



VDI FVT Umweltbilanz zu Kraftfahrzeugen

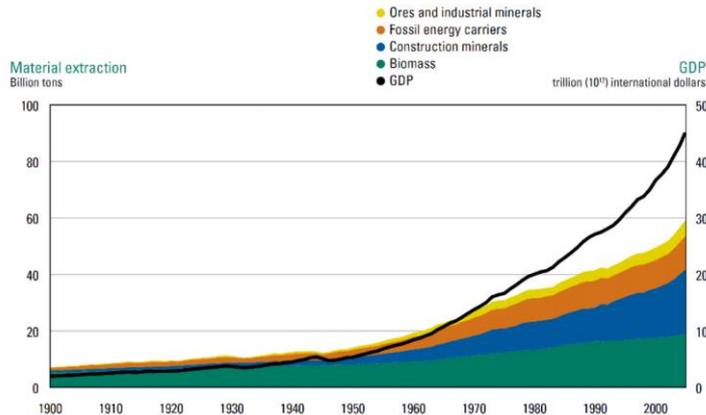
Dr.-Ing. Olaf Toedter

15.06.2021

Nachhaltigkeit und Umweltbilanzierung

Nachhaltigkeit – Ökologischer Rucksack

- Was ist der Blickwinkel?
- Was ist nachhaltig?
- Was ist der ökologische Rucksack?



Quelle: https://www2.klett.de/sixcms/list.php?page=infothek_artikel&extra=terra%20gwg%20gemeinschaftskunde%20wirtschaft-online&artikel_id=97377&inhalt=klett71prod_1.c.124284.de

Nachhaltigkeit und Umweltbilanzierung

Ganzheitliche Nachhaltigkeit



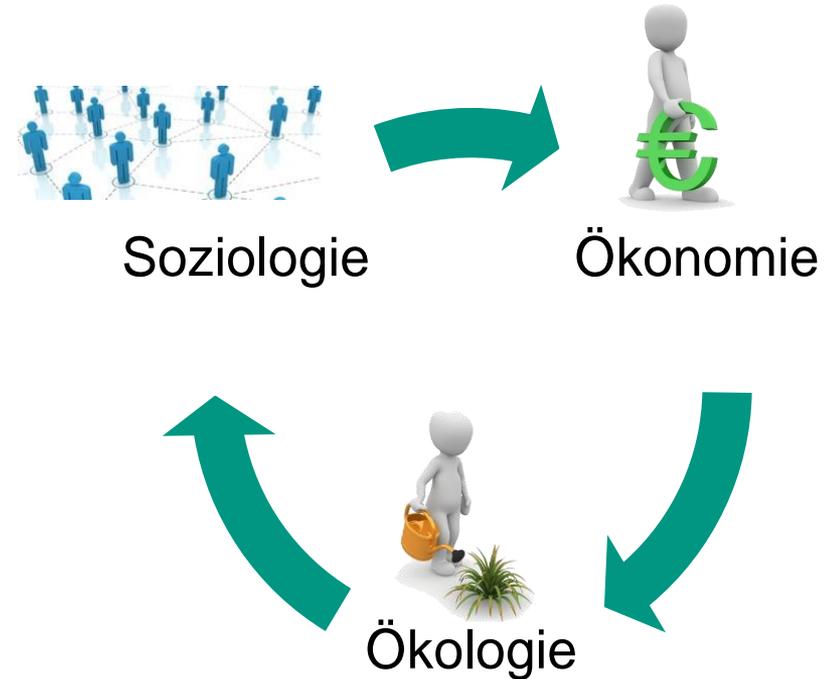
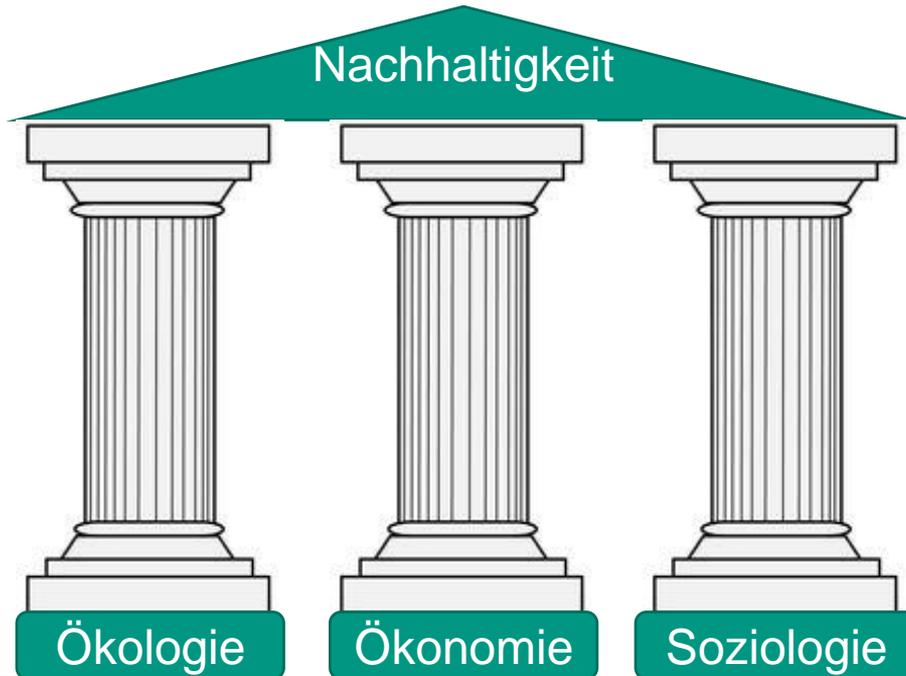
Quelle: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/nachhaltigkeitspolitik/die-un-nachhaltigkeitsziele-1553514>

■ Atlas of sustainable Development Goals <http://datatopics.worldbank.org/sdgoalatlas/>

Nachhaltigkeit und Umweltbilanzierung

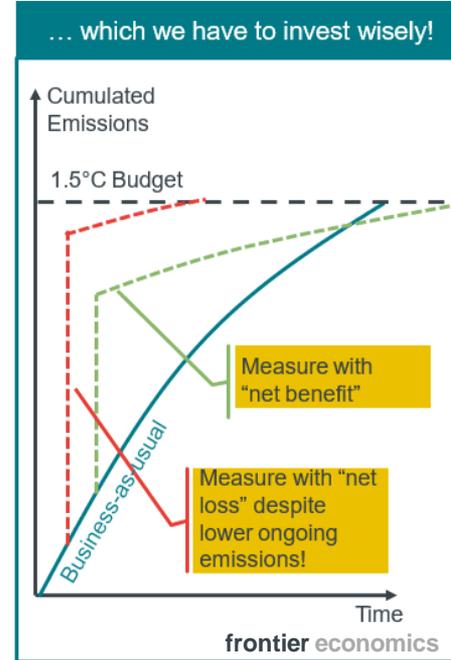
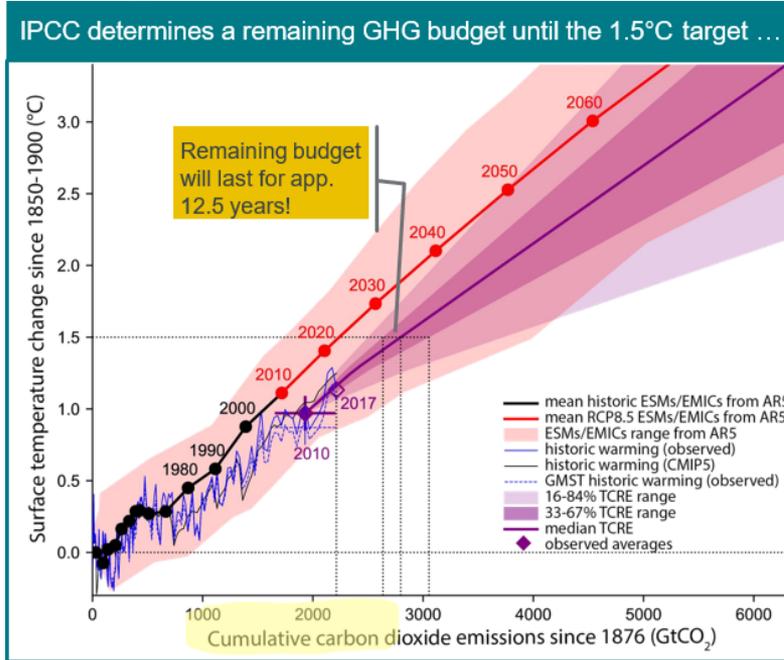
Ganzheitliche Nachhaltigkeit

■ Drei-Säulen Modell der Nachhaltigkeit



Nachhaltigkeit und Umweltbilanzierung

Das CO₂ - Budget



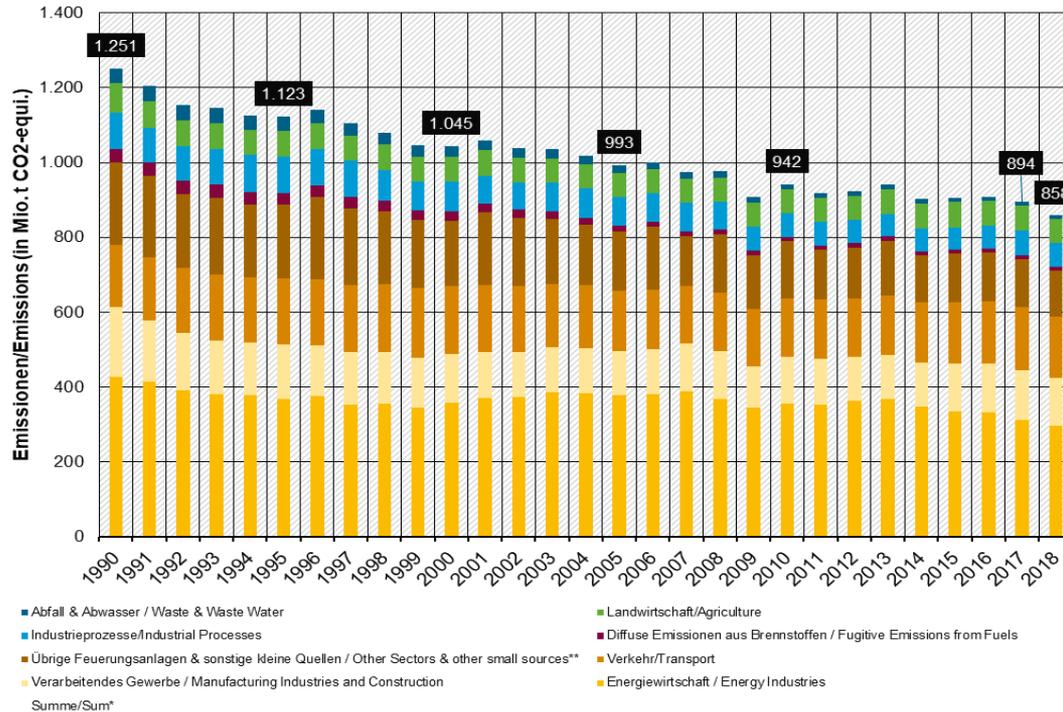
Quelle:
Frontier economics

... Das Ziel müsste sein, den "return on invest" zu maximieren!

CO₂ kennt aber kein "return on invest"!!!

Nachhaltigkeit und Umweltbilanzierung

Das CO₂ - Budget



Umweltbundesamt (2020)

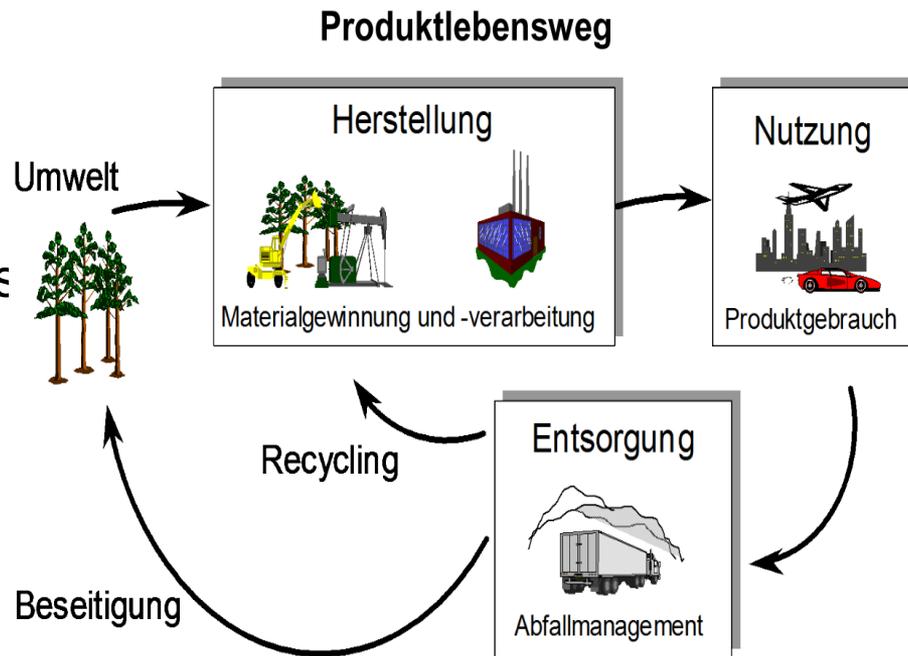
- Verkehrssektor verantwortlich für 19 % der Treibhausgase
- Trotz immer effizienteren Motoren
- Stetig steigende Fahrzeugmasse

→ Tank-to-Wheel Analyse

Nachhaltigkeit und Umweltbilanzierung

Grundlagen der Ökobilanz

- Ökobilanz = LCA
(engl. Life Cycle Assessment)
- Methodik zur Betrachtung der Umweltauswirkungen entlang des kompletten Produktlebenswegs
 - Cradle-to-Grave/Cradle statt Tank-to-Wheel
 - Außer Treibhausgasen (Carbon Footprint) weitere Umweltauswirkungen
- Normiert nach ISO 14040/14044



Buchgeister, J. (2017). Grundlagen der Lebenszyklusanalyse, Stuttgarter Energie Speicher Symposium

Nachhaltigkeit und Umweltbilanzierung

Die Treiber der LCA Entwicklung

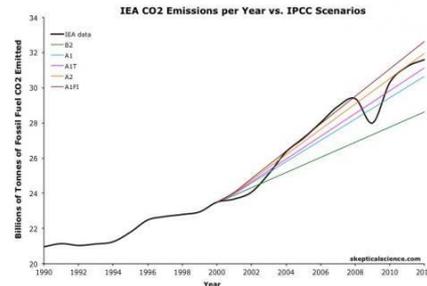
■ Ölkrise 1973 als Auslöser einer Diskussion über begrenzte Ressourcen

- Ressourcensicherung
- alt. Energiequellen
- erste LCI Bilanzen



■ Umweltbilanzierung mit Fokus Ressourcenknappheit → Umweltauswirkungen

- gesetzliche Grenzen



Nachhaltigkeit und Umweltbilanzierung

Normierung durch ISO

- Bildung einer Gruppe von Normen
- Abbildung der übergeordneten Methodik des Demingkreis Plan - Do - Check - Act

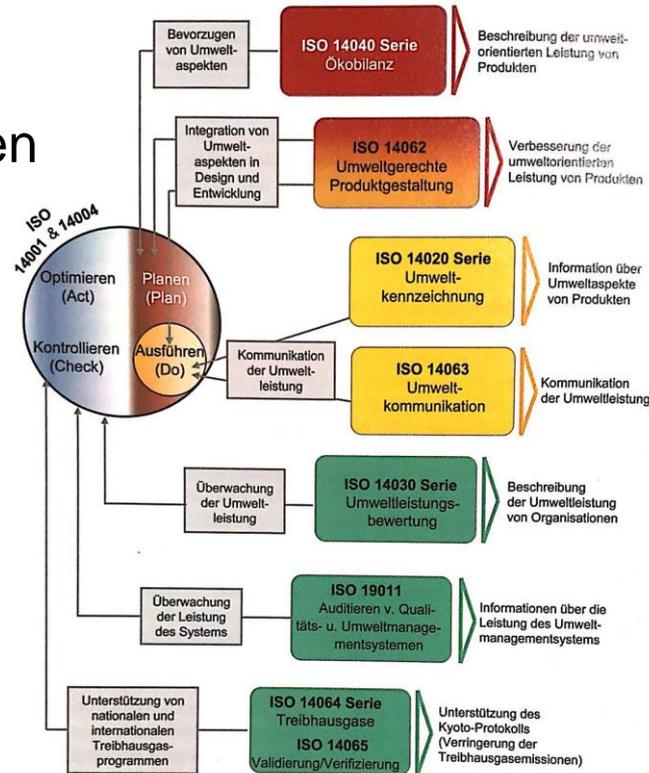


Abb. 1.5 Das ISO 14000 Modell⁸⁵⁾.

Quelle: Ökobilanz (LCA) Ein Leitfaden für Ausbildung und Beruf 2007, Wiley

Nachhaltigkeit und Umweltbilanzierung

Kernpunkte der ISO 14040 (1/3)

Dem Grundsatzdokument DIN/EN/ISO 14040:1997 kommt durch folgende grundsätzliche Aussagen zu Ökobilanzen im Hinblick auf die „Bewertung“ eine besondere Bedeutung zu:

- Ökobilanzen als eine Entscheidungsgrundlage für die **ökologische Verbesserung der Produkte** („improvement“)
- Auch die **Berücksichtigung von Ökobilanzen in umweltpolitischen Entscheidungsprozessen** („public policy making“) ist in dieser Norm ausdrücklich anerkannt worden.
- **vergleichenden Aussagen** („comparative assertions“) als wichtiges Ziel der Ökobilanzen

Nachhaltigkeit und Umweltbilanzierung

Kernpunkte der ISO 14040 (2/3)

Dem Grundsatzdokument DIN/EN/ISO 14040:1997 kommt durch folgende grundsätzliche Aussagen zu Ökobilanzen im Hinblick auf die „Bewertung“ eine besondere Bedeutung zu:

- Zu einer Ökobilanz gehört die Durchführung einer **Wirkungsabschätzung** („impact assessment“)
- Norm (ISO14040) gilt auch für **Sachbilanzen** („Life Cycle Inventory Studies“) als eigenständige Bilanzierungsform.
→ „Auswertung“ („Interpretation“) ohne Wirkungsabschätzung

Nachhaltigkeit und Umweltbilanzierung

Kernpunkte der ISO 14040 (3/3)

Dem Grundsatzdokument DIN/EN/ISO 14040:1997 kommt durch folgende grundsätzliche Aussagen zu Ökobilanzen im Hinblick auf die „Bewertung“ eine besondere Bedeutung zu:

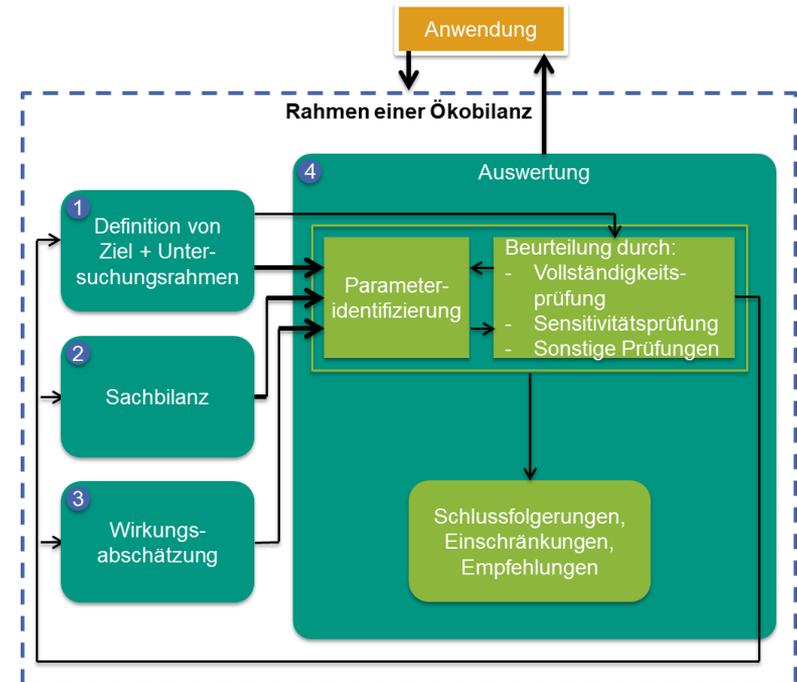
- „**kritische Prüfung**“ (critical review) durch unabhängigen Experten
 - betroffenen Kreise an Ökobilanz-Projekten zu beteiligten,
 - Fach- bzw. Projektbeirat aus Vertretern der betroffenen Kreise (duale Projektbegleitung)
- besondere Regeln im Falle einer Veröffentlichung, z.B. hinsichtlich des „critical review“ oder zur Erstellung von **Sensitivitätsanalysen**.

Nachhaltigkeit und Umweltbilanzierung

Grundlagen der Ökobilanz

■ Ablauf

- vier Phasen
- Iteratives Vorgehen
- Leitprinzip möglichst großer Transparenz
- Anwendung: ökologische Produktverbesserung, Marketing, etc.

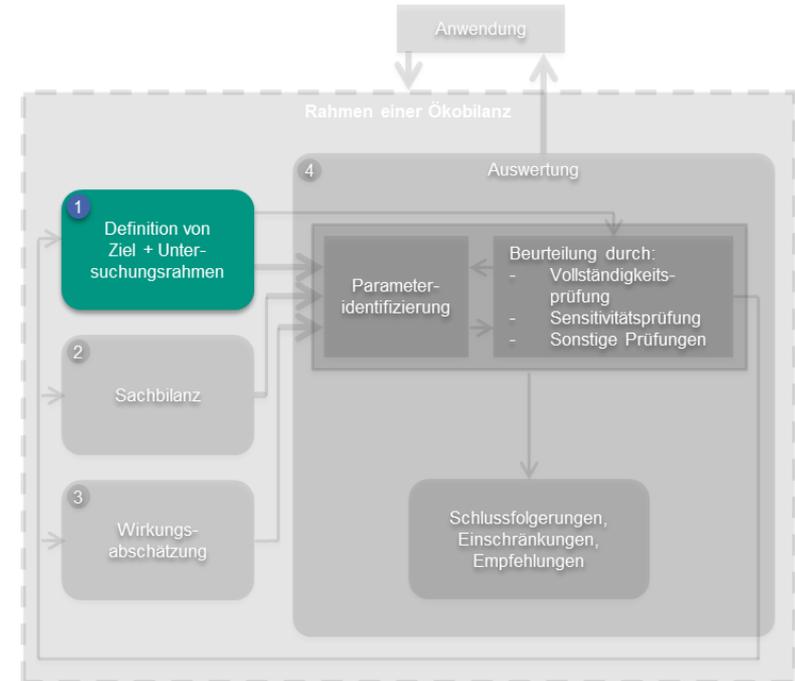


Nach DIN EN ISO 14044 aus Weber, P. et al. (2019).
Ökobilanzierung – Kontroversen vorprogrammiert?, ATZextra

Nachhaltigkeit und Umweltbilanzierung

Ökobilanz: Ziel + Untersuchungsrahmen

- Ziel:
 - Anwendung, Grund für die Studie
 - Zielgruppe
- Untersuchungsrahmen:
 - **Produktsysteme:**
 - **Funktionelle Einheit:**
 - Systemgrenze:
 - Einschränkungen: z.B. kein Recycling
 - **Wirkungskategorien,**
Wirkungsabschätzungsmethode,
Allokation,...

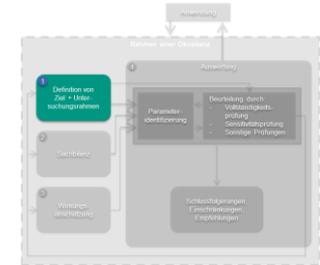


Nach DIN EN ISO 14044 aus Weber, P. et al. (2019).
Ökobilanzierung – Kontroversen vorprogrammiert?, ATZextra

Nachhaltigkeit und Umweltbilanzierung

Ökobilanz: Ziel + Untersuchungsrahmen

- Ziel:
 - Anwendung, Grund für die Studie
 - Zielgruppe
- Untersuchungsrahmen:
 - **Produktsysteme:** z.B. PKW (BEV, ICEV,...) / Auto, Bahn, Bus
 - **Funktionelle Einheit:** z.B. Fahrzeug-/Personenkilometer
 - Systemgrenze: z.B. „nur“ Herstellung und Nutzung
 - Einschränkungen: z.B. kein Recycling
 - **Wirkungskategorien, Wirkungsabschätzungsmethode, Allokation,...**

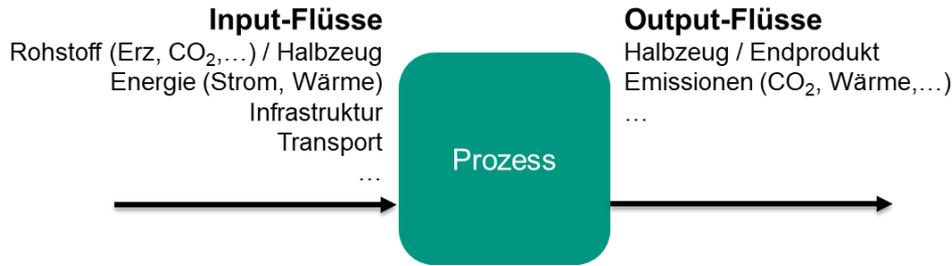


Nach DIN EN ISO 14044 aus Weber, P. et al. (2019). Ökobilanzierung Kontroversen vorprogrammiert?, ATZextra

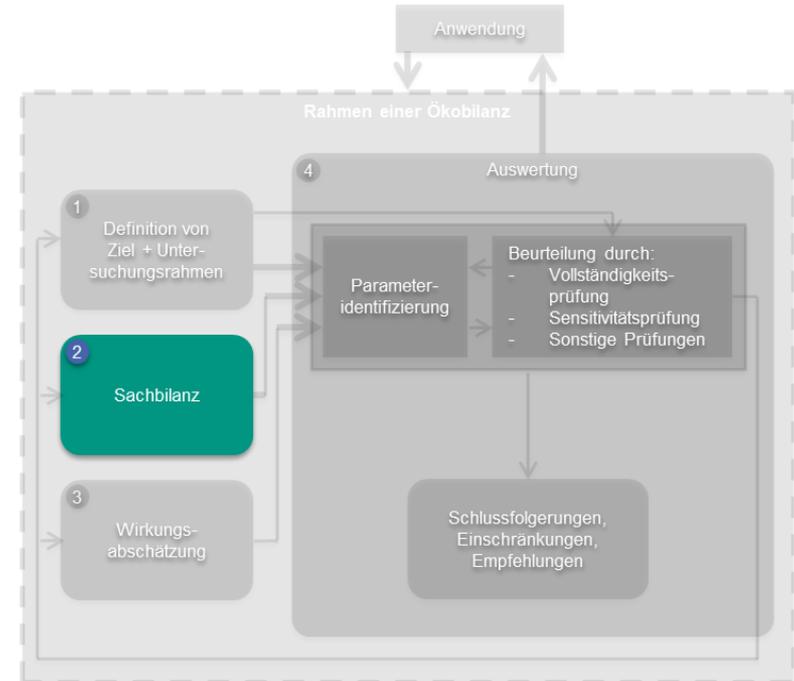
Nachhaltigkeit und Umweltbilanzierung

Ökobilanz: Sachbilanz

- Abbildung der Produktsysteme als Prozesse in Datenbank
 - Hintergrunddatenbanken, Literatur, eigene Datenerhebungen



- **Prozess** = Umwandlung von Inputs in Outputs



Nach DIN EN ISO 14044 aus Weber, P. et al. (2019).
Ökobilanzierung – Kontroversen vorprogrammiert?, ATZextra

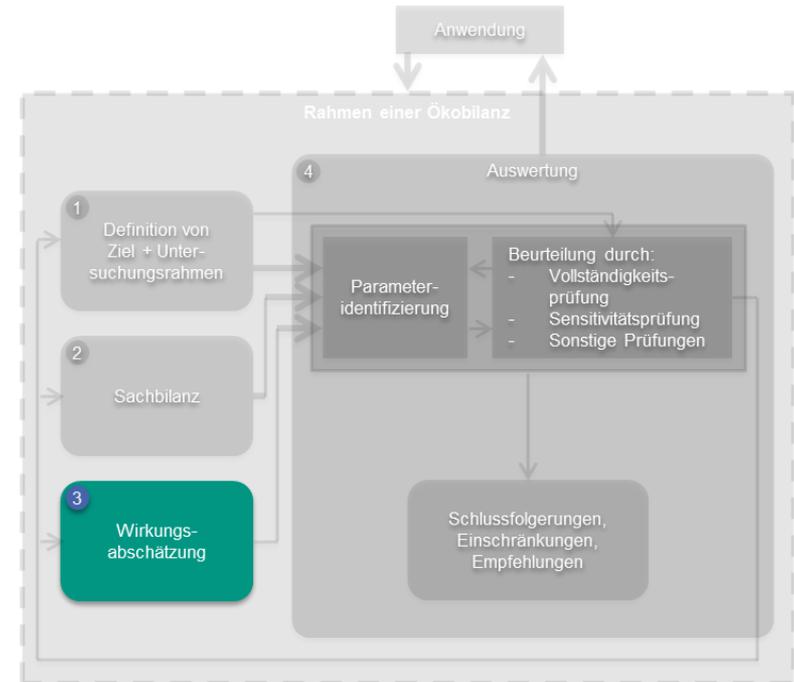
Nachhaltigkeit und Umweltbilanzierung

Ökobilanz: Wirkungsabschätzung

- **Wirkungsabschätzung:**
Zusammenhang Sachbilanz vs.
Umweltauswirkung
→ **Verschiedene**
Wirkungs-abschätzungsmethoden



- **Allokation:** Zuordnung zu betrachtetem Produktsystem oder anderen Systemen



Nach DIN EN ISO 14044 aus Weber, P. et al. (2019).
Ökobilanzierung – Kontroversen vorprogrammiert?, ATZextra

Nachhaltigkeit und Umweltbilanzierung

Ökobilanz: Wirkungsabschätzung

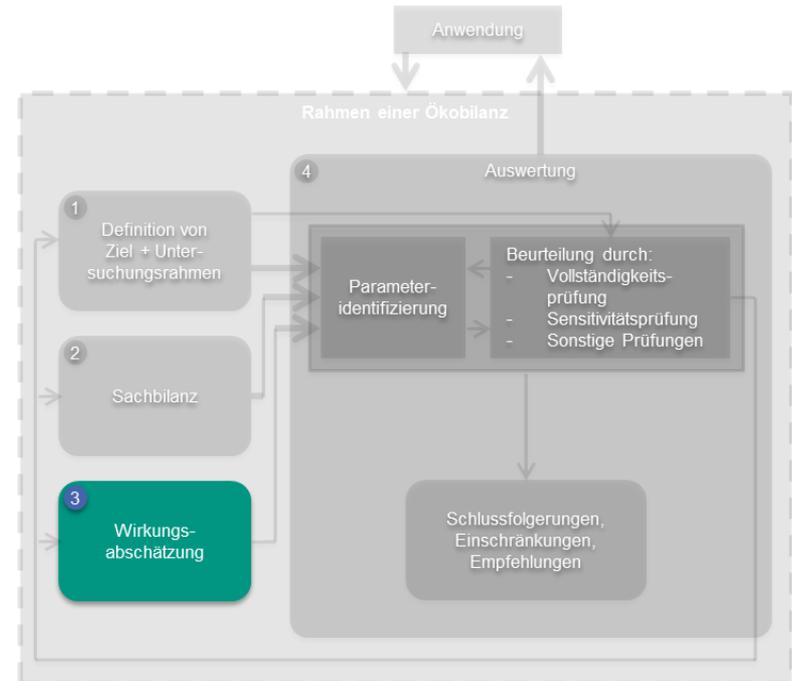
■ Wirkungsabschätzung: Wirkungsindikatorwerte für Klimawandel

$$\frac{\text{kg THG}}{\text{fE}} \times \frac{\text{kg CO}_{2\text{äq}}}{\text{kg THG}} = \frac{\text{kg CO}_{2\text{äq}}}{\text{fE}}$$

↑
Sachbilanz-
ergebnis

↑
Charakterisierungsfaktor

Treibhausgase	Atmosphärische Verweilzeiten (a)	GWP100, IPCC 2013 (kg CO _{2äq})
Kohlendioxid (Referenz)	120	1
Methan	9-15	28
Lachgas	114	265
FCKW 11	50	4660



Nach DIN EN ISO 14044 aus Weber, P. et al. (2019).
Ökobilanzierung – Kontroversen vorprogrammiert?, ATZextra

Nachhaltigkeit und Umweltbilanzierung

Hierarchisierung der Umweltwirkungen an ökologischen Schutzgütern

menschliche
Gesundheit

Struktur und
Funktion von
Ökosystemen

natürliche
Ressourcen

→ Wirkungskategorien

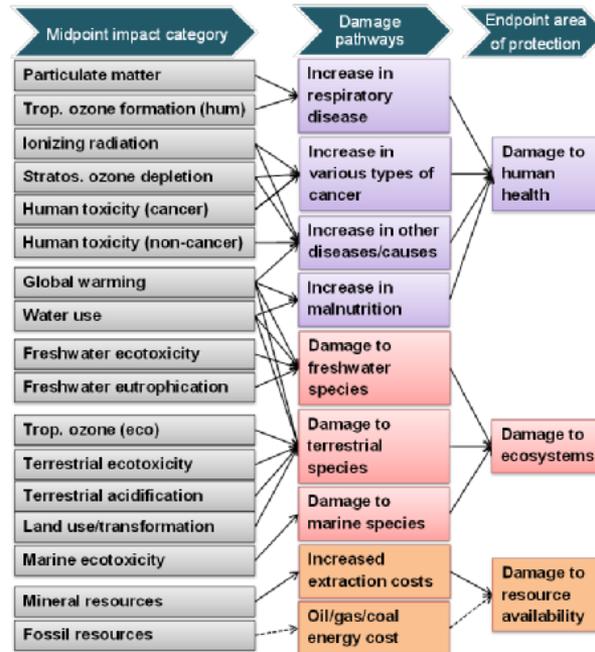
- Direkte Gesundheitsschädigung
- Direkte Schädigung von Ökosystemen
- Aquatische Eutrophierung
- Terrestrische Eutrophierung
- Naturraumbeanspruchung
- Photochemische Oxidantienbildung/
Sommersmog
- Ressourcenbeanspruchung
- Stratosphärischer Ozonabbau
- Treibhauseffekt
- Versauerung

Quell: Umweltbundesamt, 1999 Methode des Umweltbundesamtes zur Normierung von Wirkungsindikatoren, Ordnung von Wirkungskategorien und zur Auswertung nach ISO 14042 und 14043

Nachhaltigkeit und Umweltbilanzierung

Methoden zur Evaluation der Wirkungsfaktoren

Recipe 2016



Jungbluth; N.; ESU-Services,
Bewertungsmethoden in der Ökobilanzierung, 2020

Nachhaltigkeit und Umweltbilanzierung

Ökobilanz: Auswertung

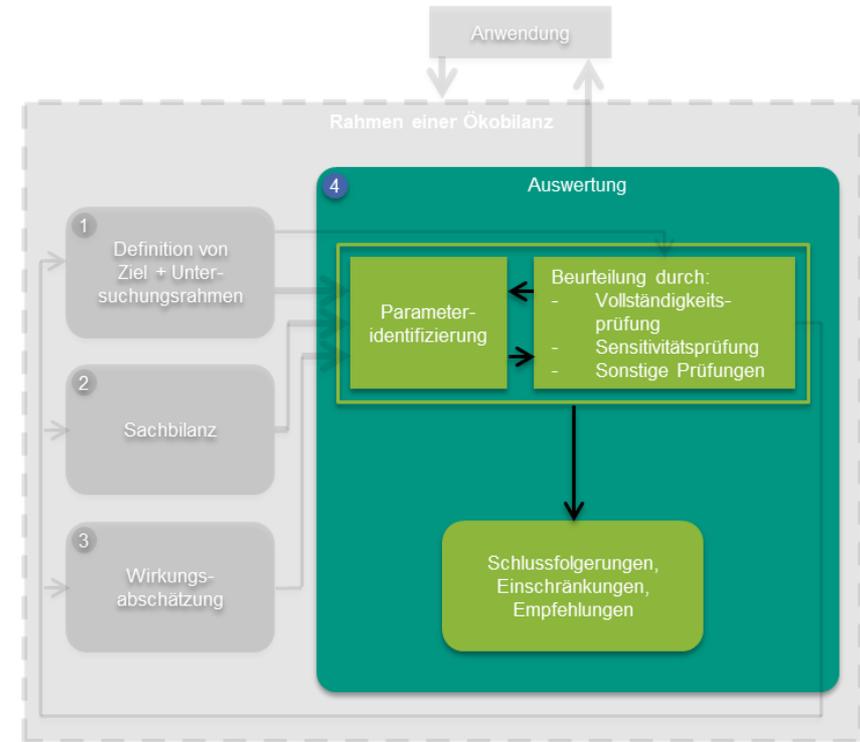
■ **Beurteilung** durch:

- Vollständigkeitsprüfung
- Sensitivitätsprüfung

→ Iteration notwendig?

■ **Beitragsanalyse:**

- Aufteilung nach Lebenswegphasen
- Kritische Komponenten/Bauteile



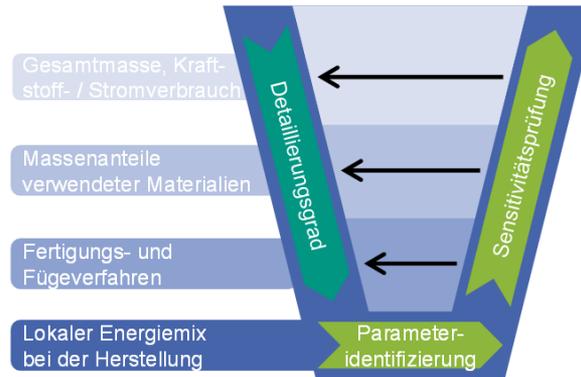
Nachhaltigkeit und Umweltbilanzierung

Ökobilanz: Methodik

■ Bildung der Sachbilanz



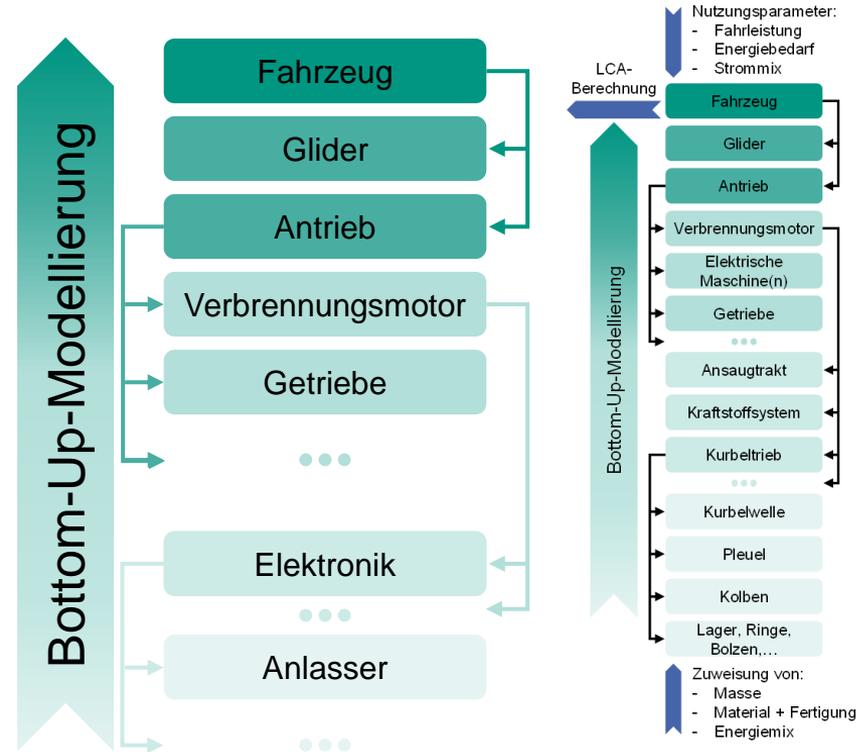
- Eine Matrix aus Prozessen und Flüssen bis zum Rohstoff
- Detaillierung über die System-Struktur (Funktional oder materiell)

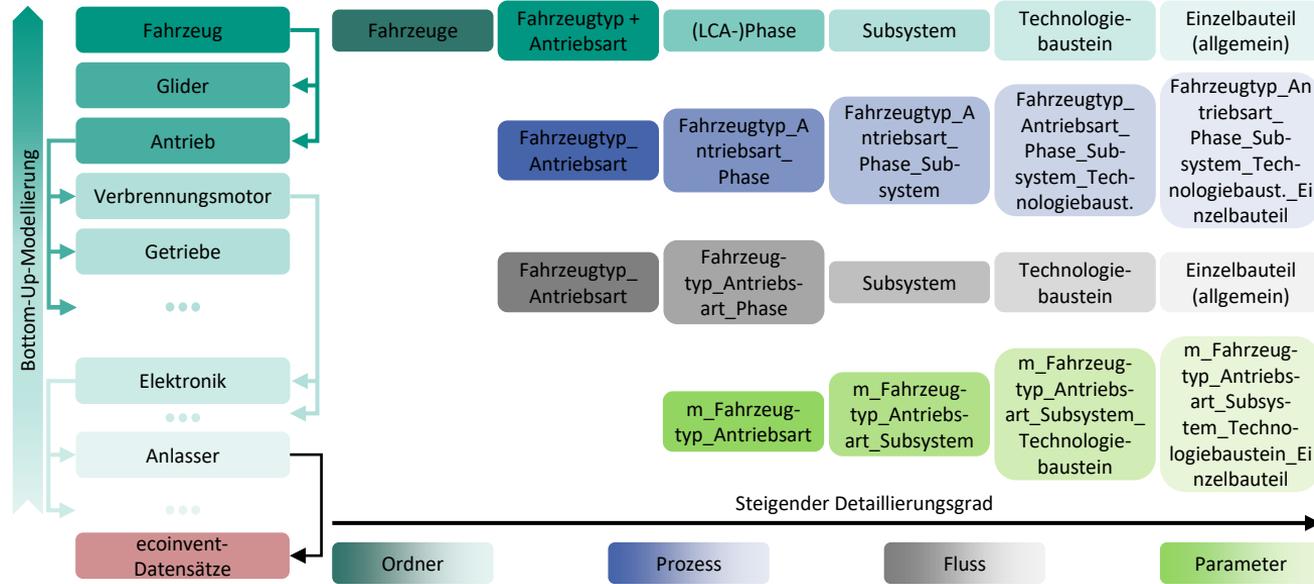


Nachhaltigkeit und Umweltbilanzierung

Ökobilanz: Methodik

- Systematische Aufgliederung in mehrere Ebenen
 - Fahrzeug = Antrieb + Glider („Rest“)
 - Vorgabe von Fahrzeugmasse nach Katalog
 - Massenbasierte Bottom-Up-Modellierung des Antriebs
 - Massen teilweise direkt vom OEM
 - Zuweisung von Materialien (+ Fertigungsverfahren) → ecoinvent
 - $m_{Glider} = m_{Fahrzeug} - m_{Antrieb} - m_{Fahrer} - m_{Tankinhalt}$

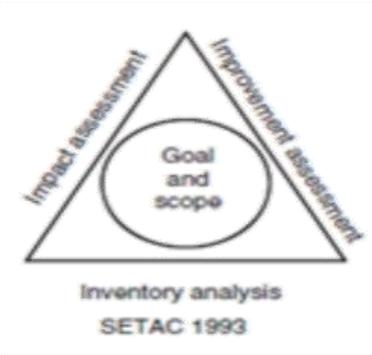




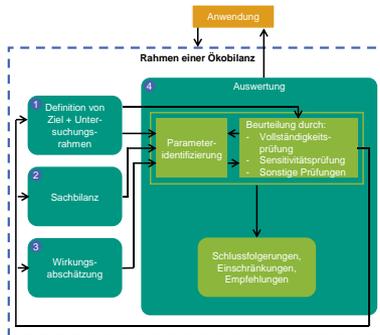
Nachhaltigkeit und Umweltbilanzierung

Ökobilanz: Methodik

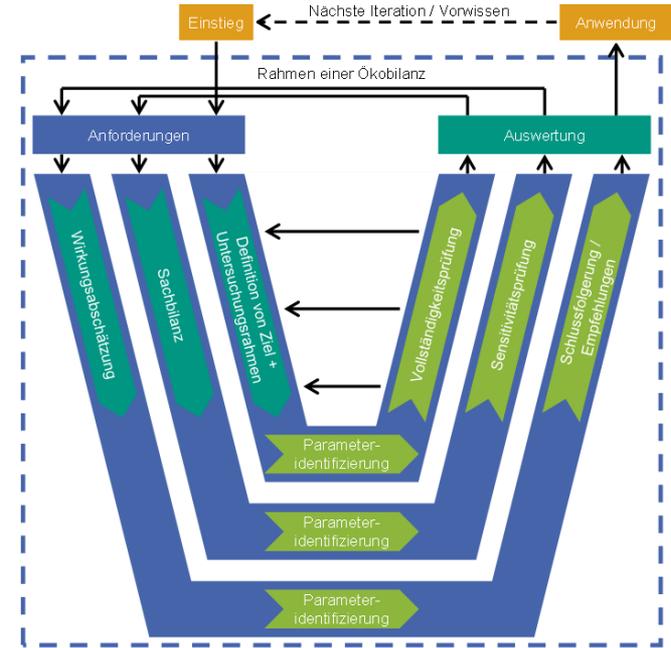
SAETC



LCA Methode ISO 14040/14044



Modell → V-Modell

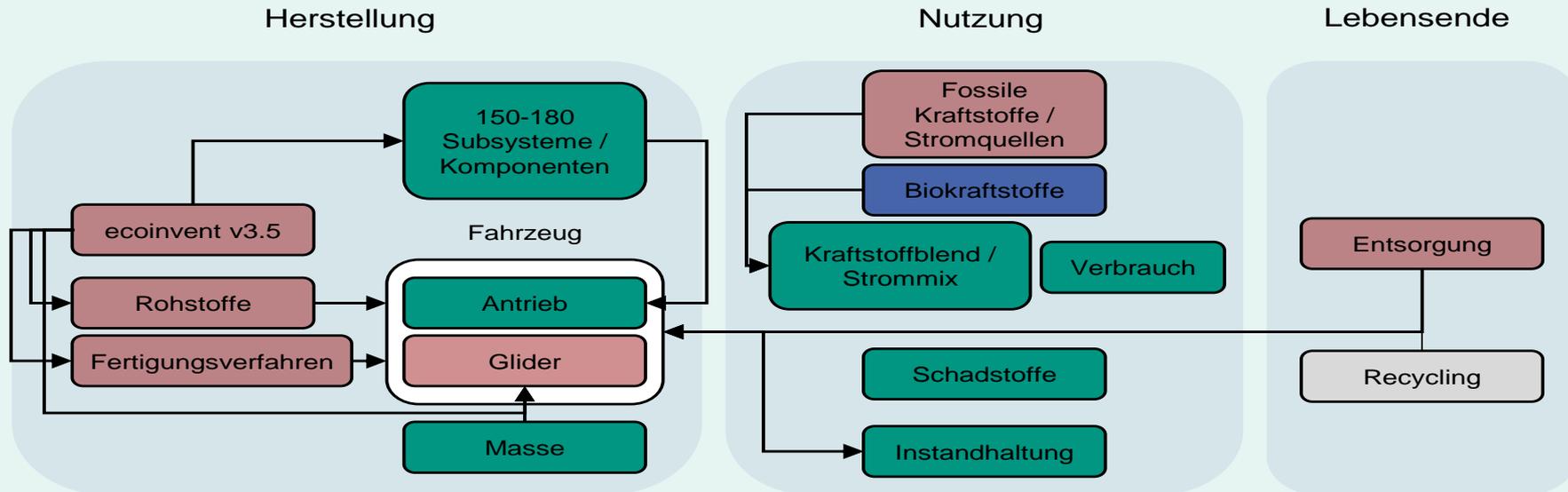


Nachhaltigkeit und Umweltbilanzierung

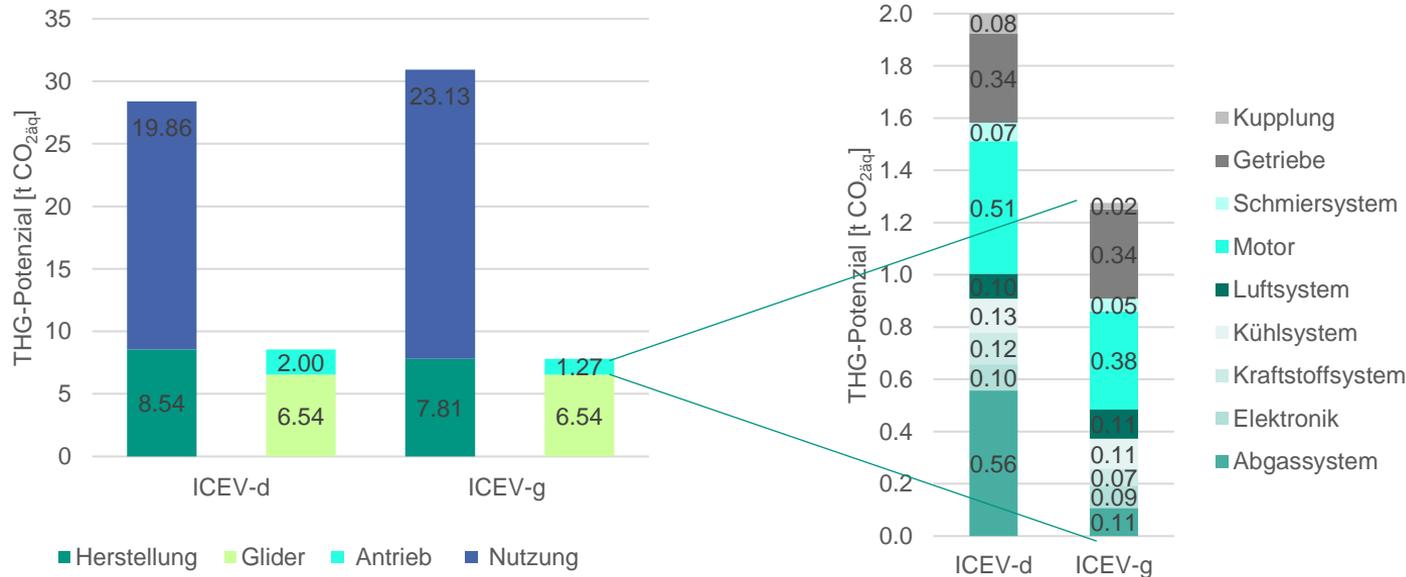
Ökobilanz: Systemgrenze

■ Bilanzgrenzen am Beispiel eines Fahrzeuges

Systemgrenze

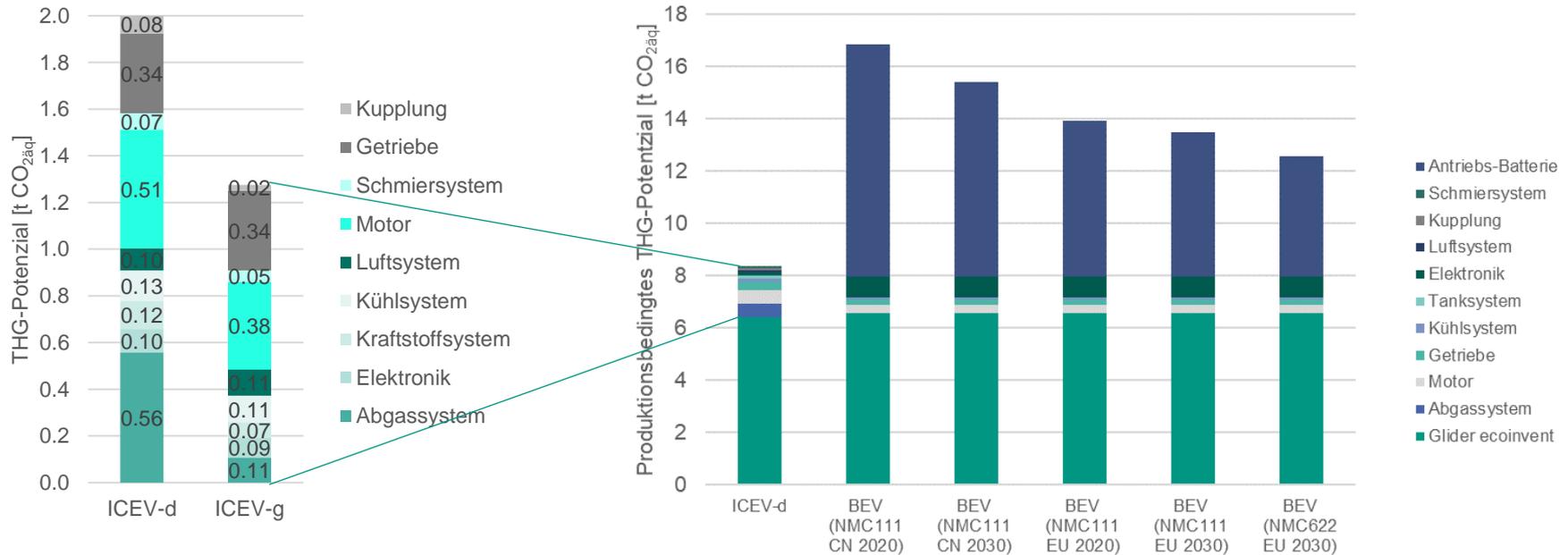


Sachbilanz und Nutzung



150.000km Nutzung mit fossilem Kraftstoff

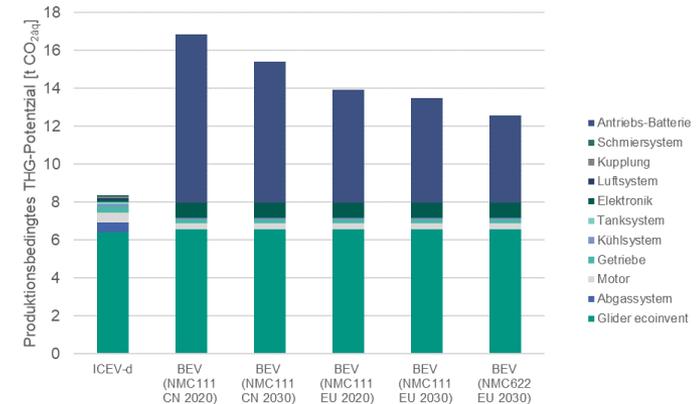
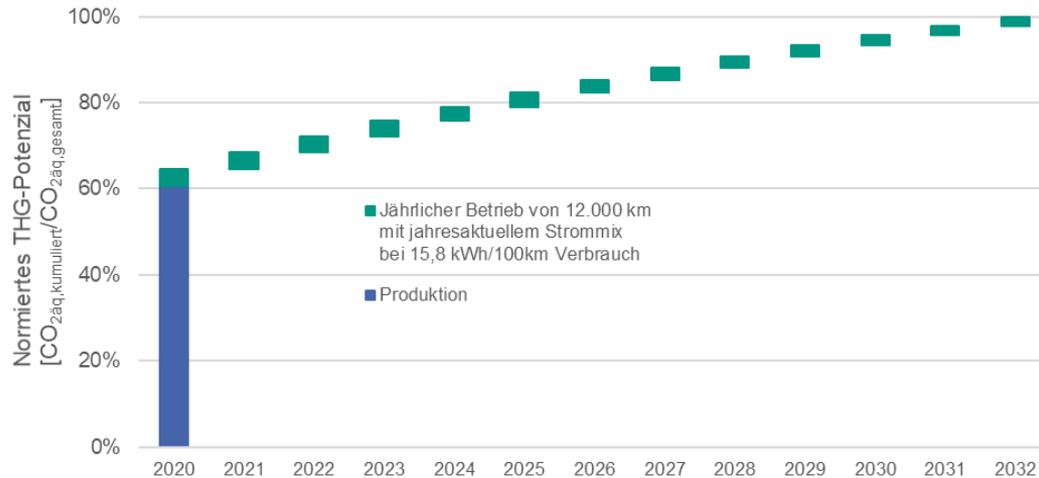
Sachbilanz

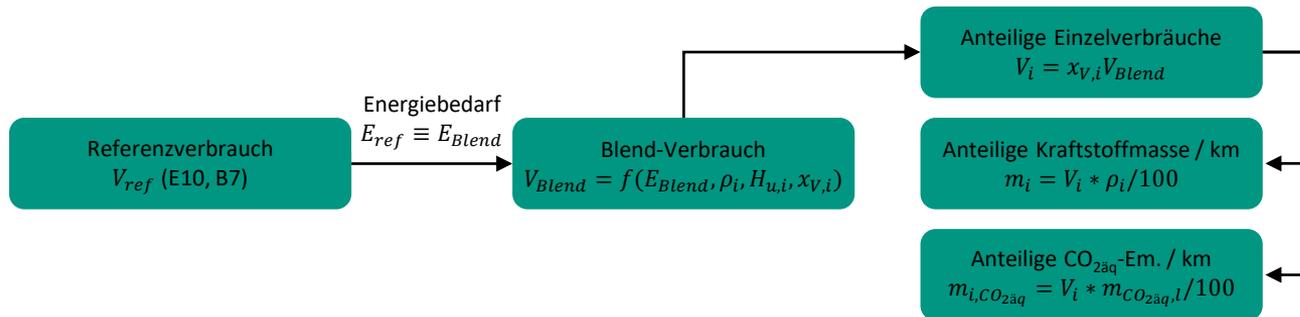


Nachhaltigkeit und Umweltbilanzierung

Ökobilanz Fahrzeug

■ Produktion und Nutzung am Beispiel eines BEV

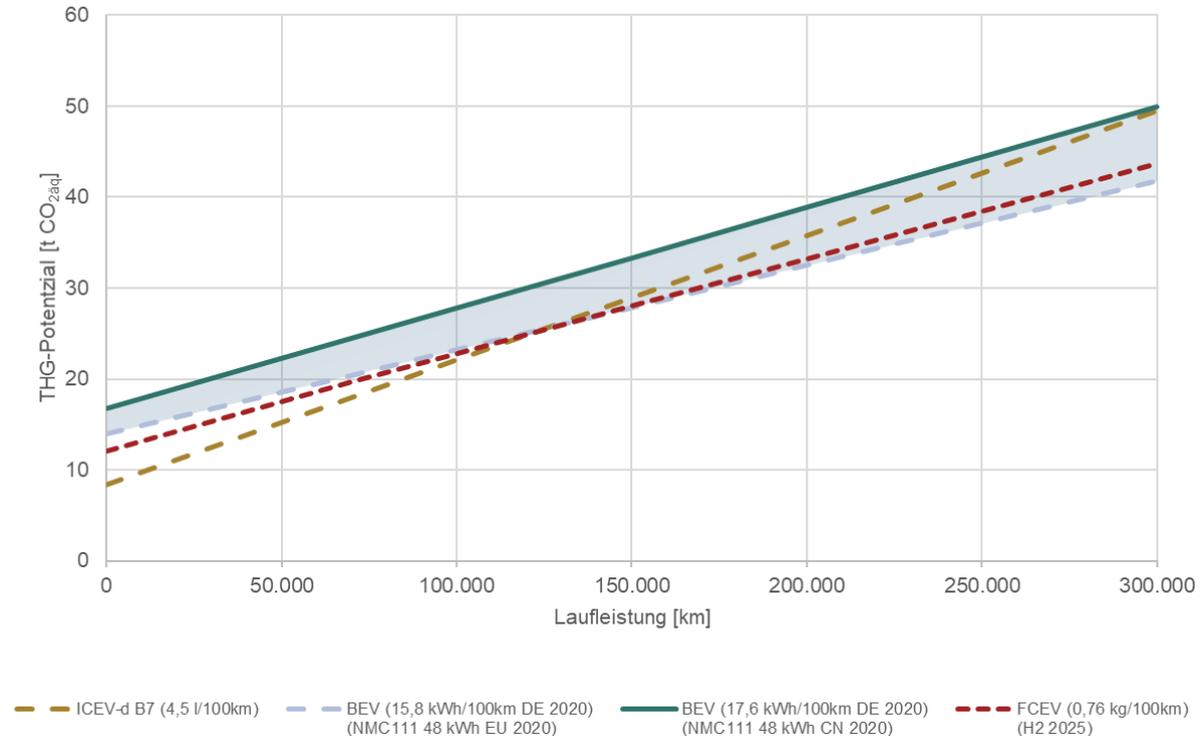




Nachhaltigkeit und Umweltbilanzierung

Ökobilanz Fahrzeug

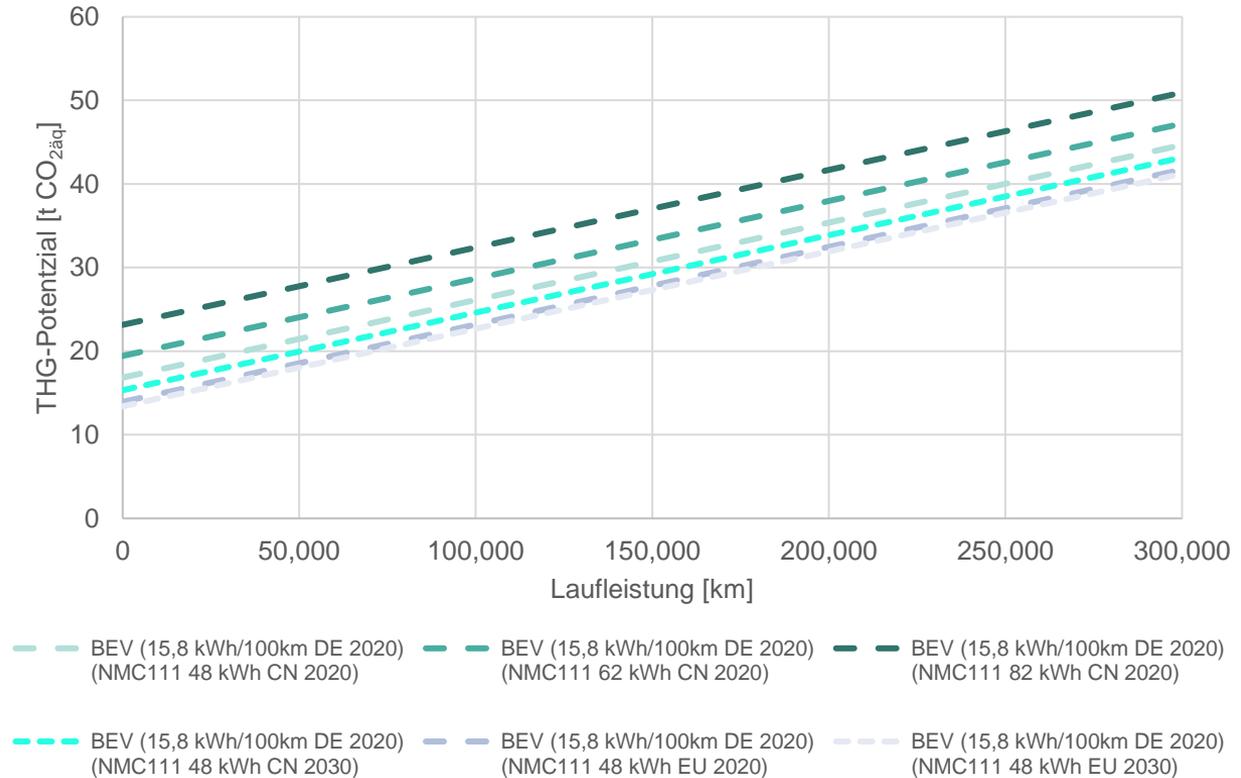
■ Lifetime-Effekte



Nachhaltigkeit und Umweltbilanzierung

Ökobilanz Fahrzeug

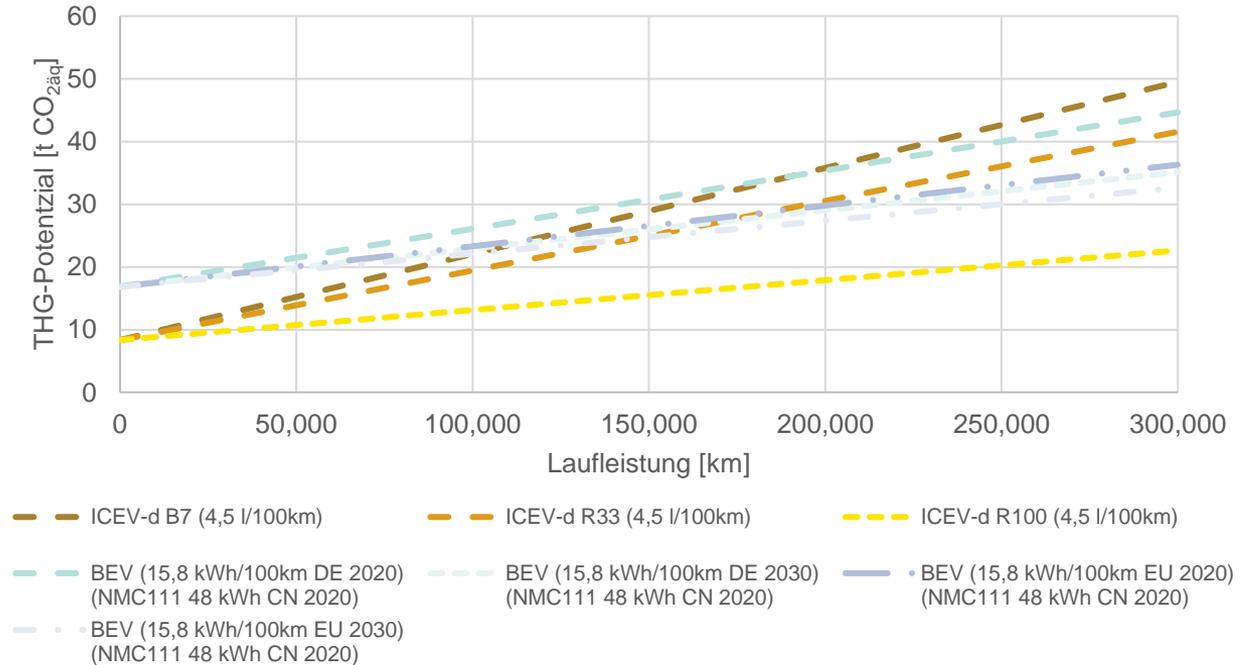
Produktions- Effekte Batterie



Nachhaltigkeit und Umweltbilanzierung

Ökobilanz Fahrzeug

Nutzungs- Effekte Energieträger



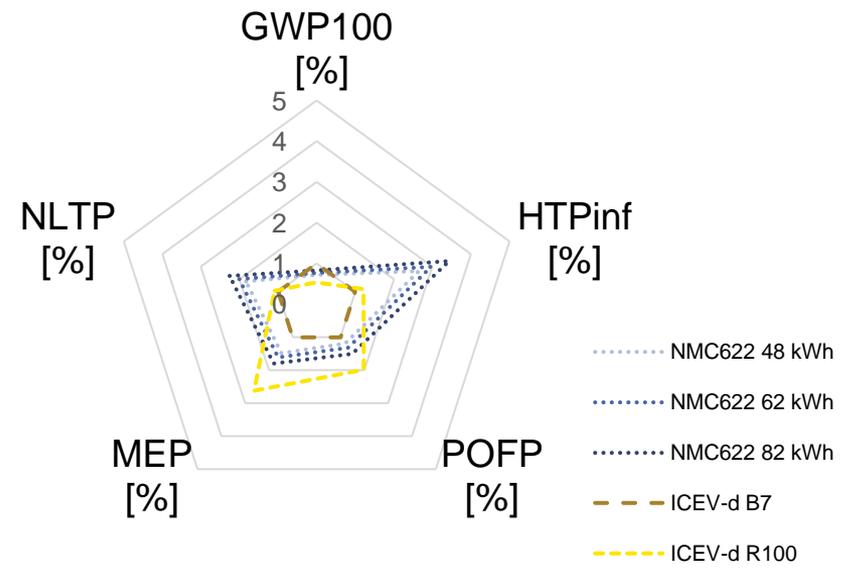
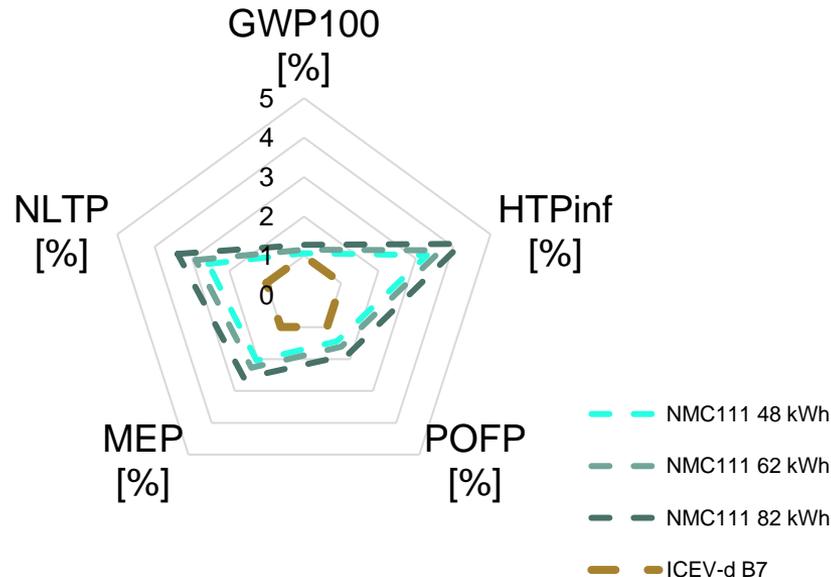
Nachhaltigkeit und Umweltbilanzierung

Ökobilanz Fahrzeug

Wirkungen und ihre Darstellung

Nutzung DE 2020, Zellenproduktion (NMC111) CN 2020

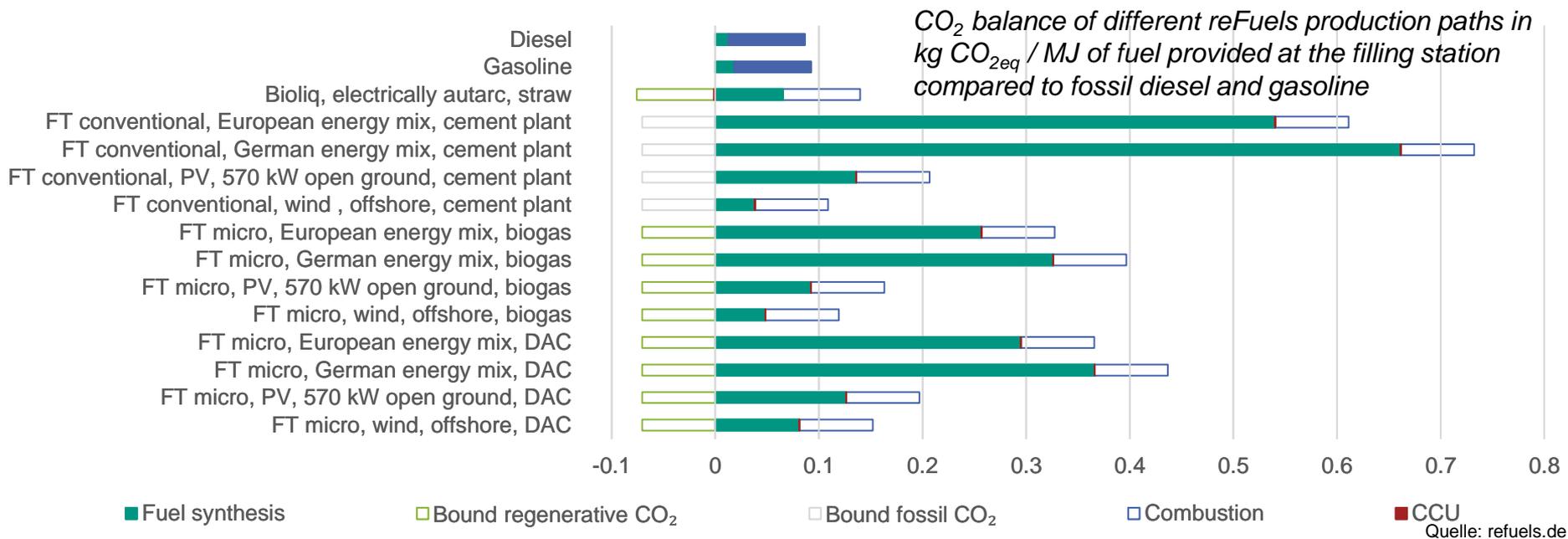
Nutzung DE 2030, Zellenproduktion (NMC622) EU 2030



LCA Kraftstoffsynthese und Nutzung

Vorläufige Ergebnisse reFuels

- Dominanter Einfluss der Energieversorgung
- Optionen für gekoppelte Systeme, um Effizienz zu steigern



LCA- Vergleich von Studien

Annahmen entscheiden das Ergebnis

■ Häufig gegensätzliche Aussagen beim Vergleich von Antriebstechnologien

- Fraunhofer ISI¹: **BEV** besser
- ifo Institut²: **Diesel** besser

■ Annahmen:

- Große Unterschiede, die fast ausschließlich das jeweilige Ergebnis begünstigen
→ **diskussionswürdig** auf beiden Seiten

Kategorie	Fraunhofer ISI	ifo Institut
Fahrzeugklasse	Mittelklassewagen	
Gesamtfahrleistung	173.745 km	150.000 km
Kraftstoffverbrauch (Zyklus)	5,7 l/100km (ADAC Ecotest, TREMOD)	4,5 l/100km (NEFZ)
Strombedarf BEV	17,3 kWh/100km	15 kWh/100km
Batteriekapazität	30 kWh	75 kWh
THG Strommix Betrieb	Nettostromproduktion 2018: 534 gCO _{2äq} /kWh 2030: 347 gCO _{2äq} /kWh	Bruttostromproduktion 2018: 550 gCO _{2äq} /kWh Zukunft: Wert aus 2018

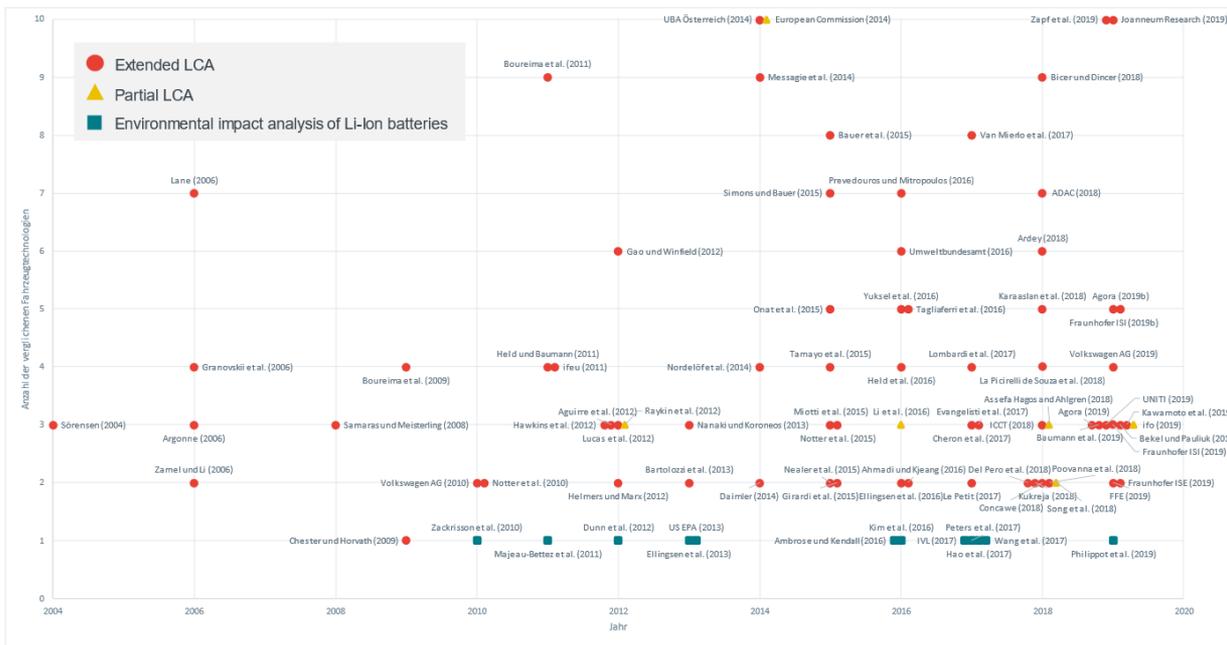
¹Wietschel, M. et al. (2019). Die aktuelle Treibhausgasemissionsbilanz von Elektrofahrzeugen in Deutschland

²Buchal, C. et al. (2019). Kohlemotoren, Windmotoren und Dieselmotoren: Was zeigt die CO₂-Bilanz?

→ **Starke Auswirkungen (nicht vereinheitlichter) Annahmen**

Nachhaltigkeit und Umweltbilanzierung

Ganzheitliche Nachhaltigkeit



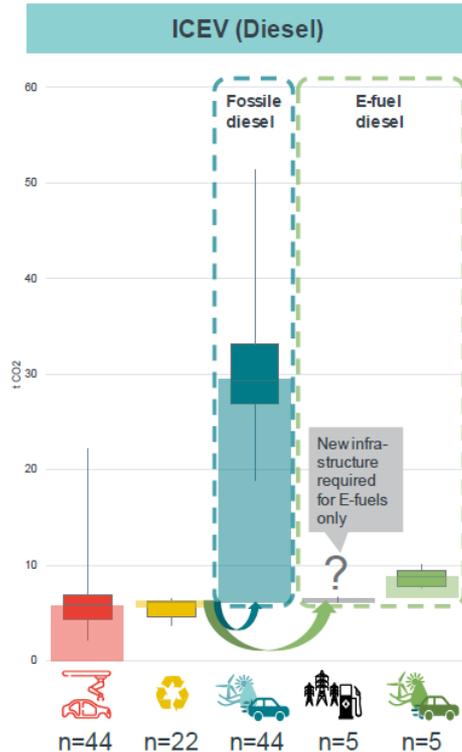
- Auswertung von ca. 500 Analysen
- Bisher großer Fokus auf batterieelektrischen Fahrzeugen (BEV)

Bothe, D. et al. (2020). Climate protection in the mobility sector requires a comprehensive, sustainable approach

→ Zunehmende Verbreitung von LCA-Studien von Fahrzeugen

Nachhaltigkeit und Umweltbilanzierung

Ergebnisse – Literatur

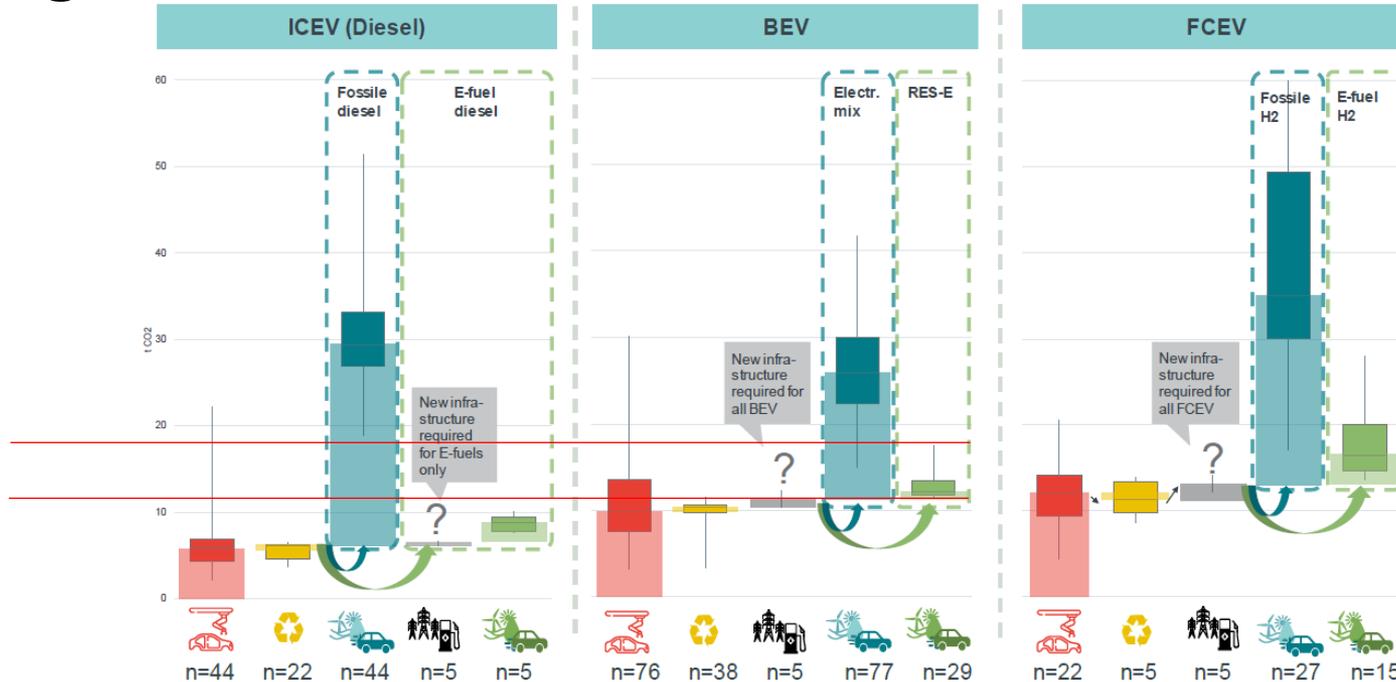


- Auswertung von >80 Studien d. frontier economics
- Wasserfalldiagramm der Mittelwerte über alle Lebensphasen o. Recycling/Entsorgung
- Mittelwert (halbtransparent)
- 50% -Bereich (nicht transparent)
- Koplette Bandbreite (Linien)

Bothe, D. et al. (2020). Climate protection in the mobility sector requires a comprehensive, sustainable approach

Nachhaltigkeit und Umweltbilanzierung

Ergebnisse – Literatur



Source: Frontier Economics based on more than 80 studies.

Note: To ensure a rough comparability, study results have been scaled to a life mileage of vehicles of 150,000 km.

Bothe, D. et al. (2020). Climate protection in the mobility sector requires a comprehensive, sustainable approach

Nachhaltigkeit und Umweltbilanzierung

Zusammenfassung

- Nachhaltigkeit ist eine globale und grundsätzliche Notwendigkeit
- Nachhaltigkeit hat drei zusammenhängende Säulen:
 - Ökologie
 - Ökonomie
 - Soziologie
- messbare Größen als Notwendigkeit für die Entwicklung
- **Umweltbilanzierung als Methodik zur Bewertung verschiedener Wirkungen**
- Dilemma verschiedener Wirkungen
- Nutzung entscheidet wesentlich über die Umweltbilanz unterschiedlicher Antriebsstrang-Konzepte

Nachhaltigkeit und Umweltbilanzierung

