

Montag, 18.06.2018

Malte Schäfer M.Sc., TU Braunschweig



Nachhaltigkeit in der Produktentwicklung

Was ist Nachhaltigkeit?



Welcher Zusammenhang besteht zwischen Qualität und Nachhaltigkeit?



Wie können Entwickler nachhaltige Produkte gestalten?



dsm.com

- **Lernziele & Motivation**
- Was ist Nachhaltigkeit?
- Der Lebenszyklusgedanke
 - Life Cycle Assessment (LCA) – die Ökobilanz
- Nachhaltigkeit und der Produktlebenszyklus
- Nachhaltigkeit und Qualität
- Obsoleszenz
- Nachhaltige Produktentwicklung – Beispiel
- Zusammenfassung

Lernziele für die heutige Vorlesung:



- Grundverständnis des Begriffs Nachhaltigkeit entwickeln
- Verschiedene Aspekte von Nachhaltigkeit kennenlernen
- Grundverständnis für den Lebenszyklus eines Produkts entwickeln
- Verstehen, wie eine Ökobilanz (LCA) durchgeführt wird
- Verschiedene Gestaltungsstrategien und -ziele für nachhaltige Produkte kennenlernen
- Die Bedeutung von Obsoleszenz kennenlernen
- Den Zusammenhang zwischen Qualität und Nachhaltigkeit erkennen
- Erläutern können, wie Zielkonflikte bei der Gestaltung nachhaltiger Produkte auftreten können

Warum Nachhaltigkeit berücksichtigen?

Gründe für nachhaltiges Handeln (aus Unternehmenssicht)

- **Umwelt + Klima**
- **Soziale Faktoren** (Arbeitsbedingungen, Gerechtigkeit)
- **Risikominimierung:** Klagen gegen Unternehmen
(<https://www.economist.com/news/international/21730881-global-warming-increasingly-being-fought-courtroom-climate-change-lawsuits>)
- **Ökonomische Aspekte:** CO₂-Steuer / -Zertifikate und Divestment
- **Markenimage + Produktwahrnehmung**
- **Kundenakzeptanz und -forderungen** (Bio-Produkte, Fair-Trade)

- Lernziele & Motivation
- **Was ist Nachhaltigkeit?**
- Der Lebenszyklusgedanke
 - Life Cycle Assessment (LCA) – die Ökobilanz
- Nachhaltigkeit und der Produktlebenszyklus
- Nachhaltigkeit und Qualität
- Obsoleszenz
- Nachhaltige Produktentwicklung – Beispiel
- Zusammenfassung

Was ist Nachhaltigkeit?

Historisch

- **Hans Carl von Carlowitz (1645–1714)**
- Kurfürstlicher Kammer- und Bergrat in Sachsen
- Veröffentlichte **“Sylvicultura Oeconomica”** im Jahr 1713
- Inhalt: **Nachhaltige Forstwirtschaft**
- Hintergrund: Holz als Brennstoff und Baumaterial, weitreichende Rodungen
- Gilt als **erste dokumentierte Quelle**, die das Thema **“Nachhaltigkeit”** aufgreift



at-minerals.com

Definition

*„Die Menschheit hat die Fähigkeit, Entwicklung nachhaltig zu gestalten um sicherzustellen, dass die **Bedürfnisse der Gegenwart** erfüllt werden können, ohne dabei die Fähigkeit **zukünftiger Generationen** aufs Spiel zu setzen, **ihre Bedürfnisse** zu erfüllen.“*

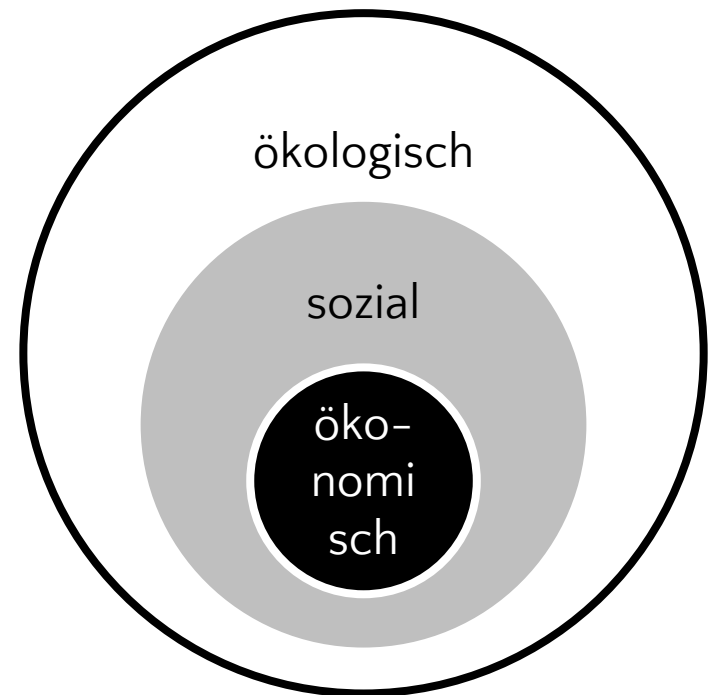
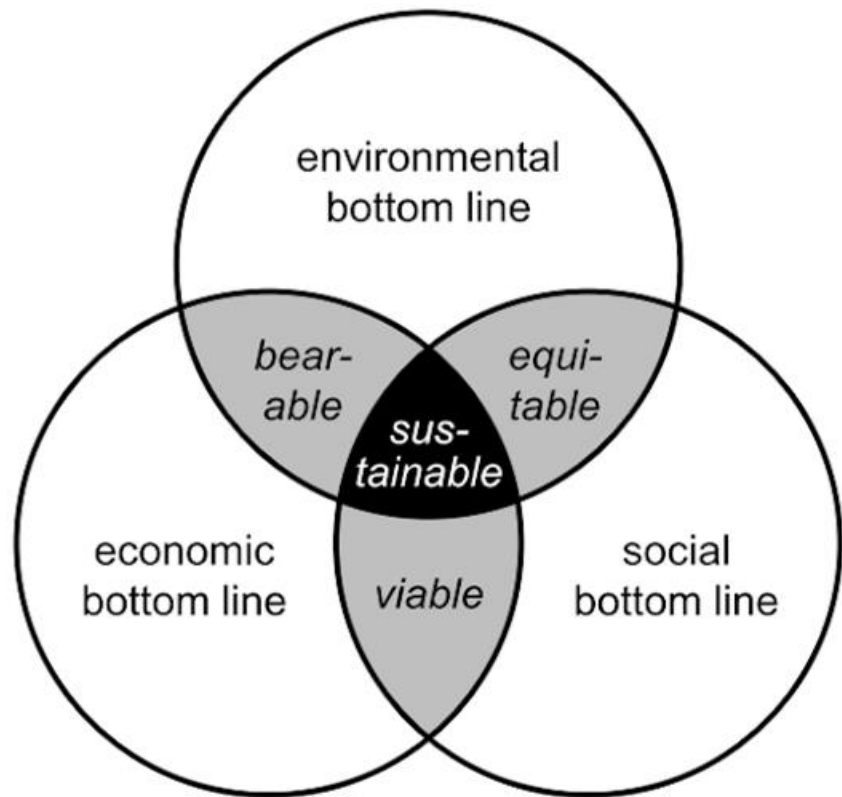
(1987, Brundtland – Hervorhebungen nachträglich)

Report of the World Commission on Environment and
Development: Our Common Future (“Brundtland Report”), 1987

<http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>

Was ist Nachhaltigkeit?

Nachhaltigkeit: Schnittmenge vs. Schalenmodell



Petersen, 2017

Nachhaltigkeit: Systemische Betrachtungsweise

- **Systemeigenschaft** – Aktoren & Beziehungen
- D.h.: **ein Produkt allein kann nicht nachhaltig sein** – Einbettung in den Kontext

- **Zeitabhängige Größe** – 6 Monate oder 100 Jahre?
- Beispiel **Erdölförderung**:
die “Herstellung” von Rohöl dauert Millionen Jahre
– was ist also eine “**nachhaltige Förderquote**”?

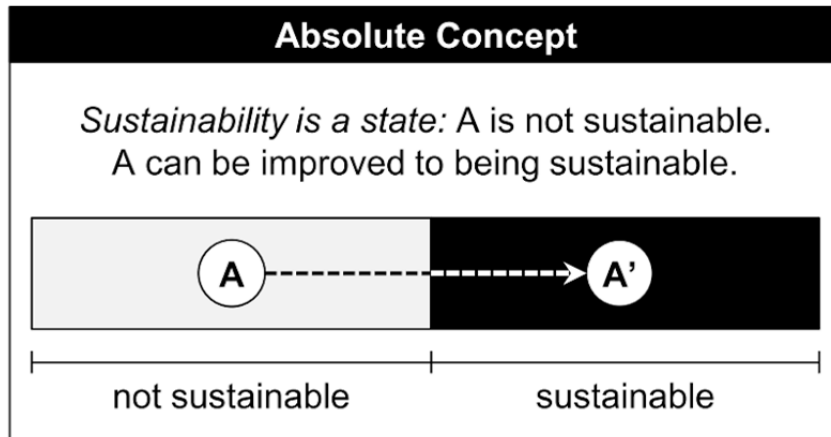
Gaziulusoy & Brezet, 2015

http://www.bbc.co.uk/schools/gcsebitesize/science/ocr_gateway/carbon_chemistry/crude_oilrev1.shtml

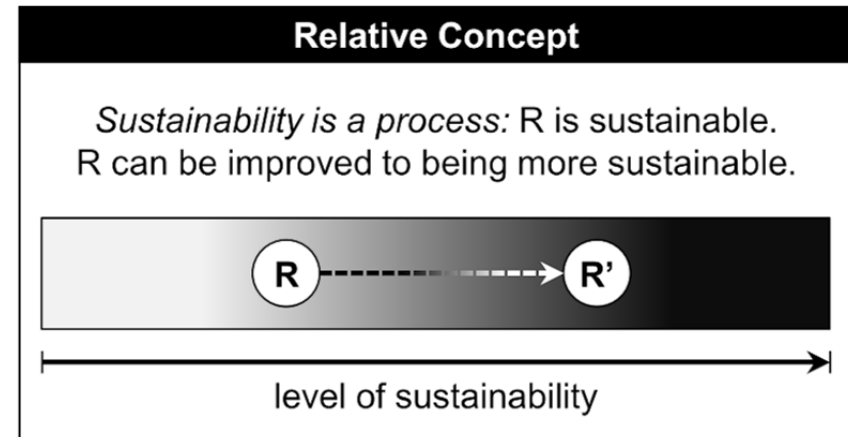
Was ist Nachhaltigkeit?

Nachhaltigkeit: Absolut vs. relativ (1/2)

Transformational Approach



Reformist Approach



Petersen, 2017

Nachhaltigkeit: Absolut vs. relativ (2/2)

- **Transformational:**
Inkrementelle Veränderungen sind Zeit- und Ressourcenverschwendung, nur radikale Ansätze führen zum Ziel
- **Reformist:**
Unerreichbare Ziele demotivieren und sind nicht durchsetzbar, schrittweise Verbesserungen führen zum Ziel



Welches Argument ist für **Sie** überzeugender?

tfwiki.net / planet-wissen.de

Was ist Nachhaltigkeit – für Ingenieure?

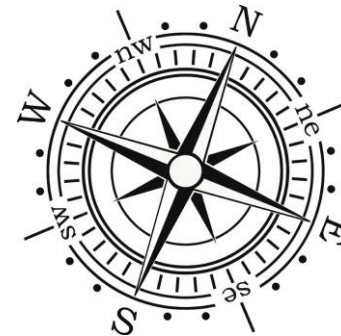
...wie kann man Nachhaltigkeit **messen**?



...wie kann man Nachhaltigkeit bei der **Entwicklung von Produkten** berücksichtigen?



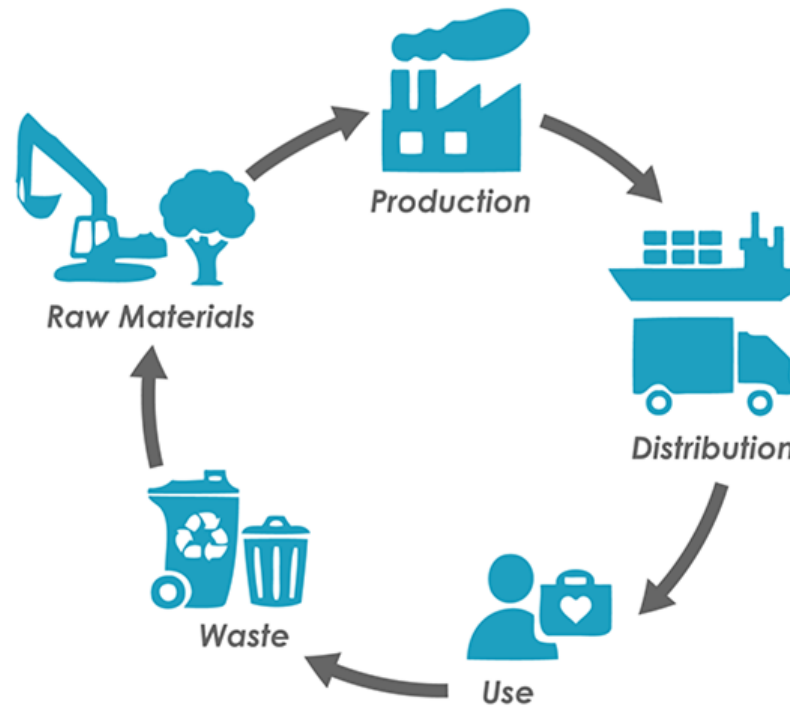
...welche **Strategien** können dabei verfolgt werden?



schieblehre.biz / inside-m2m.de / klebeecke.de

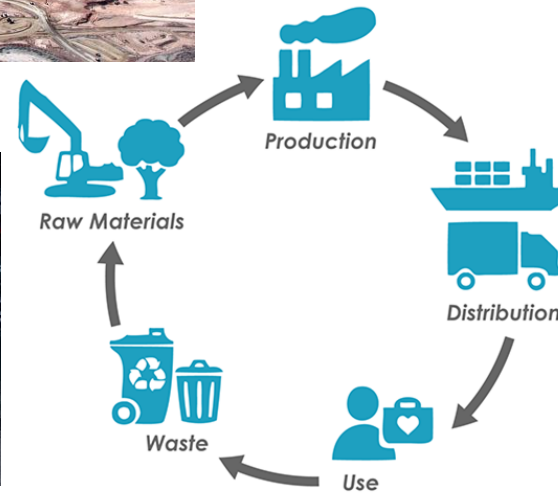
- Lernziele & Motivation
- Was ist Nachhaltigkeit?
- **Der Lebenszyklusgedanke**
 - Life Cycle Assessment (LCA) – die Ökobilanz
- Nachhaltigkeit und der Produktlebenszyklus
- Nachhaltigkeit und Qualität
- Obsoleszenz
- Nachhaltige Produktentwicklung – Beispiel
- Zusammenfassung

Lebenszyklus eines Produkts



thelcacentre.com

Der Lebenszyklusgedanke



snopes.com / fleetowner.com / internationalshipping.com / procarmechanics.com / inhabitat.com / bmw-welt.com

- Lernziele & Motivation
- Was ist Nachhaltigkeit?
- Der Lebenszyklusgedanke
 - **Life Cycle Assessment (LCA) – die Ökobilanz**
- Nachhaltigkeit und der Produktlebenszyklus
- Nachhaltigkeit und Qualität
- Obsoleszenz
- Nachhaltige Produktentwicklung – Beispiel
- Zusammenfassung

Quantitative Bewertung des Lebenszyklus: Life Cycle Assessment (LCA)



*„Life Cycle Assessment (LCA) ist ein **methodisches Vorgehen**, um die **umweltrelevanten Auswirkungen**, die dem **gesamten Lebenszyklus** eines Produkts zugeschrieben werden können, **abzuschätzen** und zu **bewerten**. Dazu zählen u.a. der Klimawandel, die Abnahme des Ozongehalts der Stratosphäre, Smog Erzeugung, Eutrophierung, Versauerung, toxikologischer Stress für Mensch und Umwelt, Ressourcenverbrauch, Wasserverbrauch, Landnutzung, Lärm und weitere Faktoren.“*
(Rebitzer, 2004 – Hervorhebungen nachträglich)

Rebitzer, 2004

Life Cycle Assessment (LCA)

- Kann auf **Produkte, Prozesse, Unternehmen oder ganze Volkswirtschaften** angewandt werden
- Am **weitesten verbreitete Methode** zur Abschätzung von Umweltauswirkungen
- **Quantitative Methode**
- Ermöglicht einen **Vergleich verschiedener Produkte** oder Prozesse hinsichtlich ihrer Ökobilanz
- Ist **vergleichsweise aufwändig**: umfassende Datenbeschaffung, Erfassung komplexer Prozesse, Interpretation der Ergebnisse notwendig
- Kann helfen, **“Hot-Spots”** zu identifizieren und **“Trade-Offs”** zu bewerten

Life Cycle Assessment (LCA)

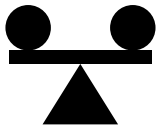
Hot-Spot:

Lebenszyklusphase, die die gravierendsten Umweltauswirkungen aufweist



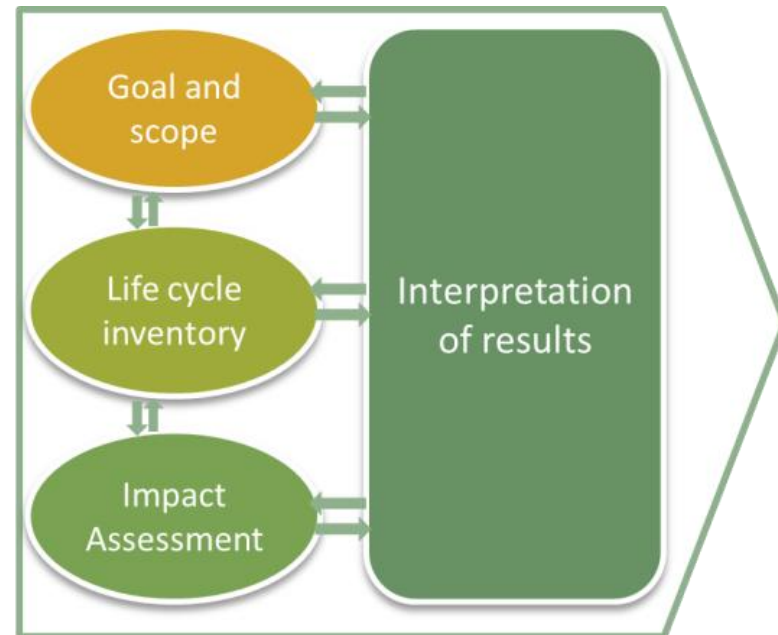
Trade-Off:

Zielkonflikt, wenn keine eindeutig dominierende Lösung vorliegt



LCA - Vorgehen

- Goal and scope definition
- Inventory analysis (LCI)
- Impact assessment (LCIA)
- Interpretation

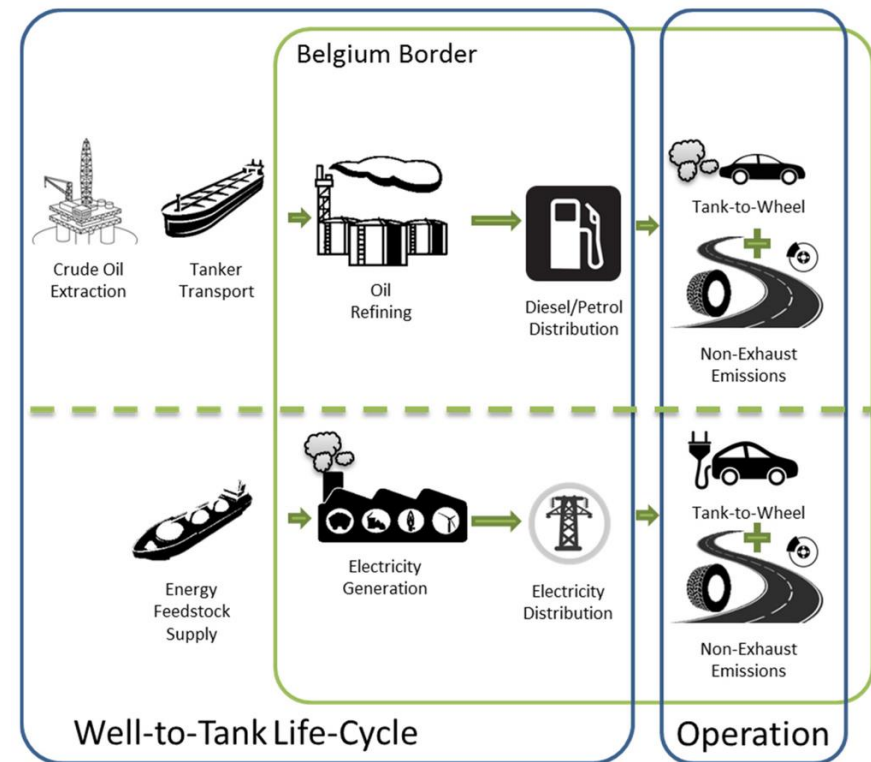


ISO 14040:2006 / life-aquaenvec.eu

Der Lebenszyklusgedanke

LCA - Goal and Scope Definition

- Beschreibung des Produktsystems: **Systemgrenzen** und **funktionale Einheit**
- Definition der funktionalen Einheit:
z.B. Personen-km, t-km

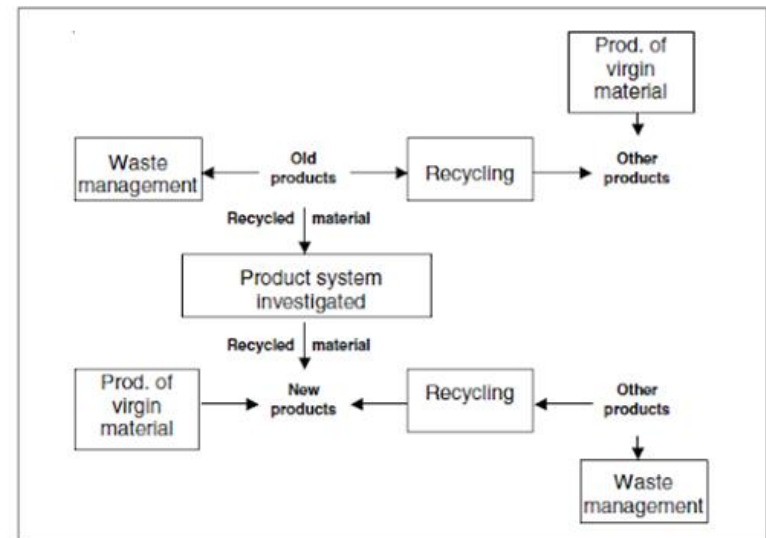
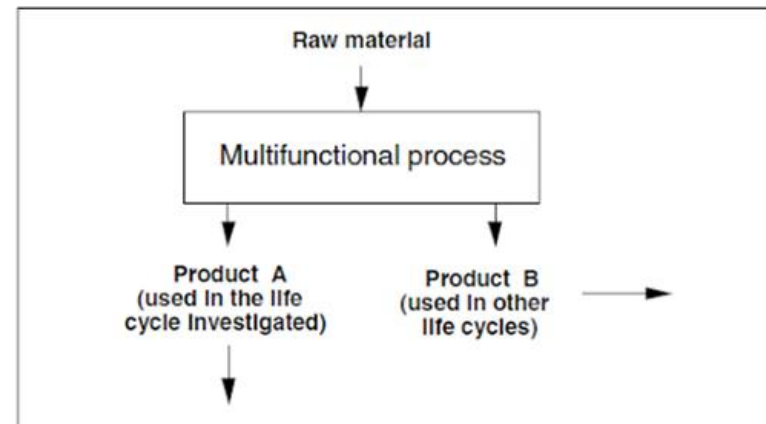


Rebitzer, 2004 / mdpi.com

Der Lebenszyklusgedanke

LCA - Inventory Analysis (LCI)

- Erfassung der Daten, die **Ein- und Ausgänge** in das System beschreiben (z.B. Energie, Wasser, Rohmaterial, Produkte, Abfall etc.)

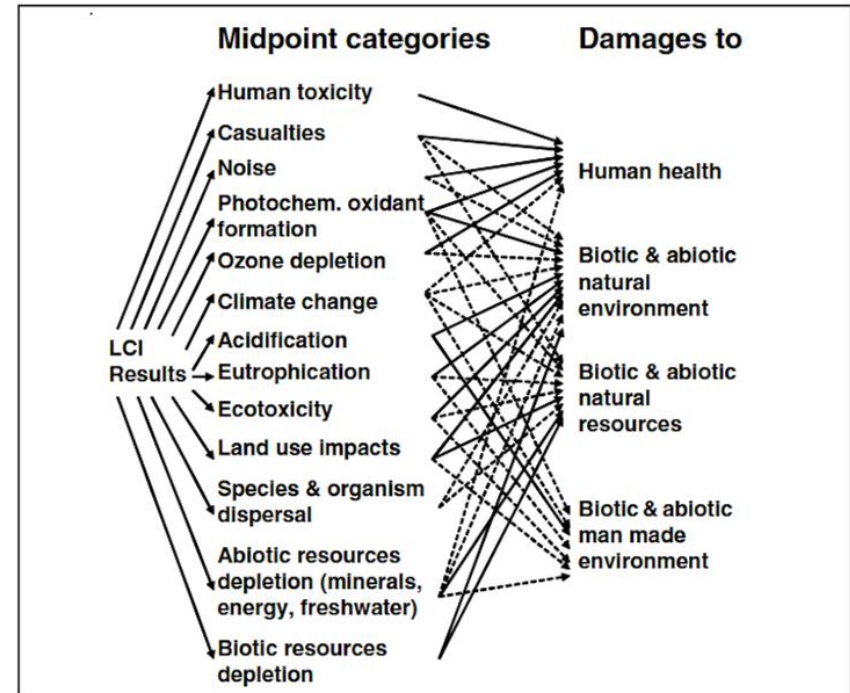


ISO 14040:2006 / Ekvall & Weidema, 2004

Der Lebenszyklusgedanke

LCA - Impact Assessment (LCIA)

- Basis für die **Analyse der potentiellen Auswirkungen**
- Resultat: **Bewertung eines Produktlebenszyklus** hinsichtlich verschiedener Auswirkungen (Klimawandel, toxikologische Belastung etc.)

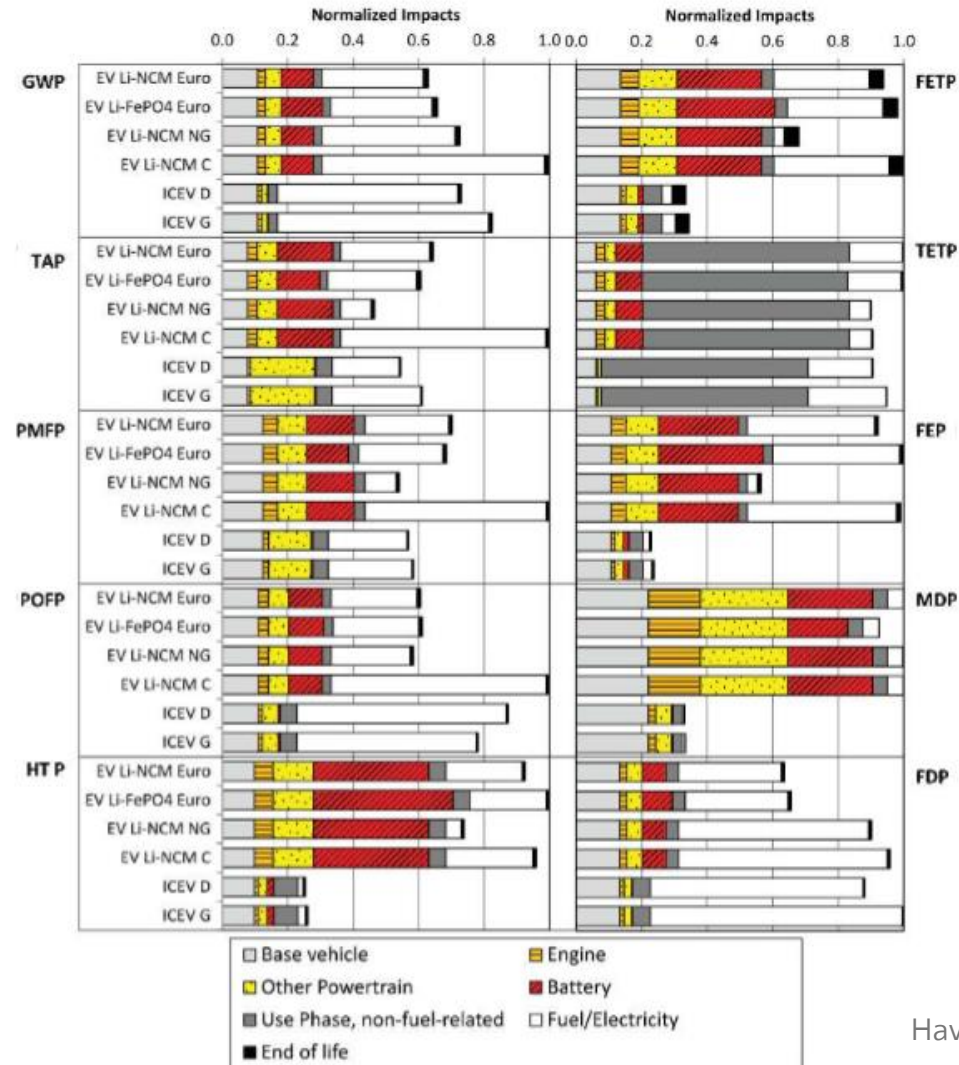


Rebitzer, 2013 / Jolliet et al., 2004

LCA - Interpretation

- Identifizierung von **Hot Spots**
- **Bewertung** (Unsicherheit, Konsistenz, Sensitivität)
- **Schlussfolgerungen** ziehen

LCA - Ergebnis



Hawkins et al., 2013

Welche Fragen kann eine LCA beantworten?

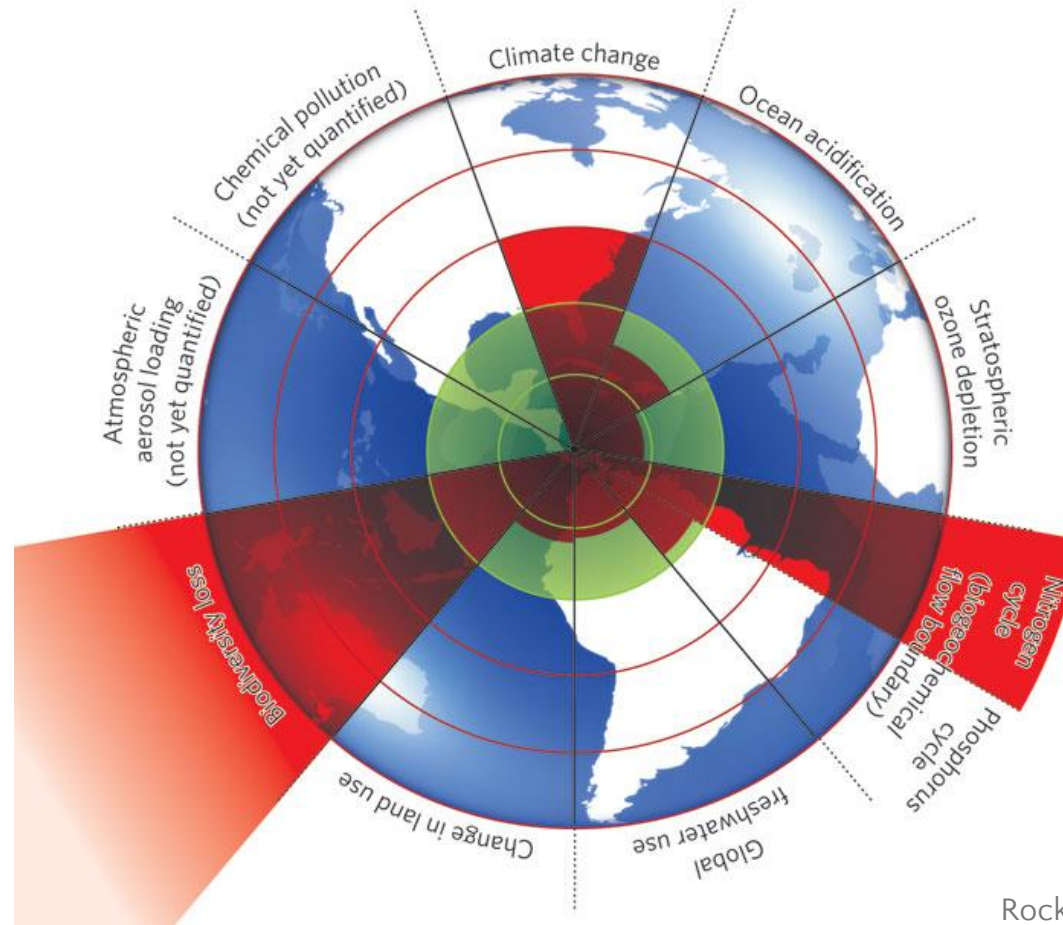
- Sind Papier- Stoff oder Plastiktüten die beste Wahl im Supermarkt?
- Ist ein elektrisches Fahrzeug umweltfreundlicher als eines mit Verbrennungsmotor?

...und welche nicht?

- Sollte man die Steuern für Dieselfahrzeuge erhöhen, um die Kosten für das Gesundheitssystem durch die Behandlung von Lungenkrankheiten zu reduzieren?

Nach Hauschild et al., 2018

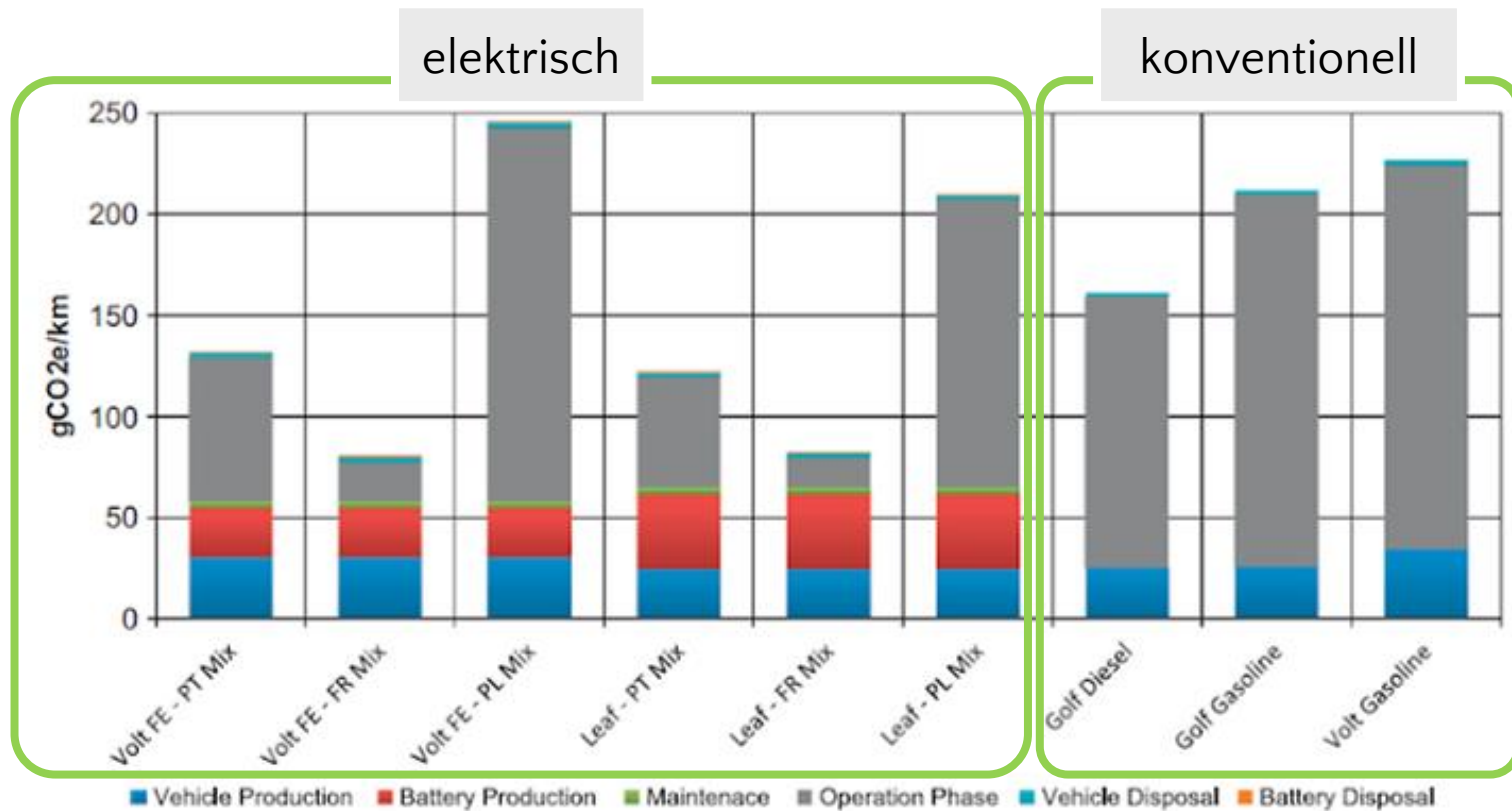
LCA - Globale Randbedingungen



Rockström et al., 2009

LCA - Beispiel: Verbrennungsmotor vs. Elektroantrieb

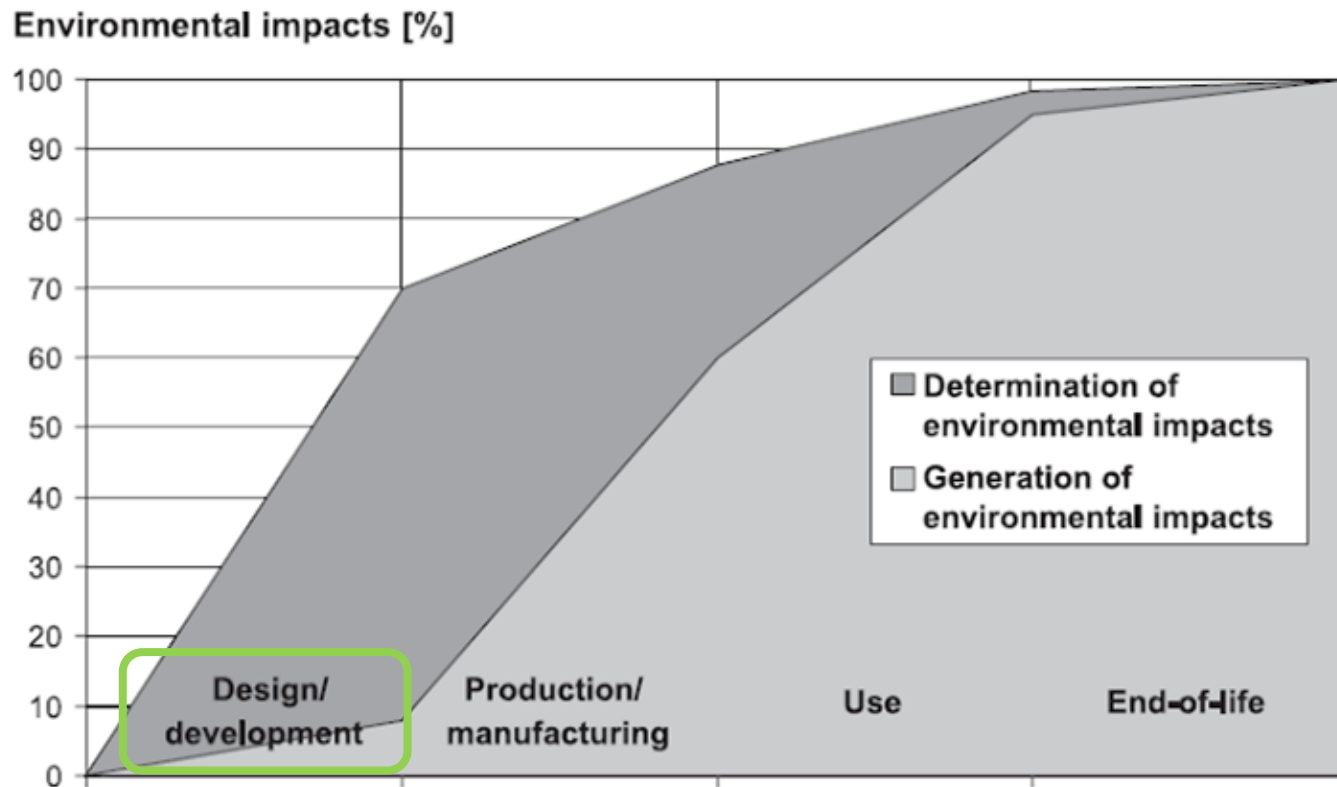
Welcher Antrieb verursacht weniger CO₂-Emissionen?



Faria et al., 2013

- Lernziele & Motivation
- Was ist Nachhaltigkeit?
- Der Lebenszyklusgedanke
 - Life Cycle Assessment (LCA) – die Ökobilanz
- **Nachhaltigkeit und der Produktlebenszyklus**
- Nachhaltigkeit und Qualität
- Obsoleszenz
- Nachhaltige Produktentwicklung – Beispiel
- Zusammenfassung

Die Umweltauswirkungen des Produktlebenszyklus werden hauptsächlich während der Entwicklung festgelegt



Rebitzer, 2004

Wie kann man nun nachhaltige Produkte entwickeln?



Design for Energy Efficiency



Wirkungsgrad: 5%
Lebensdauer: 750 h
Kosten: 330 € / 10 a

-290 €
- 600 kg CO₂



Wirkungsgrad: 25%
Lebensdauer: 20.000 h
Kosten: 40 € / 10 a

- Für Produkte, die während der Nutzung Energie verbrauchen (Waschmaschine, Kühlschrank, PKW)

blenderguru.com / airconz.co.za

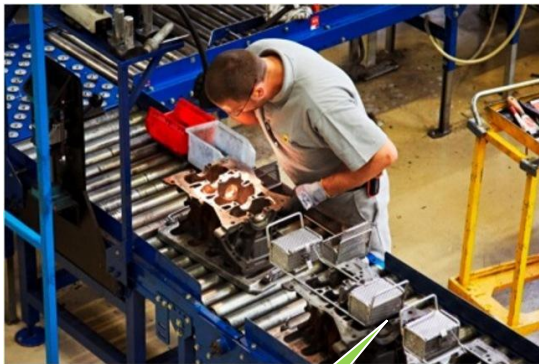
Design for Durability



- Für Produkte, die schnell abnutzen bzw. kaputt gehen (Schuhe, Werkzeug, Reifen)

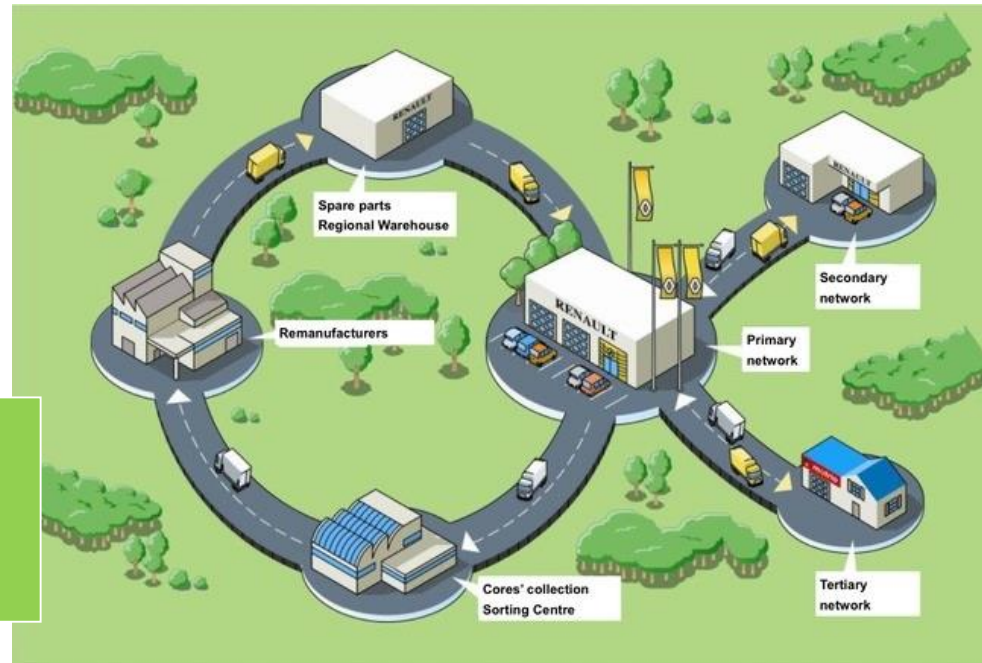
ABC News / pocketnow.com

Design for Remanufacturing



Aufbereitetes Teil:

80% weniger Energie
88% weniger Wasserverbrauch
92% weniger chemische Inhaltsstoffe
30 – 50% günstiger



- Renault Remanufacturing Plant “*Choisy-le-Roi*”:
Aufbereitung von Fahrzeugteilen

Ellen MacArthur Foundation

Design for Reuse



Reichweite: 560 km

Second Life
für den Akku



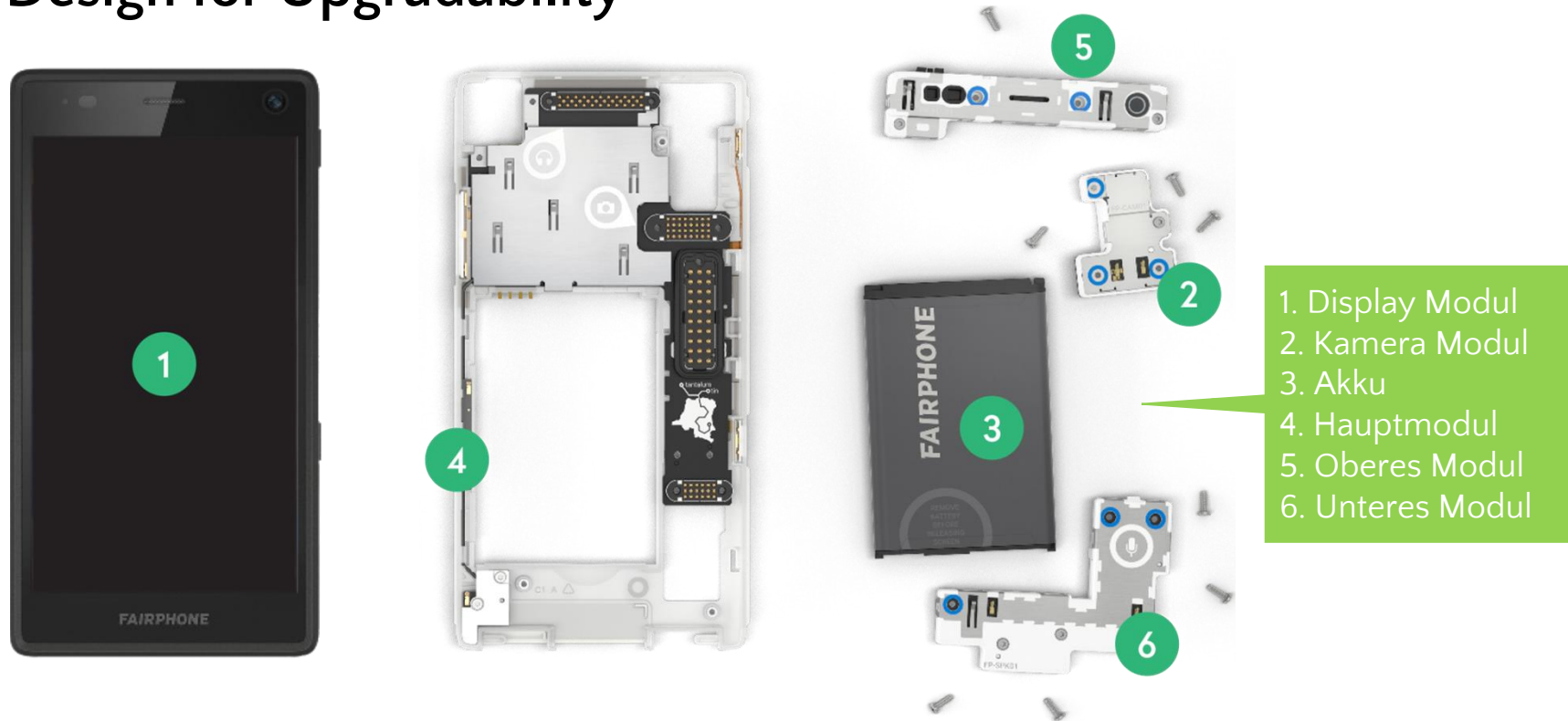
Strom für eine Woche

Tesla

Anmerkung:

Tesla verkauft derzeit **keine** gebrauchten Fahrzeugbatterien als Energiespeicher für zu Hause. Dies ist lediglich ein Gedankenspiel.

Design for Upgradability



- Modulares Design: Für Produkte, bei denen ein schneller technologischer Fortschritt zu erwarten ist

fairphone.com

Design for Emotional Attachment



➤ Von welchem Sessel würden Sie sich zuerst trennen?

[pinterest.com / ikea.com](https://pinterest.com/ikea.com)

Ziele für die Gestaltung nachhaltiger Produkte

1. Ein Produkt, welches mit einem **Minimum an Ressourcen und Verschmutzung** hergestellt werden kann.
2. Sicherstellen, dass durch die Nutzung des Produkts kleinstmögliche negative oder sogar positive **Auswirkungen auf die Umwelt** stattfinden.
3. **Maximale Nutzungsintensität** anstreben – nur so viel Material wie notwendig, kein Leerlauf im Gebrauch.
4. Vermeiden, dass ein Produkt aufgrund von Obsoleszenz **weggeworfen** wird.
5. Sicherstellen, dass möglichst alle Teile eines Produkts am Ende seines (ersten) Lebenszyklus **wiederverwendet** werden können.

- Lernziele & Motivation
- Was ist Nachhaltigkeit?
- Der Lebenszyklusgedanke
 - Life Cycle Assessment (LCA) – die Ökobilanz
- Nachhaltigkeit und der Produktlebenszyklus
- **Nachhaltigkeit und Qualität**
- Obsoleszenz
- Nachhaltige Produktentwicklung – Beispiel
- Zusammenfassung

Qualität ist,
wenn die Kunden
zurückkommen



und nicht die Ware.



Lückel u. Partner

...und Nachhaltigkeit ist,
wenn die Kunden nicht
mehr wiederkommen –
weil das Produkt ewig hält.

→ Neue Herausforderung
für Unternehmen:
Geschäftsmodelle jenseits
von “mehr Absatz”

Nachhaltigkeit als Qualitätsmerkmal

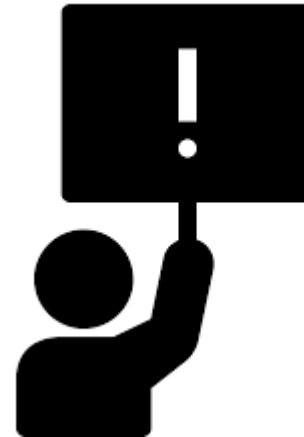
Definition Qualität: *“Gesamtheit der Merkmale, die eine Einheit zur Erfüllung vorgegebener Forderungen geeignet macht.”* (DIN 55350)

Welches sind diese Forderungen?

- Kosten
- Termin
- Funktion
- **Umweltauswirkungen**

Woher kommen diese Forderungen?

- Kunde
- Gesetzgeber
- Markt/Wettbewerb
- Normen



Wie kann Qualität nachhaltige Produkte zu ermöglichen?

1. Erhöhung der Qualität im **Produktionsprozess** (z.B. Six Sigma) reduziert Ausschuss und senkt so den Ressourcenverbrauch (*Gestaltungsziel 1*)
2. Produkt mit hoher Qualität erfüllt Kundenwünsche in hohem Maße, Folge: Produkt bleibt lange in Gebrauch wird **intensiv genutzt** (*Gestaltungsziel 3*)
3. Konsequenz: Weniger Umweltauswirkungen durch frühzeitige Entsorgung und Ersatz bzw. **Neuanschaffung** (*Gestaltungsziel 4*)
4. Derzeit noch kaum berücksichtigt: **Wiederverwendung** nach Ende des (ersten) Lebenszyklus (*Gestaltungsziel 5*)

Offen: Wie wirkt sich Qualität auf die **Nutzungsphase** (z.B. Energieverbrauch) aus?

Altes, langlebiges Produkt vs. neues, effizientes Produkt



Seit 48 Jahren in Benutzung
500 g CO₂/km



Neuanschaffung
0 g CO₂/km*

➤ Wann ist eine Neuanschaffung ökologisch sinnvoll?

*bei Betrieb mit Ökostrom, vereinfachte Rechnung

conceptcarz.com / renault.ch

Beispiele für Produkte, bei denen die Nutzungsphase die Umweltwirkungen dominiert



Philips / AEG / Gildemeister

Welches Konsequenzen ergeben sich für das Qualitätsmanagement?

- Ziel: Auslegung des Produkts für die **richtige Lebensdauer**
- Lebensdauer zu kurz: **vorzeitige Entsorgung** und Neubeschaffung
- Lebensdauer zu lang: **Energieeffizienzpotentiale** durch neuere, bessere Produktgeneration bleibt ungenutzt oder Ressourcenverschwendung durch zu langlebiges Produkt (hält länger als es effektiv genutzt wird)



joeja.photoshelter.com

- Lernziele & Motivation
- Was ist Nachhaltigkeit?
- Der Lebenszyklusgedanke
 - Life Cycle Assessment (LCA) – die Ökobilanz
- Nachhaltigkeit und der Produktlebenszyklus
- Nachhaltigkeit und Qualität
- **Obsoleszenz**
- Nachhaltige Produktentwicklung – Beispiel
- Zusammenfassung

Was bedeutet Obsoleszenz?

Duden: *obsolet* = *nicht mehr gebräuchlich; nicht mehr üblich; veraltet*

- Produkte werden obsolet, wenn sie nicht mehr genutzt werden.

duden.de

Was bedeutet Obsoleszenz?

Folgende **Wirkungsmechanismen** existieren:

- Produkt nutzt ab oder verliert seine Funktion (Verschleiß, **funktionale** Obsoleszenz)
- Produkt nicht mehr wirtschaftlich betreibbar (**ökonomische** Obsoleszenz)
- Produktfunktion nicht mehr benötigt oder nicht kompatibel mit neuer Peripherie (technische oder **technologische** Obsoleszenz)
- Produktästhetik nicht mehr ansprechend (**psychologische** Obsoleszenz)
- ...und: **geplante Obsoleszenz**: vorzeitiges Lebensende wird seitens des Herstellers angestrebt, um Absatzpotential zu erhöhen

Beispiele für geplante Obsoleszenz



1924: Das "Phoebus Kartell" (u.a. Osram, Philips u. GE) beschließt eine Lebensdauer von 1000 h (statt bis zu 2000 h) für Glühbirnen, um Profite zu steigern.

<https://spectrum.ieee.org/tech-history/dawn-of-electronics/the-great-lightbulb-conspiracy>



Ca. 1900: DuPont reduziert die Haltbarkeit von Nylonfasern, Strumpfhosen werden zunehmend zum Einmalprodukt (Slade, 2006)



2017: Smartphones, die beim Herunterfallen zerbrechen, nicht mit eigenem Werkzeug zu reparieren sind, nach Softwareupdates teilweise unbenutzbar werden etc.

<https://www.theguardian.com/sustainable-business/2015/mar/23/were-are-all-losers-to-gadget-industry-built-on-planned-obsolescence>

blenderguru.com / kaufmann-mercantile.com / apple.com

Trade-Offs für die LebensdauerAuslegung

- Es gilt, **alle Arten** der Obsoleszenz zu berücksichtigen
- Idealzustand: **100% Überdeckung** zwischen allen Arten der Obsoleszenz & altes Produkt wird obsolet, wenn Umstieg auf ein neues **aus LCA-Sicht sinnvoll** ist

Anzustrebender Idealzustand:

- Glühbirne: Hält so lange, bis neuere, effizientere Beleuchtungstechnologie auf dem Markt verfügbar ist
- Strumpfhose: Hält so lange, bis Kleidungsstück aus der Mode gerät
- Smartphone: Batterie austauschbar (Verschleiß), Hardware-Module austauschbar (Technologie Upgrade), wasserdicht, bruchstabil, ewiger Software-Support und Aufwärts-Kompatibilität...

Beispiel Nokia 3310



Welche Art der Obsoleszenz liegt vor?
Wie könnte diese adressiert werden?

blogs.windows.com

- Lernziele & Motivation
- Was ist Nachhaltigkeit?
- Der Lebenszyklusgedanke
 - Life Cycle Assessment (LCA) – die Ökobilanz
- Nachhaltigkeit und der Produktlebenszyklus
- Nachhaltigkeit und Qualität
- Obsoleszenz
- **Nachhaltige Produktentwicklung – Beispiel**
- Zusammenfassung

Fallbeispiel Orangebox – Bürostuhlhersteller



2006: “Joy”
Fokus:
*Haltbarkeit,
Demontage*



2007: “Cors”
Fokus:
*Demontage,
Haltbarkeit,
Wiederverwendung*



2009: “Ara”
Fokus:
*Recycling &
geschlossene
Materialkreisläufe*



2012: “Do”
Fokus:
*Materialeffizienz,
Gewichtsreduktion*

Prendeville et al., 2016

Fallbeispiel Orangebox – Bürostuhlhersteller



Prendeville et al., 2016

Fallbeispiel Orangebox – Bürostuhlhersteller

Erkenntnisse:

- Trade-Offs werden offensichtlich
- Ein Lernprozess über mehrere Produktgenerationen ist wahrscheinlich unvermeidbar
- Die Strategie hat weitreichende Auswirkungen auf das Produkt
- Das optimale Produkt gibt es nicht
- Ökonomische Randbedingungen (Auslagerung nach Fernost) sind nicht zu vernachlässigen

- Lernziele & Motivation
- Was ist Nachhaltigkeit?
- Der Lebenszyklusgedanke
 - Life Cycle Assessment (LCA) – die Ökobilanz
- Nachhaltigkeit und der Produktlebenszyklus
- Nachhaltigkeit und Qualität
- Obsoleszenz
- Nachhaltige Produktentwicklung
 - Erkenntnisse
 - Beispiel
- **Zusammenfassung**

- **Nachhaltigkeit:** 3 Säulen, Systemeigenschaft, Definition, absolut – relativ
- **Lebenszyklus:** LCA zur Erfassung der Umweltauswirkung
- **LCA – Vorgehen:** Goal and Scope, Inventory Analysis, Impact Assessment, Interpretation
- **Fünf Gestaltungsziele** für nachhaltige Produkte
- Strategien zur Gestaltung nachhaltiger Produkte (**Design for X**)
- Nachhaltigkeit als **Qualitätsmerkmal**
- Wie Qualität helfen kann, die Gestaltungsziele für nachhaltige Produkte zu erreichen
- Die Bedeutung der **Nutzungsphase** des Produkts
- **Obsoleszenz:** Produkte werden überflüssig
- **Vier Arten** der Obsoleszenz (funktional, ökonomisch, technologisch, psychologisch)
- **Fallbeispiel Orangebox:** Trade-Offs, die auftreten können

Lernziele für die heutige Vorlesung:



- Grundverständnis des Begriffs Nachhaltigkeit entwickeln
- Verschiedene Aspekte von Nachhaltigkeit kennenlernen
- Grundverständnis für den Lebenszyklus eines Produkts entwickeln
- In den Grundzügen verstehen, wie eine Lebenszyklusbewertung (LCA) durchgeführt wird
- Verschiedene Gestaltungsstrategien und -ziele für nachhaltige Produkte kennenlernen
- Die Bedeutung von Obsoleszenz kennenlernen
- Den Zusammenhang zwischen Qualität und Nachhaltigkeit erkennen
- Erläutern können, wie Zielkonflikte bei der Gestaltung nachhaltiger Produkte auftreten können

- Brundtland, G. H. (1987). *Report of the World Commission on environment and development: "our common future."* United Nations.
- Petersen, M. (2017). *Considering sustainability in the development of consumer goods* (Doctoral dissertation, Technische Universität Hamburg).
- Gaziulusoy, A. I., & Brezet, H. (2015). Design for system innovations and transitions: a conceptual framework integrating insights from sustainability science and theories of system innovations and transitions. *Journal of Cleaner Production*, 108, 558–568.
- Rebitzer, G., Ekvall, T., Frischknecht, R., Hunkeler, D., Norris, G., Rydberg, T., ... & Pennington, D. W. (2004). Life cycle assessment: Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. *Environment international*, 30(5), 701–720.
- Ekvall, T., & Weidema, B. P. (2004). System boundaries and input data in consequential life cycle inventory analysis. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 9(3), 161–171.
- Jolliet, O., Müller-Wenk, R., Bare, J., Brent, A., Goedkoop, M., Heijungs, R., ... & Rebitzer, G. (2004). The LCIA midpoint-damage framework of the UNEP/SETAC life cycle initiative. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 9(6), 394.
- Hawkins, T. R., Singh, B., Majeau-Bettez, G., & Strømman, A. H. (2013). Comparative environmental life cycle assessment of conventional and electric vehicles. *Journal of Industrial Ecology*, 17(1), 53–64.
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin III, F. S., Lambin, E. F., ... & Nykvist, B. (2009). A safe operating space for humanity. *nature*, 461(7263), 472.
- Faria, R., Marques, P., Moura, P., Freire, F., Delgado, J., & de Almeida, A. T. (2013). Impact of the electricity mix and use profile in the life-cycle assessment of electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, 271–287.
- Prendeville, S. M., O'Connor, F., Bocken, N. M., & Bakker, C. (2017). Uncovering ecodesign dilemmas: A path to business model innovation. *Journal of cleaner production*, 143, 1327–1339.

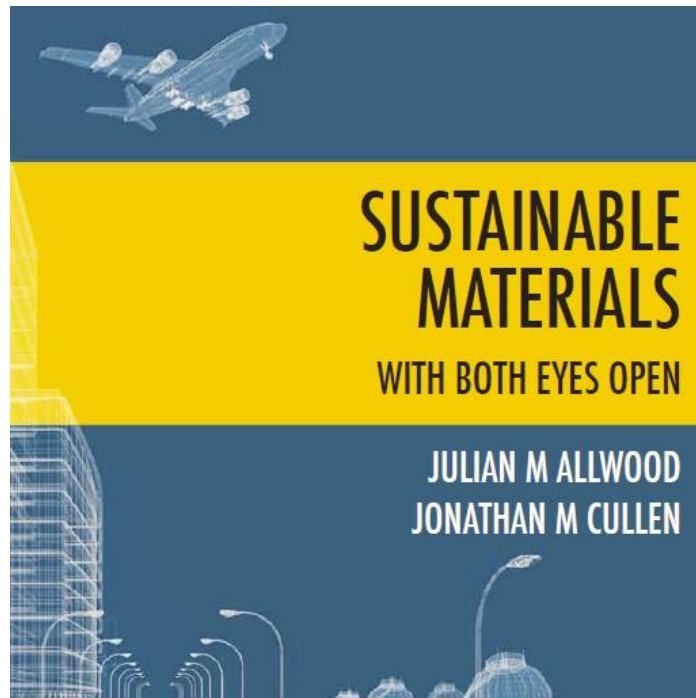
Literatur (2/2)

Sustainable Materials - with both eyes open (Buch)

Julian M. Allwood & Jonathan M. Cullen, University of Cambridge

Zum Download (kostenlos):

<http://www.withbotheyesopen.com/read.php>



Fachgebiet
Produktsicherheit

Danke!

Malte Schäfer M.Sc.

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik
Professur für Nachhaltige Produktion u. Life Cycle Engineering

malte.schaefer@tu-bs.de

0531-391-7650



BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

Ende der Bildschirmpräsentation

PS