

NPE: Design for CE

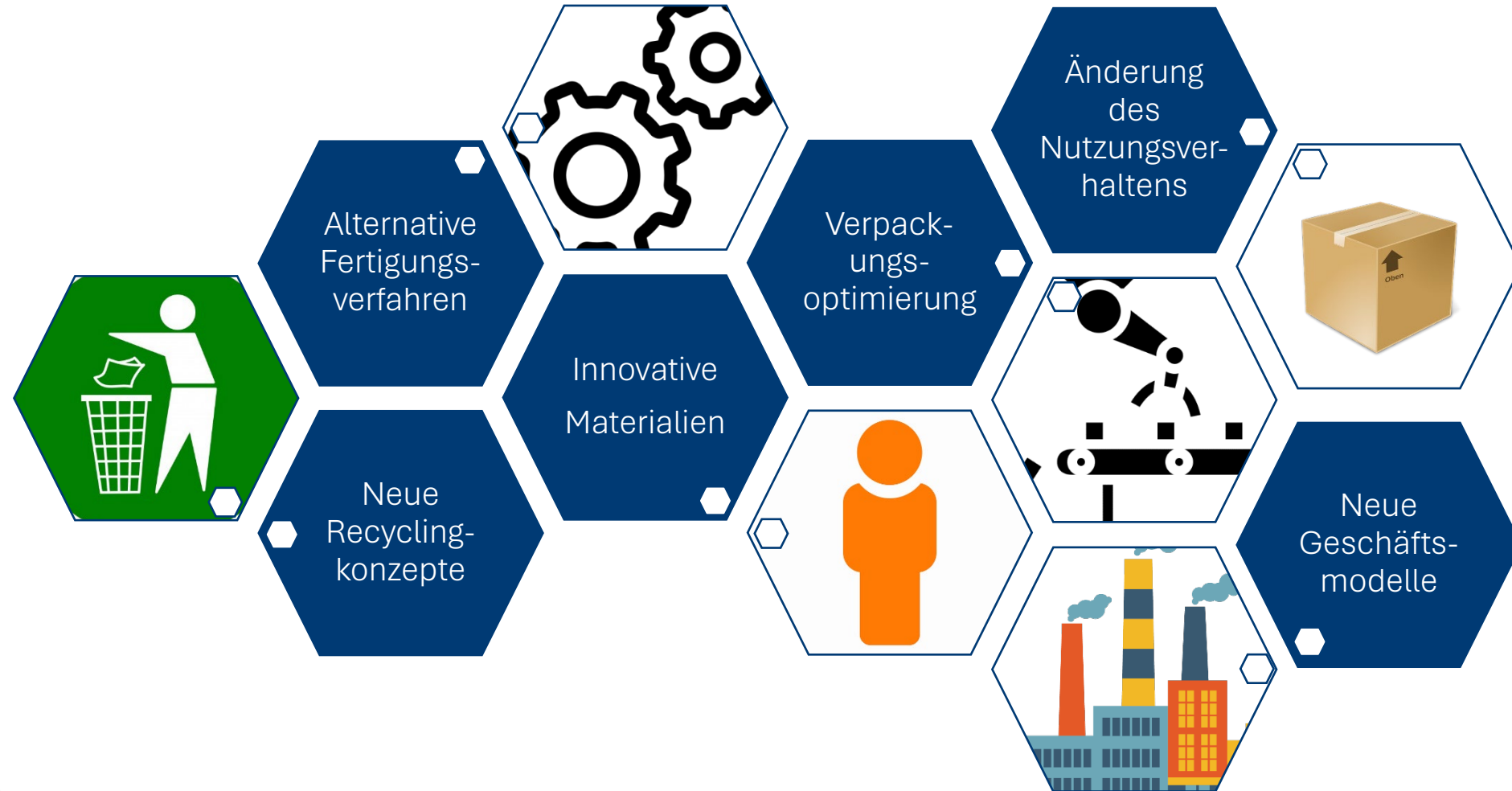
Prof. Dr.-Ing. Diana Völz

Frankfurt University of Applied Sciences

Haftungsausschluss

- Die Vorlesungs- und Übungsunterlagen sind ausschließlich für den Gebrauch in meinen Lehrveranstaltungen bestimmt!
- Die Weitergabe der Unterlagen an Dritte, ihre Vervielfältigung oder Verwendung auch von Auszügen davon in anderen elektronischen oder gedruckten Publikationen ist nicht gestattet.
- Für eventuell enthaltene Fehler wird keine Haftung übernommen!

Neue Konzepte & Beispiele



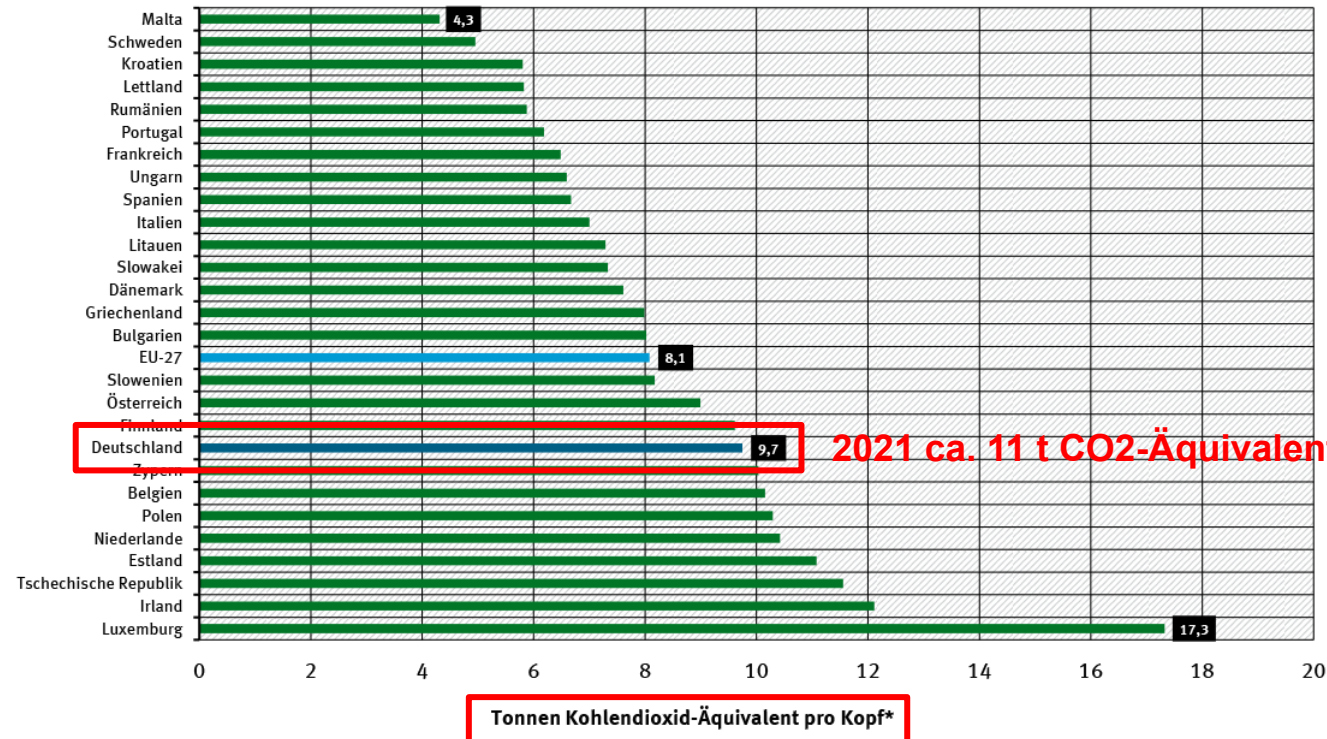
Einführung

Treibhausgas-Emissionen

der Europäischen Union im Vergleich 2019

Treibhausgas-Emissionen der Europäischen Union im Vergleich 2019

Pro-Kopf-Emissionen



2021 ca. 11 t CO₂-Äquivalent pro Kopf

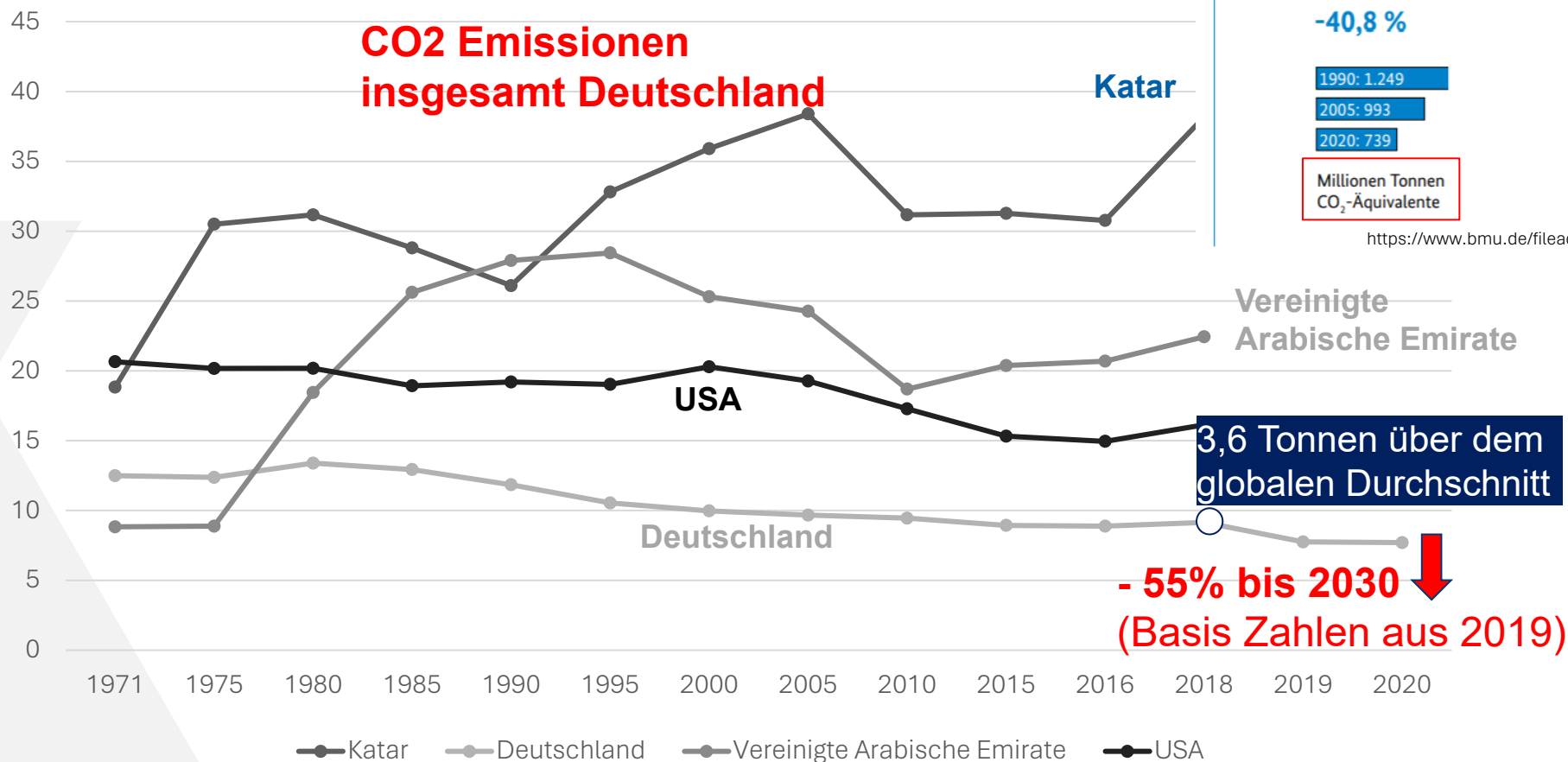
* alle Angaben entsprechend der UNFCCC-Berichterstattung, ohne Emissionen aus Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF)

Quelle: Europäische Umweltagentur - European Environment Agency (EEA), EEA greenhouse gas - data viewer <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer> (07.09.2021)

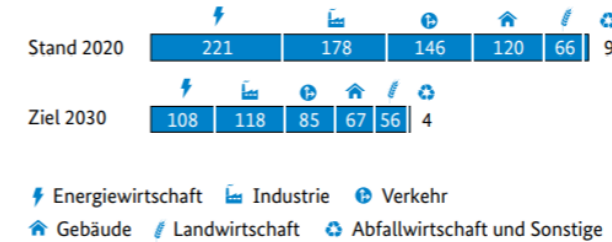
Treibhausgas-Emissionen

Internationaler Vergleich

Emissionstrends und -ziele in Deutschland



Deutsche Treibhausgasemissionen nach Sektoren:



Treibhausgas-Emissionen

- pro Person werden jährlich ca. 11t CO₂e emittiert.
- die Emission teilt sich auf in folgende Sparten:

Ernährung
Mobilität

15%



34%

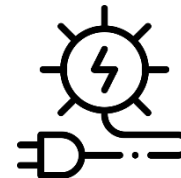


Konsum

27%



24%

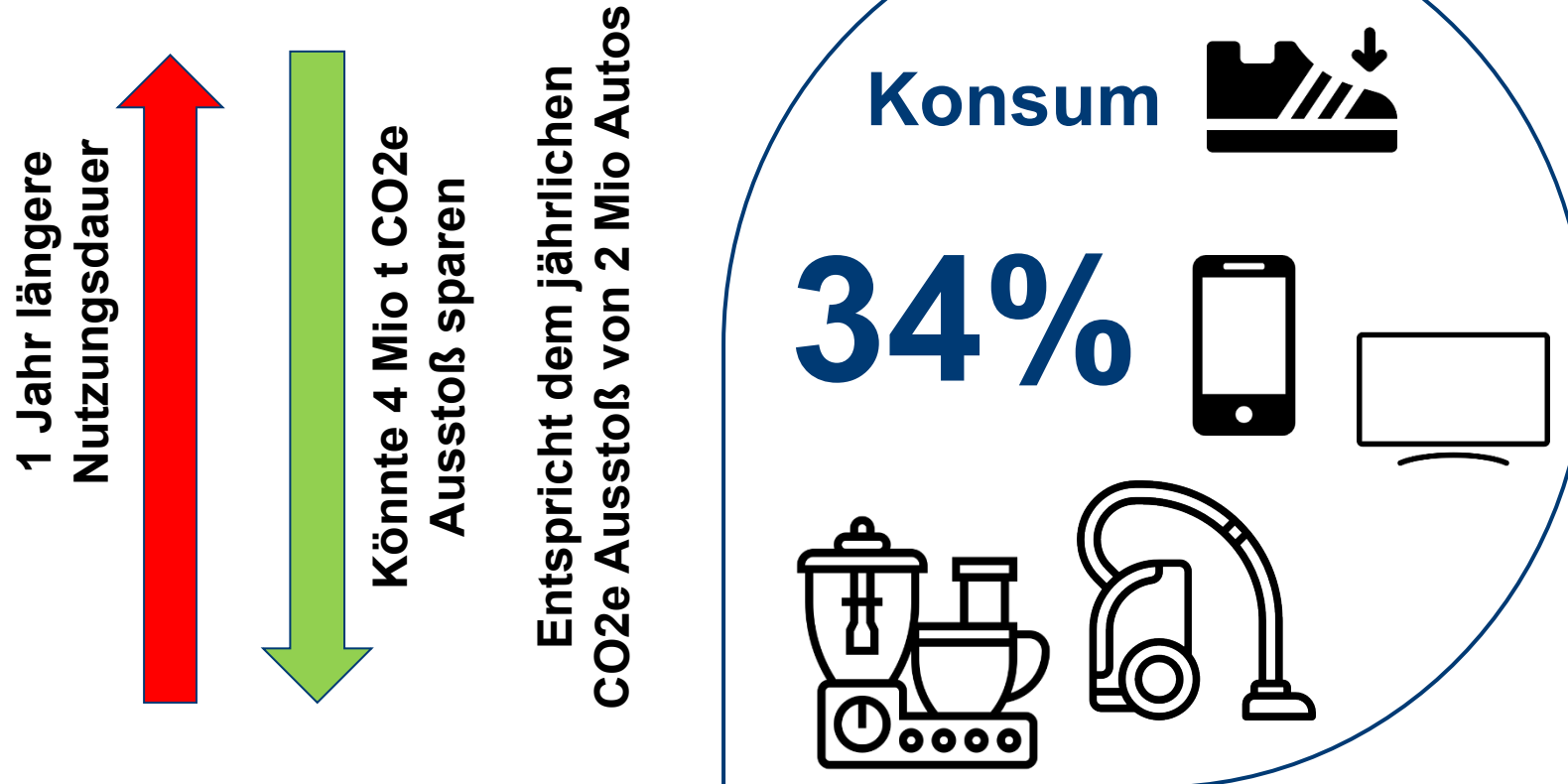


**Wohnen &
Strom**

Quelle: Bundesumweltamt (livenachneun)

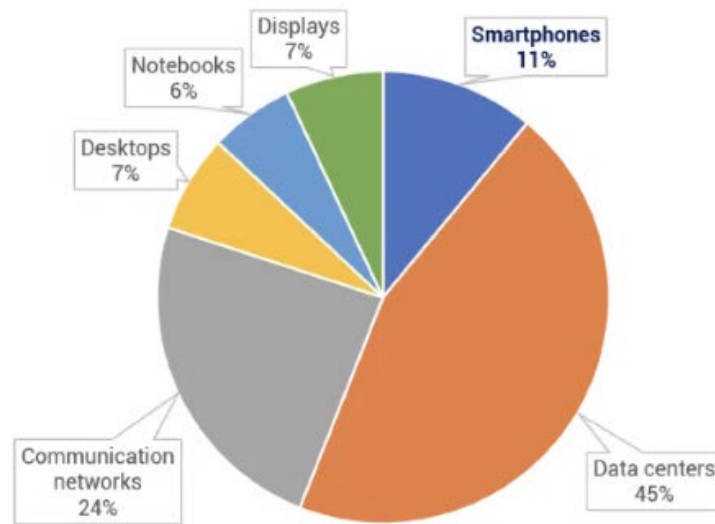
Treibhausgas-Emissionen

- pro Person werden jährlich 11t CO₂e emittiert.
- die Emission teilt sich auf in folgende Sparten:



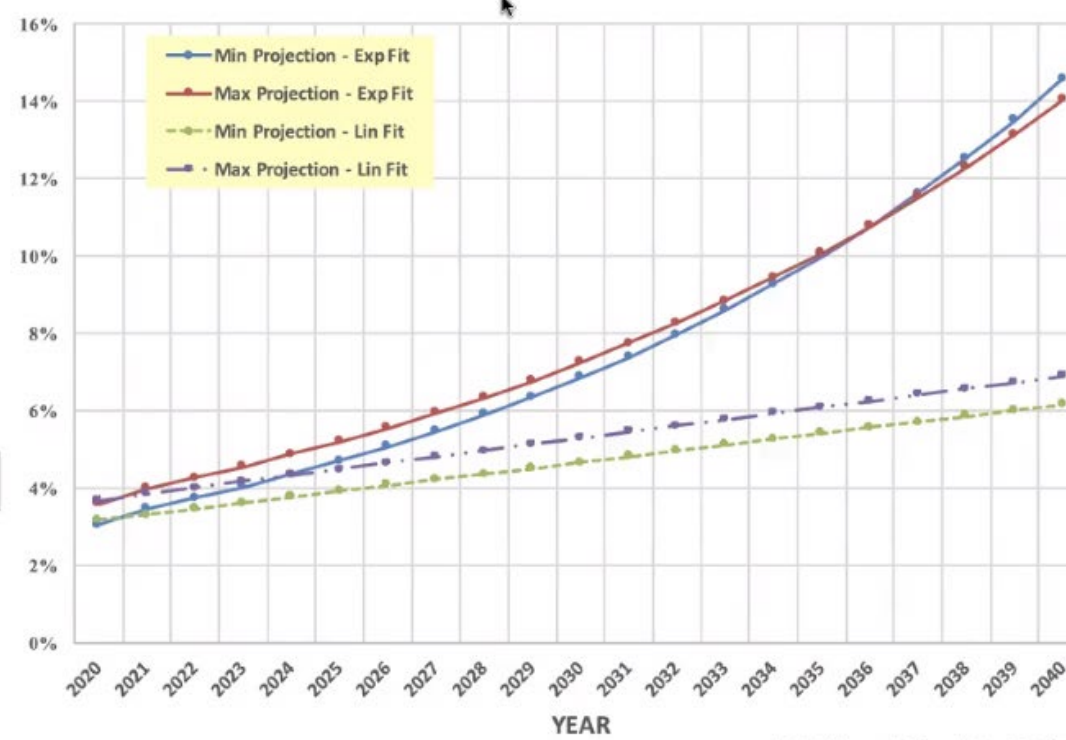
Klimawandel: Emissionen aus der ICT-Industrie werden zunehmen

Globaler Treibhausgas Fußabdruck der ICT Industrie in 2020



KI-Anwendungen!

ICT Treibhausgas Fußabdruck als Prozentsatz des globalen Fußabdrucks



(Belkhir and Elmeligi, 2018)

Smartphones

Handynutzung



1,5 Milliarden
Smartphones
werden jährlich
weltweit verkauft



Die
durchschnittliche
Lebensdauer
beträgt 2-3 Jahre



Nur 20% werden
recycelt

FAIRPHONE

Handynutzung

Das entspricht folgenden Materialressourcen:

6.000 kg Gold

3.300.000 kg Kupfer

61.000 kg Silber



1,5 Milliarden
Smartphones
werden jährlich
weltweit verkauft



Die
durchschnittliche
Lebensdauer
beträgt 2-3 Jahre



Nur 20% werden
recycelt

Handynutzung

Das entspricht folgenden Materialressourcen:

6.000 kg Gold

3.300.000 kg Kupfer

61.000 kg Silber

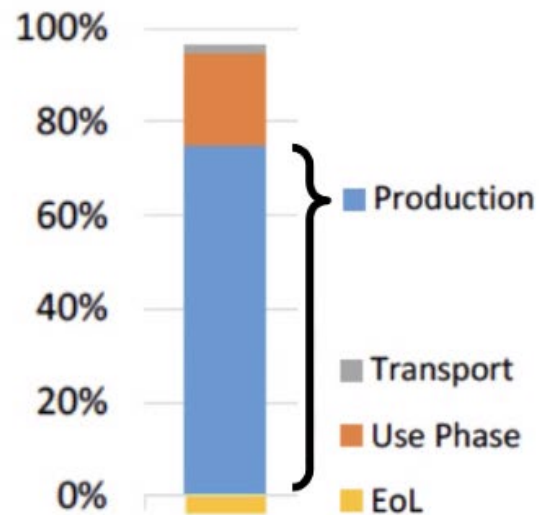


Was können wir beitragen?

- Smartphone solange wie möglich behalten
- defekte Smartphones reparieren lassen
- auf das Gratis-Handy verzichten und stattdessen einen besseren Vertrag aushandeln
- das gebrauchte, zerbrochene Smartphone in den Laden zurückbringen

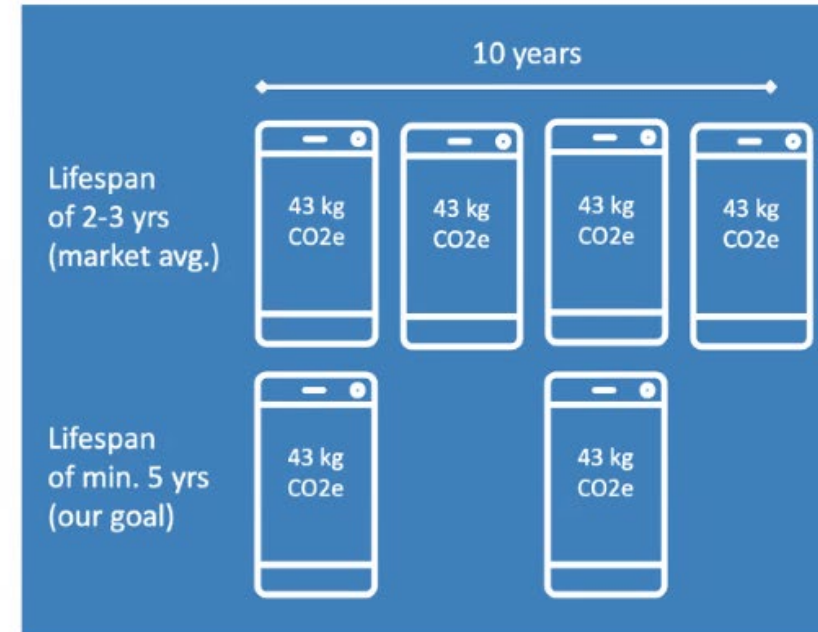
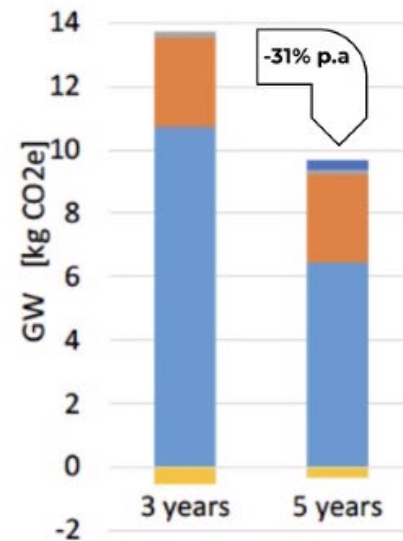
Verlängerung der Lebensdauer: Umweltwirkung

Auswirkungen auf Erderwärmung,
pro Lebenszyklusphase



(LCA Fairphone 3, Fraunhofer IZM)

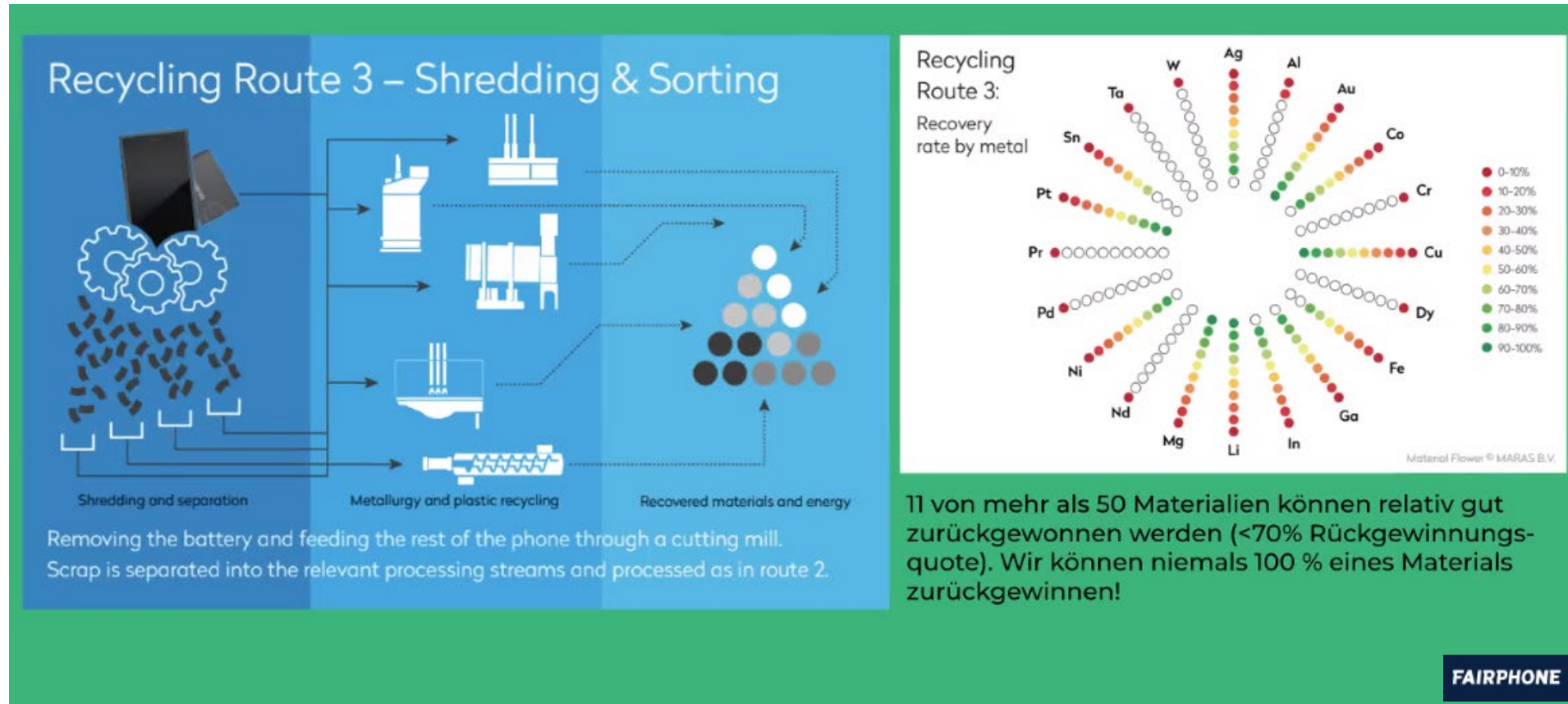
Auswirkungen auf
Erderwärmung, pro
Nutzungsjahr



FAIRPHONE

Recycling von Smartphones

- In Smartphones befinden sich mehr als 50 Materialien.
- Nur eine Handvoll kann (teilweise) zurückgewonnen werden.



Recycling von Smartphones

- Die nicht zurückgewonnenen Materialien bleiben als Abfall zurück und gehen verloren



FAIRPHONE: Der Ansatz beruht auf 3 Säulen

Langlebigkeit

Langlebiges Design:
Reparierbarkeit und
Hardwareupgrades durch
Modularität

Anreiz für längere
Nutzungsdauern durch
Reparatur: 5 Jahre
Herstellergarantie

Langfristiger Software
Support

- Leichtes Öffnen und Zerlegen in kleinere Teilsysteme (Reparatur/Upgrade)
- Widerstandsfähigkeit gegen Stürze und Staub, etc.
- Einfache Diagnose und Aktualisierung
- Bereitstellen von erschwinglichen Ersatzteilen und Reparaturinformationen
- Einfache Rücknahme => Wiederverwendung von Modulen als Ersatzteilen

Fairphone

Recht auf
Reparatur!?



FAIRPHONE

<https://www.connect.de/ratgeber/fairphone-shiftphone-smartphone-fair-nachhaltig-3196949.html>

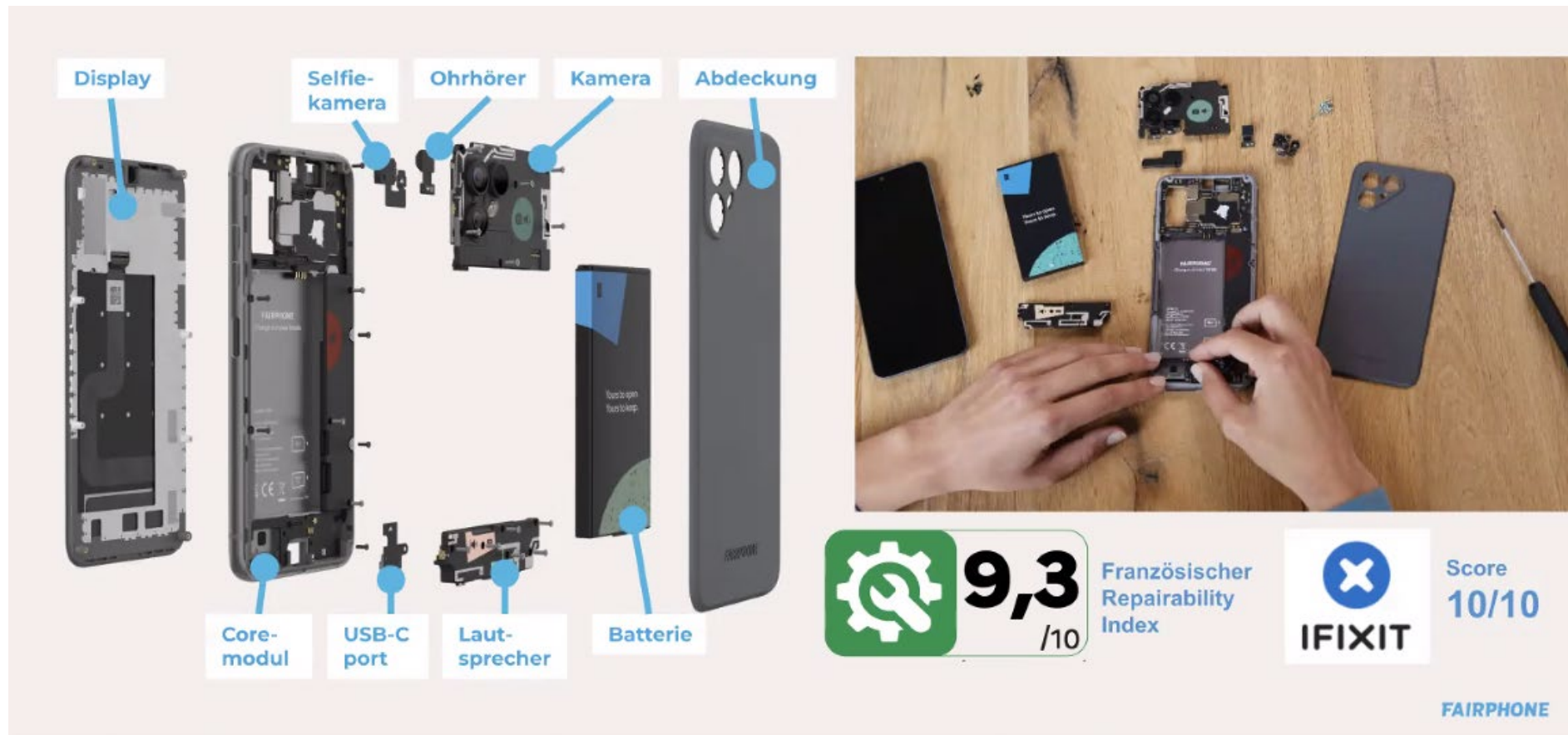
- Das Fairphone ist überwiegend modular aufgebaut und lässt sich sehr einfach in seine sieben Einzelelemente zerlegen. Als Laie kann einfach die Displayeinheit oder die Kamera getauscht werden. Das garantiert eine lange Lebenszeit und hilft später beim Materialrecycling.

Zusätzlich:

- Gewinn pro Handy und Lieferkette werden offengelegt
- 5 Jahre Herstellergarantie sowie Softwareunterstützung

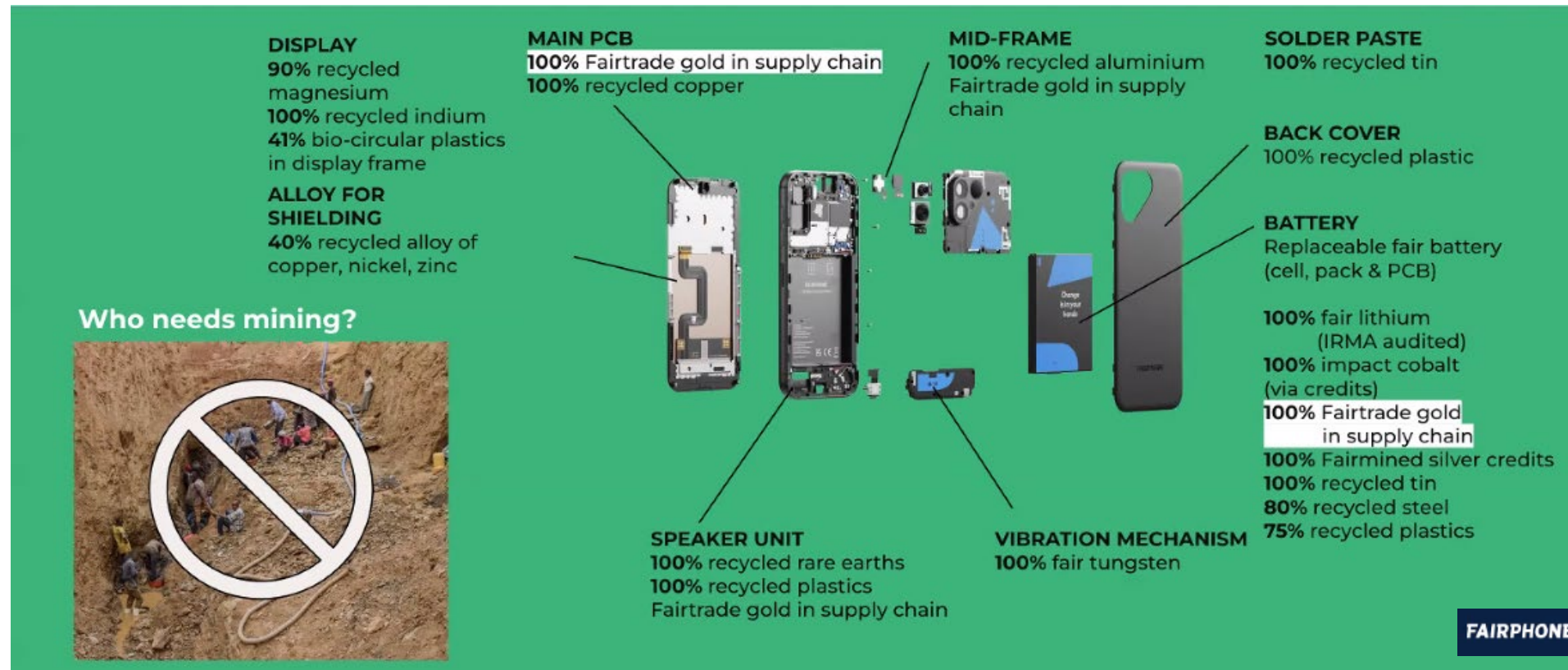
Fairphone

FAIRPHONE: Durch einen modularen Aufbau wird eine längere Lebensdauer ermöglicht (hier: Fairphone 4)



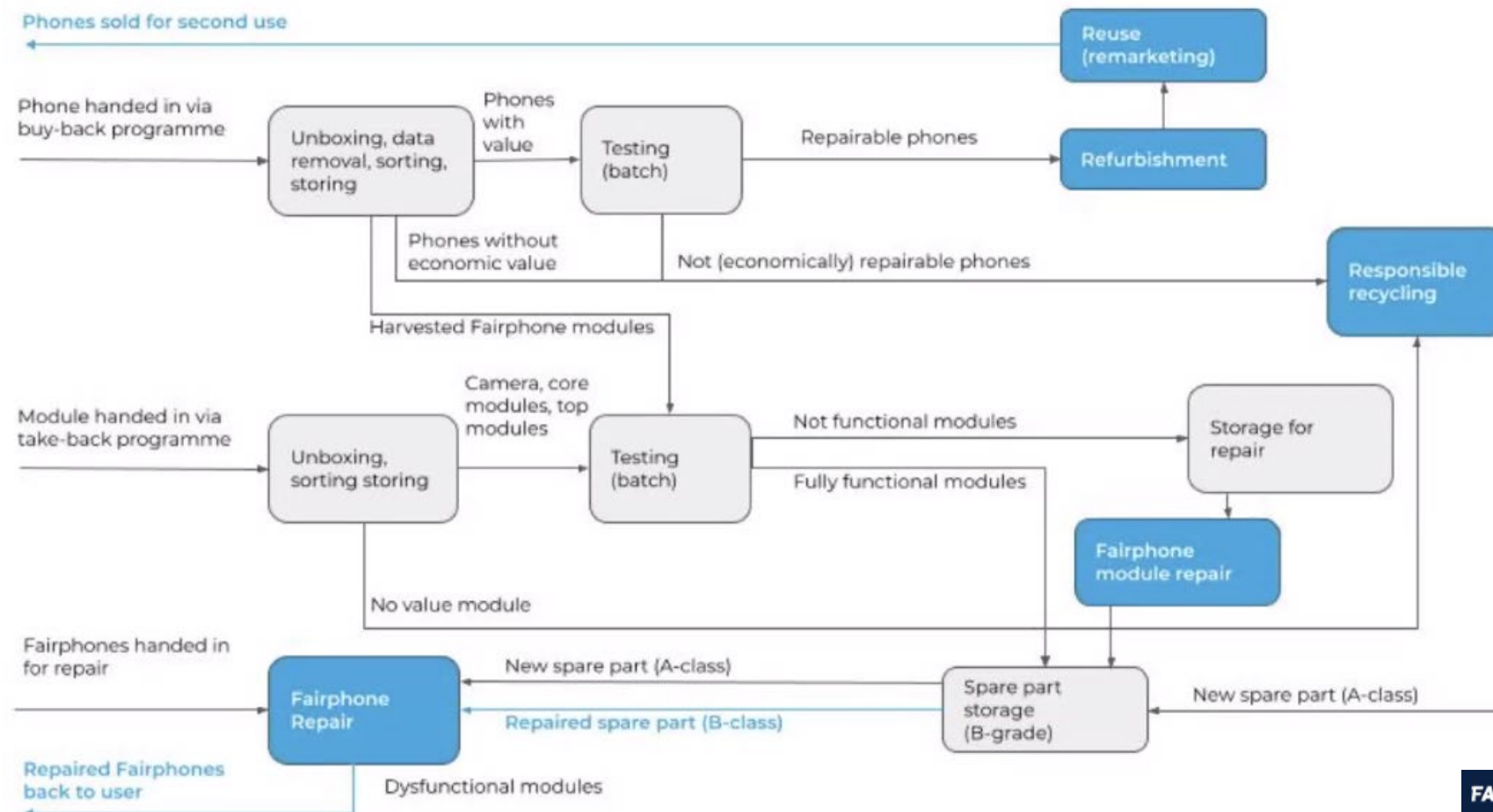
Recycling von Smartphones

FAIRPHONE: Ohne Bergbau geht es nicht (man kann sich bei der Herstellung von Handys nicht nur auf recycelte Materialien beschränken)



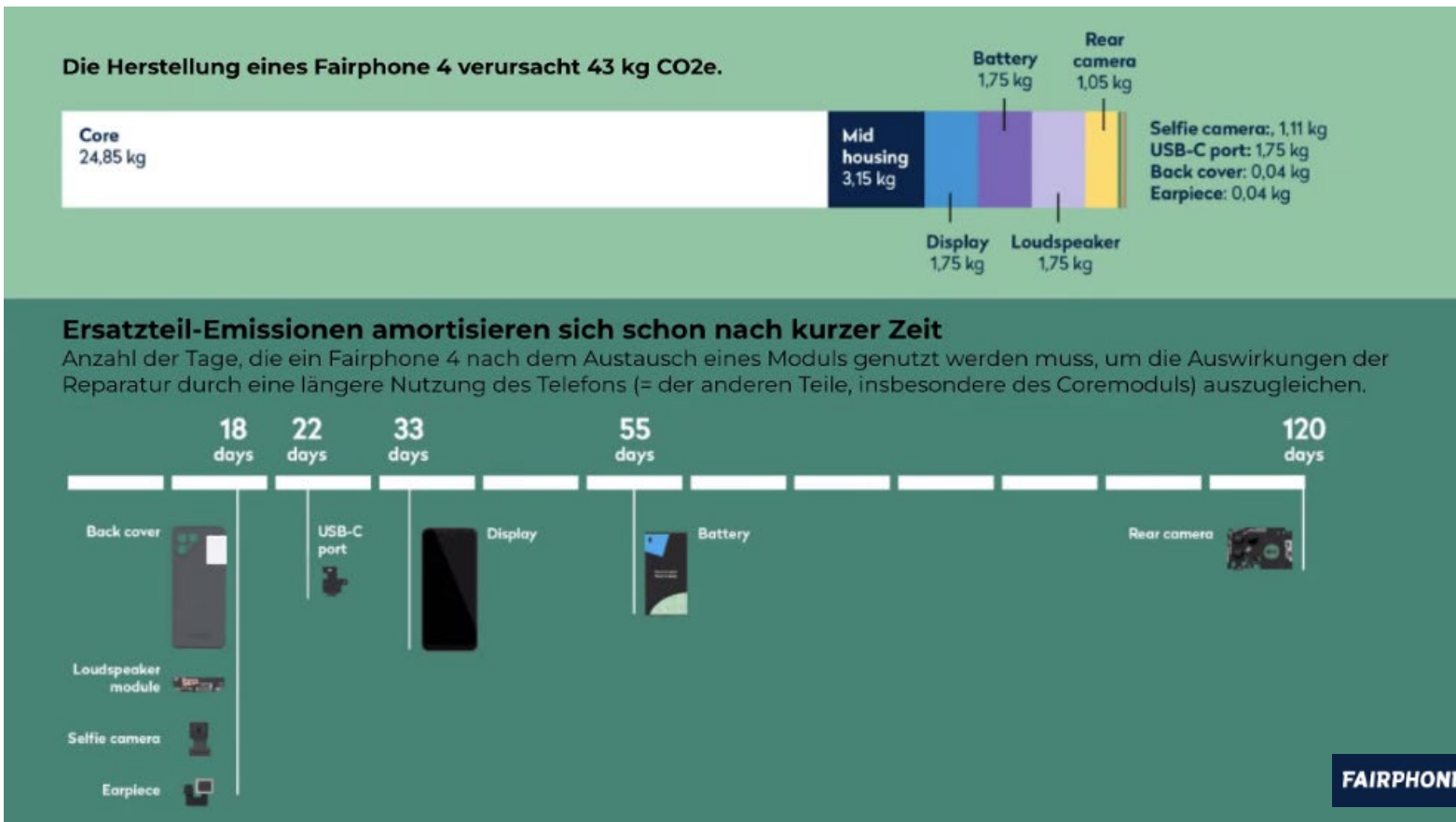
Rücknahme

FAIRPHONE: Modularität als Kernstück in der Rücknahme



Langlebigkeit

FAIRPHONE: Reparatur ist der Schlüssel zur Verringerung der Umweltauswirkungen



Recht auf Reparatur

- Verbraucher sollen beim Kauf umfassende Informationen über die **Kosten von Ersatzteilen** erhalten - und auch darüber, **ob ein Gerät repariert werden kann**
=> Waren müssen angepasst werden
- *«Viel zu oft sind sie verlötet, verklebt oder verschweißt, so dass sie kaputt gehen, wenn man sie reparieren will. Oder aber es sei Spezialwerkzeug notwendig.»*
- *Bei Waschmaschinen oder Kaffeemaschinen sei die Herstellung oft sehr viel belastender für die Umwelt als eine Reparatur.*
- Die **Europaparlamentarier** wollen Produzenten künftig auch in **puncto Lebensdauer stärker verpflichten**. *«Viele der Produkte werden extra so gebaut, dass sie nach kurzer Zeit kaputt gehen»*

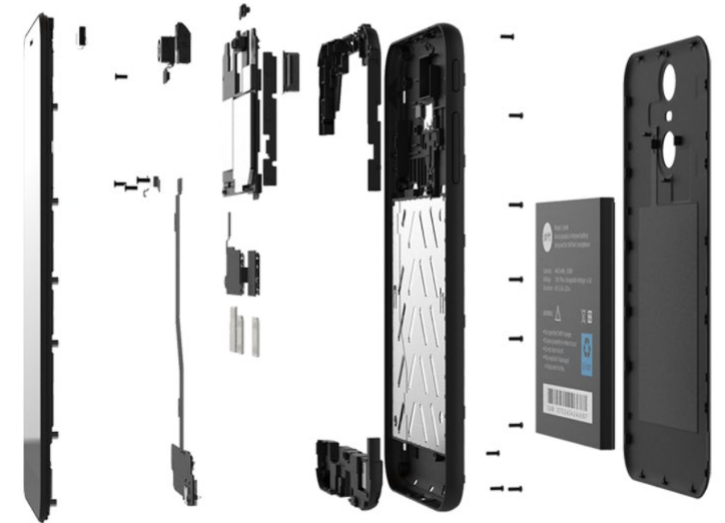
Europäisches Verbraucherzentrum

Recht auf
Reparatur!?

- Das Shiftphone ist ein modulares Smartphone, das nachhaltig und unter fairen Bedingungen produziert wird.
- Es wurde im Jahr 2014 von der deutschen Shift GmbH eingeführt.
- Das Konzept bedeutet für den Endverbraucher/die Endverbraucherin eine einfache Reparierbarkeit der Geräte und den Austausch einzelner Module.

Das #LOVEPHONE

SHIFT6m und SHIFT5me - modularste Smartphones der Welt!

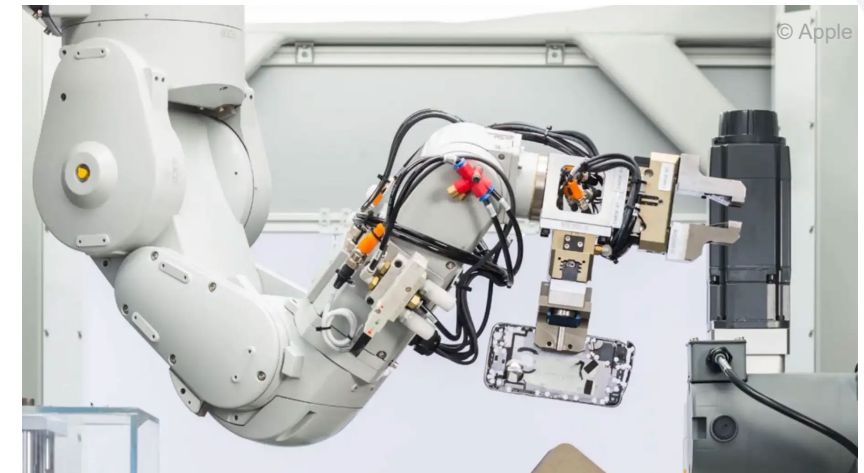


<https://www.shiftphones.com/>



- **Mining-free-Konzept** bei Apple
- Zentrale Rohstoffe in der Hardware sollen mit dem **Recycling Roboter Daisy** im „**Closed Loop**“ komplett aus dem Recycling kommen.
- neu **Akku-Recycling-Prozess**: 4-stufiges Verfahren, Temp. bis 80°C

Rohstoffe: u.a. Lithium, Zinn, Kobalt, seltene Erden
„Alcoa und Rio Tinto“ (Konzern) liefern CO2 freies Alu
Extrahierungs- und Raffinierungsarbeit bei externen Recyclern



Quelle: Heise online: Apples Recycling-Roboter trennt iPhones in 14 Minerale, 13.01.21

[Elektroschrott: So zerlegt Apples Roboter "Daisy" kaputte iPhones \(t-online.de\)](https://www.t-online.de)

Neue Konzepte

C2C upcycling **Kaskadennutzung** Upgrading
Urban Mining Down-Cycling Refurbishing
Recyclingpass **Re-Manufacturing** Re-Use Design-
for-Recycling Wiederverwertung
Weiterverwertung Wiederverwendung
Weiterverwendung Repair **Aufarbeitung**

VDI 2243: Analyse eines Toasters

Zielsetzung: Verwertungsgerechte Produktgestaltung

Materialauswahl:

- Spulenkörper von **Polyoxymethylen POM** in **Polybutylenterephthalat PBT**

⇒ bei der Verarbeitung von POM kann als Zersetzungsprodukt krebserzeugendes Formaldehyd entstehen

- Jochblechhalter von **Polyamid PA** auf **Polypropylen PP**

⇒ PA in Zusammenhang mit Wärme kann Leber und Schilddrüse schädigen, zudem größere Kunststofffraktion PP realisieren

- Führungsstange aus Stahl/vernickelt

⇒ Führungsstange aus CuZn konnte vom Magnetabscheider nicht erfasst werden

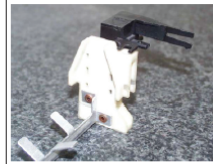
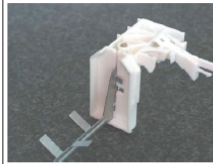
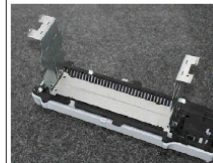
- Einsatz von **Molded Interconnect Devices MID-Technologie** oder **Polysiloxanfolie** als Schaltungsträger.

⇒ Umweltverträglicher

- selbstklebendes Typenschild aus PE in PP (Hauptfraktion) umgestellt

⇒ bei Verwertungsversuch hat sich der PE-Aufkleber teilweise abgelöst und somit in der PP-Fraktion gestört

Tab. 4.6 Ergebnisse der Schwachstellenanalyse und Neukonstruktion (Dietrich 2000)

	Ergebnisse aus Schwachstellenanalyse Referenz-Toaster	Neukonstruktion (verwertungsgerecht)
Brotauflage	2 Kunststoffteile 1 Blechteil 2 Cu-Nieten Cu-Nieten stören in der Stahlfraction	1 Kunststoffteil 1 Blechteil Blechteil in Kunststoffteil eingeschnappt
		
Bodengruppe	2 Kunststoffteile 1 Blechteil (Schränkeverbinding)	1 Blechteil (mit Gehäuse verhakht/verschraubt)
		
Typenschild	PE-Schild auf PP-Boden geklebt, dadurch Verunreinigung der PP-Fraktion	PE-Schild auf Blechboden geklebt, stört in der Metall-Fraktion nicht
		

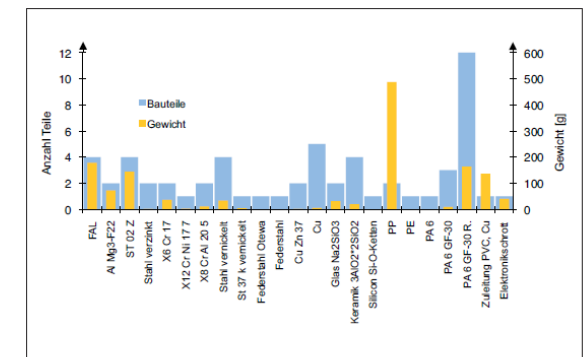


Abb. 4.8 Massenverteilung nach Werkstoffen und Anzahl der Bauteile des Referenzgeräts (Dietrich 2000)

VDI 2243: Analyse eines Toasters

- Niet- in Schnappverbindungen geändert (Cu-Niete entfallen)

⇒ *Lösbare Verbindung*

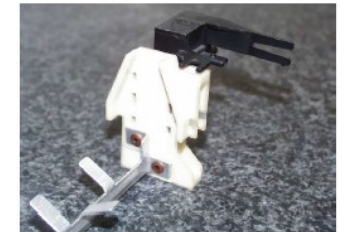
- mehrere Kunststoffteile zu einem Teil zusammengefasst

⇒ *Hauptwerkstofffraktion PP*

Durch diese recyclingorientierte Produktgestaltung konnte Folgendes reduziert werden:

- die Anzahl der Bauteile um ca. 29 % (von 59 auf 42)
- die Anzahl der verwendeten Werkstoffe um ca. 23 % (von 13 auf 10)
- das Gesamtgewicht um ca. 10 % (von 1380 g auf 1245 g)

Als Gesamtergebnis konnten die Verwertungskosten auf fast kostenneutral gehalten werden und als positiver Nebeneffekt die Herstellkosten um ca. 30 % gesenkt werden.



Effiziente Werkstoffnutzung durch alternative Fertigungsverfahren

am Beispiel Automobil-Heckspoiler



Quelle(n): Meyer/Rink



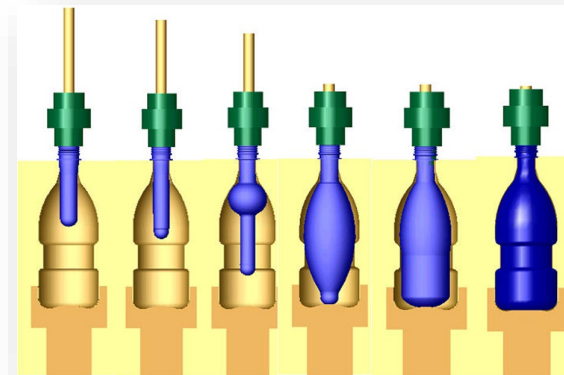
UNIVERSITÄT
BAYREUTH



Lehrstuhl
Umweltgerechte
Produktionstechnik

Materialersparnis bei großvolumigen Kunststoffhohlkörpern

⇒ durch **Blasformen** anstelle von konventionellen Spritzgusstechniken

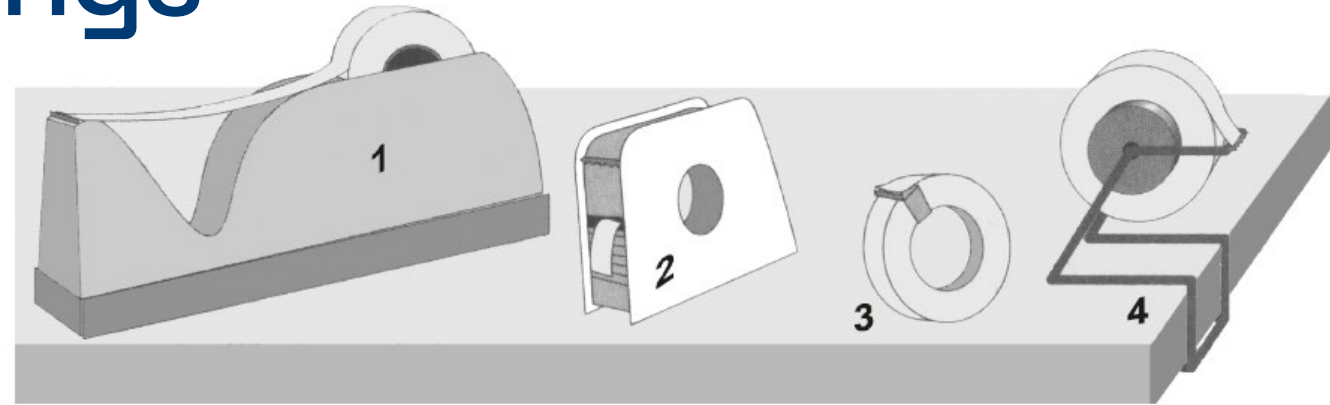


https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Inside_the_mold.jpg#/media/File:Inside_the_mold.jpg

[3]

Werkstoff minimieren durch ein alternative Lösungs- prinzipien

am Beispiel von Klebebandabroller



Variante	Werkstoff	Gesamtgewicht [g]	Ressourcenanteil [%]
1	SB, PP, St	270	100
2	ABS, PP, St	25	9
3	St	3	1
4	St	25	9

Rleek/Tischner

Quelle(n): Meyer/Rink



UNIVERSITÄT
BAYREUTH



Lehrstuhl
Umweltgerechte
Produktionstechnik

[3]

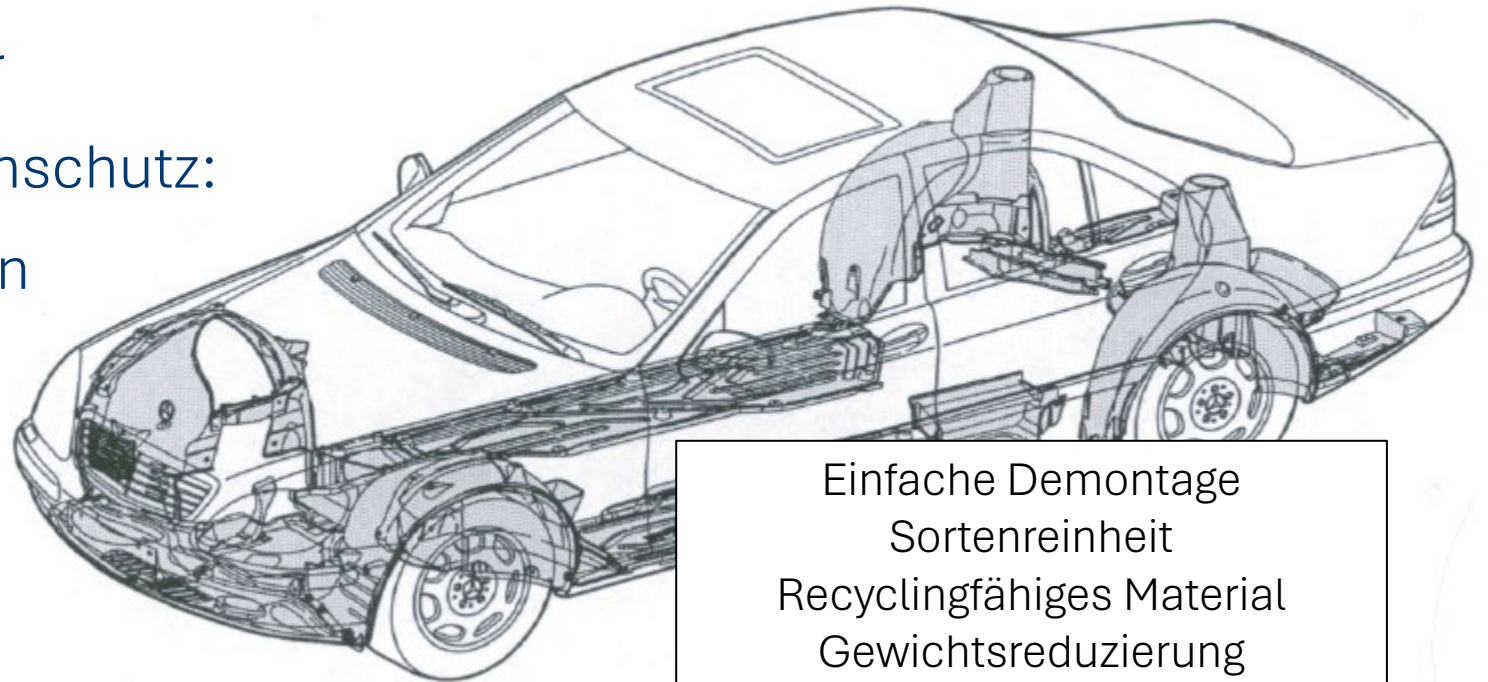
Wiederverwendungskonzept als Geschäftsmodell

am Beispiel von UPS



Baustrukturoptimierung am Beispiel Unterboden- schutz Auto

- Herkömmlich: Beschichtung mit mineralisch gefülltem PVC
- Problem: schwer demontierbar
- Recyclinggerechter Unterbodenschutz:
- Kunststoffgemisch Polypropylen



Einfache Demontage
Sortenreinheit
Recyclingfähiges Material
Gewichtsreduzierung
Verbesserter Luftwiderstand und
reduzierte Geräusche

Effizienter Materialeinsatz am Beispiel von Verpackungen



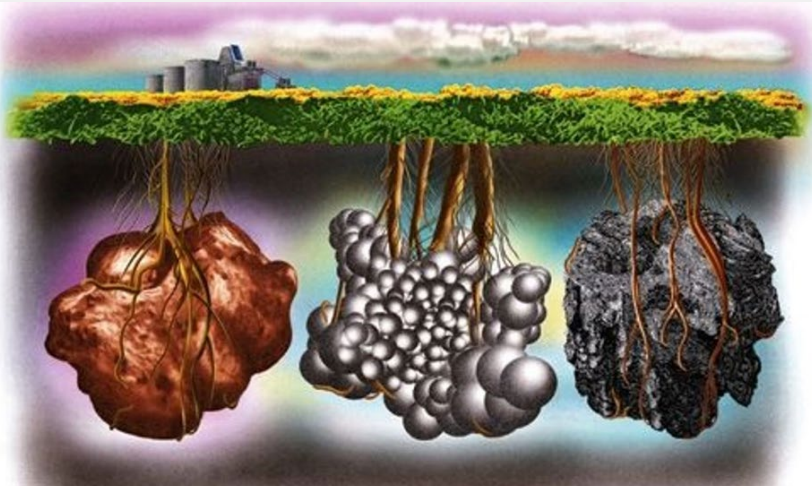
- Verpackungskonstruktion und -handling,
- Volumen- und Flächennutzungsgrad,
- Verpackungsvielfalt

Ziel: Wettbewerbsfähigkeit steigern, Kosten senken, Umwelt schonen

Phytomining

Gute Mine, böses Spiel

Zwei Forscher hatten eine revolutionäre Idee: Pflanzen, die Metall aus dem Boden holen. Umweltfreundlich, günstig und ziemlich einfach. Warum ist Phytomining immer noch unbekannt?



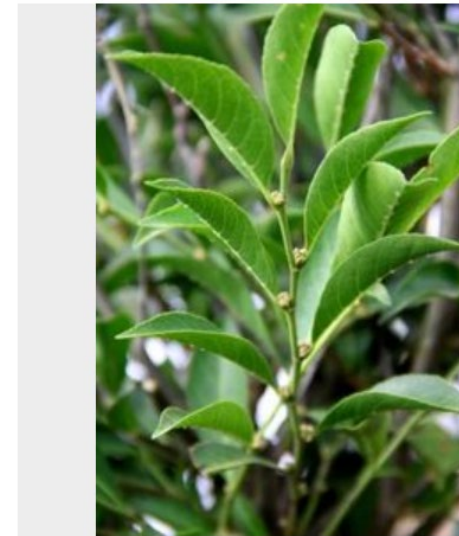
Von: Till Krause

Ob Kupfer, Nickel oder Zink (von links nach rechts): Diese Schwermetalle können von manchen Pflanzen in den Wurzeln gespeichert werden. So lassen sich Bodenschätze fördern, die sonst kaum abzubauen wären.

Nickel-Recycling durch neue Pflanzenart

Gewächs dekontaminiert Böden und erlaubt Wiederverwertung

Laguna/Luzon



Pflanze: Hat erstaunliche Eigenschaften (Foto: Edwino S.)

<https://www.pressetext.com/news/20140515023>

Recyclingkonzepte

- Kaufland reduziert Plastikanteil in Verpackungen
- Beispiel Hackfleisch: Karton, ausgekleidet mit einer dünnen Plastikfolie
- Kunststoff wird eingespart
- Karton aus nachwachsenden Rohstoffen



<https://unternehmen.kaufland.de/presse/pressemitteilungen/pressemitteilungen-detail.y=2019.m=10.n=innovative-fleischverpackung-erfolgreich-eingefuehrt.html>

Problem:

Verbundmaterial in der Altpapiertonne und nicht in der Wertstofftonne

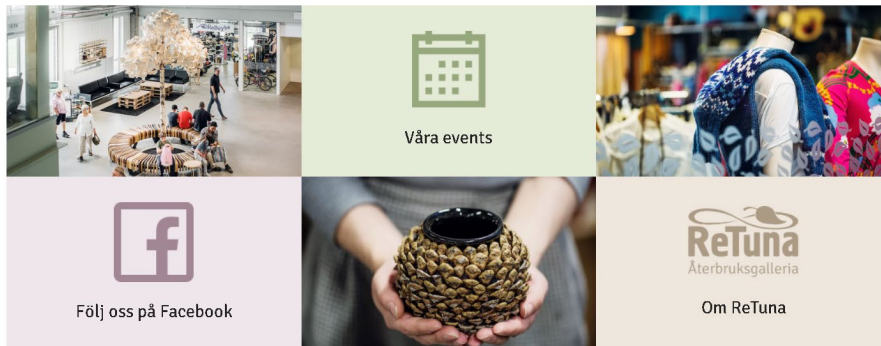
Verbundstoffe benötigen im **Pulper** deutlich mehr Zeit als zum Beispiel klassisches Altpapier.



<https://www.papierundtechnik.de/papiertechnik/pulper/>

Recyclingkonzepte

- **ReTuna**: das erste Recycling-Kaufhaus in Schweden

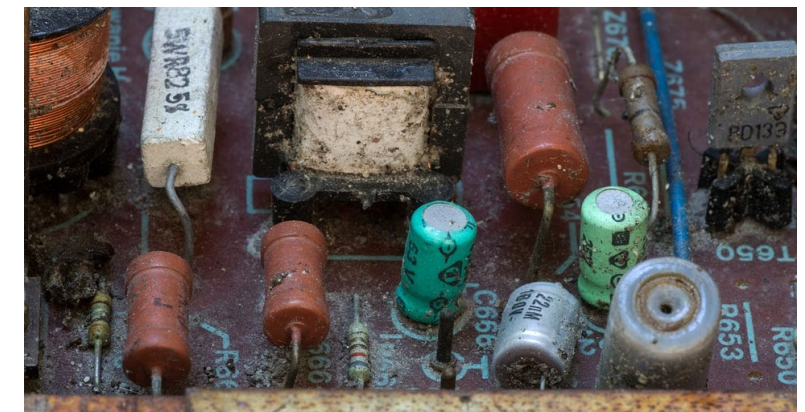


Quelle: <https://www.retuna.se/english/photos-for-download/>, Zugriff 16.9.21

100 Euro **Reparaturprämie** für kaputte Elektrogeräte für volljährige Privatpersonen mit Hauptsitz in Thüringer vom Umweltministerium



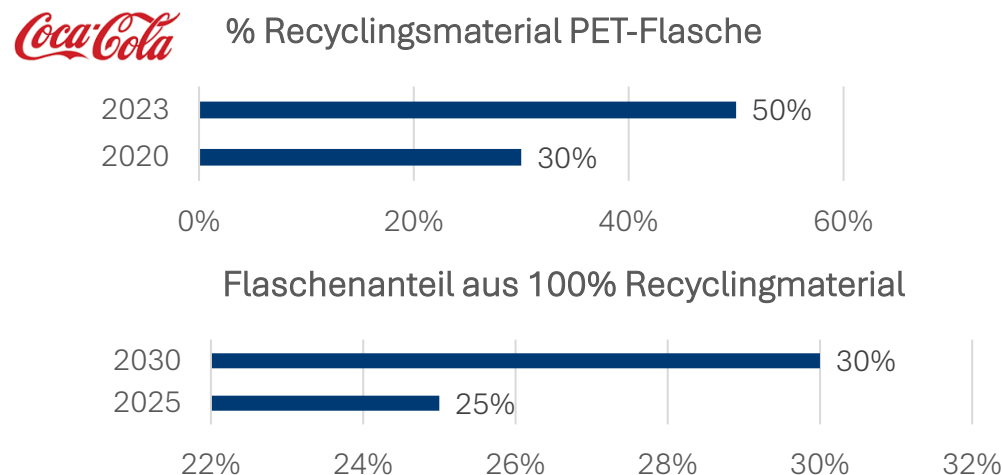
©Linda Östling



Quelle: <https://pixabay.com/de/photos/elektroschrott-alt-leiterplatte-952438/>, Zugriff 16.9.21

Recyclingkonzepte

- Schwarz-Gruppe (Lidl, Kaufland) setzen auf eigene Recyclingwerken
- Lidl setzt bei seinen PET-Mineral-wasserflaschen 50% Recyclingmaterial ein
- Der gruppeneigene Wertstoffkreislauf spare jährlich insgesamt rund 60Tt neues PET und mehr als 100Tt CO2.



25 Milliarden PET-Flaschen verbraucht – das ist pro Bürger fast eine Flasche pro Tag.

OF APPLIED SCIENCES

EUROPEAN UNIVERSITY



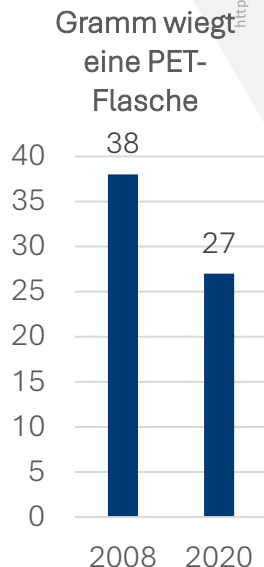
Was an 0,7-Liter-Glasflaschen sonst auf 26 LKW verladen werden müsste, passe dann auf einen einzigen Laster, rund 400.000 Flaschen in Ballen, heißt es bei Lidl

Schwarz_Produktion-MSimaitis-53

Das Kunststoffwerk PET Recycling West in Übach-Palenberg unweit von Aachen ist eines von drei Kunststoff- und Recyclingwerken der Schwarz-Gruppe (Lidl und Kaufland). Die Anlage zählt zu den größten ihrer Art in Europa.

© Marcus Simaitis für WirtschaftsWoche

Jedoch: Deutschen Umwelthilfe (DUH) & Umweltbundesamt empfehlen statt Einweg Mehrweg, wenn die Transportwege kurz sind, da die Flaschen bis zu 50x wieder befüllt werden können.



Recyclingkonezpte

Klamotten aus Flaschen

Was heißt nachhaltige Klamotten:

- Biologisch Abbaubar
- Aus nachwachsenden Rohstoffen
- Keine Chemikalien
- Arbeiter gut bezahlt, gute Arbeitsbedingung
- Nicht gesundheitsgefährdend



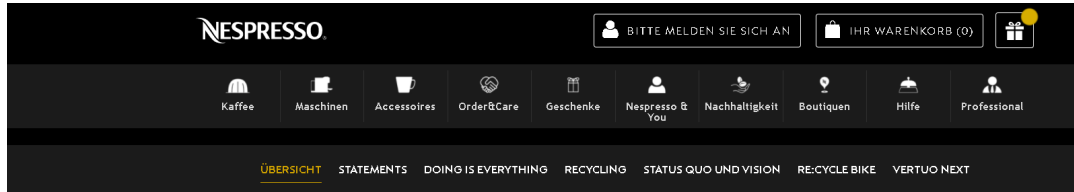
Greenwashing

Voll im Trend!

- Versuch von Unternehmen durch PR-Stunts und Marketingaktionen ein grünes Image zu erlangen
- **Label, wie „biologisch zertifiziert“ = frei erfunden**
- Bio, Öko, Aus kontrolliert biologischem Anbau dürfen nicht ohne geprüften Nachweis verwendet werden, Empfehlung: sich schlau machen: NABU App, Siegel-Check
- **Scheinlösungen**
- biobasierte und kompostierbare Verpackungen, Flaschen aus Ocean Plastik, chem. Recycling (bereiten eher Schaden)

Recyclingkonzept: Kaffeepads

<https://www.nespresso.com/>



RE-RE-RECYCLEBAR.

Schritt für Schritt in eine nachhaltigere Zukunft:
Unsere Aluminium Kapseln sind recycelbar und können ganz einfach über die Gelbe Tonne, die Nespresso Boutiquen und an Wertstoffsammelstellen entsorgt und so wiederverwertet werden.

#RecycleWithNespresso

„Pepsi, Nespresso, Apple – sie alle möchten mit Aluminium die Umwelt retten!“ [Quarks, 13.9.19]

- ⇒ Alu ist zu 100% recyclebar
- ⇒ Problem Legierungen; Qualitätsverlust
- ⇒ Es entstehen beim Recyceln Abfallstoffe (Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Vanadium, Quecksilber)
- ⇒ Hohes CO₂ Äquivalent bei der Primärerzeugung

Wiederverwendbare Kaffeekapseln

[mycoffeestar.com](https://eu.mycoffeestar.com/)

<https://eu.mycoffeestar.com/>



Kaffeekapseln aus Holz



NACHHALTIGE KAFFEEKAPSELN AUS HOLZ FÜR NESPRESSO®-MASCHINEN

Was macht die rezero Kaffeekapseln einzigartig?



<https://rezemo.de/>

Kaffeekapseln aus biologisch abbaubaren Materialien

<https://www.feelgood-coffee.de/>



FEEL GOOD COFFEE DIE WUNDERKAPSELN

- 100% industriell kompostierbar
- Papierdeckel
- aus vorwiegend nachwachsenden Rohstoffen
- gefüllt mit Kaffee in Spitzenqualität

Deine Nespresso® Maschine nutzen mit gutem Gefühl.
Kaffee trinken mit gutem Gefühl.

Upcycling

- Anleitungen: aus Müll Produkte bauen in der DDR



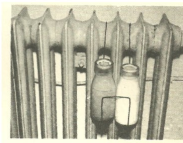
Ein Lampenschirm
aus Eierkartons



Trabi-Dach als
Hühnerdach

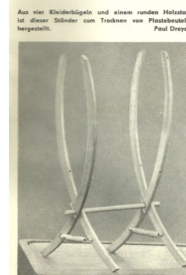


LötKolbenhalterung



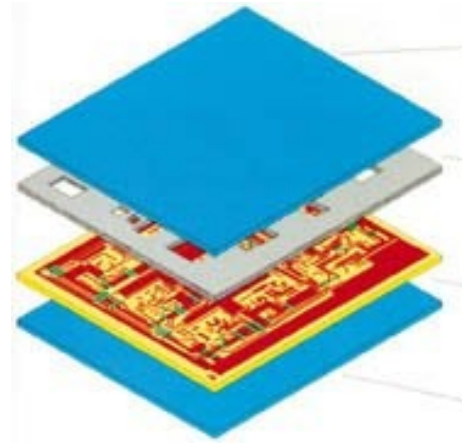
Milchwärmer

Kleiderbügel als
Plastiktütenständer



Leiterplatten

Leiterplatten / Platinen



Metallplatte als Kühlelement

Formgeschäumter Kunststoff

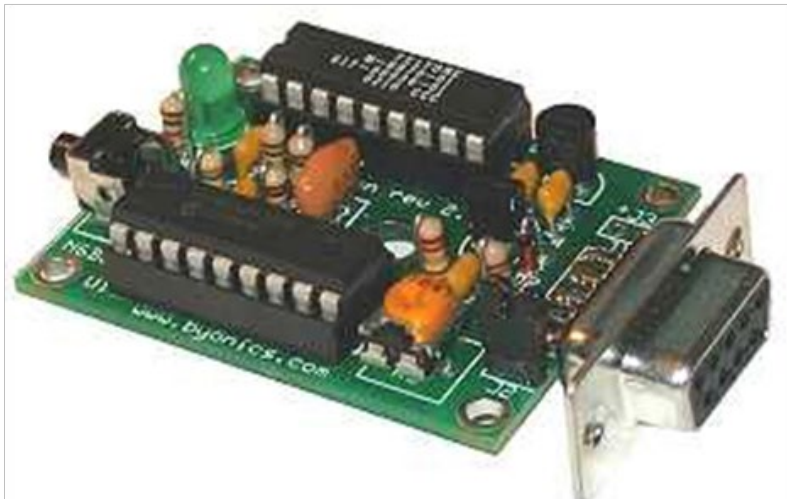
Kupferbahnen

Aufgelötete Elemente

**Trägermaterial / Substrat (isolierende Schicht)
(Glasfaser mit Flammenschutz, Epoxidharz)**

Metallplatte als Kühlelement

<https://epp.industrie.de/allgemein/alternative-gruene-leiterplatten/#slider-intro-2>



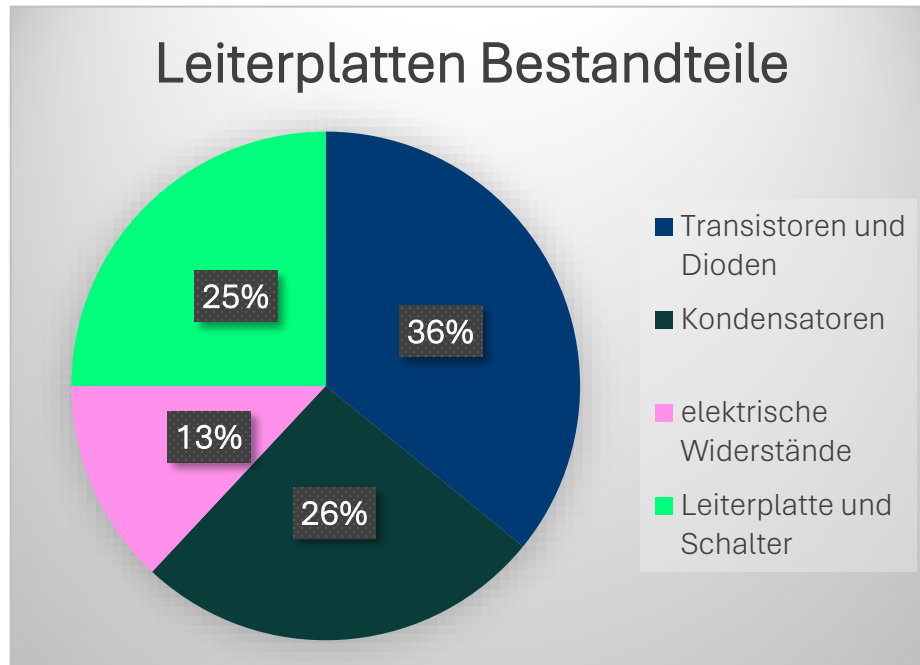
Eine **Leiterplatte** besteht aus **Schaltkreise, Kondensatoren, Widerstände** und anderen **Elektronik-elementen**. Diese werden auf der Leiterplatte elektrisch miteinander verbunden.

Die Leiterplatte besteht einerseits aus **isolierendem Material**, meist aus glasfaserverstärktem Kunstharz, und **Kupferbahnen**.

Weil diese Platten aber Wärme schlecht abführen, enthält der **Grundkörper zum Brandschutz Flammhemmer** und ist damit Sondermüll.

Leiterplatten / Platinen

Leiterplatten in Elektronikgeräten: 8-27 %



<https://www.spektrum.de/magazin/aufarbeitung-von-platinen/823551>

Materialmix in Leiterplatten

- Glas, Keramik, Oxide (ca. 50 %)
- Metall und Kunststoff (ca. 50%)

• Metall:

Kupfer und Eisen

Nickel, Zink, Zinn (in %)

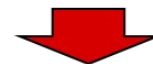
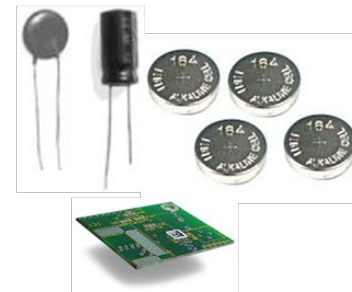
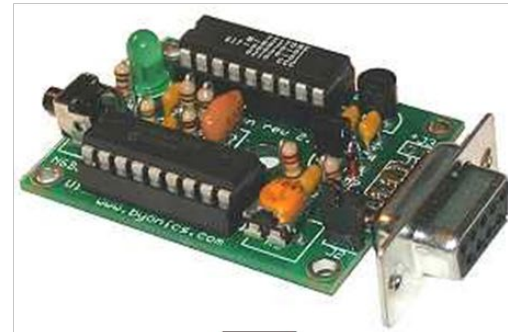
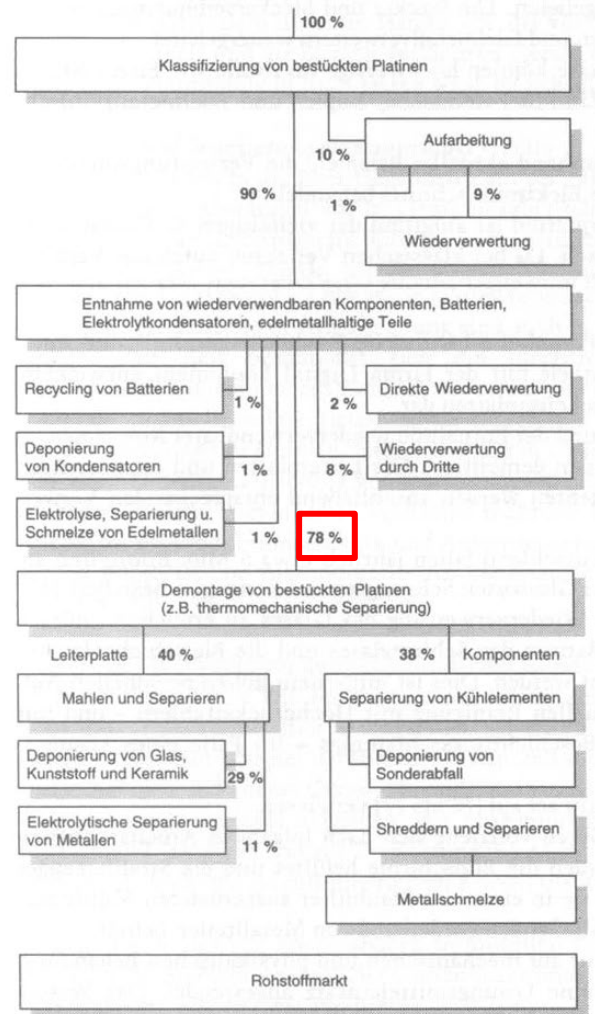
Silber, Gold, Palladium, Germanium,

Rhodium (% Bruchteile)

Recycling von Leiterplatten

- Mechanische Aufarbeitungsprozesse
- Schmelzverfahren
- Hydrometallurgische Aufarbeitung

Leiterplatten / Platinen



Strategie zur
Verwertung von
Leiterplatten

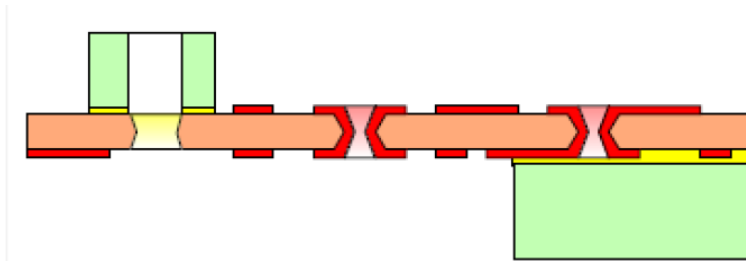
RPE 1.4 - 6

[8]

Leiterplatten / Platinen

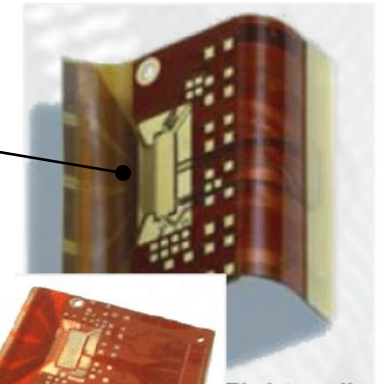
innovative Materialien für ein besseres Recycling

- Forschungsprojekt der Fa. Würth und der Universität Bayreuth am Lehrstuhl Umweltgerechte Produktionstechnik
- Entwicklung der TWINflex-Leiterplatte
- Ziel: Trennen von mechanischer und elektrischer Funktion, indem recyclingfreundliche Werkstoffkombinationen genutzt werden



Aufbau aus Folie (z.B. Polyimid) und galvanisch aufgetragenen Leiterbahnen mit Anschlusselementen, ggf. Verstärkungsschicht

Wiedergewinnung der hochwertigen Kupfer- und Goldanteile durch Einschmelzen

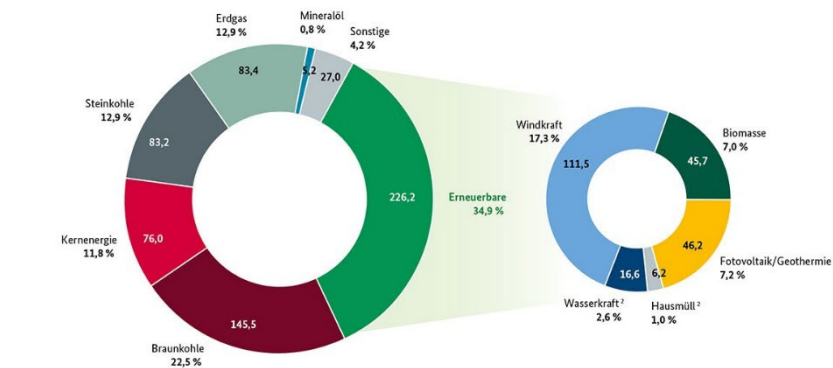


Windkraft

Windkraft in Deutschland

- Anteil erneuerbarer Energien zur Stromerzeugung steigt (2000: 6% => 2020: 35%)
- Erneuerbare Energien Gesetz EEG fordert bis 2025: 40-45%

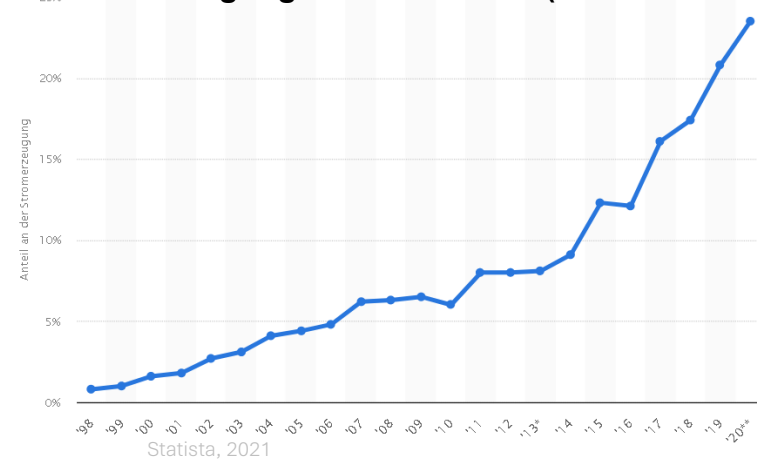
Bruttostromerzeugung in Deutschland 2018 in TWh



1 Vorläufig
2 Regenerativer Anteil
Geothermie aufgrund der geringen Menge in Fotovoltaik
Quelle: AG Energiebilanzen, Stand März 2019

<https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/erneuerbare-energien.html>

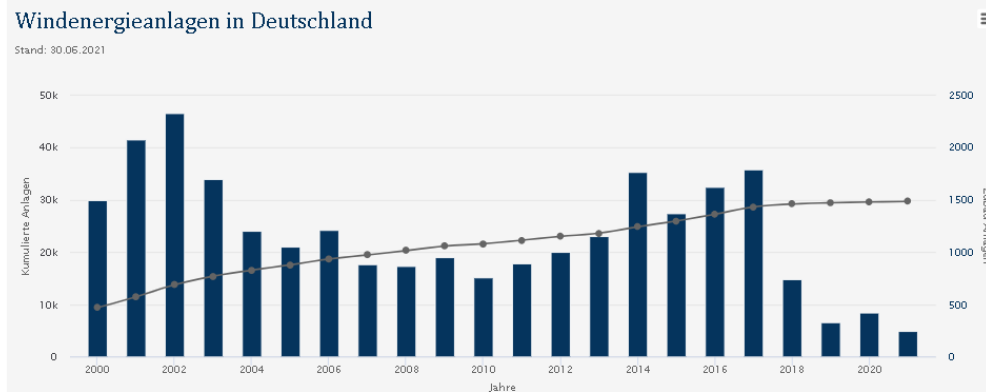
Anteil Bruttostromerzeugung an Windkraft an der Gesamterzeugung in Deutschland (1998 bis 2020)



- 2020: installierte Leistung der Windenergieanlagen liegt an Land bei 54,4 Gigawatt (erzeugt wurde 103,7 TWh) und auf See 7,75 Gigawatt (erzeugt wurden 27,3 TWh)

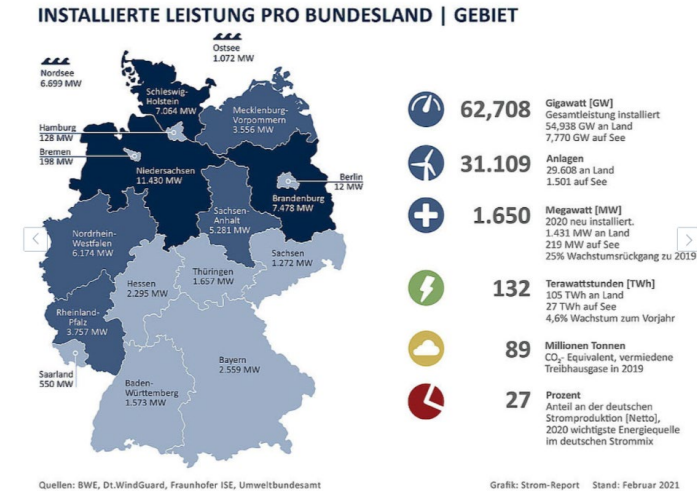
Windkraftanlagen in Deutschland

- In Deutschland stehen rund 30T Windkrafträder
- Einspeisungsvergütung über 20 Jahre (vgl. EEG)



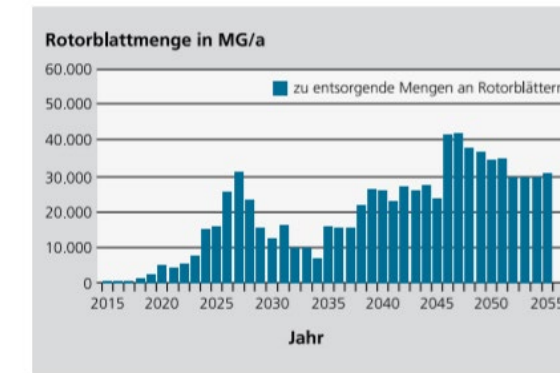
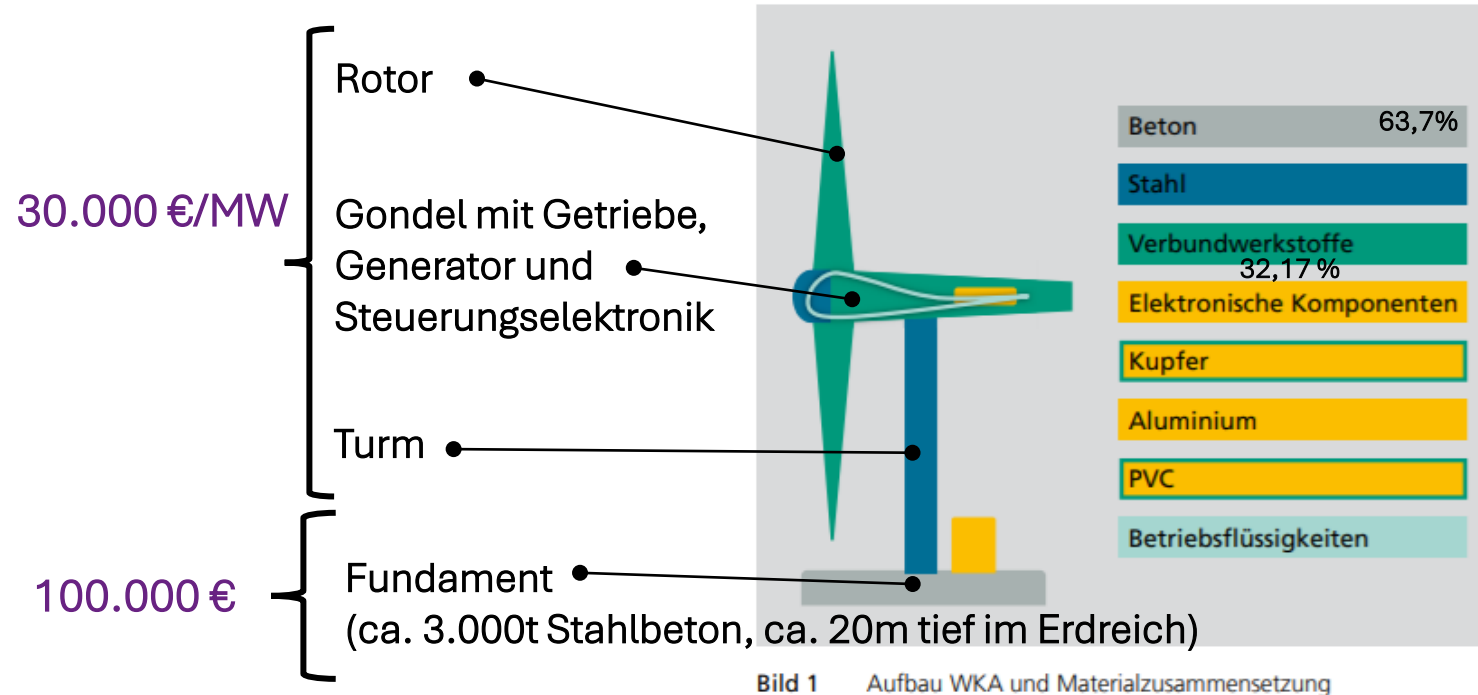
In Deutschland standen Ende Juni 2021 insgesamt 29.715 Onshore-Windenergieanlagen.

Quelle: WindGuard GmbH



- Alte Anlagen werden zur Zeit mit Gewinn nach Osteuropa, Russland oder Nordafrika, zum Weiterbetrieb verkauft.
- Angebot an Altanlagen steigt => Recycling
- Recycling ist teuer (~ 30.000 €/MW installierter Leistung + Demontage: Sockel ca. 100T€)

Materialzusammensetzung einer Windkraftanlage



- Insgesamt kann eine Recyclingquote von 80-90% erreicht werden.
- Für alle Werkstoffe, außer für die **Rotorblätter** gibt es Entsorgungswege.
- Beton (60%): Straßenbau, Stahl (30%), Elektroschrott und NE-Metalle werden sortenrein getrennt, eingeschmolzen und als Sekundärrohstoff genutzt.

Recycling von Rotorblättern (Windkraftanlagen)

https://www.eurecum-gmbh.de/windenergieanlagen-recycling/?gclid=Cj0KCQjwTouKBhC5ARIsAHXNMl-5HaKHlpwp6pNa2QkwK46dKEj05kjlSr_NP-WrvVOetGPOS2MHo2waAIPUeALw_wcB, Zugriff am 16.9.21

01

Einen Umschlagbagger mit einem Diamantschneidrad des Typs KEMROC KDS 50 verwendet EURECUM, um Windkraft-Rotorblätter zu zerkleinern.



02

Nach dem Vorzerkleinern werden die einzelnen Elemente mit dem hydraulisch angetriebenen Schneidrad in kleinere, handhabbare Stücke zerschnitten.



03

Das Verfahren von EURECUM hat sich schon vielfach in der Praxis bewährt. Diese Stücke aus GFK sind schon fertig für die automatisierte Nachzerkleinerung.



04

Nach den weiteren Schritten der Aufbereitung bleibt ein feinkörniges, rieselfähiges Endprodukt zurück. Es kann als hochwertiger Recycling-Grundstoff dienen.



Recycling von Rotorblättern (Windkraftanlagen)

- Forscher arbeiten an Technologien, die Verbundstoffe chemisch in ihre Bestandteile zu zerlegen, in Carbon- oder Glasfasern und die jeweiligen Kunststoffe, in die die Fasern eingebettet waren.

*"Viele dieser Rotorblätter sind nicht so konzipiert, dass sie sich einfach recyceln lassen, es ist ein **Multimaterialsystem**." Hier sieht der Chemiker Ansätze für die Zukunft, die Verbundmaterialien so herzustellen, dass sie sich nach ihrem Einsatz als Rotorblatt leichter wiederverwenden lassen. "**Design for recycling**" nennt Dreyer das.*

Quelle: König: Vom Rotorblatt zum Autotürgriff, tagesschau, 27.7.21

Elektromobilität

grün: ja/nein?



(Symbolbild: Fotolia/ Malp)

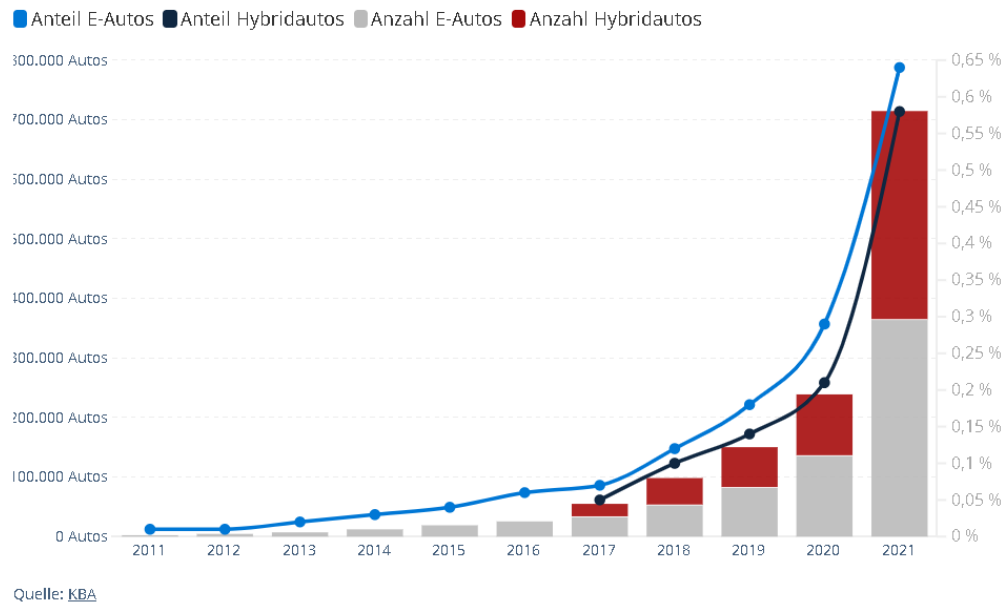
Elektromobilität

2020: über 10 Mio zugelassene E-Autos weltweit

⇒ 3 Mio E-Autos mehr als im Jahr zuvor

⇒ +35% Marktvolumen an Lithium-Ionen Batterien

⇒ +63% Wachstum

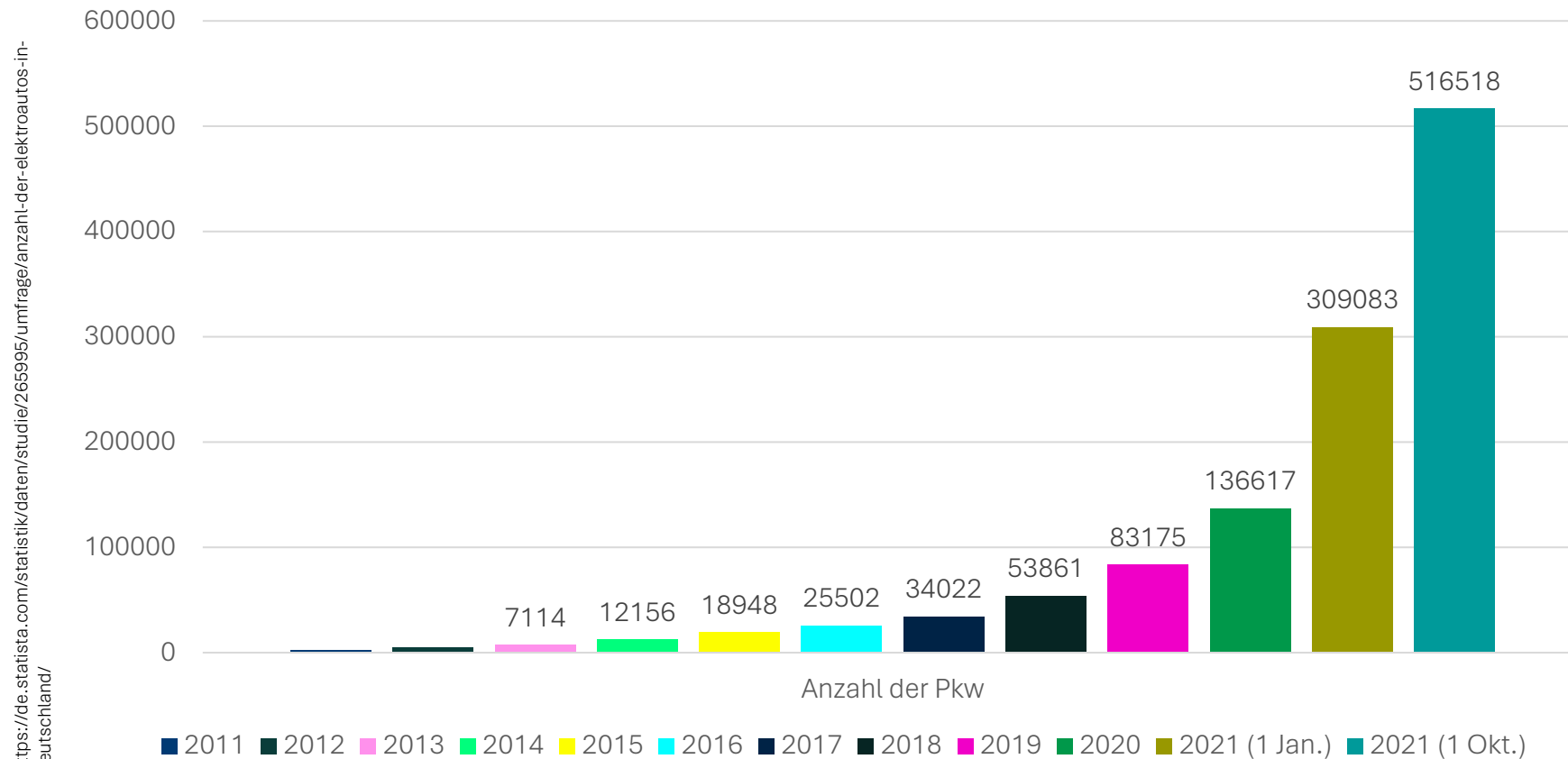


Umweltschonende E-Mobility?

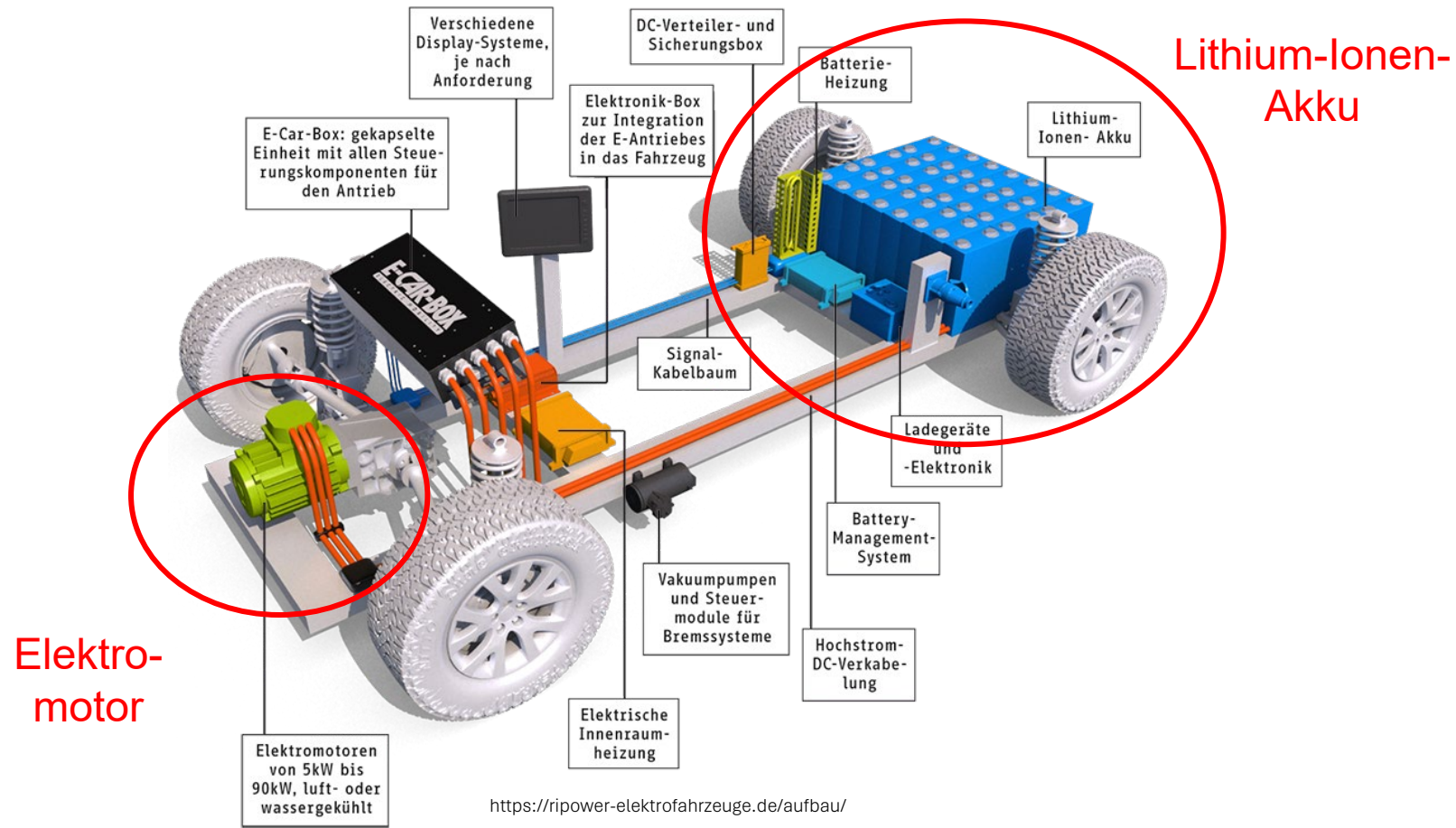
hängt ab von der Verwendung:

- ökologischer Materialien
- von Ökostrom zur Herstellung und
- von Ökostrom in der Nutzungsphase („Tanken“)

- Anzahl der Elektroautos in Deutschland von 2011 bis 2021



Elektromobilität

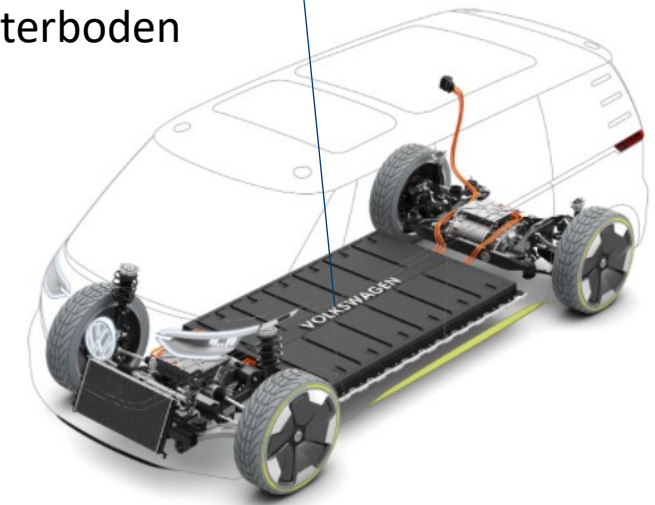


Elektromobilität

Weitere Komponenten sind:

- der **Elektromotor**,
- die **Leistungselektronik** sowie
- die **Kühlsysteme** beziehungsweise
- das **Temperaturmanagement**.
- Aggregate wie Lenkung, Bremsgerät und Heizung /Klimaanlage werden elektrisch betrieben.
- Das **Batteriemanagementsystem**, das stets den Zustand der Batterie kennt und Ladevorgänge und Leistungen während des Betriebs regelt.

Akku liegt zwischen den Achsen
im Unterboden



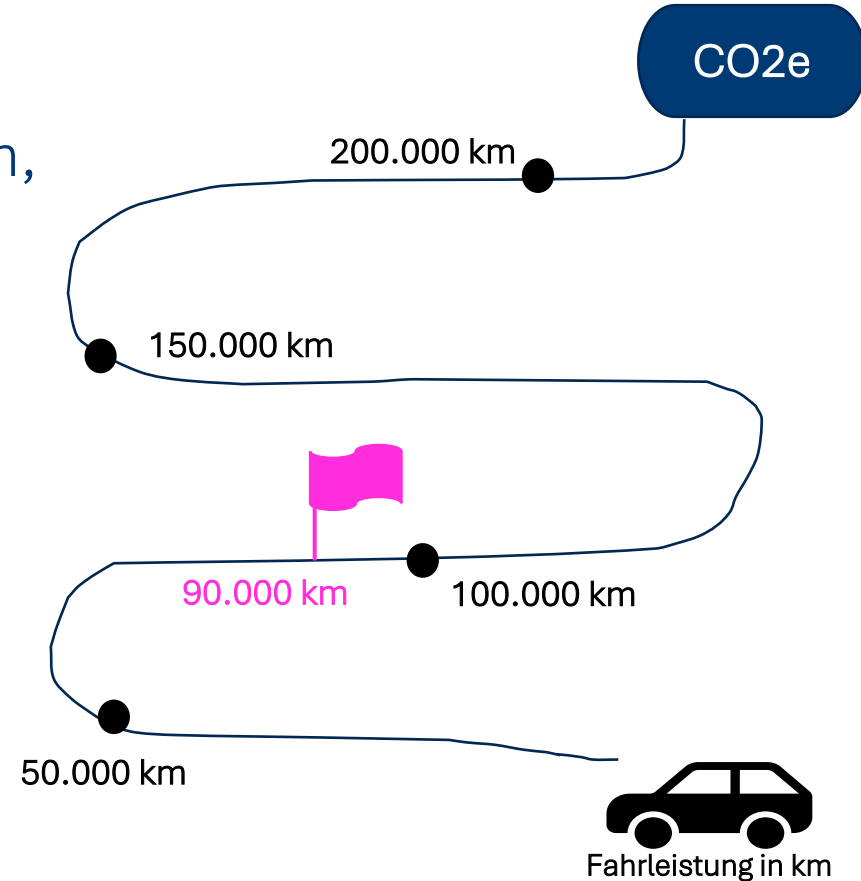
Nicht nur Volkswagen baut seine E-Autos in "Skateboard"-Architektur • © Volkswagen

Skateboard"-Architektur

Ökobilanz E-Auto vs. V-Auto

VDI-Methodik

- Vergleich E-Autos, Plug-In-Hybriden, konventionell angetriebene Fahrzeuge Diesel/Benzin
- Analyse der CO₂e-Emissionen
- Straßennutzung: Deutschland
- Elektrische Energieerzeugung: Strommix (Mittelwertansatz)



E-Autos werden klimafreundlicher ab 90.000 km Laufleistung (in Deutschland und im Vergleich zu Verbrenner)

CO₂-Äquivalent

(nach Produktion und 200.000 km)

37,1	Benzin
35,6	Mild-Hybrid Benzin
33,0	Diesel
32,1	Voll-Hybrid Benzin
26,3	Elektro 82
24,8	Plug-In-Hybrid Benzin
24,2	Elektro 62

VDI-Ökobilanz: Wie viel CO₂ sparen E-Autos wirklich? | VDI

Ökobilanz E-Auto vs. V-Auto

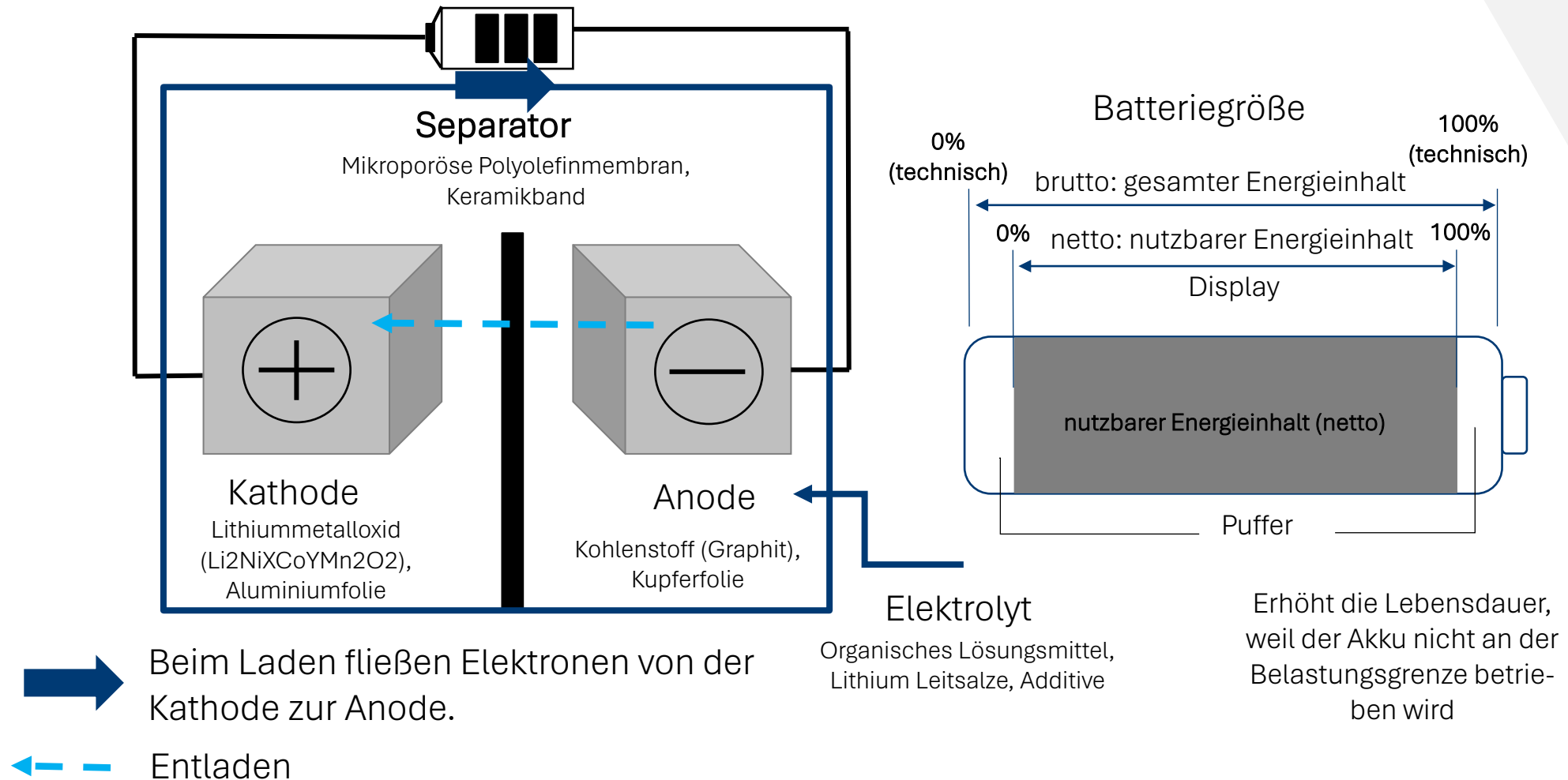
- Elektroautos meist teurer in der Anschaffung, in der Vollkostenrechnung jedoch meist günstiger.
- Startet mit einem ökologischen Rucksack: Energieintensive Produktion von Lithium-Ionen-Batterien, Art der Stromerzeugung
- Jedoch sind Elektroautos, je nachdem wie der Strom fürs Tanken erzeugt wurde, emissionsfrei.
- Das Elektroauto schneidet bei der Berechnung des CO₂-Ausstoßes auch bei der Annahme des deutschen Strom-Mixes besser ab.

Die genaue Ökobilanz von Autos hängt von zahlreichen Faktoren ab:

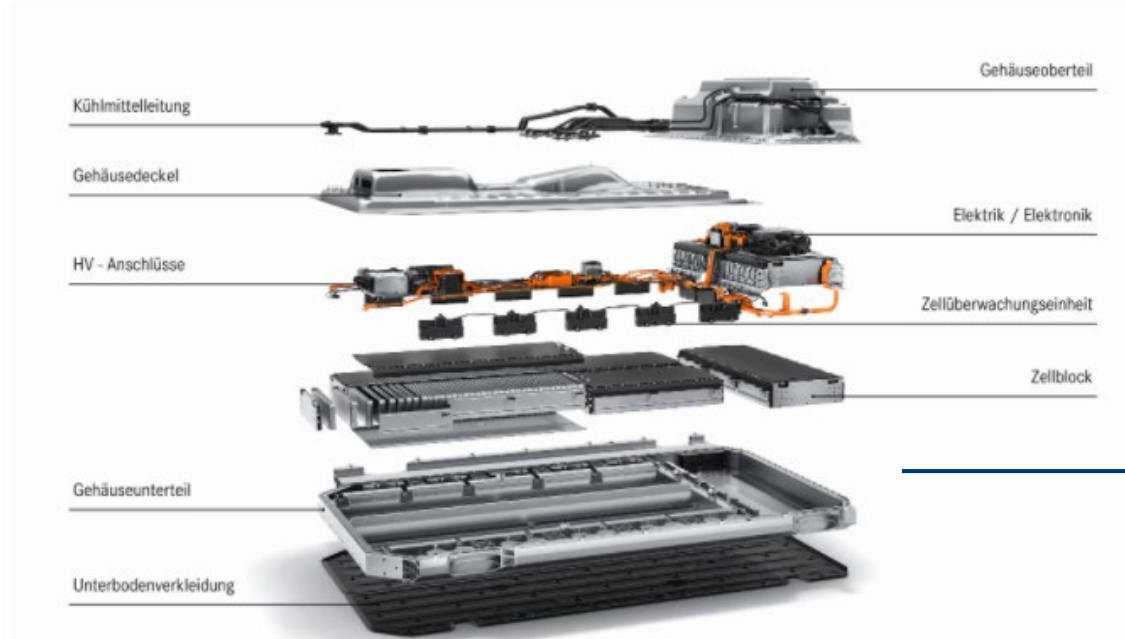
- Produktionsstandort
- Energiemix bei der Produktion von Fahrzeug, Antrieb und Komponenten
- Genutzter Antrieb auf der Straße
- Verwendeter Strommix bei der Straßennutzung

Recycling Lithium-Ionen Akkus

Funktionsweise einer Lithium-Ionen-Batterie



Aufbau eines Batteriepaketes



Aufbau und Gehäuse eines Batteriepaketes von Mercedes

• © Mercedes

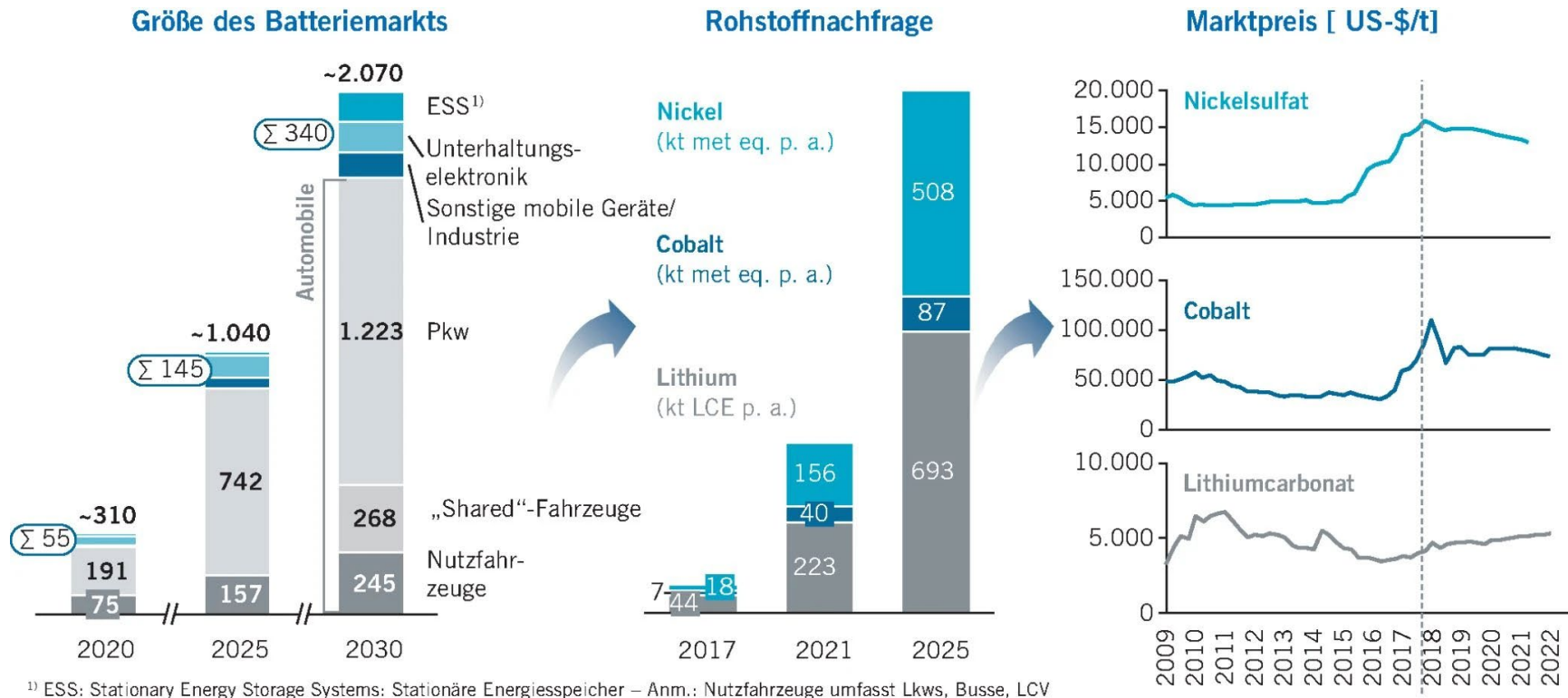
Elektroauto-Akkus bestehen aus vielen Einzelzellen, die zu Modulen zusammen-geschaltet werden und die Strom speichern und abgeben

Jede Zelle wird dabei durch das **Batteriemanagementsystem** (BMS) und Sensoren hinsichtlich ihrer Spannung, Ströme und Temperaturen überwacht.

Batteriezellen gibt es in **drei gängigen Bauformen**: Rund, prismatisch (rechteckig) oder als Pouchzelle (vakuumiert).

Des weiteren gibt es **unterschiedliche Zellchemien**, die auch unterschiedliche Stärken und Schwächen bei Energiedichte, Schnellladefähigkeit und Leistungsdichte, Zyklenfestigkeit (Lebensdauer), Sicherheit, Temperaturverhalten, Rohstoffe oder Kosten haben.

Herausforderung Recycling Lithium-Ionen-Batterie

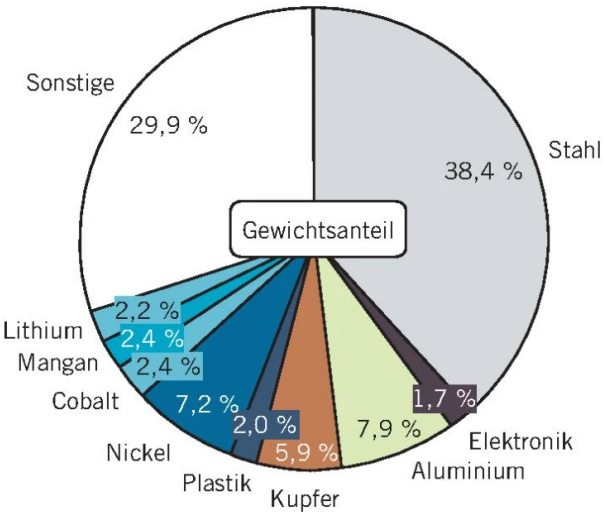


Größe des Markts für LiB in GWh (jährlich); Rohstoffnachfrage und Entwicklung der Prognosen zu den Metall-Börsenpreisen (© Roland Berger)

Schätzung: E-Autos, zugelassen bis 2017 führen zu ca. 250.000 t Batterieabfall

Herausforderung Recycling Lithium-Ionen-Batterie

Materialzusammensetzung Batteriepack



Recyclingwerte

Gewicht [kg/kWh]	Euro/kg	Euro/kWh	Euro/kWh
Stahl	2,9	0,59	1,7
Elektronik	0,1	0,48	0,1
Aluminium	0,6	0,61	0,4
Kupfer	0,4	4,52	2,0
Plastik	0,2	-0,10	-0,0
Nickel	0,5	2,91 ¹⁾	1,5 ¹⁾
Cobalt	0,2	48,09 ¹⁾	8,4 ¹⁾
Lithium	0,2	5,75 ¹⁾	0,9 ¹⁾
Mangan	0,2	1,02 ¹⁾	0,2 ¹⁾
Sonstige	2,2	-1,00	-2,2
Gesamt:	7,5	~13,0	~26,0 ²⁾

Recyclingkosten

	Euro/kg	Euro/kWh
Diagnose und Ausbau aus Fahrzeug		
Recycling-Logistik	0,28	2,1
Mechanische Aufbereitung	0,34	2,5
Hydrometallurgie	0,14-0,27 ²⁾	1,0-2,0 ²⁾
	0,27-0,54 ²⁾	2,0-4,0 ²⁾
	~8,0	~11,0 ²⁾

¹⁾ Geschätzt auf 70 % des Marktpreises 2018

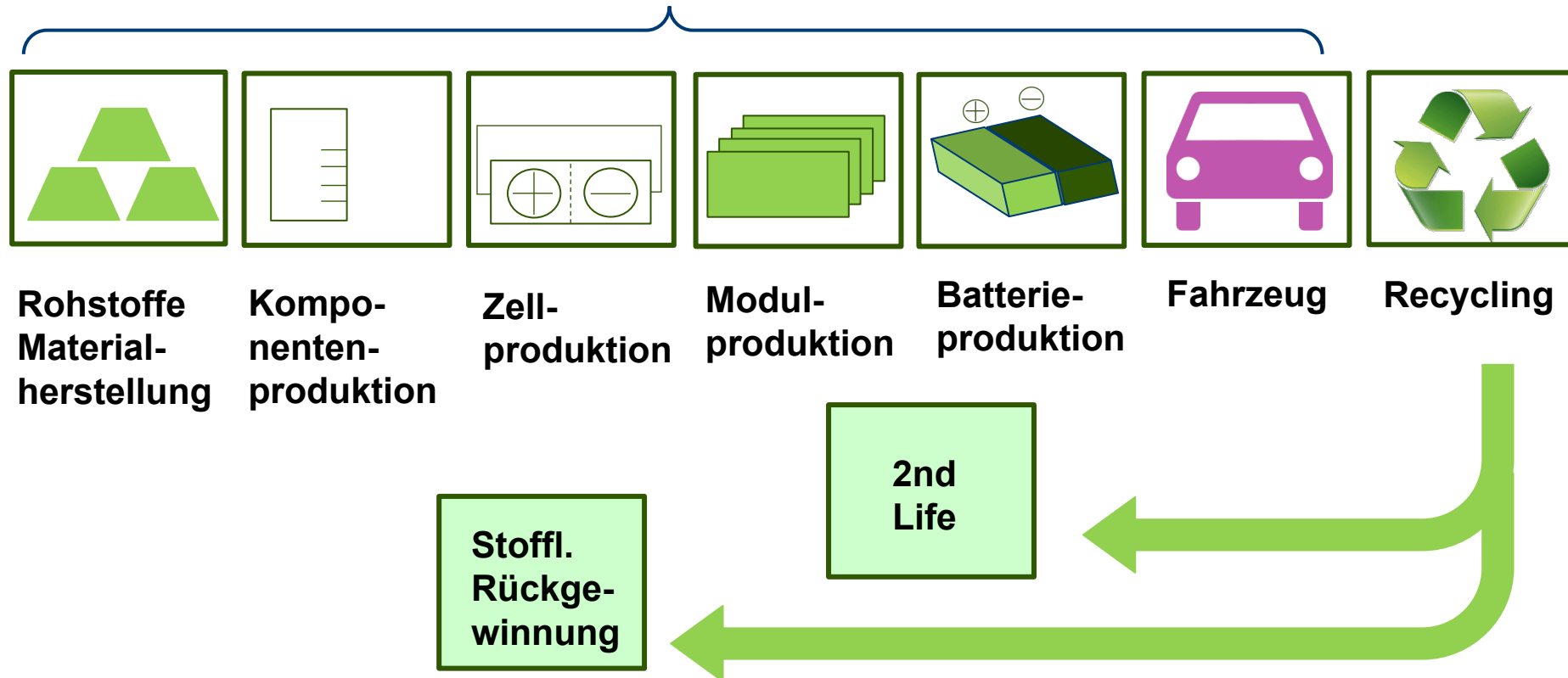
²⁾ Hydrometallurgisches Recycling von NCM 811 bei 95 % Effizienz

Hinweis: Rundungsbedingte Abweichungen in Summen

Wert von Nickel, Cobalt, Mangan und Lithium

Wertschöpfungskette in der Batterieproduktion

Lebensdauer: 8-10 Jahre bzw. Laufleistung
von 150.000 km (lt. Autohersteller)



2nd Life: Mobility House

- 2nd Life von Autobatterien im stationären Betrieb für weitere 10 Jahre
- Mobility House (mit Projektpartner Daimler) mit 20 MegaWatt



- ⇒ Zwischenspeicher für wetterabhängig-schwankenden erneuerbaren Energie (deren Anteil bis 2025 zwischen 40 und 45% liegen soll)
- ⇒ Verbesserung der Gesamt-CO2-Bilanz von Fahrzeugbatterien werden Elektroautos auch wettbewerbsfähiger,

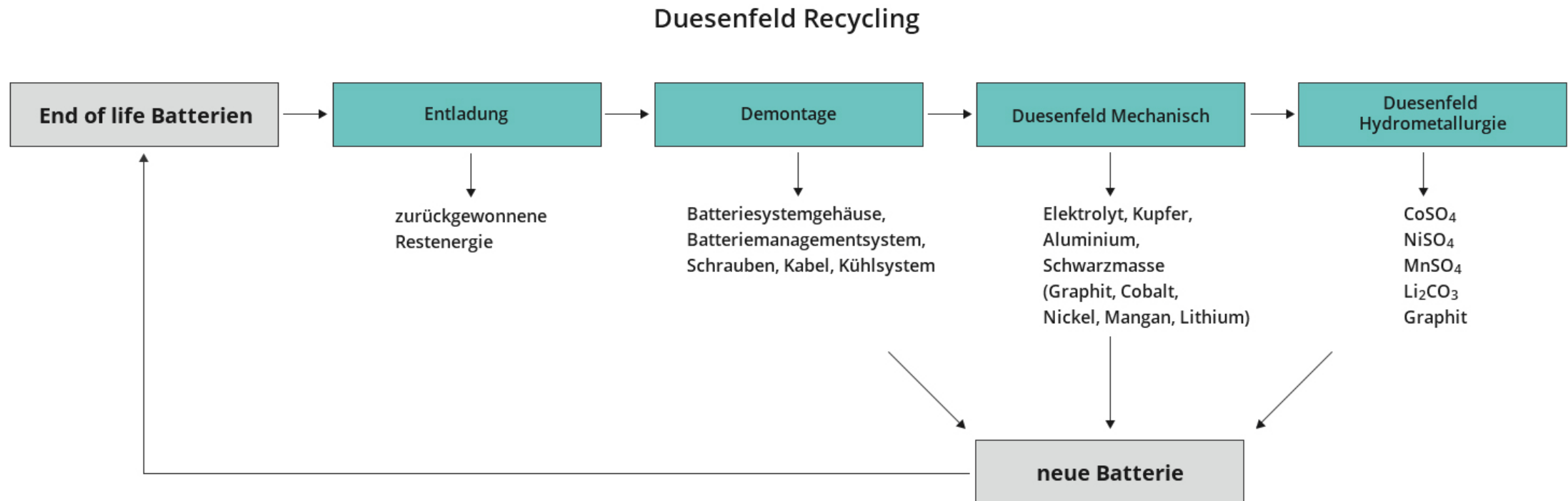
2nd Life: Mobility House

- Big Battery-Geschäftsmodell: Wiederverwendung
- Ausrangierte Lithium-Ionen-Batterien, die ursprünglich für den Betrieb von Elektroautos, Bussen und Rollern gebaut wurden, werden aufgekauft

⇒ Teile werden in neue Batterien recycelt, die etwa als Energiespeicher für Solaranlagen zu Hause dienen können

⇒ oder zur Stabilisierung der Stromnetze beitragen sollen.

Recycling von Lithium-Ionen Batterien



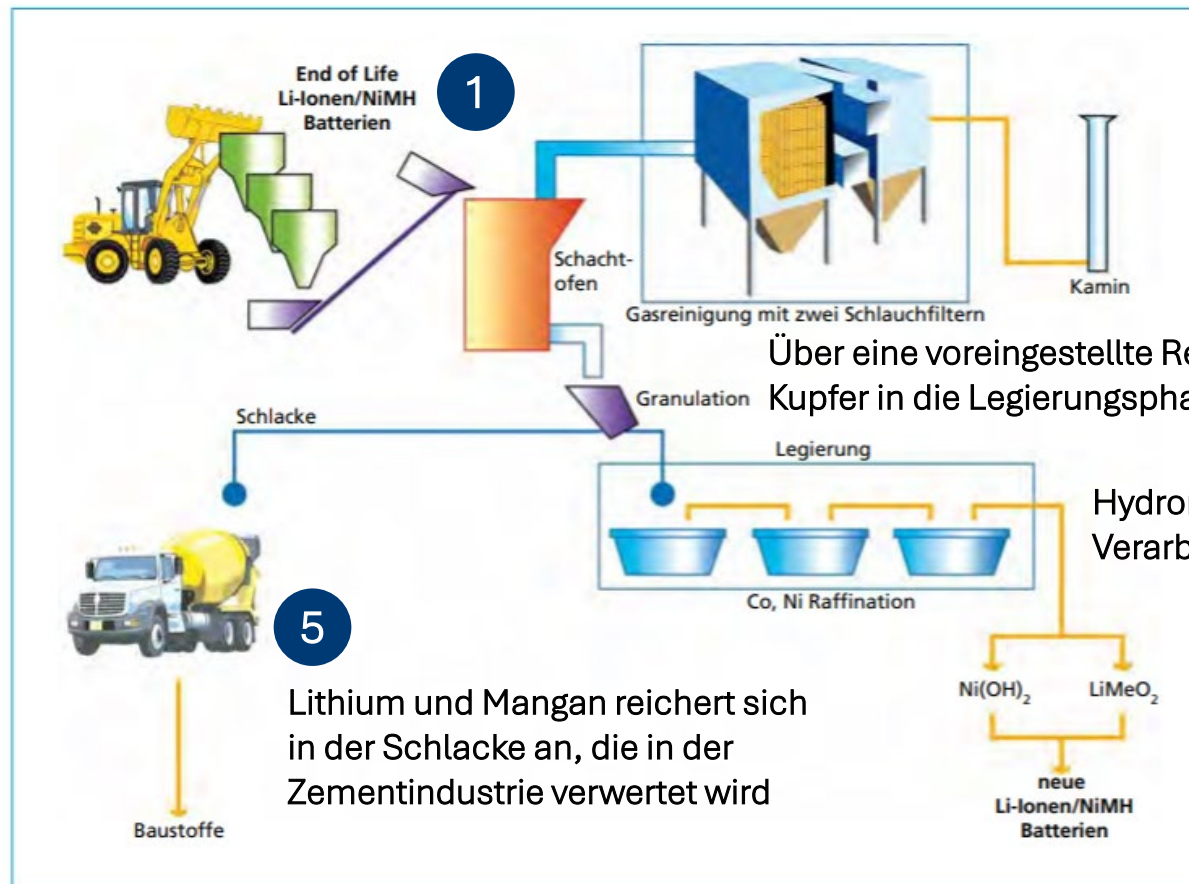
<https://www.duesenfeld.com/recycling.html>

Recycling von Lithium-Ionen Batterien: Stoffliche Rückgewinnung

- Rückgewinnung von Kobalt und Nickel, Kupfer durch Pyrolyseverfahren.
- Forschung: Lithium, Graphit, Mangan (lt. Fraunhofer-Institut für System und Innovationsforschung)
- Mit hydrometallurgischen Ansätzen werden bereits in Pilotprojekten folgende Rückgewinnungseffizienten erzielt: 100 % bei Kupfer, 99,2 % bei Mangan, 97,8 % bei Cobalt, 99,1 % bei Nickel und 95,8 % bei Lithium
- Schwierigkeit: Keine Standardisierung!
- Umicore&Audi: 95 Prozent dieser Elemente lassen sich im Labortest wiedergewinnen
- „Closed Loop“ Einsatz

Umicore Battery Recycling Process für NiMH- und Li-Ionen-Batterien

Fließbild des Umicore Battery Recycling Process für End of Life Batterien



1 Batterien werden mit Schlackebildnern in einen Schachtofen gegeben

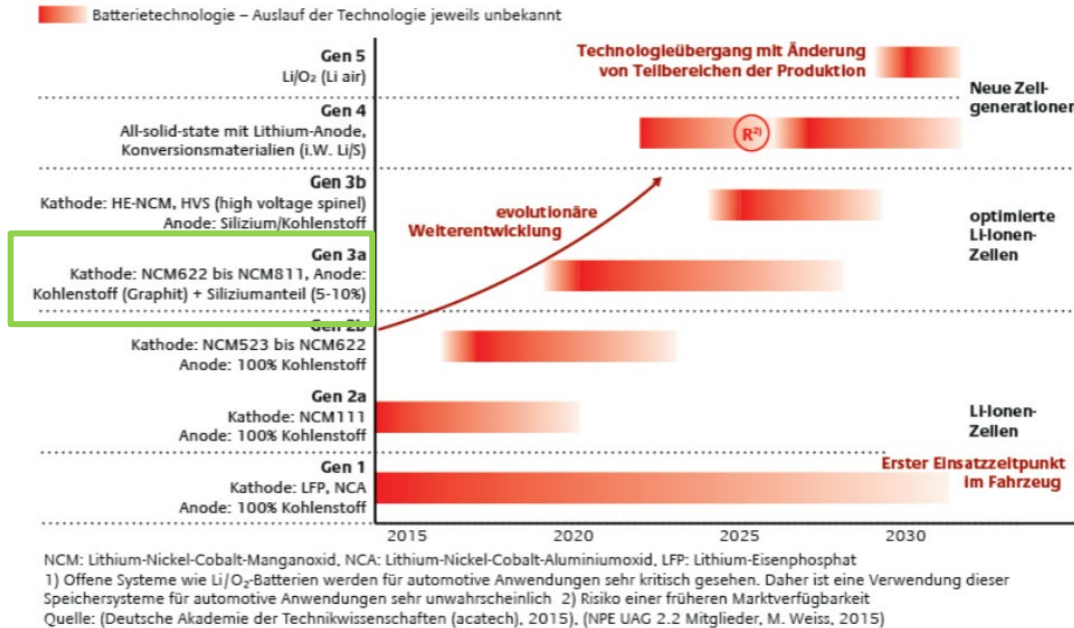
2 Über eine voreingestellte Redoxreaktion werden Cobalt, Nickel und Kupfer in die Legierungsphase überführt.
(Pyrolyse – thermisch)

3 Hydrometallurgische Raffination zur Verarbeitung zu Metallen und Verbind-ungen.

4 Weiterverarbeitung in neue Batterieelektroden.

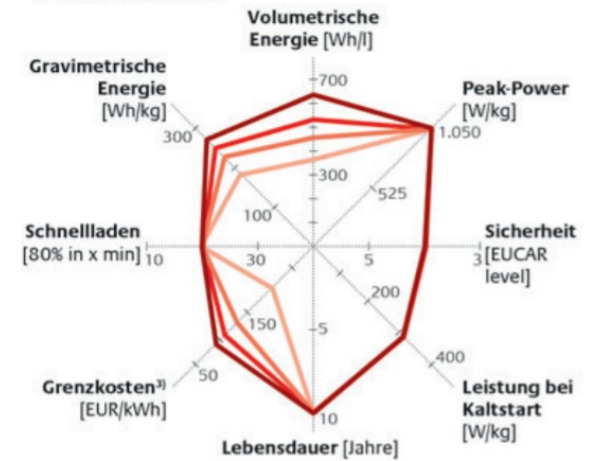
5 Lithium und Mangan reichert sich in der Schlacke an, die in der Zementindustrie verwertet wird

Batterie-Entwicklung Roadmap Zelltechnologie 2015-2030

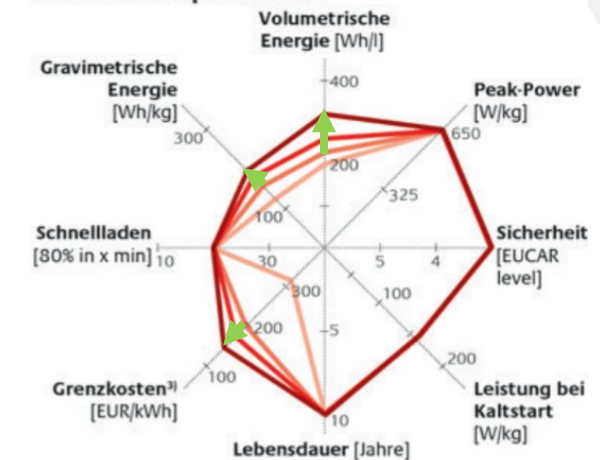


Batterieforschung

... auf Zellebene¹⁾



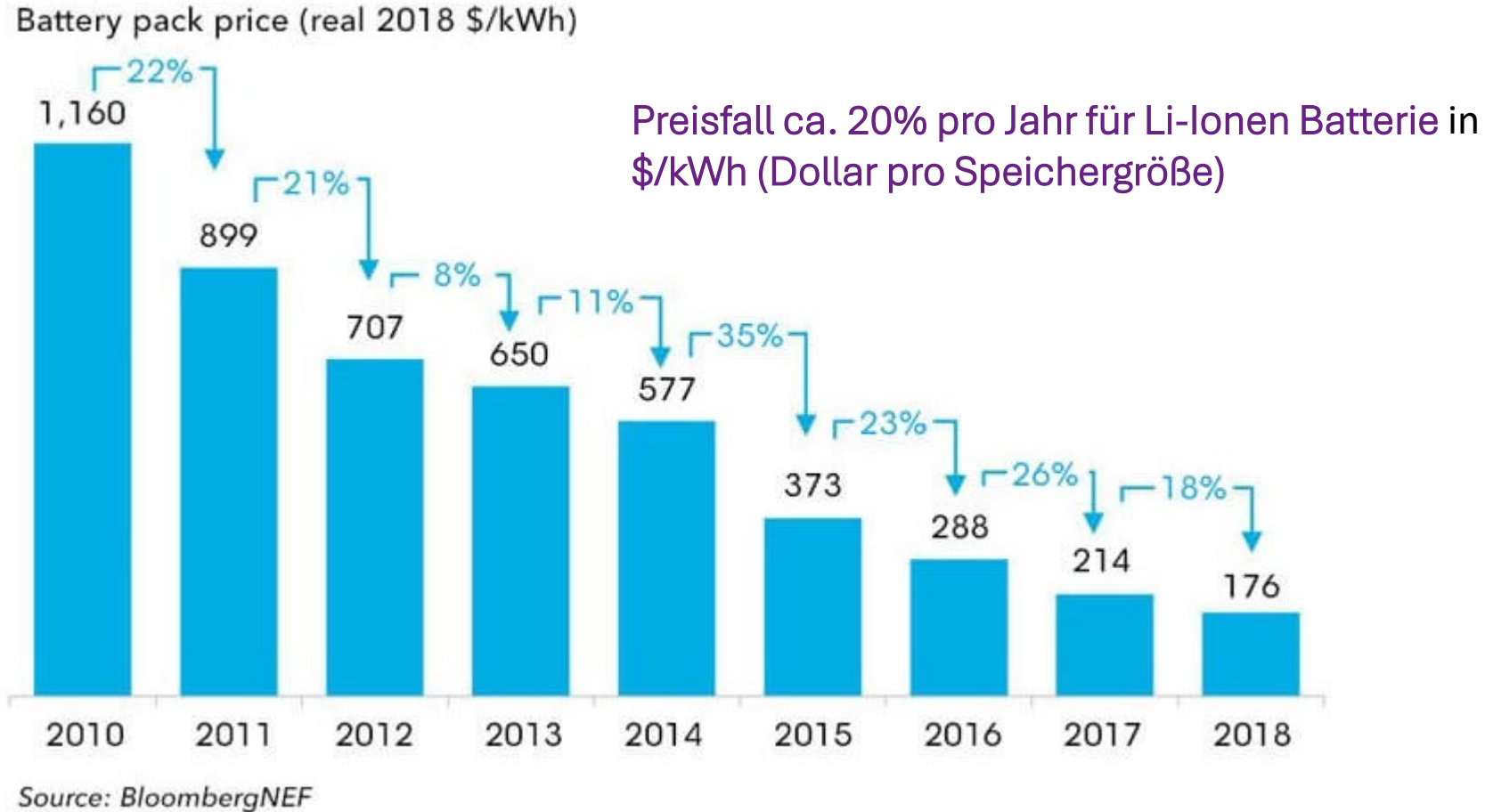
... auf Batteriepackebene²⁾



Volumetrische Energiedichte: Energie pro Volumen aus einer Batterie entnommen

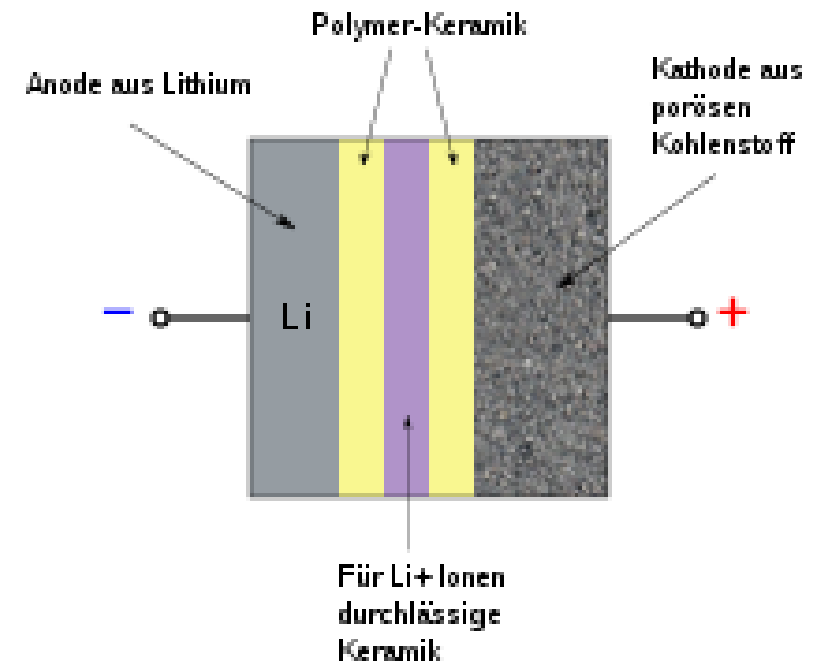
Gravimetrische Energie: beschreibt, wie viel Energie pro Gewicht (Masse) der Batterie gespeichert werden kann

Grenzkosten



Alternative Materialien Zukunft: Feststoffbatterien?

- Festkörperakkumulatoren unterscheiden sich insbesondere durch den festen Elektrolyten von den herkömmlichen **Akkumulatoren**.
- Damit Festkörperbatterien die **Energiedichten** von herkömmlichen Akkumulatoren übertreffen können, müssen **metallische Anoden** zur Anwendung kommen.
- Im Falle einer **Lithium-Ionen-Batterie** müsste also metallisches Lithium statt des bisher eingesetzten **Graphits** verwendet werden.



Vorteil: Es wird kein Kobalt verwendet!

Problem Kurzschlussgefahr!!!

Höhere Energiedichte Batterie - Stack

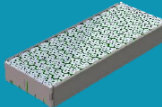
- Ziel: Energiedichte erhöhen durch platzsparendes Design und ausgeklügeltes Kühlsystem
- Resultat: höhere Reichweiten, längere Laufzeiten und geringerer Platzbedarf
- SCIO Batteriesysteme: modularer Baukasten (Kompaktheit und Qualität)



SCIO Features

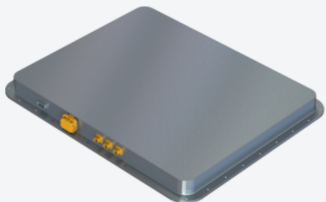
- › Entwicklung nach IATF Standards
- › Höchste Energiedichte am Markt
- › niedriges Gewicht
- › geringer Platzbedarf
- › langer Lebenszyklus
- › Digitale Überwachung
- › Recyclingkonzept mit Second Life Nutzung

Tabelle 1: Technische Daten der SCIO Batterietechnik

			
System enthält...	Mikromodul 22 Zellen	Makromodul 13 Mikromodule	System 8 Makromodule
Energie [kWh]	0,40	5,25	42,02
Kapazität [Ah]	110,00	110,00	110,00
Nennspannung [V]	3,65	47,45	382,00
Volumen [dm³]	0,58	11,40	140,00
Gewicht [kg]	1,60	20,16	254,92
Energiedichte (volum.) [Wh/dm³]	689,65	509,71	300,14
Energiedichte (gravim.) [Wh/kg]	250,00	210,00	164,84

400 V	800 V
Systemspannung	374 V
Kapazität	44 kWh
max. Systemkapazität	132 kWh
Zyklenzahlen*	> 3.000
Skalierbarkeit	Parallelschaltung möglich

*) je nach Anwendungsfall und Entladetiefe



E-Motoren

E-Motoren im E-Auto



Synchronmotor (FSM)

*fremderregter Permanentmagnet (über Strom: Elektromagnet): recht einfach, aber auch sehr robust



deutlich günstiger in der Produktion => für preissensible Autos



Fahrleistung => nur ankommt.

Renault Zoe, e-Smart



Synchronmotor (PSM)

* die am häufigsten verwendete Antriebsart im E-Auto

*permanentes Magnetfeld



Hohe Effizienz und Leistungsdichte, dadurch größere Reichweite bei vergleichsweise kleinem Bauraum

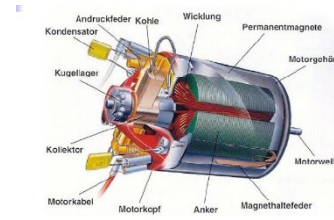


höhere Kosten interessant.

BMW i3, Porsche Taycan und VW ID.3,



Zukunft
Reluktanzmotor (Rotor ohne Permanentmagnet oder Elektromagnete)?



Asynchronmotor (ASM)

* Strom wird induziert



Keine aufwändige Regelung

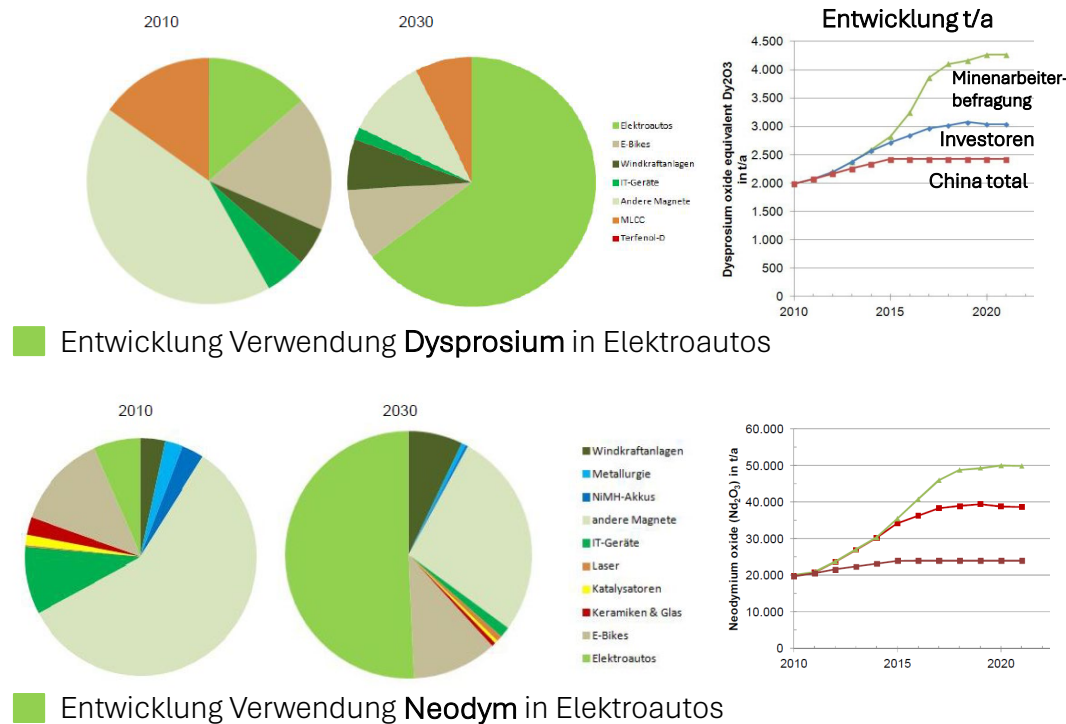


Kann kurzzeitig mit Überlast arbeiten
wartungsarm

Premiumklasse: Audi E-Tron , Mercedes EQC, Tesla Model S und X

Magnetwerkstoffe in Elektromotoren

Dysprosium und Neodym werden im Wesentlichen in Permanentmagneten eingesetzt.



- Deutschland ist bei den Selten-Erd-(SE)-Metallen, wie z.B. Neodym (Nd), Dysprosium (Dy), etc. vollständige abhängig von Importen
- Für Neodym und Dysprosium gibt es kaum Alternativen
- Daher ist es wichtig, dass die Werkstoffe zurückgewonnen werden

Herausforderung:

- Schädigungsfreie Demontage
- Stoffliche Wiedergewinnung

Abschlussbericht zum Verbundvorhaben Recycling von Komponenten und strategischen Metallen aus elektrischen Fahrtrieben; Kennwort: MORE (Motor Recycling), BmBF FKZ: 03X4622, 2014

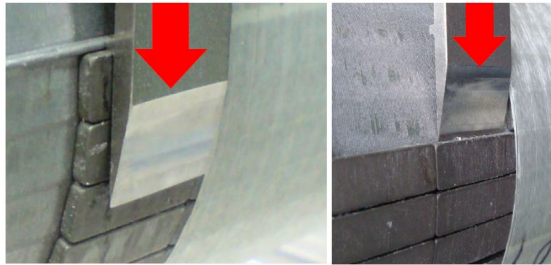
Recycling von Elektromotoren

Demontage

Manuelle/mechanische Demontage

MORE: Motor Recycling

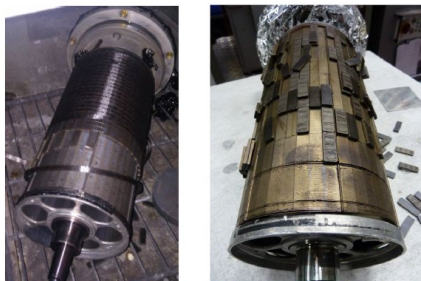
Untersuchung von Recyclingprozessen von
Magnetwerkstoffen aus Elektromotoren



Schädigungsfreie Demontage der Magnete ist
wichtig für die direkte Wiederverwendung

← abhebeln,
abmeißeln

Thermische Vorbehandlung



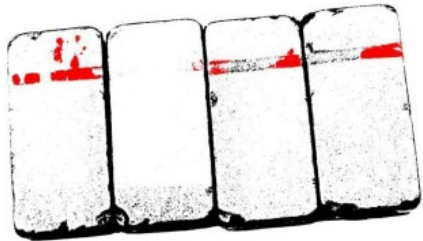
Magnete sind mit Harz fixiert.
Durch Erhitzen zersetzen sich die Klebstoffe.

← thermische Entmagnetisierung

Recycling von Elektromotoren Demontage

MORE: Motor Recycling

Untersuchung von Recyclingprozessen von
Magnetwerkstoffen aus Elektromotoren



Für das werkstoffliche Recycling müssen die Magnete aus den Motoren ausgebaut werden und von sämtlichen Verunreinigungen wie Kleber, Beschichtungen und sonstigen Fremdmaterialien befreit werden.

Das Magnetmaterial muss sortenrein vorliegen. Sämtliche Fremdlegierungen (Ferrite, SmCo) und andere metallische Bestandteile (Beschichtungen) sind unbedingt abzutrennen. Außerdem müssen sie entmagnetisiert werden, d.h. auf eine Temperatur $> 350\text{ °C}$ erhitzt werden.

Stoffliche Verwertung

- ⇒ Mechanische Zerkleinerung und Wiedereinsatz in der Pulverfertigung
- ⇒ Einschmelzen von Schrottmagneten

Recycling von Elektromotoren: Fazit

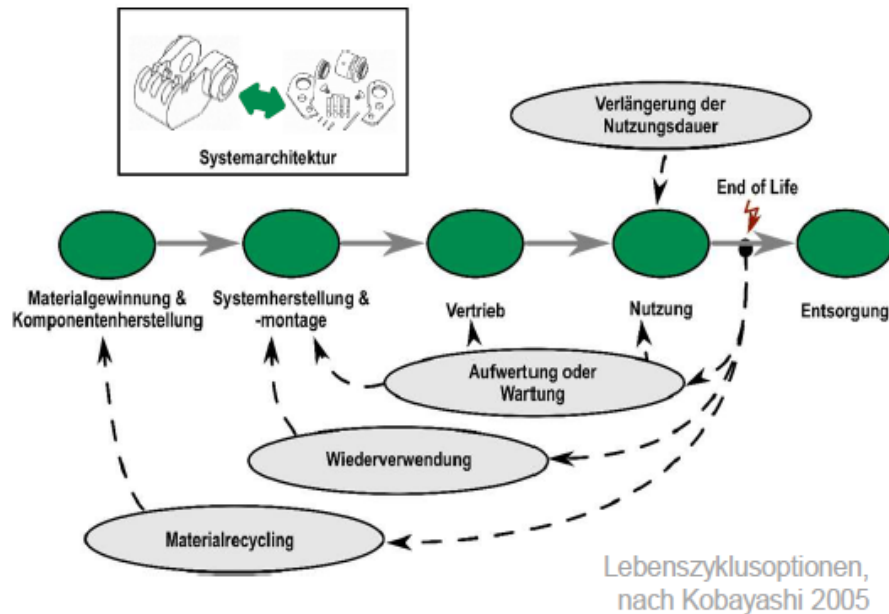
- Das Projekt konnte zeigen, dass **Magnete aus Recyclingmaterial**, z.B. aus Motoren ausgebaut und gereinigte Magnete, hergestellt werden können.
- Die Eigenschaften dieser Magnete **entsprechen den Spezifikationen** von Motormagneten.
- Allerdings ergeben sich nicht mehr die Eigenschaften von Magneten, die aus frischen Rohstoffen hergestellt wurden. Der wesentliche Unterschied ist die um 3 % **reduzierte Remanenz**.
- *=> Da für die Elektromobilität aus Platz- und Gewichtsgründen Magnete mit höchster Remanenz gefordert werden, ist es fraglich, ob Magnete aus Recyclingmaterial jemals Einzug in dieses Segment finden werden, da wie in diesem Projekt ebenfalls gezeigt, die Kosten für die Demontage, das Reinigen und das thermische Entmagnetisieren nicht unerheblich sind.*

Recycling von Elektromotoren: Fazit

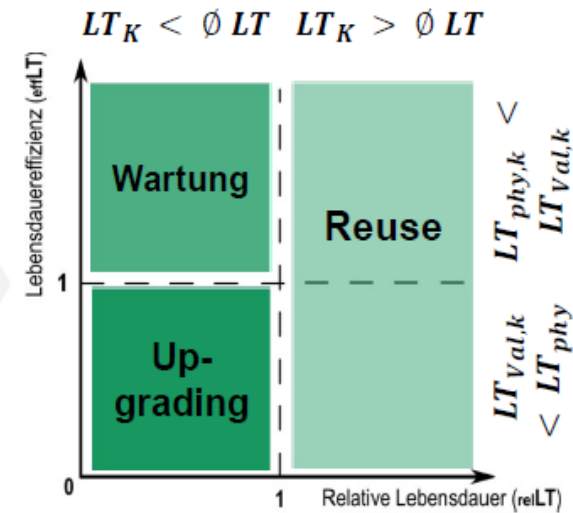
- Randbedingung im Projekt: Herstellungsprozess nur mit Schrotten der Vacuum-schmelze, deren genaue Zusammensetzung bekannt war.
- Ob mit Magnetschrotten anderer Hersteller, deren Zusammensetzung nicht bekannt ist, Recyclingmagnete gleicher Eigenschaften hergestellt werden können, konnte im Rahmen von MORE nicht geprüft werden, da die erforderlichen Schrottmengen nicht zur Verfügung standen.

MORE: Motor Recycling 
Untersuchung von Recyclingprozessen von
Magnetwerkstoffen aus Elektromotoren

Fazit: Lebenszyklusoptionen für ein CE



Lebensdauer als Kriterium für die Auswahl von Lebenszyklusoptionen



Life Cycle Option Planning Chart, nach Umeda et al. 2007

Thank you for your attention!

Frankfurt University
of Applied Sciences
Nibelungenplatz 1
60318 Frankfurt am Main

voelz@fb2.fra-uas.de
www.frankfurt-university.de