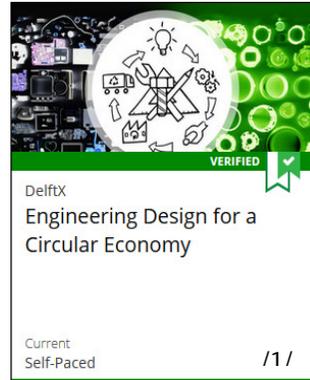


## Engineering Design for a Circular Economy – Produktgestaltung für eine Kreislaufwirtschaft: ein internationaler Onlinekurs

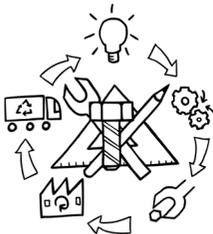
Prumbohm, M.; Wallat, P.

Unter Leitung des IMW wurden in Zusammenarbeit mit namhafter Experten von europäischen Universitäten und Institutionen erstmals Gestaltungsregeln für die Anwendung in Geschäftsmodellen für eine Kreislaufwirtschaft eingeordnet und in Zusammenhang mit diesen gestellt. Beispiele aus der Praxis und die Prüfung hinsichtlich der globalen „Resource Challenge“ runden die Arbeit ab, die in Form eines Onlinekurses weltweit für Interessierte unter [www.edx.org/course/engineering-design-for-a-circular-economy](http://www.edx.org/course/engineering-design-for-a-circular-economy) verfügbar ist.

Under the direction of the IMW and in cooperation with renowned experts from European universities and institutions, design rules for the application in business models for a circular-flow economy were for the first time classified and placed in connection with these. Examples from the practice and the examination regarding the global resource Challenge round the work off, which is available in form of an on-line course world-wide for interested ones under [www.edx.org/course/engineering-design-for-a-circular-economy](http://www.edx.org/course/engineering-design-for-a-circular-economy)



### Hintergrund Kreislaufwirtschaft



Die Entwicklung einer Kreislaufwirtschaft, im englischen Circular Economy, kurz CE, genannt, rückt bei immer mehr Menschen, Organisationen und inzwischen auch Regierungen in den Fokus. So hat sich die britische Ellen MacArthur-Foundation die Entwicklung einer solchen auf die Fahnen geschrieben /2/ und die niederländische Regierung hat den Plan, bis 2050 die Wirtschaft des Landes vollständig in Kreisläufe umzuwandeln /3/.

Stichworte wie Rohstoffknappheit, zunehmendes Umweltbewusstsein, Sharing Economy, Urban mining, usw. hängen mit der Motivation die eigentlich schon viele Jahre /4/ alte Idee der Kreislaufwirtschaft umzusetzen, zusammen. Hinter dem Begriff steht die Idee, weg von einem linearen Verlauf des Wirtschaftens mit

dem Abbau immer neuer Ressourcen zum Herstellen von Produkten und dem Verlust dieser Ressourcen am Ende des Produktlebenszyklus. Auch die Wiederverwertung von Stoffen mit hoher Verlustrate zählt zu dieser Art des Wirtschaftens. Eine Kreislaufwirtschaft bzw. die Idee einer „Circular Economy“ (CE) zielt hingegen auf vollständig geschlossene Kreisläufe ab. Eine solche Entwicklung benötigt im Kern andere Wirtschaftsmodelle, um Umsatz und Wachstum zu generieren.

### **Wertschätzung der Wertschöpfung**

So gehört zu einer Kreislaufwirtschaft bzw. CE ein möglichst langer Produktlebenszyklus, der durch Wiederverwendung (Reuse), Reparaturen (Repair) und Aufbereitung (Remanufacturing) geprägt ist. Einer einmal geschaffenen Wertschöpfung kommt damit eine deutliche höhere Wertschätzung entgegen, als in klassischen Modellen. Schlussendlich kommen aber alle Produkte einmal an das Ende des Lebenszyklus und müssen mit möglichst geringen Verlusten stofflich mittels Recycling wiederverwertet werden. So wenig wie möglich soll den Kreislauf verlassen. Für diese Wirtschaftsmodelle, die sich verschiedenen Formen in den letzten Jahren bereits begonnen haben, zu entwickeln, verschiebt sich entsprechend auch der Fokus der Produktentwicklung. So ist der Begriff der Recyclinggerechten Konstruktion schon lange Bestandteil der Literatur, rückt in der Praxis jedoch meist in den Hintergrund. Im Zusammenhang mit Entwicklungen für eine CE eröffnen sich neue, umfassendere Ausrichtungen, als lediglich „recyclinggerecht“. Im englischen Sprachgebrauch wird dies bereits mit den Begriffen des „Design for R“ bzw. „Design for a CE“ bezeichnet und schließt dabei Reuse, Repair, Remanufacturing und Recycling mit ein.



Universiteit  
Leiden

**swerea**  
swedish research

**TU Delft** Delft  
University of  
Technology

Abbildung 1: Logos der Partner im Projekt zum Erstellen eines MOOC zum Thema "Engineering Design for a Circular Economy"

### **Hintergrund MOOC**

Im vergangenen Jahr hat das IMW gemeinsam mit ausgewiesenen Experten auf dem Feld der CE-Forschung aus den Niederlanden (TU Delft und Univ. Leiden) und Schweden (Forschungsinstitut Swerea) einen Online-Lernkurs erarbeitet. Die Wahl fiel auf ein Massive-Open-Online-Course, kurz MOOC. Diese Art von Lehrveranstaltung wird seit einigen Jahren überwiegend an englischsprachigen Universitäten angeboten. Es gibt dabei verschiedene Anbieterplattformen, die neue Kurse prüfen, einer großen Personenzahl überall auf dem Globus via Email

anbieten und online jedermann zugänglich machen. Neben Coursera ist EdX einer der größten Plattformen, beide stammen aus den USA. Der vorgestellte Kurs wird im Portfolio der TU Delft auf der Plattform EdX angeboten. Die Kurse lassen sich als digitale Vorlesungen beschreiben, der Lernstoff wird aufbereitet mit Videos und kurzen Skripteinheiten präsentiert. Die Diskussion mit Lehrenden und anderen Teilnehmern ist über ein fest implementiertes Forum ausdrücklich erwünscht. Es müssen Aufgaben erledigt und gelöst werden, wenn man ein Zertifikat für die Teilnahme erhalten möchte. Dieses ist kostenpflichtig, die Teilnahme davon abgesehen in vollem Umfang und kostenfrei möglich.

### Kernelemente einer CE – Zielsetzungen des Kurses

Einer der Hauptaufgaben des MOOCs besteht darin, die Vielzahl der bestehenden Gestaltungsrichtlinien mit Blick auf eine CE zu strukturieren und dem Konstrukteur eine Art roten Faden für die Produktentwicklung in einer Kreislaufwirtschaft zu geben. Entsprechend werden bekannte Gestaltungsrichtlinien auf ihre Tauglichkeit für die verschiedenen R-Richtungen (Reuse, Repair, Reman. und Recycling) hin untersucht. Diese erste Gliederung bildet zugleich den Rahmen für den Aufbau des Kurses.



Abbildung 2: Blick in das Studio des New Media Center der TU Delft

Dieser gliedert sich in sechs Wocheneinheiten und beginnt mit einer Einführungswoche zur Beschreibung der Kursziele und einer kurzen Einführung in die Begrifflichkeiten und Bedeutung einer CE. Es folgen vier Themenwochen, in denen die vier R: Reuse, Repair, Remanufacturing und Recycling erläutert werden, mit geeigneten Gestaltungsrichtlinien verknüpft werden. Mögliche Umsetzungen dieser und entsprechende Businessmodels die geeignet für eine CE sind, werden in jeder dieser Wochen anschließend in Form von Case Studies präsentiert. Es folgt eine Auswertung der Bedeutung der einzelnen Rs hinsichtlich der „resource challenge“ – also der rohstofflichen Bedeutung. In der Abschlusswoche werden

die vorangegangenen Themen zusammengebracht und im Zusammenhang bewertet und ein Ausblick gewagt.

### Case studies - Fallbeispiele

Basis einer CE sind Wirtschaftsmodelle, die von geschlossenen Kreisläufen profitieren. Um dem Leitsatz „Wertschöpfung wertschätzen“ zu folgen, muss es beispielsweise für Unternehmen lohnenswert sein, das Produkt während des gesamten Lebenszyklus zu besitzen und dessen Erhaltung anzustreben. In einem solchen Modell hat das Unternehmen im Idealfall ein natürliches Interesse an einem oder allen der folgenden Punkten: der Haltbarkeit, (für das Unternehmen) einfache Instandhaltung und Wartung, eine Möglichkeit zur Aufbereitung nach langem Gebrauch und eine möglichst großen stofflichen Verwertbarkeit zur Rückführung in die eigene Produktion. Entsprechend gewinnt ein „Design for a CE“ im Konstruktionsprozess wesentlich an Bedeutung. Bei der Frage nach günstigen Gestaltungsregeln stößt man, wie überall in der Konstruktionslehre üblich, auf stark fallbezogene Antworten und Restriktionen. Die Regeln sind nicht „blind“ auf einzelne Konstruktionen anwendbar, ebenso wie die Gliederung keinen Anspruch auf Vollständigkeit haben kann. Über die Zuordnung der einzelnen Regeln zu den einzelnen R-Ausrichtungen lässt sich und sollte auch in jedem Einzelfall diskutiert werden.

*Tabelle 1: Zuordnung wesentlicher Gestaltungsregeln zu den einzelnen R-Ausrichtungen für ein „Design for a CE“, weitere Gestaltungsregeln sind im Kurs zu finden*

<u>Demand upon the design</u>	<u>Reuse</u>	<u>Repair</u>	<u>Reman.</u>	<u>Recycling (Shred.)</u>	<u>Recycling (manual)</u>
Durable Design	x				
Modular structure	x	x	x		
Easy to disassemble		x	x		x
Documentation		x			
Wear indication		x	x		
cleaning			x		
Choice of materials				x	x

Speziell auf dieses zukunftsweisende Thema ist bisher jedoch, besonders im deutschen Sprachgebrauch, noch kein solcher Versuch bekannt, die bestehenden Gestaltungsregeln hinsichtlich einer CE einzuordnen.

Als Ergebnis der gemeinsamen Arbeit werden im MOOC für die einzelnen R-Maßnahmen eine Reihe von Case studies, also Fallbeispielen aus Industrie und

Wirtschaft vorgestellt. Die vier Ausrichtungen lassen sich hinsichtlich der Gestaltung und auch in ihrer Definition nicht immer klar voneinander abgrenzen. Anforderungen wie Gestaltungsregeln, die gut für ein „Reuse“ sind, können auch gut für „Repair“ oder ein „Remanufacturing“ sein.

### Design for Reuse



Das „Design for Reuse“ zielt auf haltbare Konstruktionen ab, die möglichst lange im Gebrauch sind und für die vorgesehene Nutzung nach Möglichkeit dauerhaft ausgelegt sind. Das lineare Gegenmodell besteht aus der bewussten Obsoleszenz, also dem Unbrauchbarmachen und Ersetzen noch intakter Produkte. Die Möglichkeit zum Austausch von Teilen bildet den Übergang zum „Design for Repair“ und „Design for Remanufacturing“. Dazu zählen beispielsweise Verbrauchs- bzw. Verschleißteile, aber auch ein einfacher Tausch von Batterien und auch die Möglichkeit von „Upgrades“ durch den Kunden. Damit ist der Austausch bestimmter Komponenten, wie zum Beispiel der Hülle, bilden den Übergang zum „Design for Repair“ und „Design for Remanufacturing“. Zwischen „Design for Reuse“ und „Design for Repair“ besteht dabei ein besonders enger Zusammenhang. Als Wirtschaftsmodelle kommen besonders Sharing- oder Leasingmodelle in Frage, die damit eine Basis für CE-Modelle stellen. Der Unterschied zwischen diesen beiden ist der Verbleib des Produktes beim Kunden. Sharing meint das Teilen der Dinge zwischen verschiedenen Nutzen. Das Leasing-Modell meint den Verbleib bei einem Kunden für eine bestimmte Nutzungsdauer. Bei beiden bleibt das Produkt im Besitz des Herstellers, der während einer langen Lebensdauer von den Miet- bzw. Leasingbeiträgen profitiert.

Als Beispiele werden im MOOC zwei Beispiele aus der Praxis exemplarisch präsentiert:

- Green Village Delft : Reuse of building parts. Gebäude und deren Teile werden für die Möglichkeit des Abbaus und Wiederaufbaus an anderer Stelle speziell entworfen.
- OV Fiets: Bike sharing in den Niederlanden mit speziell konstruierten Fahrrädern



## Design for Repair



Je nach Auslegung kann ein „Design for Repair“ Bestandteil der Reuse-Ausrichtung sein, die Wirtschaftsmodelle sind für beide Ausrichtungen identisch. Wesentlich ist die Aufteilung der Geschäftsmodelle in ein „Repair by companies“ und ein „Repair by customers“, ein zunehmend wachsender Markt. Konstruktiv geht es vor allem darum, beschädigte Bestandteile einfach und kostengünstig austauschen zu können. In Zusammenhang mit Wirtschaftsmodellen und der Industrie 4.0 bekommt der Begriff einer „Predictive Maintenance“ eine besondere Bedeutung für die Umsetzung einer CE. Dabei bietet der Hersteller beispielsweise im Rahmen des Leasingvertrages den Austausch von verschlissenen oder beschädigten Teilen an, über deren Zustand er per Fernüberwachung informiert ist. Der Hersteller profitiert von einer, klassisch „instandhaltungsgerechten Konstruktion“ genannten Gestaltung der Produkte, indem der Kundendienst wenig Zeit zum Austausch benötigt oder sogar vom Kunden selbst, beispielsweise durch den einfachen Tausch von Modulen, erfolgen kann. Die Instandhaltung durch den Kunden selbst ist eine zunehmend wachsende Entwicklung, bei der der einfache Produktaufbau, die einfache Montage- und Demontagemöglichkeit sowie verständliche Produkt-dokumentationen und –anleitungen gefordert sind.

Als Beispiele werden im MOOC einige Beispiele aus der Praxis exemplarisch präsentiert:

- 3Temp Coffeemachines aus Schweden.  
Kaffeemaschinen, die speziell für den gastronomischen Einsatz mit einem Predictive-Maintenance-Ansatz entworfen sind. Die wesentlichen Bestandteile wie die Brühgruppen lassen sich einfach demontieren, öffnen und reparieren. Der Ersatzteilversand erfolgt frühzeitig, im Idealfall bevor es zu einem Ausfall der Maschine kommt.



Main Guidelines for a Design for Repair:

- ✓ **Non-destructive Disassembling:**  
Opening one tool  
Only a few screws
- ✓ Easy access to functional modules
- ✓ **Modules that are easy to replace**
- ✓ **Documentation:**  
Pictograms on the modules
- ✗ **No wear indication** (only for moving parts possible)

Abbildung 3: Kaffeemaschine gemäß der wesentlichen Anforderungen an ein „Design for Repair“. Die Anmerkungen rechts entstammen der Zusammenarbeit der Projektpartner, mit dem Ergebnis einer Guidelinelist. Diese ist im MOOC vollständig einsehbar /5/

- Fairphone entworfen in den Niederlanden  
 Ein modulares Smartphone, deren Bestandteile vom Kunden in wenigen Sekunden demontier- und austauschbar sind. Durch den Aufbau, die lange Lebensdauer und dem Unternehmensmodell des Absatzes von Ersatzteilen gilt das Produkt als Paradebeispiel eines „Design for a CE“. Es ist eindeutig ein „Design for Repair by customers“, wobei das Herstellerunternehmen davon profitiert.



Picture 1: A Fairphone in an exploded view [Source: Fairphone]

Main Guidelines for a Design for Repair:

- ✓ **Non-destructive Disassembling:**  
 Opening without tools  
 One sort, and size of screws  
 One mounting direction
- ✓ **Modules that are easy to replace**
- ✓ **Documentation:**  
 Pictograms on the modules
- ✗ **No wear indication** (only for moving parts possible)



Picture 1: A classical designed smartphone – Repair is possible but difficult and often not economically [Source: TU Clausthal based on <https://grabcad.com/library/concept-smartphone-2>]

Main Guidelines for a Design for Repair:

- ✗ **Non-destructive Disassembling:**  
 Often special tools are needed, often glue, special screws, rivets..
- ✗ **Modules** are often covered, glued or very fragile to disassemble
- ✗ **Documentation:**  
 No repair instructions
- ✗ **No wear indication** (only for moving parts possible)

Abbildung 4: *Eigenschaften des Fairphones im Vergleich mit herkömmlichen Smartphones eines beliebigen Herstellers.*

### Design for Remanufacturing



Im Lauf eines Produktlebens kommt es naturgemäß zu Verschleiß, Abnutzung oder auch zu einem Absinken des Wirkungsgrades. Um funktionierende und langlebige Bestandteile systematisch von den auszutauschenden Teilen zu trennen und das Produkt mit neuen Bestandteilen aufzuwerten, kommt ein Remanufacturing bzw. Refurbishing in Frage. Dabei werden die Produkte vollständig zerlegt, nach Zustand sortiert, gereinigt, aufbereitet und mit neuen Bestandteilen wieder zusammengesetzt. Hier kommt unter anderem eine Demontagegerechte Gestaltung zum Tragen.

Als Beispiele werden im MOOC einige Beispiele aus der Praxis exemplarisch präsentiert:

- Volvo Remanufacturing  
Aufbereitung von Motoren in den Werken von Volvo.
- Svelitus: Aufbereitung von elektrischen und elektronischen Altprodukten aus dem skandinavischen Raum im Baltikum und Verkauf der aufbereiteten Ware für den osteuropäischen Raum.

### Design for Recycling



Auch unter Berücksichtigung aller R-Ausrichtungen zur Verlängerung des Produktlebenszyklus, kommt jedes Produkt früher oder später an das Ende des Produktlebens. Um die verbauten Materialien und Wertstoffe zurück in den Kreislauf zu bringen, bedient man sich verschiedener Recyclingprozesse. Diese stellen das letzte Mittel zum Erhalt der einmal geschaffenen Wertschöpfung dar und unterliegen in der Regel einem Materialverlust. Aus Sicht des Konstrukteurs ist für ein „Design for Recycling“ die Materialauswahl ausschlaggebend, wenn man von einer vollständigen Zerkleinerung des Produktes ausgeht, die für die weiteren Recyclingprozesse häufig unerlässlich sind.

Als Beispiele werden im MOOC einige Beispiele aus der Praxis exemplarisch präsentiert:

- Kickpack aus Braunschweig: Kickertisch aus Pappe und Holz, der vollständig im Altpapier entsorgt und stofflich wiederverwertbar ist.
- 3D-gedruckte Brillen der Fa. Projekt Samsen aus Berlin: voll funktionale Brillengestelle aus einem additiv gefertigten Werkstoff, der im Kunststoffrecycling einfach wiederverwertbar ist.



/6/



/7/

## Zusammenfassung

Im Rahmen eines offenen Online-Kurses (MOOC) wurde unter der Leitung des IMW das Thema der Produktgestaltung für Wirtschaftsmodelle einer Kreislaufwirtschaft erstmals hinsichtlich der Gestaltungsrichtlinien und praktischer Umsetzungen strukturiert. Der Kurs ist über eine Internetplattform frei verfügbar und hat im ersten Durchgang im Jahr 2018 über 2000 Menschen weltweit erreicht.

### *Many thanks and special greetings to our european colleagues!*



Abbildung 5: *After work is done in the New Media Center, TU Delft. From left: Sylvia Marinova (Leiden); Juan Azcarate-Aguerre (Delft), Max Prumbohm (IMW), David Peck (Delft), Phillip Wallat (IMW), Ester van der Voet (Leiden), Anna-Karin Jönbrink (Swerea), Armin Lohrengel (IMW). Hans-Lennart Norbloom (Swerea) is missing on the picture.*

### *Many thanks to our project sponsor!*



EIT RawMaterials is supported by the EIT, a body of the European Union

***Besonderer Dank gilt Frau Katharina Sophia Ungermann für Ihre Unterstützung und die tollen Zeichnungen!***

## Literatur

- /1/ <https://www.edx.org/school/delftx>; abgerufen 11/2018
- /2/ <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/>; abgerufen 11/2018
- /3/ <https://www.government.nl/documents/policy-notes/2016/09/14/a-circular-economy-in-the-netherlands-by-2050>; abgerufen 11/2018
- /4/ Nickel, W. (Hrsg.): Recyclin-Handbuch – Strategien, Technologien, Produkte. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1996
- /5/ [https://www.instagram.com/p/BENwQepvJXU/?hl=nl&taken-by=ns\\_online](https://www.instagram.com/p/BENwQepvJXU/?hl=nl&taken-by=ns_online); abgerufen 11/2018
- /6/ <http://3temp.com/product/hipster-brewer-2group/> abgerufen; 11/2018
- /7/ <http://www.kickpack.de/>; abgerufen 11/2018
- /8/ <http://www.projekt-samsen.de/>; abgerufen 11/2018