese auch vor vielfältigen Umwelteinflüssen geschützt werden. Dies betrifft unter anderem den Schutz vor dem Eindringen von Fremdmedien. Darunter zählen (salzhaltiges) Wasser, Staub, Laugen aber auch Öle, Säuren und Insekten, die während der Fahrt oder während der Reinigung des Fahrzeuges eindringen könnten und eine sichere Nutzung gefährden könnten. Auch muss das System vor mechanischer Belastung wie Steinschlägen oder dem möglichen Kontakt mit der Motorhaube geschützt sein.

Des Weiteren muss sichergestellt werden, dass Temperaturen, die durch die Nutzung der lichttechnischen Einrichtungen und bei einem Verbrennerfahrzeug auch durch den Motor in das System induziert wird, nicht die verwendeten Materialien beschädigen oder die Funktionsweise behindern. Durch den weltweiten Einsatz der Systeme und den daraus resultierenden Umgebungstemperaturen führt dies zu einem breiten Temperaturfeld, in dem der Scheinwerfer, auch bei plötzlichem Temperaturwechsel, sicher funktionieren muss. Das heißt also auch, dass sowohl Frost als auch starke Sonneneinstrahlung während der geforderten Lebensdauer berücksichtigt werden müssen.

Da der Scheinwerfer maßgeblich zum Erscheinungsbild des Fahrzeuges beiträgt, sind heutige Scheinwerfer fahrzeugspezifische Produkte, die besonders in sichtbaren Bereichen ein hohes Maß an Oberflächenqualität aufweisen müssen. Dazu zählt auch die transparente Abschlusscheibe, welche eine geometrisch komplexe Form annehmen kann. Optisch weniger ansprechende Komponenten, die z. B. zur Befestigung benötigt werden, können durch Blenden oder Zierelementen verdeckt werden. Dabei muss auch beachtet werden, dass geringe Spalt- und Fugenmaße eingehalten werden müssen.

### 3.3 Herausforderungen

Um die beschriebenen Anforderungen zu erfüllen und dabei die Produktionskosten größtmöglich zu reduzieren sind heutige Scheinwerfer abgeschlossene Systeme. Eine Abschlusscheibe aus Kunststoff wird in der Regel mittels eines nichtlösbaren Klebstoffs mit einem Gehäuse verbunden, wodurch innere Komponenten nicht zerstörungsfrei entnommen werden können. Da zusätzliches Gewicht den Energiebedarf für die Beschleunigung von Fahrzeugen beeinflusst, sind Scheinwerfer möglichst gewichtsreduziert herzustellen. Durch die Kombination der verschiedenen Anforderungen an das Scheinwerfersystem wird Einfluss auf Kreislaufprozesse genommen, welche die Lebensdauer und das Lebensende des Produktes betreffen.

Durch das Verbinden der Abschlusscheibe mit dem Gehäuse durch einen Klebstoff werden gleich mehrere Anforderungen erfüllt. Zum einen ist das System vor dem Eindringen der verschiedenen Medien geschützt. Zum anderen hält es den Vibrationen und den mechanischen Belastungen stand. Sollte es zu einem Unfall kommen und die Abschlusscheibe beschädigt werden ist eine Reparatur unter den Randbedingungen nicht möglich, da die Komponenten nicht lösbar miteinander verbunden sind. Dies hat auch Auswirkungen auf die innenliegenden Teile. Sollte es beispielsweise zum Ausfall der Lichtmodule kommen, können diese nicht ausgetauscht werden.

Dies hat auch Einfluss auf die Wiederverwendung von Komponenten für neue Scheinwerfer oder andere Anwendungen, da diese nicht einfach entnommen werden können, ohne zunächst die Verbindung zwischen Abschlusscheibe und Gehäuse zu trennen.

Durch die Leichtbauanforderungen und die vielfältigen Gestaltungsmöglichkeiten werden vorrangig Kunststoffe in einem Scheinwerfer eingesetzt. Um jedoch die geforderten mechanischen Eigenschaften einzuhalten, müssen technische Kunststoffe, die für ihren Anwendungsfall speziell ausgelegt sind, verwendet werden. Zum Teil sind zusätzliche Füllstoffe wie Glasfasern enthalten. Da diese Materialien oftmals nicht den Designanforderungen entsprechen werden zusätzliche Abdeckungen eingesetzt, die aus einem anderen Kunststoff hergestellt sind und derartig mit den Bauteilen verbunden sind, dass sie nicht mehr sichtbar sind. Das hat zur Folge, dass diese Zierelemente nicht, oder nur unter enormen Aufwänden, zerstörungsfrei von den anderen Komponenten getrennt werden können und auch hierdurch eine Wiederverwendung erschwert wird. Gleichzeitig vergrößert sich die Anzahl unterschiedlicher Materialien.

Um Materialien bestmöglich zu recyceln, ist eine sortenreine Trennung vorteilhaft, z.T. sogar notwendig. Moderne mechanische Recyclinganlagen können metallische Werkstoffe nach einer Zerkleinerung des Systems zwar grob herausfiltern, eine Unterscheidung unterschiedlicher schwarz eingefärbter Kunststoffe ist jedoch oft nicht möglich und somit wird das Recycling erschwert [10].

Dasselbe gilt auch für Beschichtungen, wie sie zum Schutz der Abschlusscheibe eingesetzt werden, und mit Kunststoff umspritzte Komponenten. Diese können nur schwer mittels mechanischer Verfahren entfernt werden und ohne eine Trennung sogar zur Veränderung der Materialeigenschaften führen.

#### 4 Diskussion und Ausblick

Die vorrangigere Ausarbeitung konnte zeigen, dass durch die Vielzahl an Anforderungen Kreislaufansätze beeinflusst werden. Zwar sind andere Aufbaukonzepte denkbar, doch sind ökonomische und stilistische Randbedingungen heute und auch zukünftig wichtige Faktoren. Hierbei ist zu bewerten, welcher ökologische Nutzen letztendlich generiert werden kann und welche Randbedingungen dafür verändert werden müssen. So könnte der erneute Einsatz von Glas für Abschlusscheiben dafür sorgen, dass diese besser recycelt werden könnten, doch ist der Energieaufwand für das Einschmelzen des Materials sehr hoch. Außerdem würde das Design massiv beeinflusst werden, da die aktuell aus Kunststoff hergestellten Formen mit Glas nicht möglich sind und das Gewicht des Systems erhöht wird.

Auch bei Reparaturlösungen bedarf es anderer Konzepte, hierbei stellt sich die Frage, welche Ressourcen für eine verbesserte Reparierbarkeit zusätzlich eingebracht werden müssen. Denn sollte eine Reparatur nur selten durchgeführt werden, ist es denkbar, dass durch den erhöhten Ressourcenaufwand der ökologische Vorteil von Reparaturlösungen verringert wird, oder sogar schlechter ist als eine Lösungsalternative, die sich auf die Wiedergewinnung der Ressourcen konzentriert. Hier Bedarf es also weiterer Untersuchungen, um Potenziale sinnvoll zu nutzen.

Aufgrund gesetzlicher Forderungen benötigt jedes Fahrzeug zwei Scheinwerfer mit all seinen heutigen Funktionen. Mit der Entwicklung autonom fahrender Fahrzeuge könnte sich dieser Sachverhalt jedoch ändern, wodurch auch Ansätze wie der Verzicht auf bestimmte Funktionen denkbar werden.

#### 5 Referenzen

- [1] G Amanatidis, Ressourceneffizienz und Kreislaufwirtschaft, Europäische Union, <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/de/sheet/76/ressourceneffizienz-und-kreislaufwirtschaft>, 09.2022, zuletzt geöffnet 09.06.23.
- [2] L. Papasabbas, Der wichtigste Megatrend unserer Zeit, <https://www.zukunftsinstitut.de/artikel/der-wichtigste-megatrend-unserer-zeit/>, 2019, zuletzt geöffnet 09.06.23
- [3] BMW Group, Nachhaltigkeit, <https://www.bmwgroup.com/de/nachhaltigkeit.html>, zuletzt geöffnet 09.06.23
- [4] Mercedes Benz Group, Nachhaltigkeit, <https://group.mercedes-benz.com/nachhaltigkeit/>, zuletzt geöffnet 09.06.23

- [5] Kia, Nachhaltigkeit, <https://www.kia.com/de/ueber-kia/nachhaltigkeit/>, zuletzt geöffnet 09.06.23
- [6] J. Potting, M. Hekkert, E. Worrell and A. Hanemaaijer, Circular Economy: Measuring Innovation in the Product Chain, The Hague, 01.2017
- [7] ADAC, Licht am Auto: Überblick, Funktionen und Checkliste, <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/ausstattung-technik-zubehoer/licht-und-beleuchtung/richtige-beleuchtung-auto/>, 14.04.23, zuletzt geöffnet 09.06.23
- [8] D. Decker, M. Kleinkes, Energieeffizienz von lichttechnischen Systemen, ATZelextronik 02.2009
- [9] H. Martens and D. Goldmann, Recyclingtechnik: Fachbuch für Lehre und Praxis, Springer Fachmedien, Wiesbaden 2016
- [10] G. Hartmann, Bewertung aktueller Scheinwerferbauweisen hinsichtlich ihrer Umweltfreundlichkeit und Rezyklierbarkeit unter Zuhilfenahme eines neuen Bewertungsschemas, Aachen, 03.2021