



# VDI FVT Umweltbilanz zu Kraftfahrzeugen

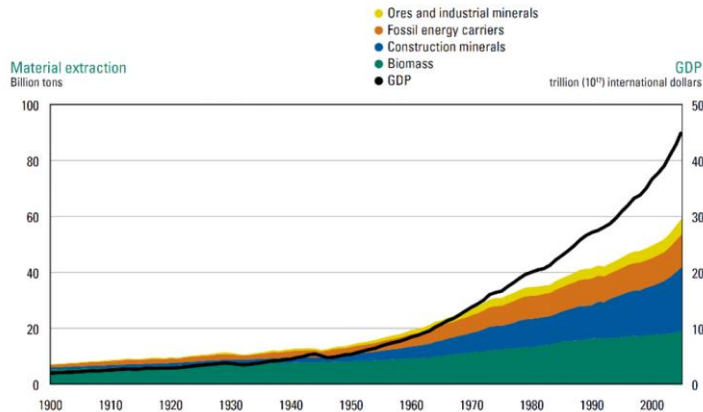
Dr.-Ing. Olaf Toedter

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](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



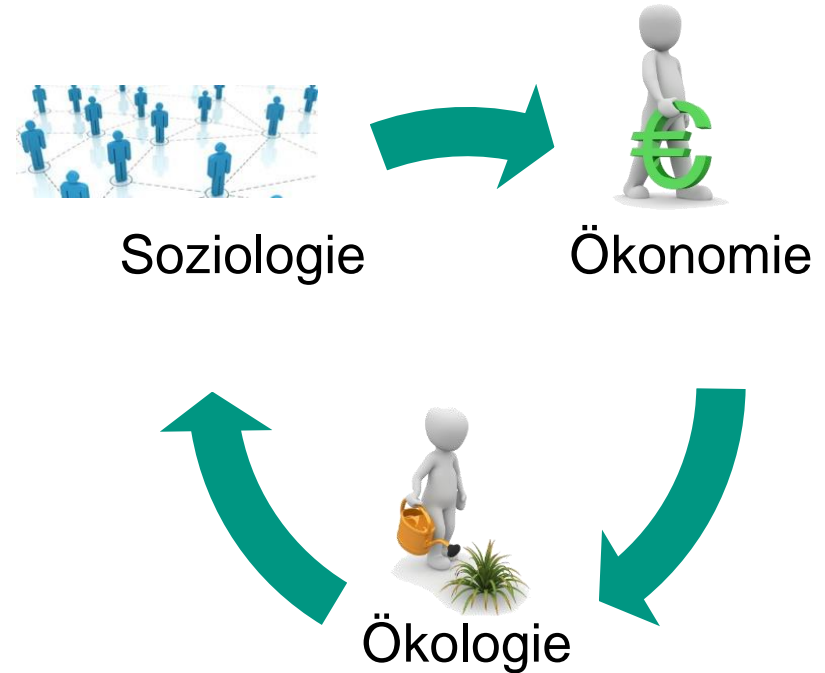
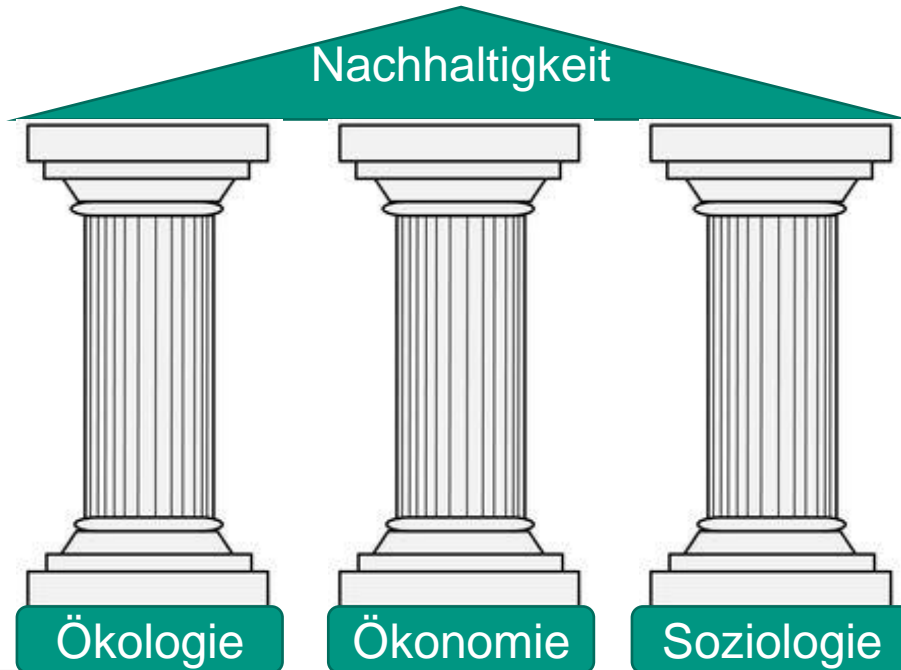
Quelle: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/nachhaltigkeitspolitik/die-un-nachhaltigkeitsziele-1553514>

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

# Nachhaltigkeit und Umweltbilanzierung

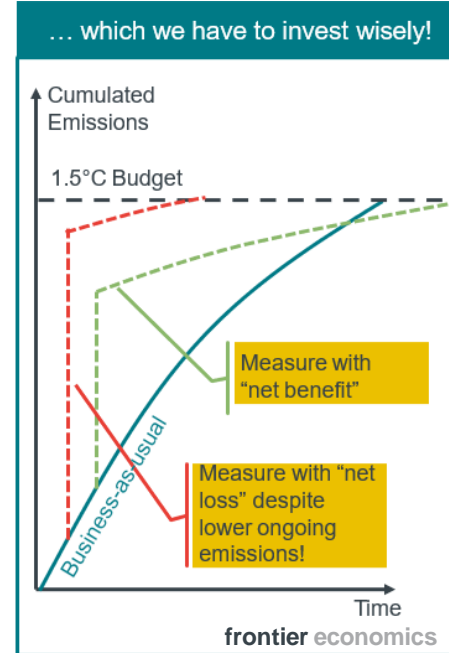
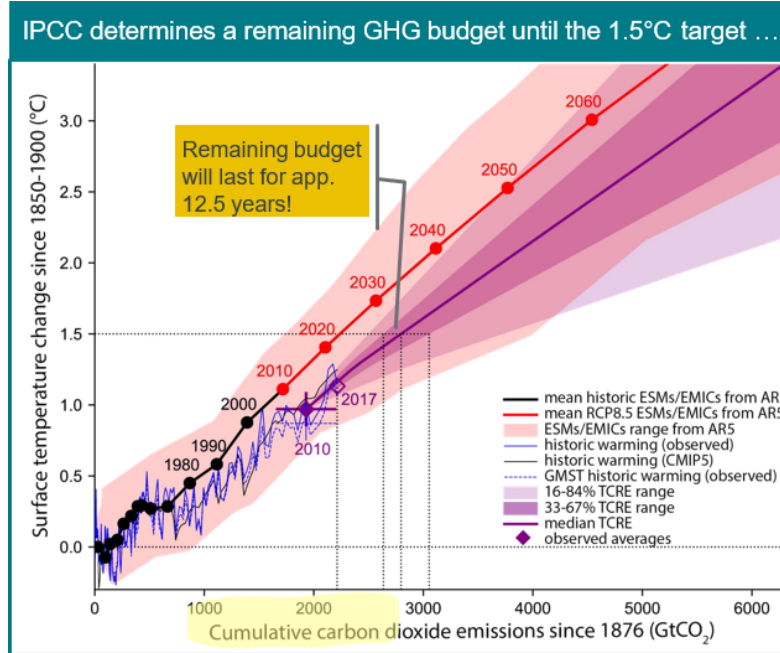
## Ganzheitliche Nachhaltigkeit

### ■ Drei-Säulen Modell der Nachhaltigkeit



# Nachhaltigkeit und Umweltbilanzierung

## Das CO<sub>2</sub> - Budget



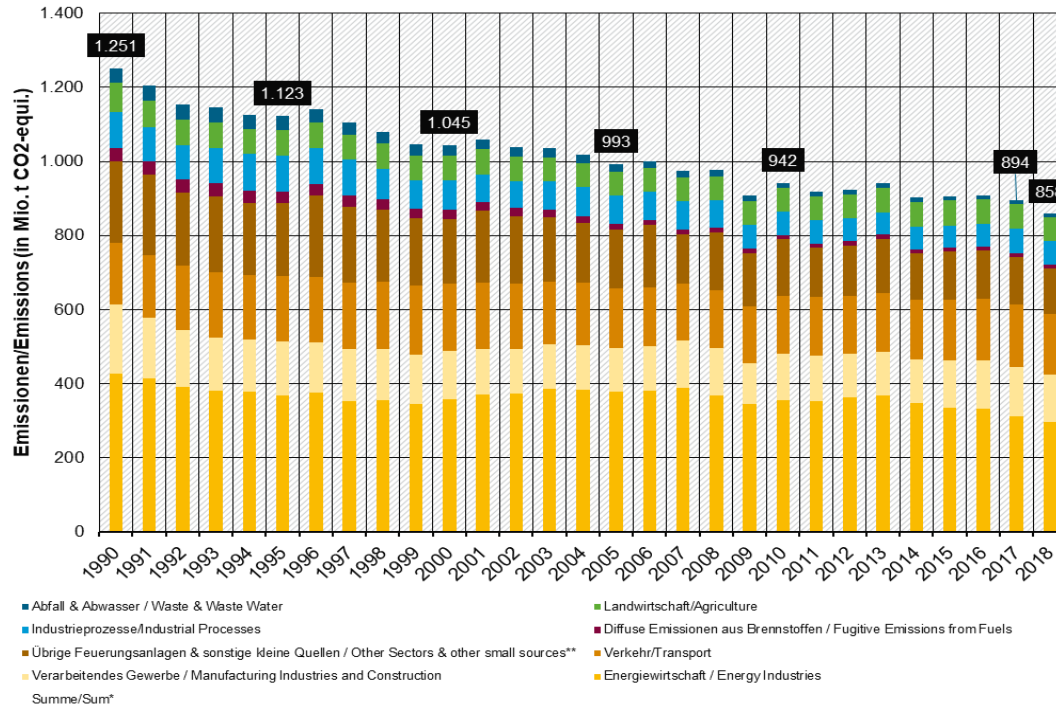
Quelle:  
Frontier economics

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

## CO<sub>2</sub> kennt aber kein "return on invest"!!!

# Nachhaltigkeit und Umweltbilanzierung

## Das CO<sub>2</sub> - Budget



Umweltbundesamt (2020)

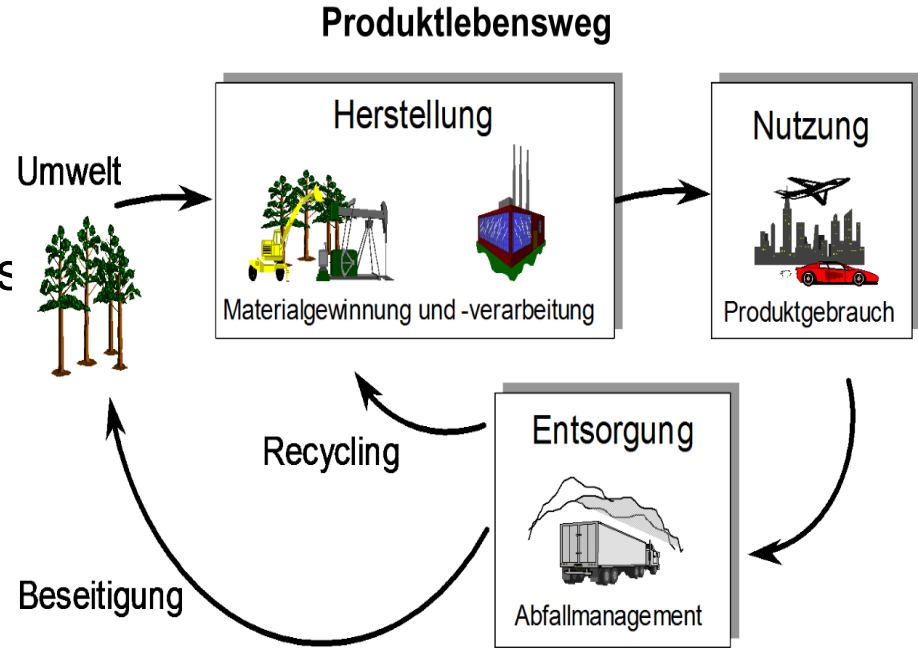
- Verkehrssektor verantwortlich für 19 % der Treibhausgase
- Trotz immer effizienteren Motoren
- Stetig steigende Fahrzeugmasse

→ 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

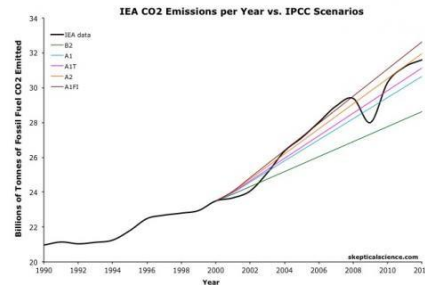
### ■ Ölkrise 1973 als Auslöser einer Diskussion über begrenzte Ressourcen

- 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

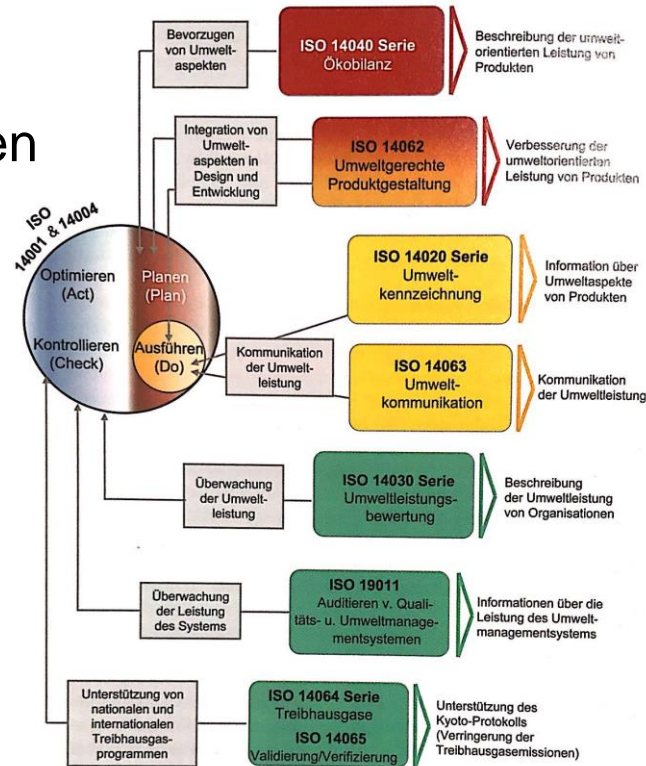


Abb. 1.5 Das ISO 14000 Modell<sup>85)</sup>.

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:

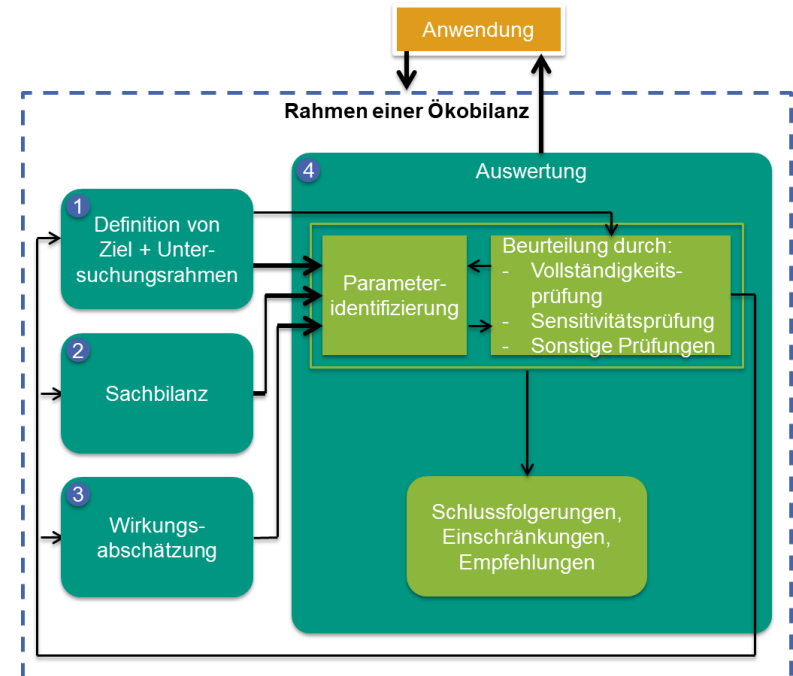
- **„kritische Prüfung“** (critical review) durch unabhängigen Experten
  - betroffenen Kreise an Ökobilanz-Projekten zu beteiligten,
  - Fach- bzw. Projektbeirat aus Vertretern der betroffenen Kreise (duale Projektbegleitung)
- besondere Regeln im Falle einer Veröffentlichung, z.B. hinsichtlich des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

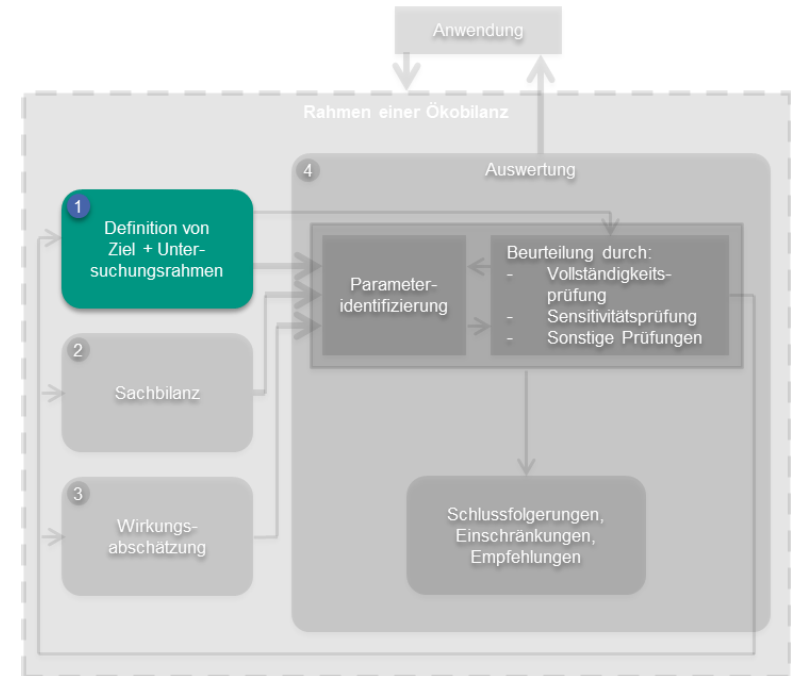


Nach DIN EN ISO 14044 aus Weber, P. et al. (2019).  
Ökobilanzierung – Kontroversen vorprogrammiert?, ATZextra

# 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,...**

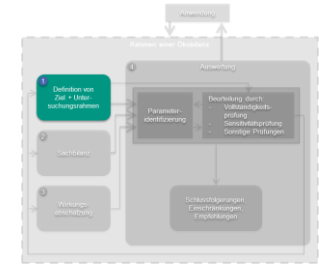


Nach DIN EN ISO 14044 aus Weber, P. et al. (2019).  
Ökobilanzierung – Kontroversen vorprogrammiert?, ATZextra

# 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,...**

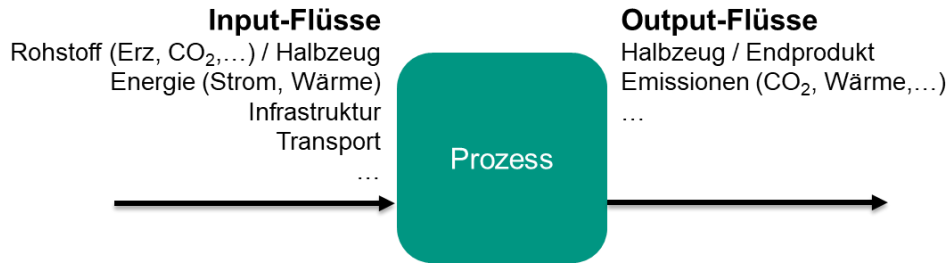


Nach DIN EN ISO 14044 aus Weber, P. et al. (2019). Ökobilanzierung Kontroversen vorprogrammiert?, ATZextra

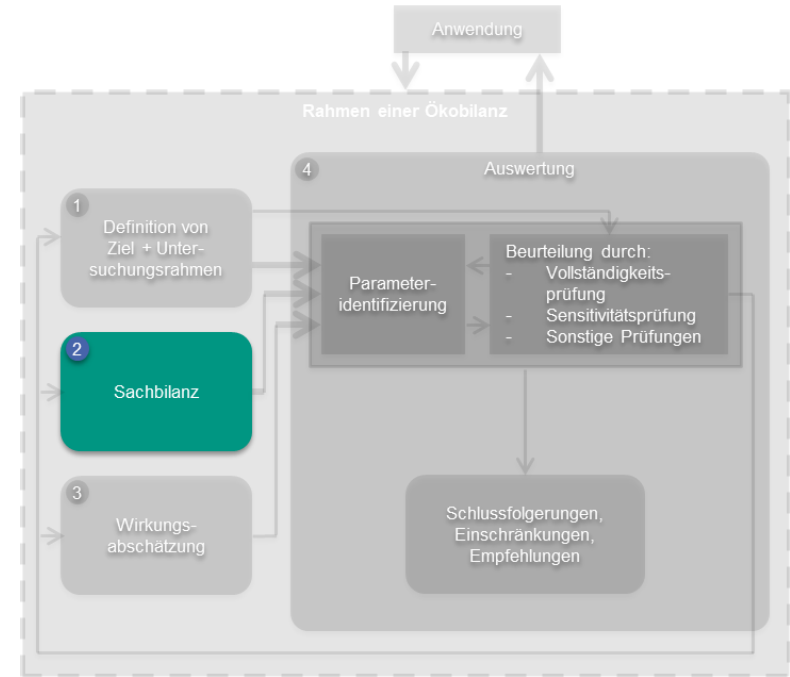
# Nachhaltigkeit und Umweltbilanzierung

## Ökobilanz: Sachbilanz

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



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



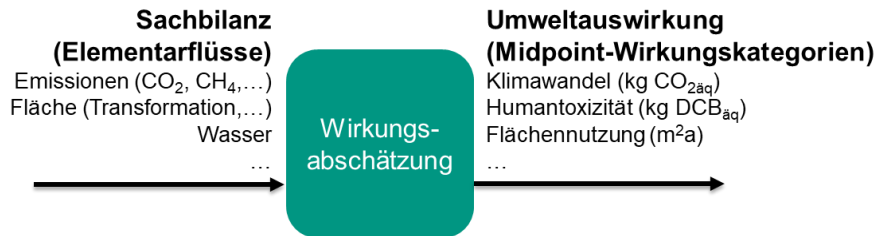
Nach DIN EN ISO 14044 aus Weber, P. et al. (2019).  
Ökobilanzierung – Kontroversen vorprogrammiert?, ATZextra



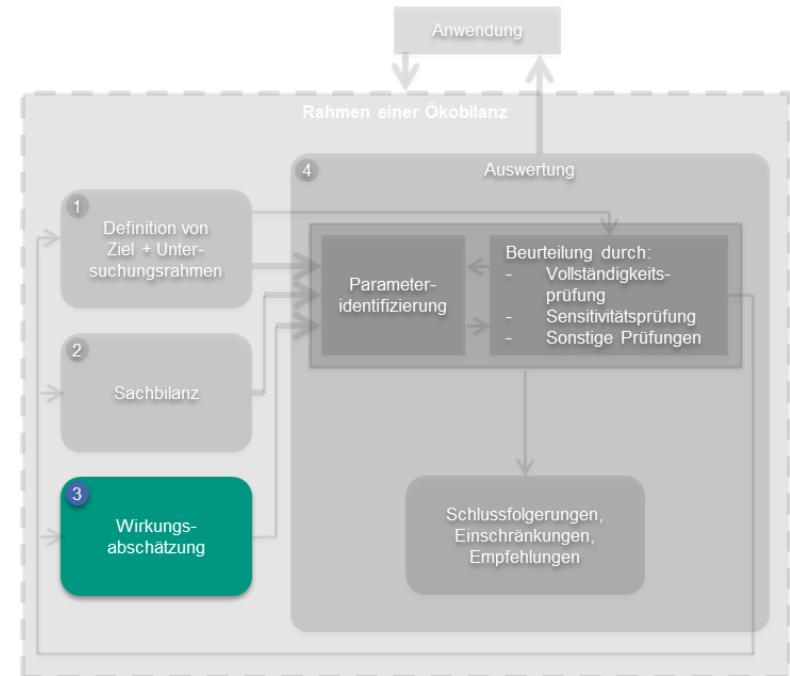
# Nachhaltigkeit und Umweltbilanzierung

## Ökobilanz: Wirkungsabschätzung

- **Wirkungsabschätzung:**  
Zusammenhang Sachbilanz vs. Umweltauswirkung  
→ **Verschiedene Wirkungsabschätzungsmethoden**



- **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

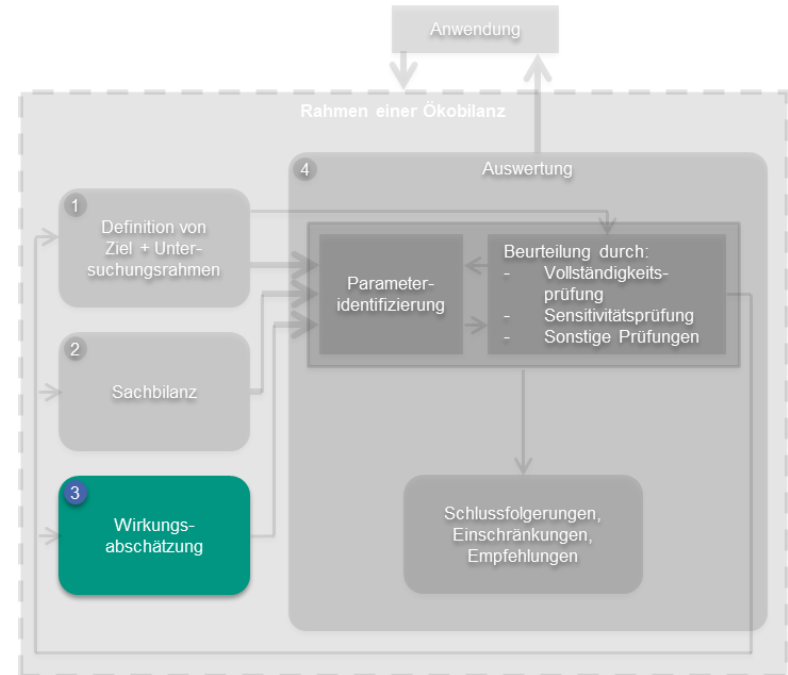
### ■ Wirkungsabschätzung: Wirkungsindikatorwerte für Klimawandel

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

↑  
Sachbilanz-  
ergebnis

↑  
Charakterisierungsfaktor

Treibhausgase	Atmosphärische Verweilzeiten (a)	GWP100, IPCC 2013 (kg CO <sub>2äq</sub> )
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

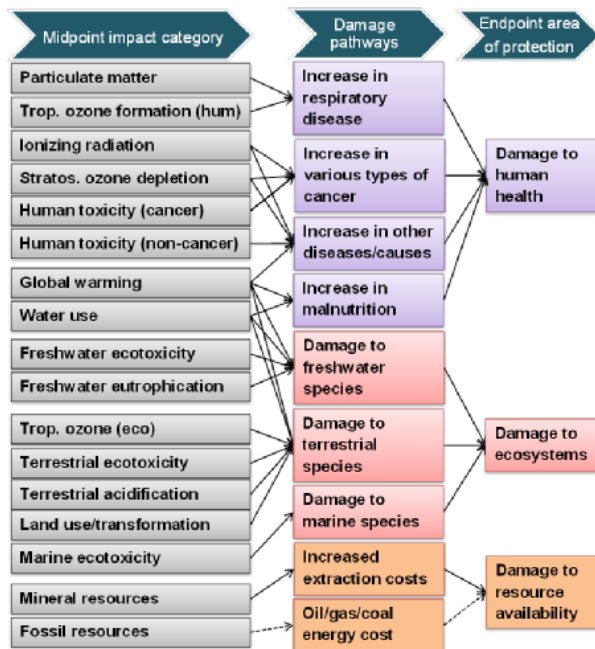
- Direkte Gesundheitsschädigung
- Direkte Schädigung von Ökosystemen
- Aquatische Eutrophierung
- Terrestrische Eutrophierung
- Naturraumbeanspruchung
- Photochemische Oxidantienbildung/  
Sommersmog
- Ressourcenbeanspruchung
- Stratosphärischer Ozonabbau
- Treibhauseffekt
- Versauerung

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

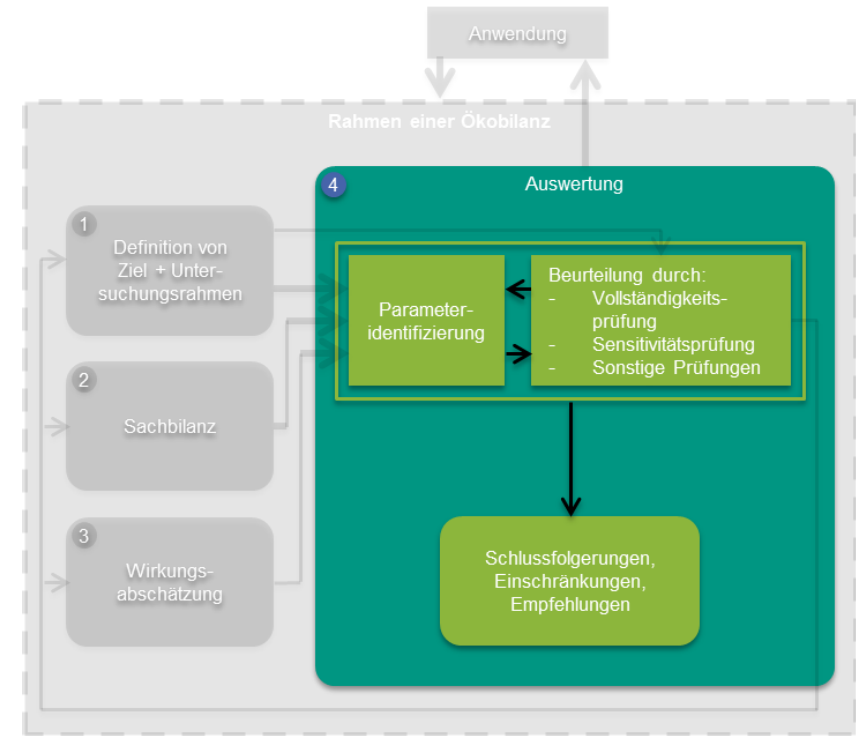
### ■ **Beurteilung** durch:

- Vollständigkeitsprüfung
- Sensitivitätsprüfung

→ Iteration notwendig?

### ■ **Beitragsanalyse:**

- Aufteilung nach Lebenswegphasen
- Kritische Komponenten/Bauteile



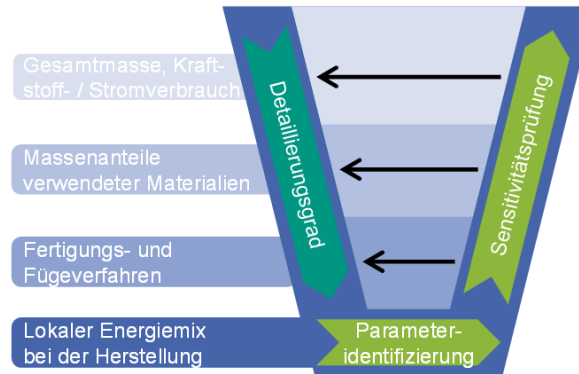
# Nachhaltigkeit und Umweltbilanzierung

## Ökobilanz: Methodik

### ■ Bildung der Sachbilanz



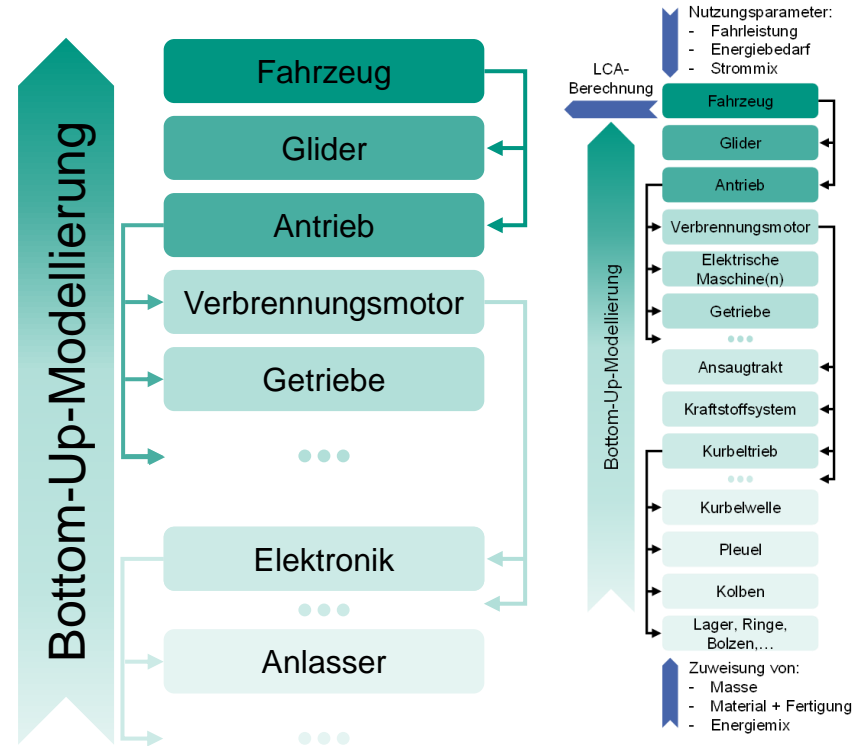
- Eine Matrix aus Prozessen und Flüssen bis zum Rohstoff
- Detaillierung über die System-Struktur (Funktional oder materiell)

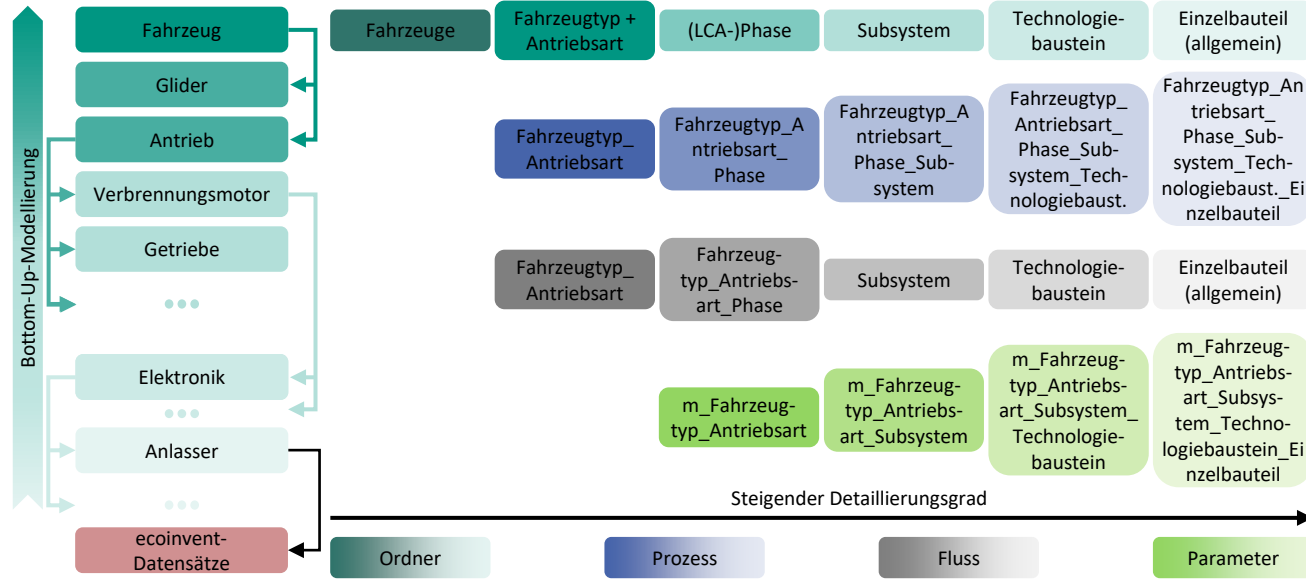


# Nachhaltigkeit und Umweltbilanzierung

## 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
  - $m_{Glider} = m_{Fahrzeug} - m_{Antrieb} - m_{Fahrer} - m_{Tankinhalt}$



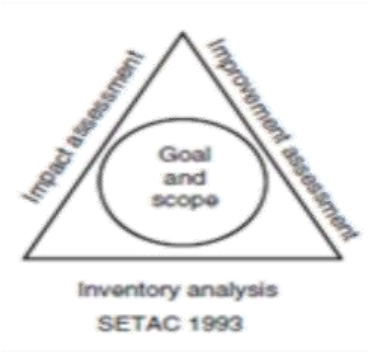




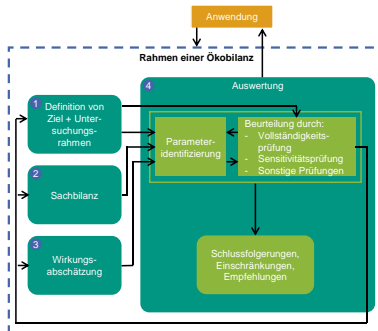
# Nachhaltigkeit und Umweltbilanzierung

## Ökobilanz: Methodik

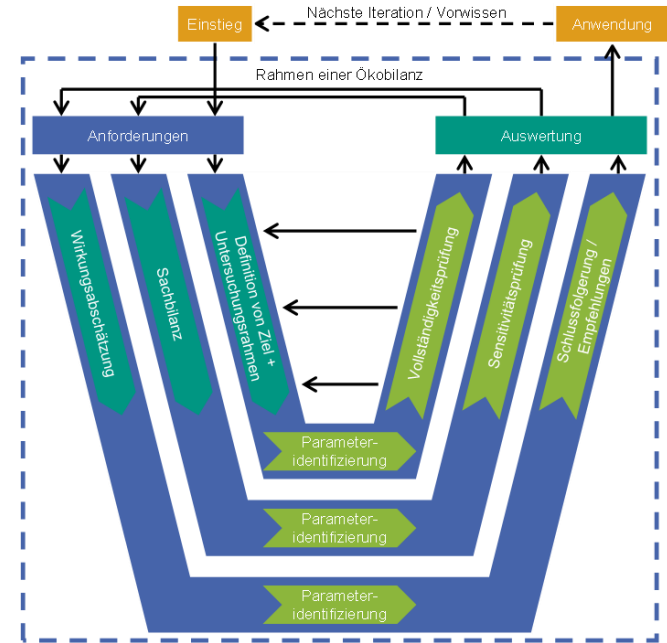
### SAETC



### LCA Methode ISO 14040/14044



### Modell → V-Modell

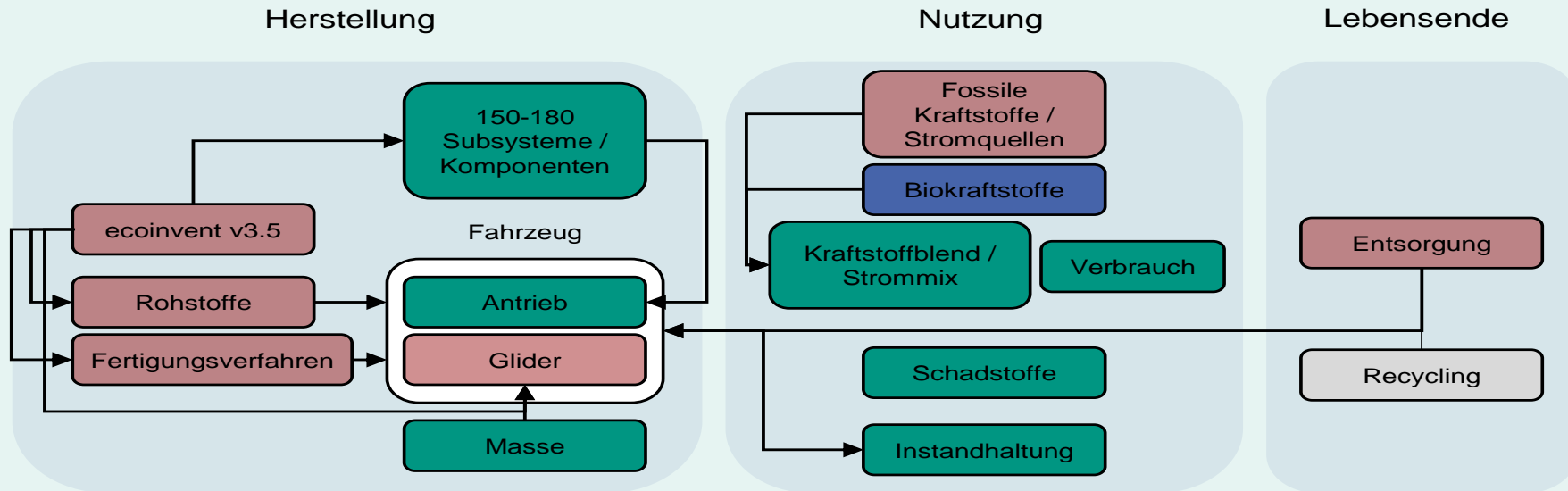


# Nachhaltigkeit und Umweltbilanzierung

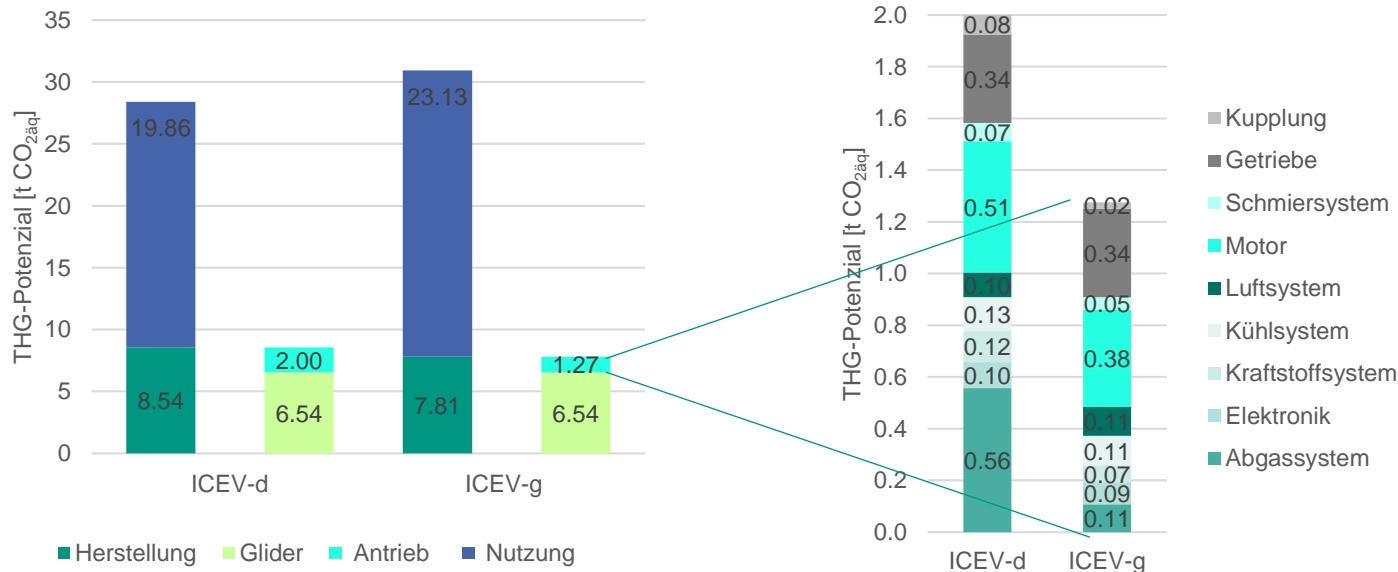
## Ökobilanz: Systemgrenze

### ■ Bilanzgrenzen am Beispiel eines Fahrzeuges

#### Systemgrenze

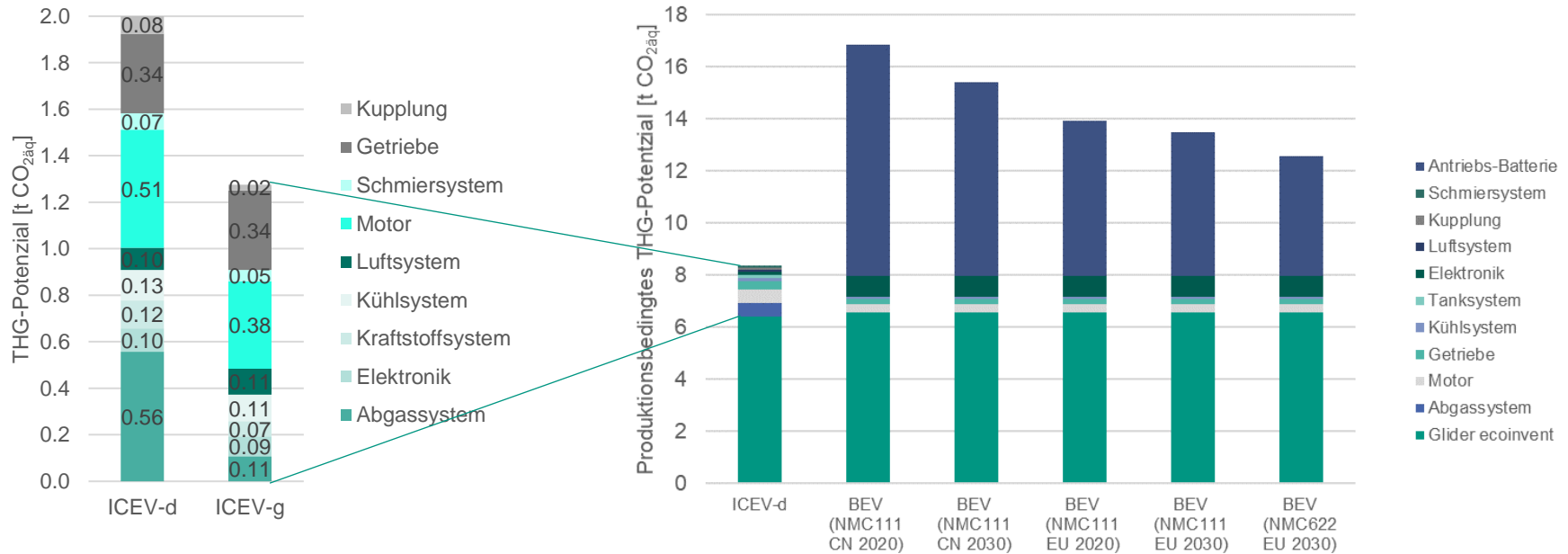


### Sachbilanz und Nutzung



150.000km Nutzung mit fossilem Kraftstoff

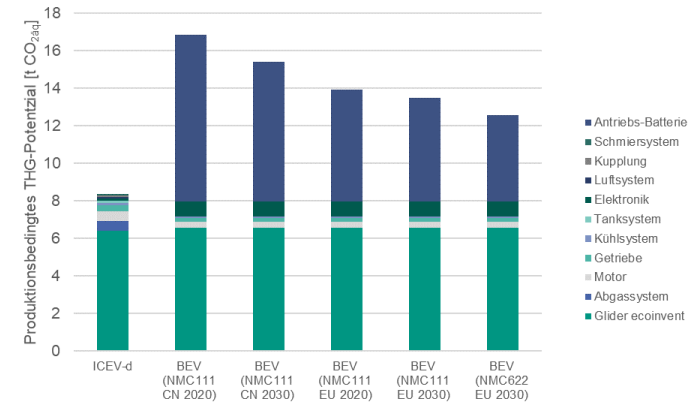
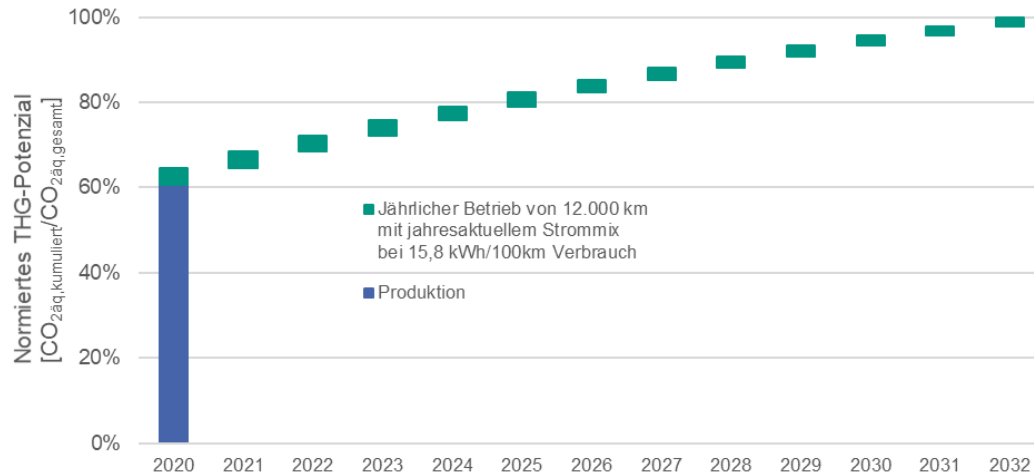
### Sachbilanz

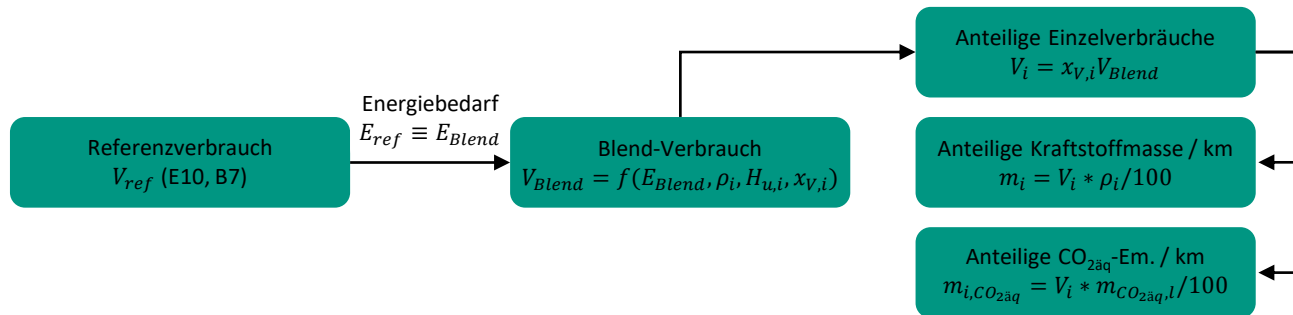


# Nachhaltigkeit und Umweltbilanzierung

## Ökobilanz Fahrzeug

### Produktion und Nutzung am Beispiel eines BEV

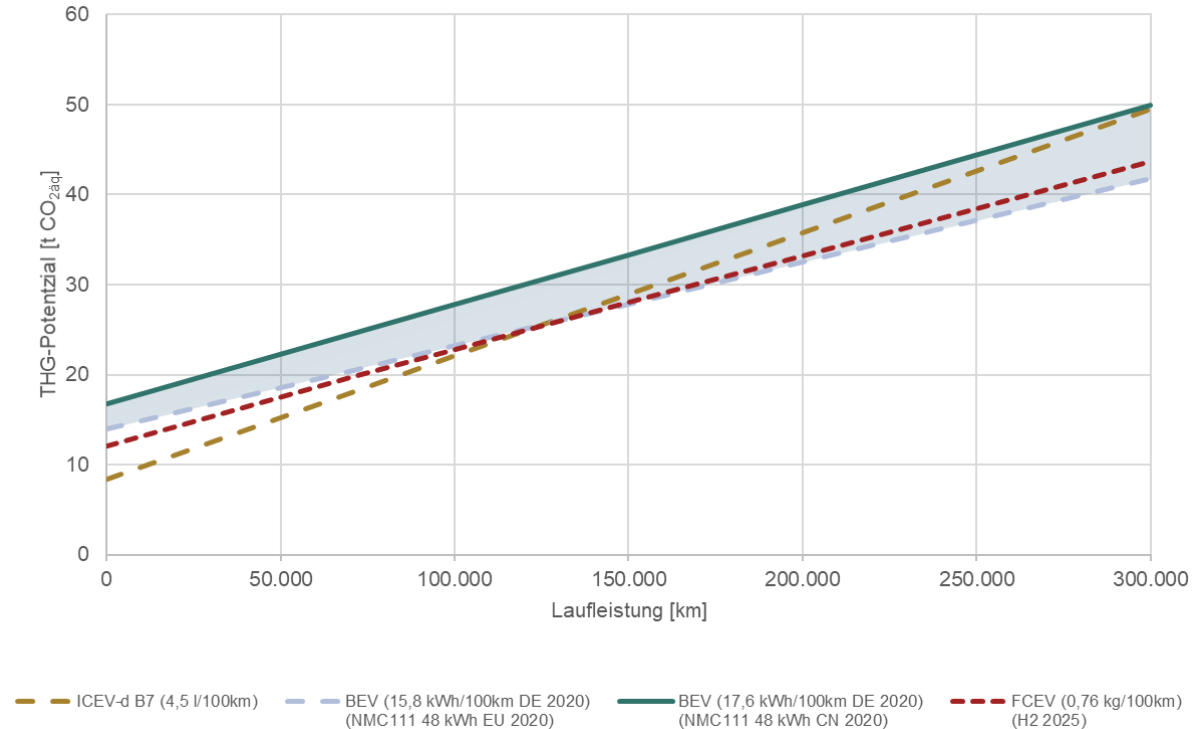




# Nachhaltigkeit und Umweltbilanzierung

## Ökobilanz Fahrzeug

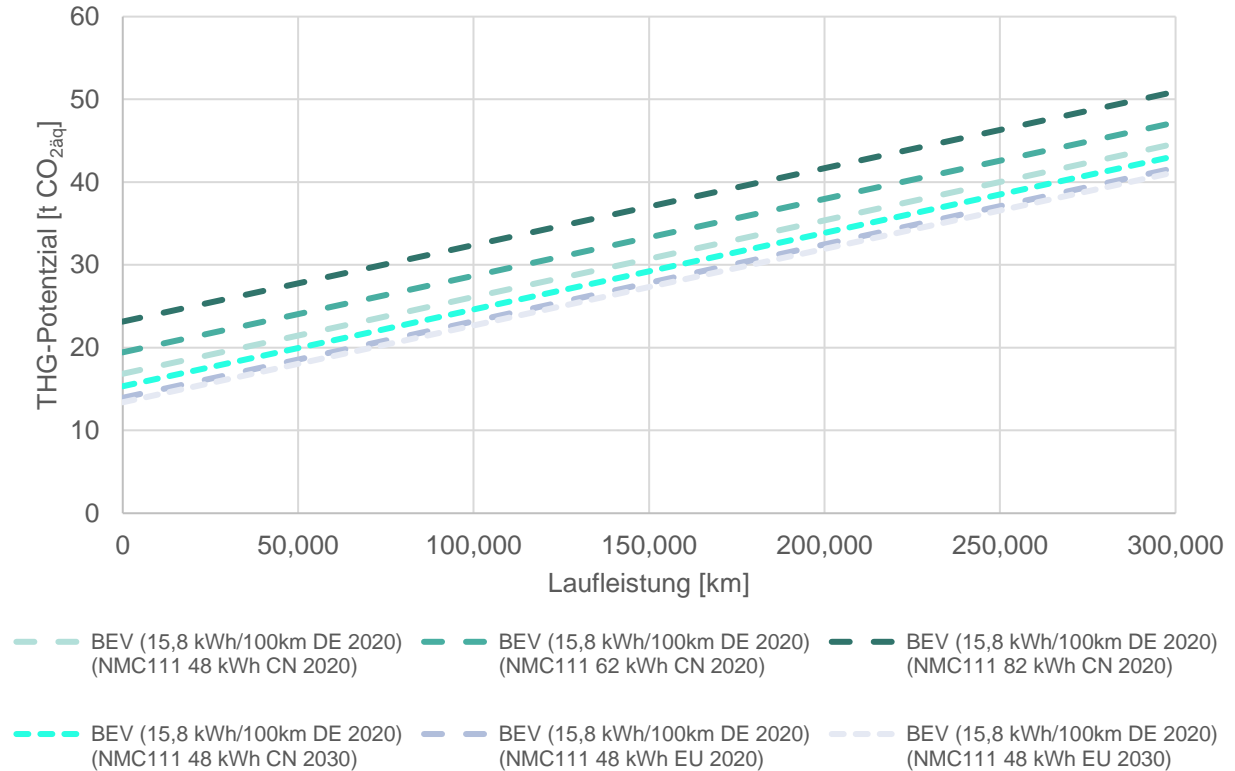
### ■ Lifetime-Effekte



# Nachhaltigkeit und Umweltbilanzierung

## Ökobilanz Fahrzeug

### Produktions- Effekte Batterie

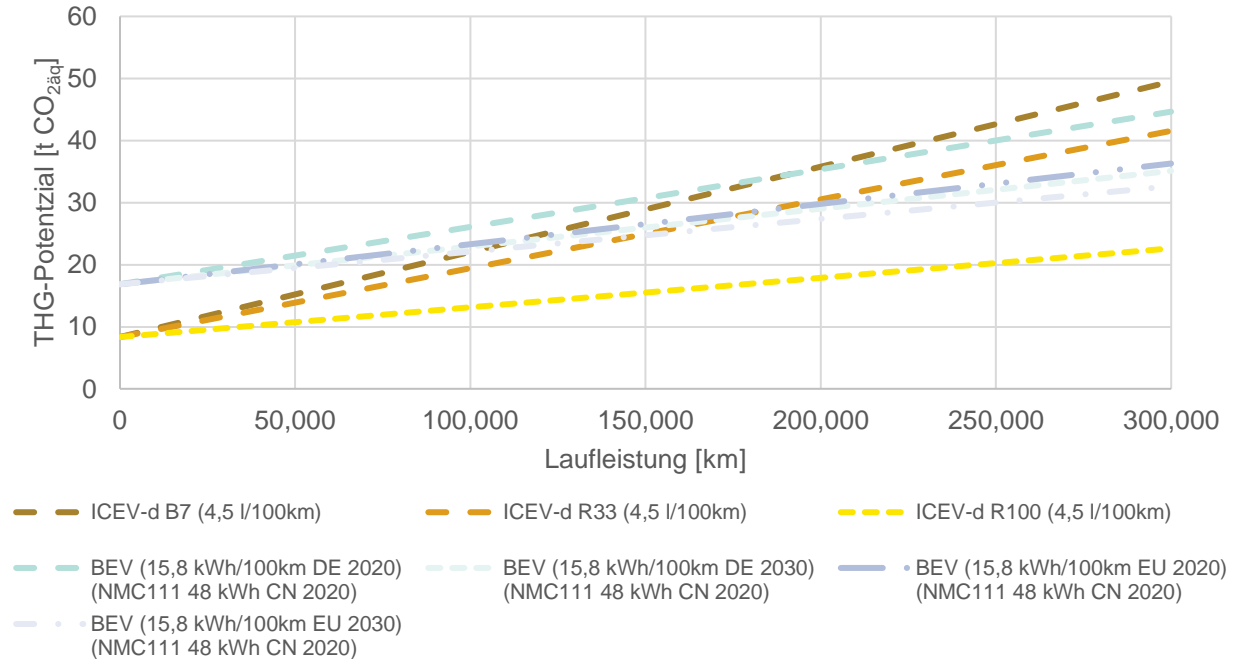




# Nachhaltigkeit und Umweltbilanzierung

## Ökobilanz Fahrzeug

### Nutzungs- Effekte Energieträger



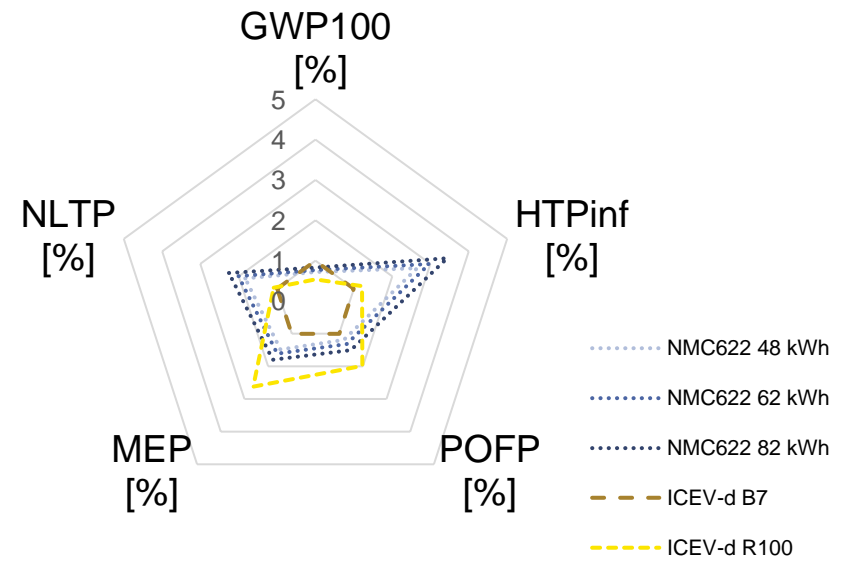
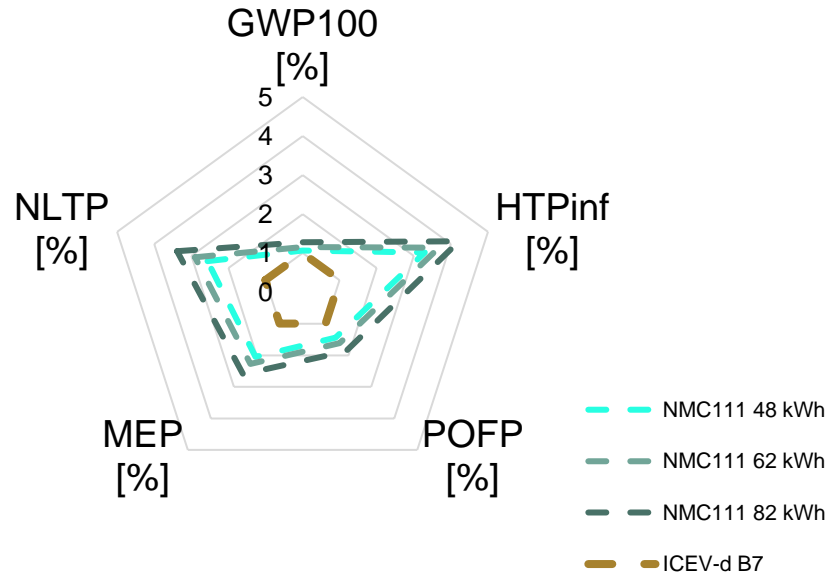
# Nachhaltigkeit und Umweltbilanzierung

## Ökobilanz Fahrzeug

### Wirkungen und ihre Darstellung

Nutzung DE 2020, Zellenproduktion (NMC111) CN 2020

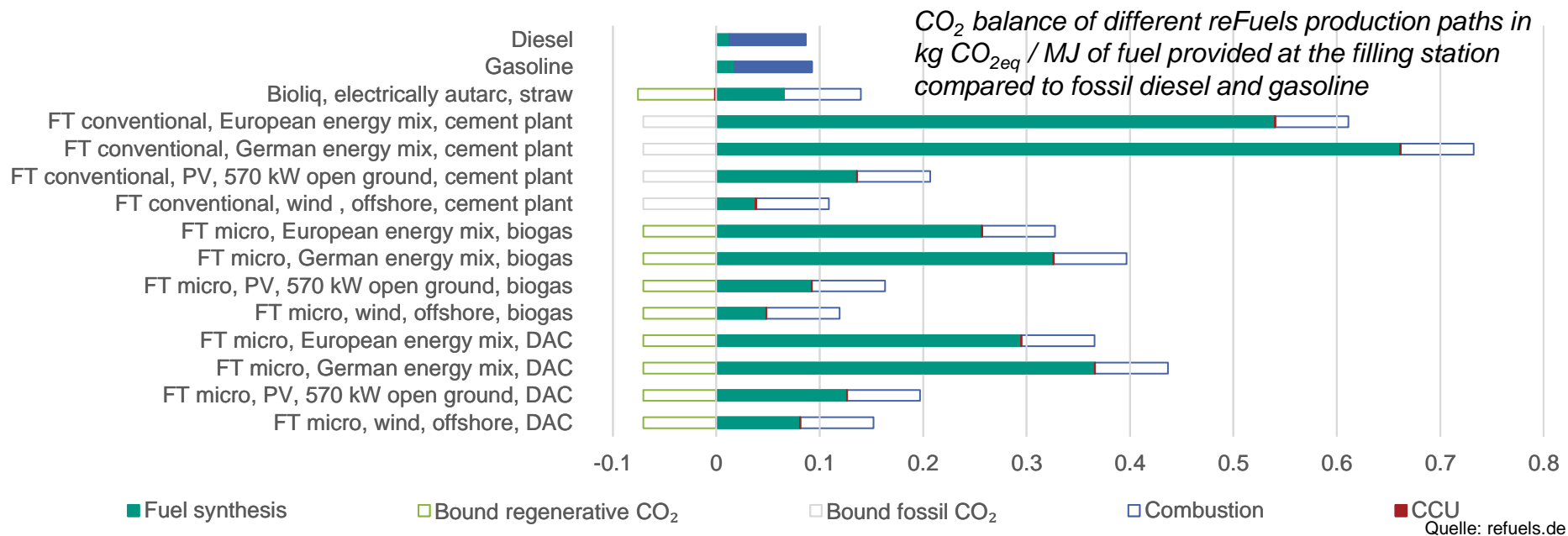
Nutzung DE 2030, Zellenproduktion (NMC622) EU 2030



# 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 ISI<sup>1</sup>: **BEV** besser
- ifo Institut<sup>2</sup>: **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 <b>(NEFZ)</b>
Strombedarf BEV	17,3 kWh/100km	15 kWh/100km
Batteriekapazität	<b>30 kWh</b>	<b>75 kWh</b>
THG Strommix Betrieb	Nettostromproduktion 2018: 534 gCO <sub>2äq</sub> /kWh 2030: 347 gCO <sub>2äq</sub> /kWh	Bruttostromproduktion 2018: 550 gCO <sub>2äq</sub> /kWh <b>Zukunft: Wert aus 2018</b>

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

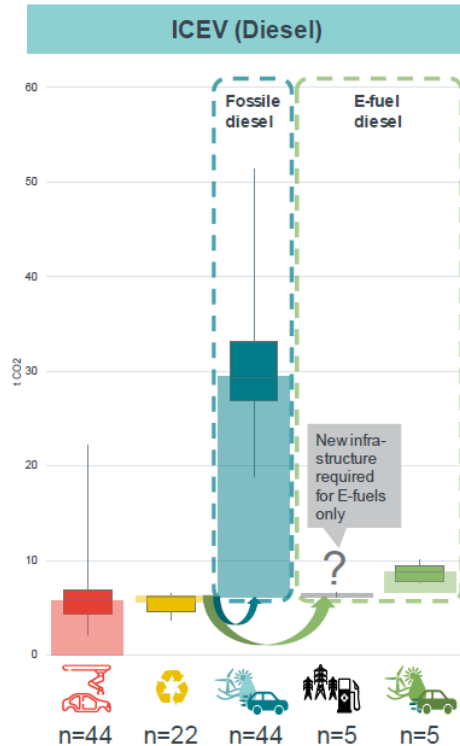
<sup>2</sup>Buchal, C. et al. (2019). Kohlemotoren, Windmotoren und Dieselmotoren: Was zeigt die CO<sub>2</sub>-Bilanz?

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



# Nachhaltigkeit und Umweltbilanzierung

## Ergebnisse – Literatur

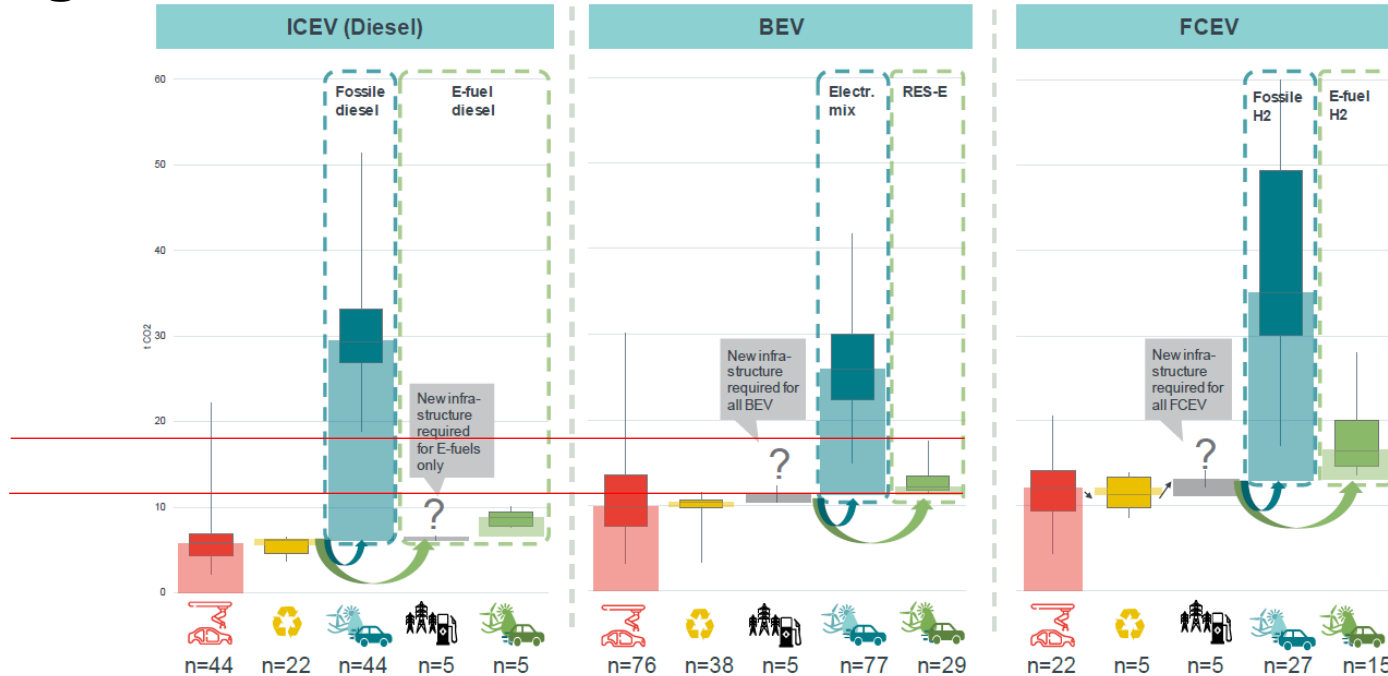


- Auswertung von >80 Studien d. frontier economics
- Wasserfalldiagramm der Mittelwerte über alle Lebensphasen o. Recycling/Entsorgung
- Mittelwert (halbtransparent)
- 50% -Bereich (nicht transparent)
- Koplette Bandbreite (Linien)

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

