

2020



Wissenschaft im Dialog

Öffentliche Vortragsreihe

Willkommen zum Livestream!
Bitte: Mikro und Kamera ausstellen!

Für Fragen den Chat nutzen!

Wie nachhaltig sind Elektroautos?

Ökologische und soziale Auswirkungen in der Wertschöpfungskette von Lithium-Ionen-Batterien

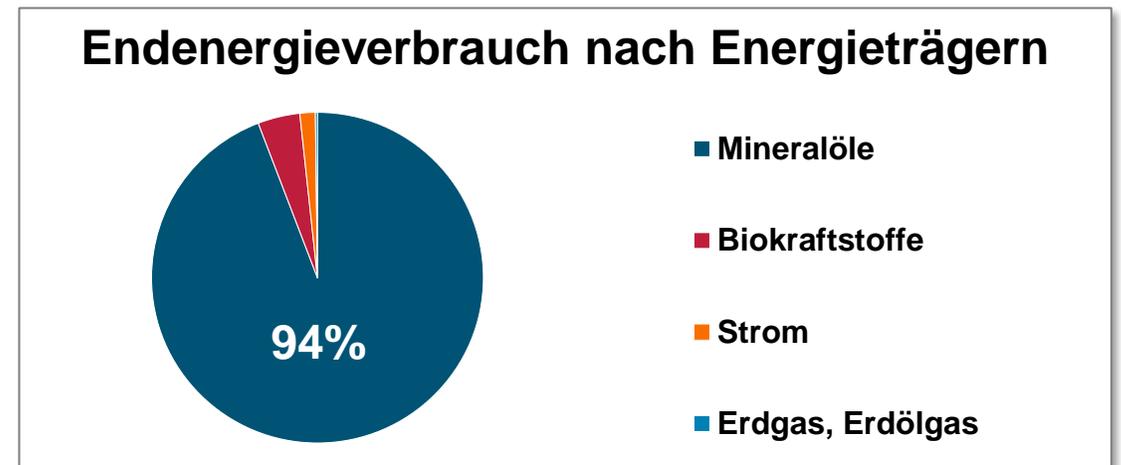
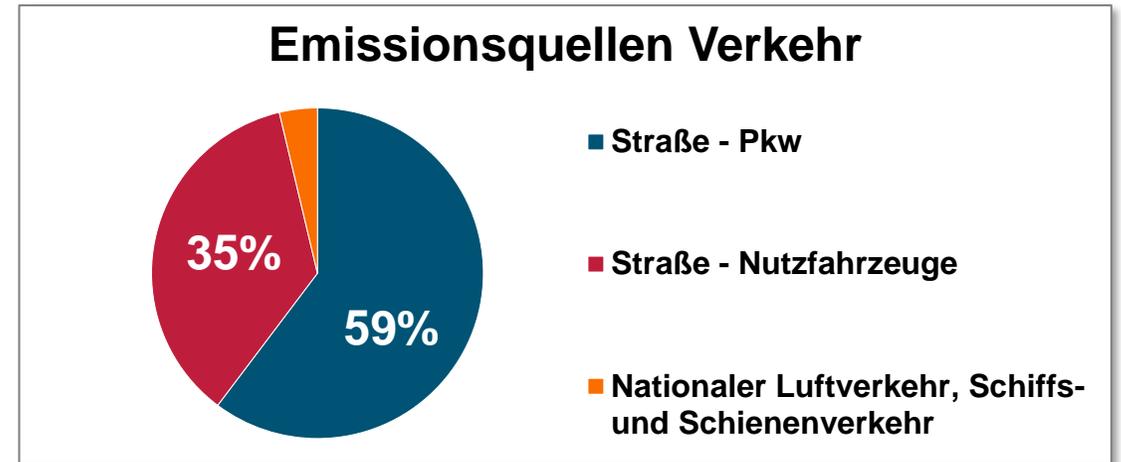
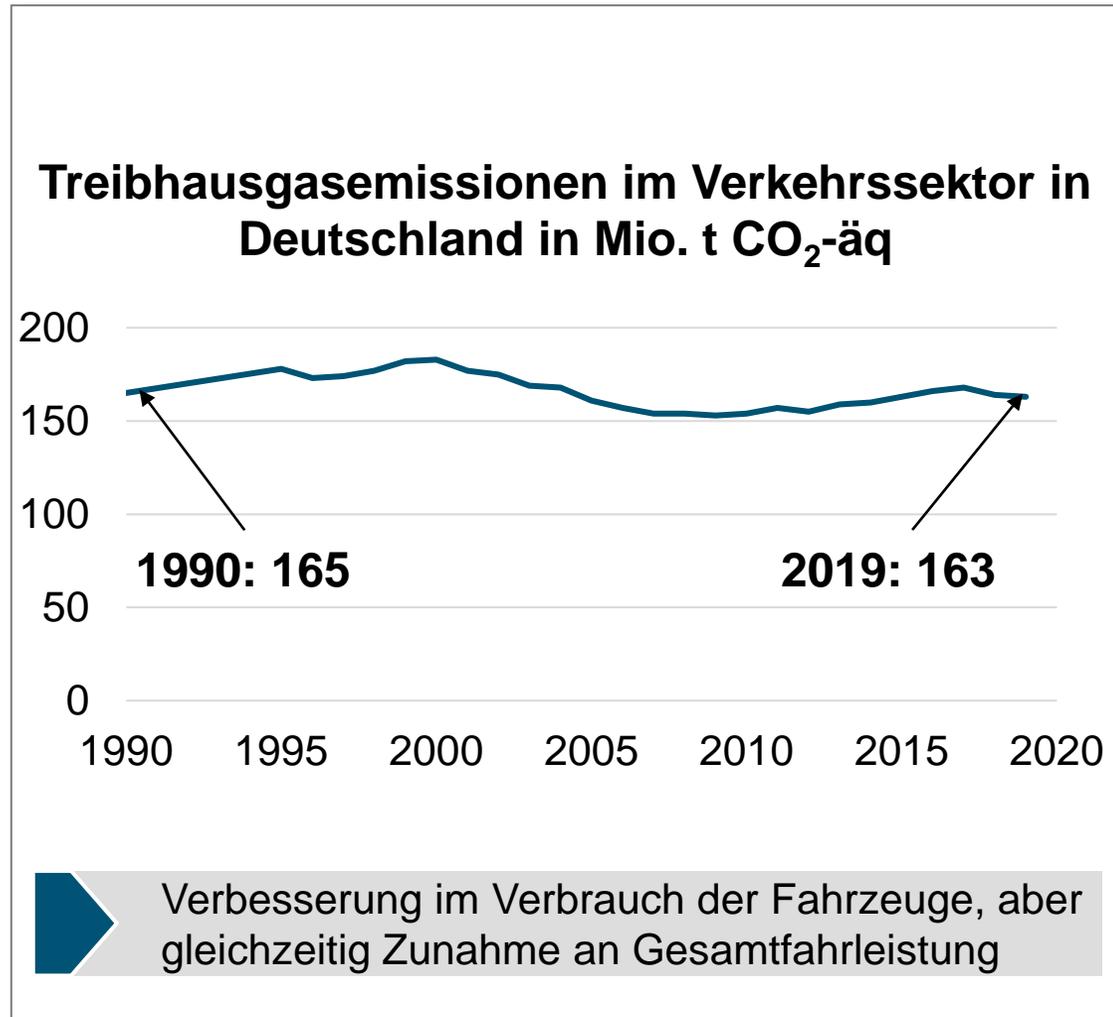
Prof. Dr. Thomas Stefan Spengler



Gliederung

- 1 Strategien zur Erreichung einer klimaneutralen Mobilität**
- 2 Herausforderung 1: Kapazitätsaufbau für die Erzeugung erneuerbarer Energien**
- 3 Herausforderung 2: Etablierung nachhaltiger Wertschöpfungsketten für Lithium-Ionen-Batterien**
- 4 Fazit**

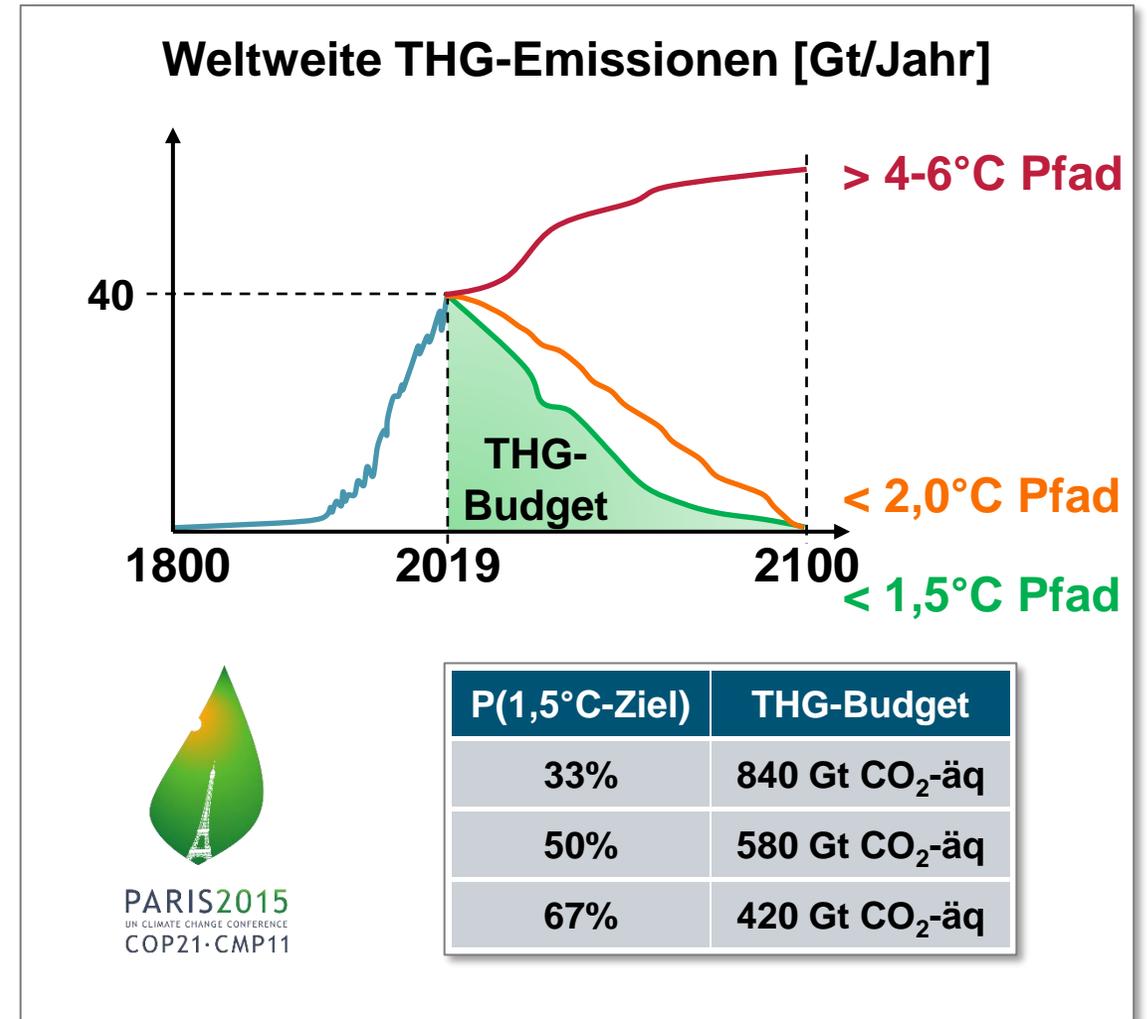
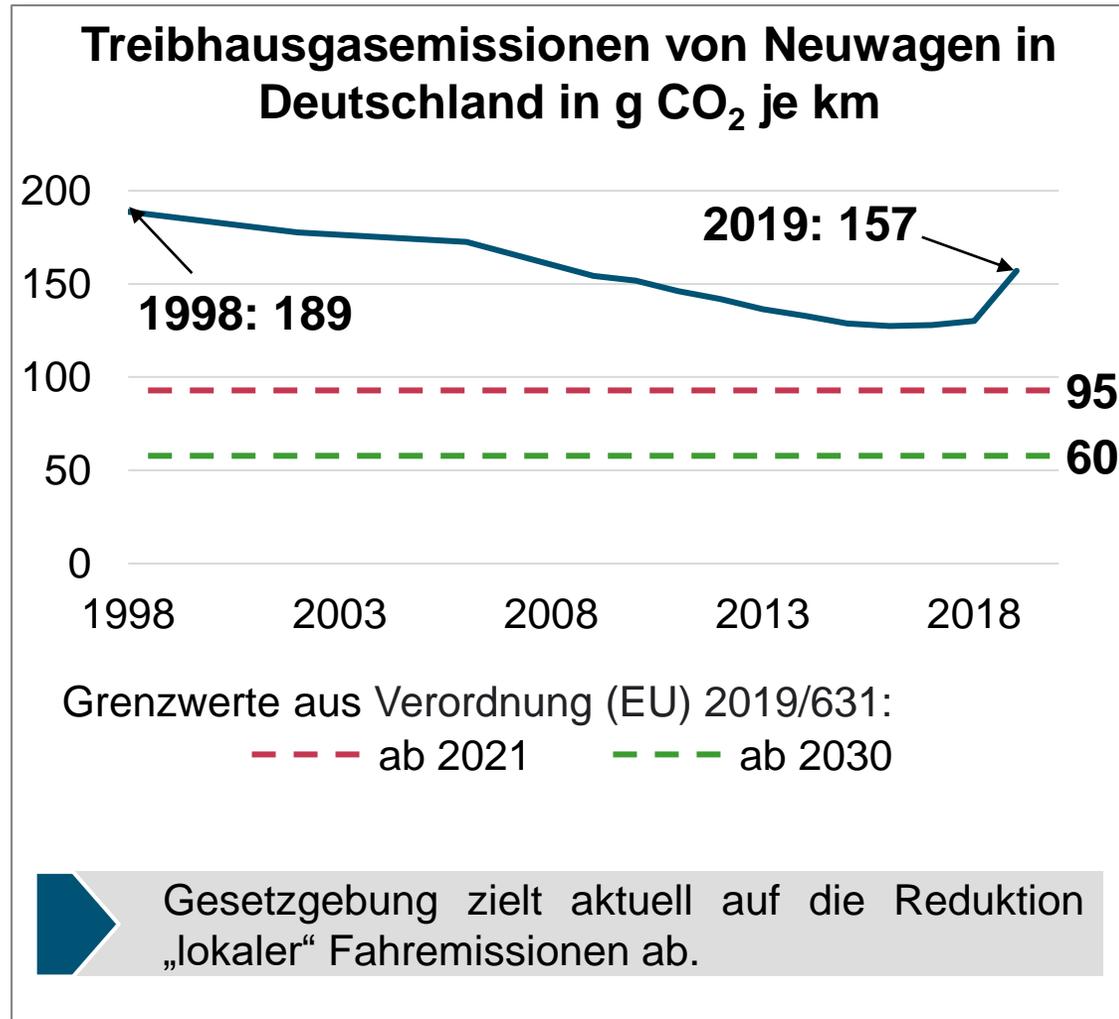
Der motorisierte Straßenverkehr ist für 94% der Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor verantwortlich.



UBA (2020), BMU (2020), BMWi (2020)

12.11.2020 | Prof. Dr. Thomas S. Spengler | Wie nachhaltig sind Elektroautos? | Seite 3

Zur Erreichung globaler Klimaziele muss eine Reduktion der Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor über den kompletten Lebenszyklus der Fahrzeuge erfolgen.



IPCC (2018), KBA, (2018), KBA, (2020), Rockström et al. (2017)

12.11.2020 | Prof. Dr. Thomas S. Spengler | Wie nachhaltig sind Elektroautos? | Seite 4

THG: Treibhausgas

Zur Erreichung dieser globalen Klimaziele werden grundsätzlich drei verschiedene Antriebstechnologien diskutiert.



Roadmap E. Die E-Strategie von Volkswagen
(Volkswagen 2020)



Toyota: Mit der Brennstoffzelle in die Zukunft
(Automobil Industrie 2019)



Porsche forscht an synthetischen Kraftstoffen
(Porsche Newsroom 2020)

Warum werden unterschiedliche Strategien verfolgt?

Das Erreichen einer klimaneutralen Fahrzeugflotte wird durch verschiedene Herausforderungen und Unsicherheiten erschwert.



Verzögerte oder nicht vorhandene Marktdurchdringung von alternativen Antrieben aufgrund mangelnder Akzeptanz bei den Kunden



Dämpfende Nachfrage aufgrund von Problemen beim Ausbau der Infrastruktur (z. B. Tankstellen, Ladepunkte, Übertragungsnetze)



Kapazitätsaufbau für die Erzeugung erneuerbarer Energien



Etablierung einer nachhaltigen Wertschöpfungskette

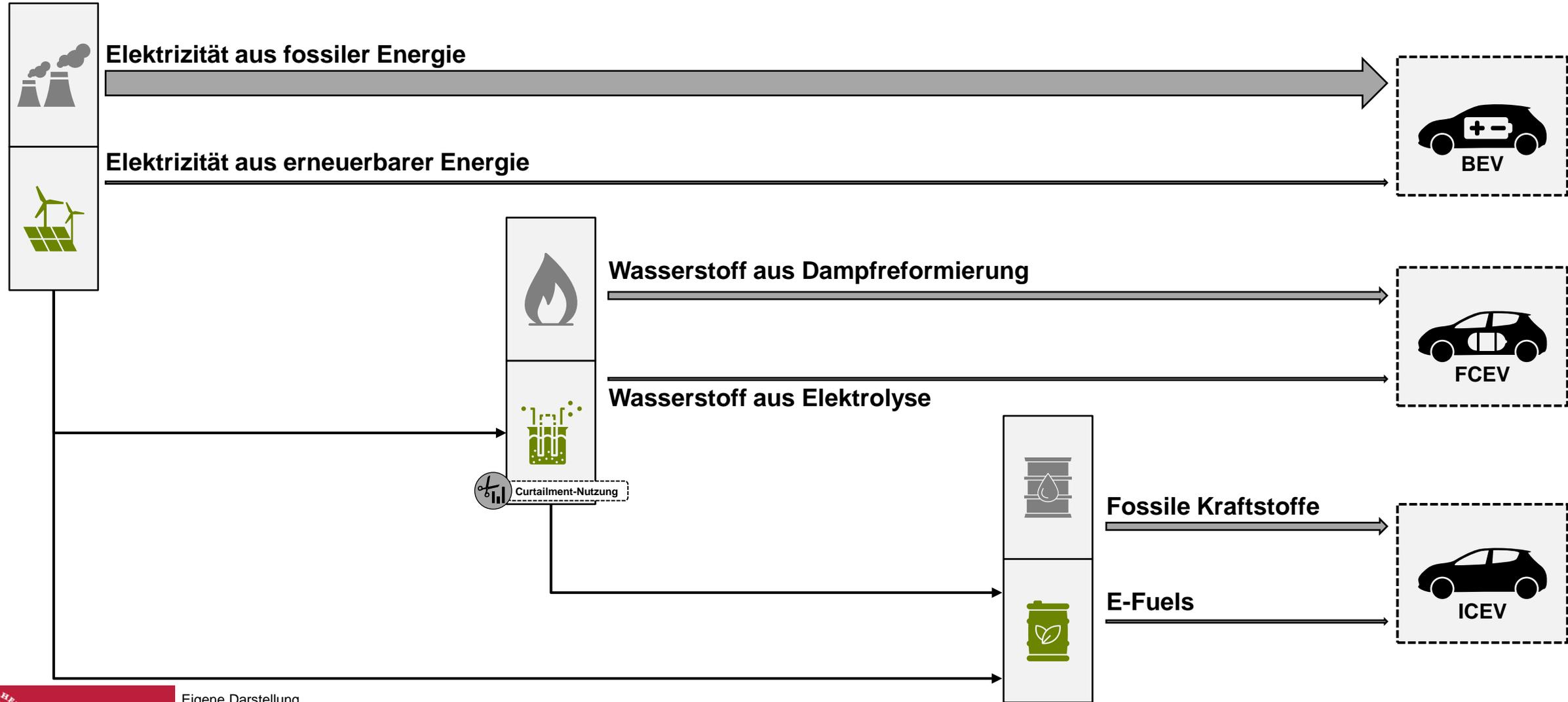
Bildquellen: AUDI, Volkswagen Newsroom

12.11.2020 | Prof. Dr. Thomas S. Spengler | Wie nachhaltig sind Elektroautos? | Seite 6

Gliederung

- 1 Strategien zur Erreichung einer klimaneutralen Mobilität
- 2 Herausforderung 1: Kapazitätsaufbau für die Erzeugung erneuerbarer Energien**
- 3 Herausforderung 2: Etablierung nachhaltiger Wertschöpfungsketten für Lithium-Ionen-Batterien
- 4 Fazit

Die Energienutzung hängt von der jeweiligen Antriebstechnologie ab. Dabei kommen entweder fossile oder erneuerbare Energieträger zum Einsatz.

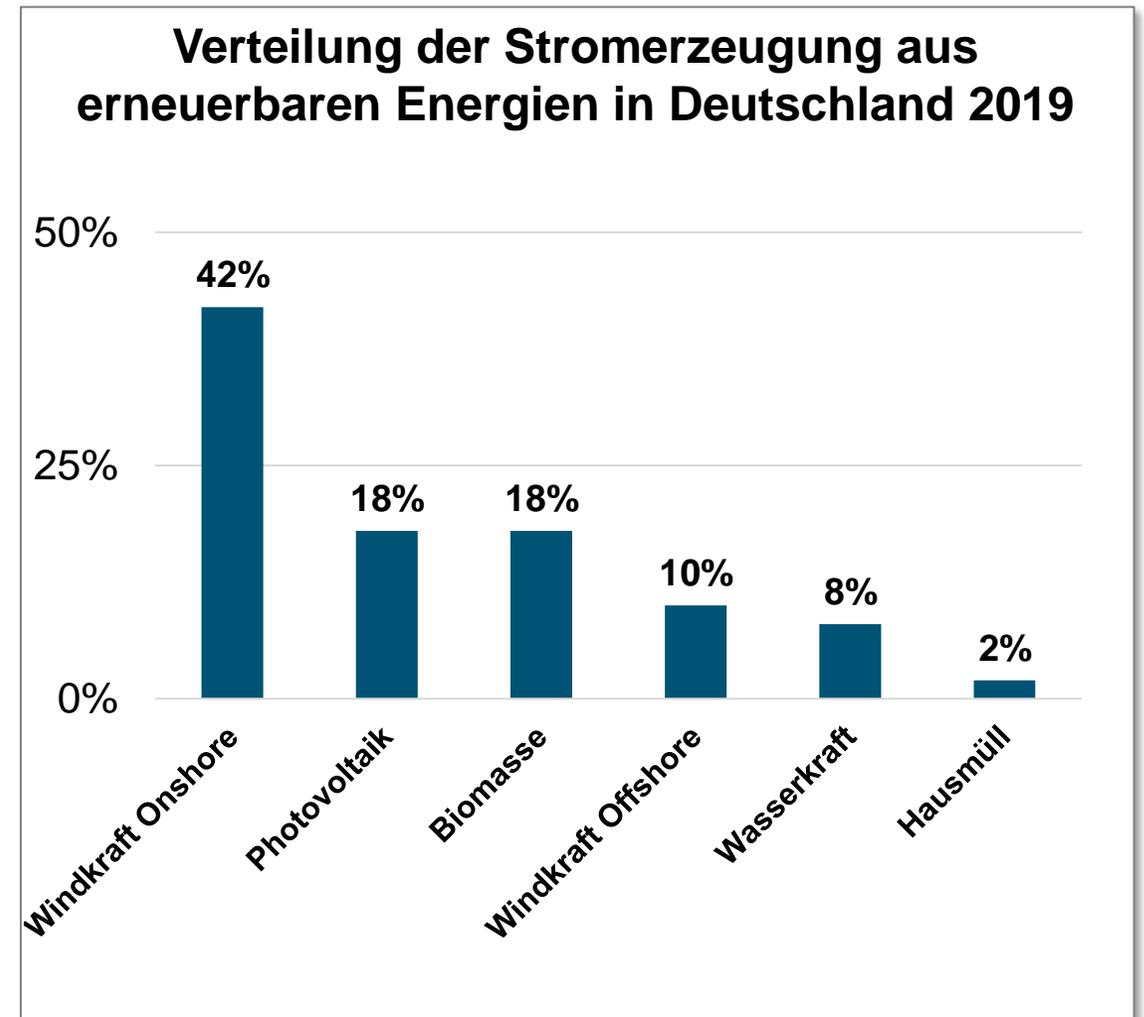
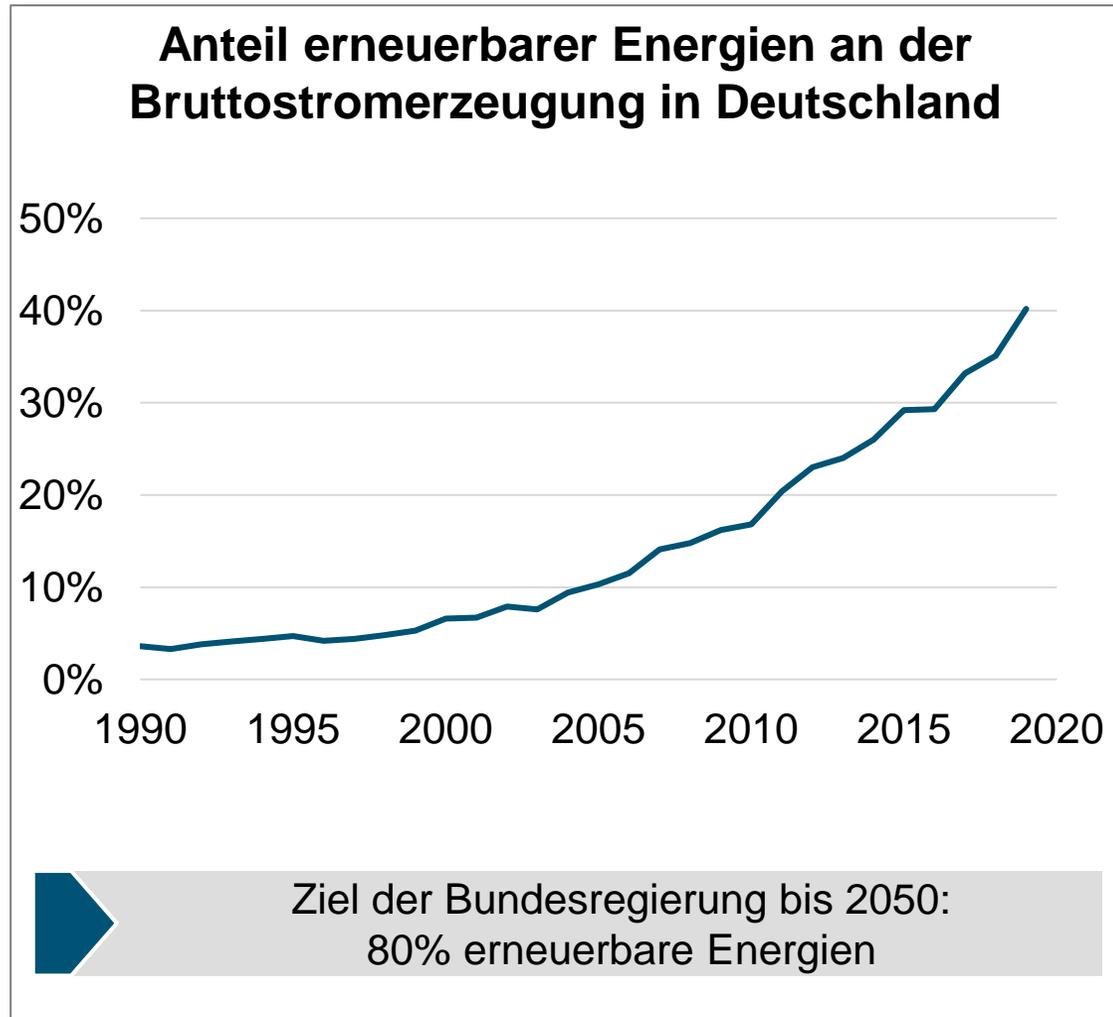


Eigene Darstellung

12.11.2020 | Prof. Dr. Thomas S. Spengler | Wie nachhaltig sind Elektroautos? | Seite 8

ICEV: Internal Combustion Engine Vehicle, BEV: Battery Electric Vehicle, FCEV: Fuel Cell Electric Vehicle

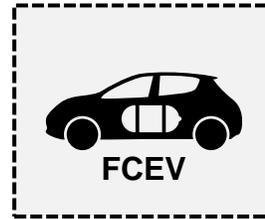
Der Anteil der erneuerbaren Energien an der Bruttostromerzeugung in Deutschland ist kontinuierlich gestiegen, dabei wird der Großteil durch Windkraft erzeugt.



BDEW (2019)

12.11.2020 | Prof. Dr. Thomas S. Spengler | Wie nachhaltig sind Elektroautos? | Seite 9

Bei 100% Marktdurchdringung der einzelnen Antriebstechnologien müssen zusätzliche Kapazitäten für die Erzeugung erneuerbarer Energien geschaffen werden.



128 TWh/Jahr
(452 TWh/Jahr)*

432 TWh/Jahr
(452 TWh/Jahr)

432 TWh/Jahr
(452 TWh/Jahr)

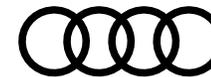


7,2 Mt H₂/Jahr
(0,12 Mt H₂/Jahr)



10 MW Konzeptanlage
1.300 t H₂/Jahr
(auf 100 MW skalierbar)

6,6 Mt H₂/Jahr
(0,12 Mt H₂/Jahr)



Pilotanlage im Bau
0,4 Mio. l e-Fuel/Jahr

34.450 Mio. l e-Fuel/Jahr
(bislang nur Pilotanlagen)

AUDI (2018), BDEW (2019), DIHK (2020), Refhyne (2018)

12.11.2020 | Prof. Dr. Thomas S. Spengler | Wie nachhaltig sind Elektroautos? | Seite 10

BEV: VW ID.3 mit 15,5 kWh/100km, FCEV: Toyota Mirai 1,0 kg H₂/100km, ICEV: Golf 7 mit 4,8 l/100km, Gesamtfahrleistung 15.000 km/Jahr, Fahrzeugbestand 48 Mio.

* Werte in Klammern stellen aktuell verfügbare Mengen in Deutschland dar.

Keine Berücksichtigung von Curtailments.

Bei 100% Marktdurchdringung der einzelnen Antriebstechnologien müssen zusätzliche Kapazitäten für die Erzeugung erneuerbarer Energien geschaffen werden.



128 TWh/Jahr
(150 TWh/Jahr)

432 TWh/Jahr
(450 TWh/Jahr)

432 TWh/Jahr
(450 TWh/Jahr)

Die Technologieoffenheit und der Ausbau erneuerbarer Energien sind Voraussetzungen für eine erfolgreiche nachhaltige Transformation des Automobilssektors.



Pilotanlage im Bau
0,4 Mio. l e-Fuel/Jahr

34.450 Mio. l e-Fuel/Jahr
(bislang nur Pilotanlagen)

AUDI (2018), BDEW (2019), DIHK (2020), Refhyne (2018)

12.11.2020 | Prof. Dr. Thomas S. Spengler | Wie nachhaltig sind Elektroautos? | Seite 11

BEV: VW ID.3 mit 15,5 kWh/100km, FCEV: Toyota Mirai 1,0 kg H₂/100km, ICEV: Golf 7 mit 4,8 l/100km, Gesamtfahrleistung 15.000 km/Jahr, Fahrzeugbestand 48 Mio.

* Werte in Klammern stellen aktuell verfügbare Mengen in Deutschland dar.

Keine Berücksichtigung von Curtailments.



Technische
Universität
Braunschweig



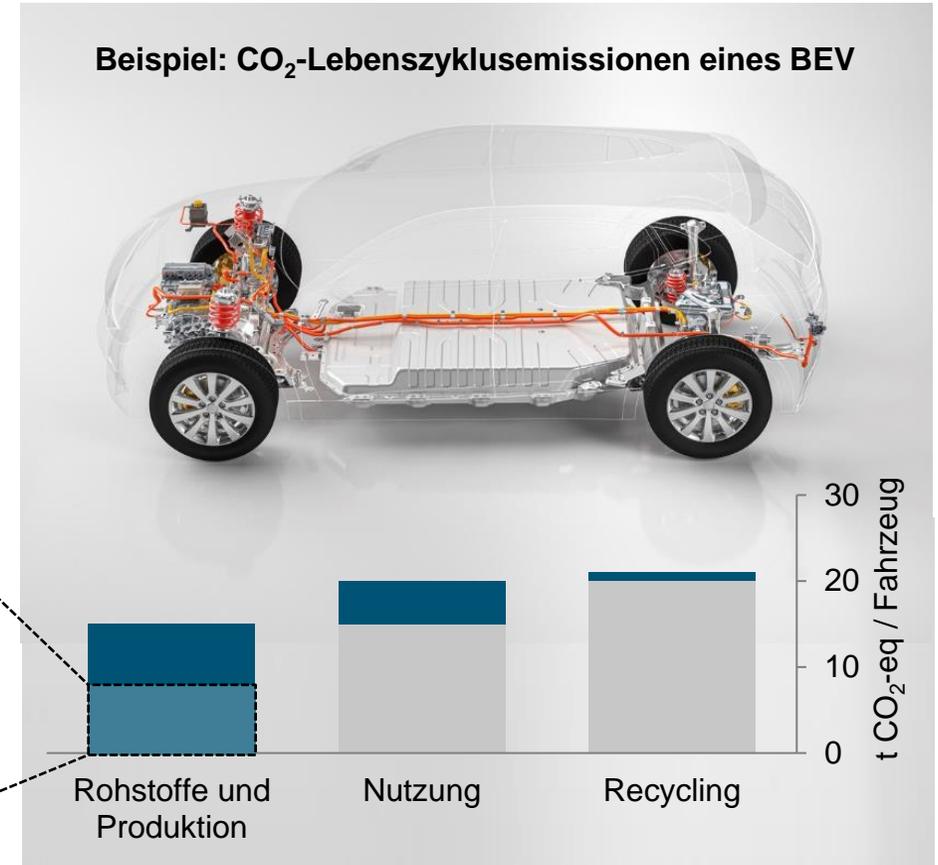
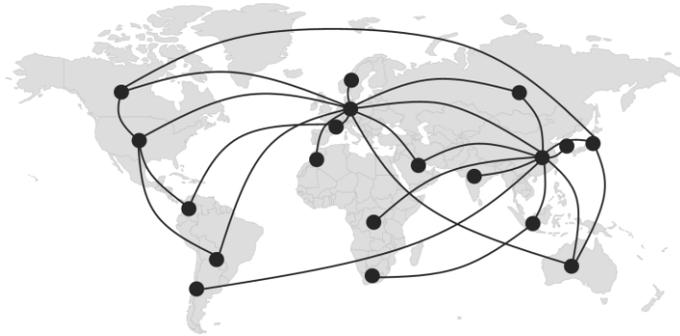
Gliederung

- 1 Strategien zur Erreichung einer klimaneutralen Mobilität
- 2 Herausforderung 1: Kapazitätsaufbau für die Erzeugung erneuerbarer Energien
- 3 Herausforderung 2: Etablierung nachhaltiger Wertschöpfungsketten für Lithium-Ionen-Batterien**
- 4 Fazit

Traktionsbatterie als Haupttreiber der Nachhaltigkeit von Elektrofahrzeugen

- Vorteil von Elektrofahrzeugen: Lokale Emissionsfreiheit bei der Nutzung
- Verschiebung von Auswirkungen in anderen Lebenszyklusphasen und in andere Regionen („burden shifting“) ist zu vermeiden

- Haupttreiber der CO₂-Emissionen aus Rohstoffen und Produktion ist die Traktionsbatterie (Anteil: ~50 %)
- Besonderes Merkmal von Batterien: Globale Supply-Chains

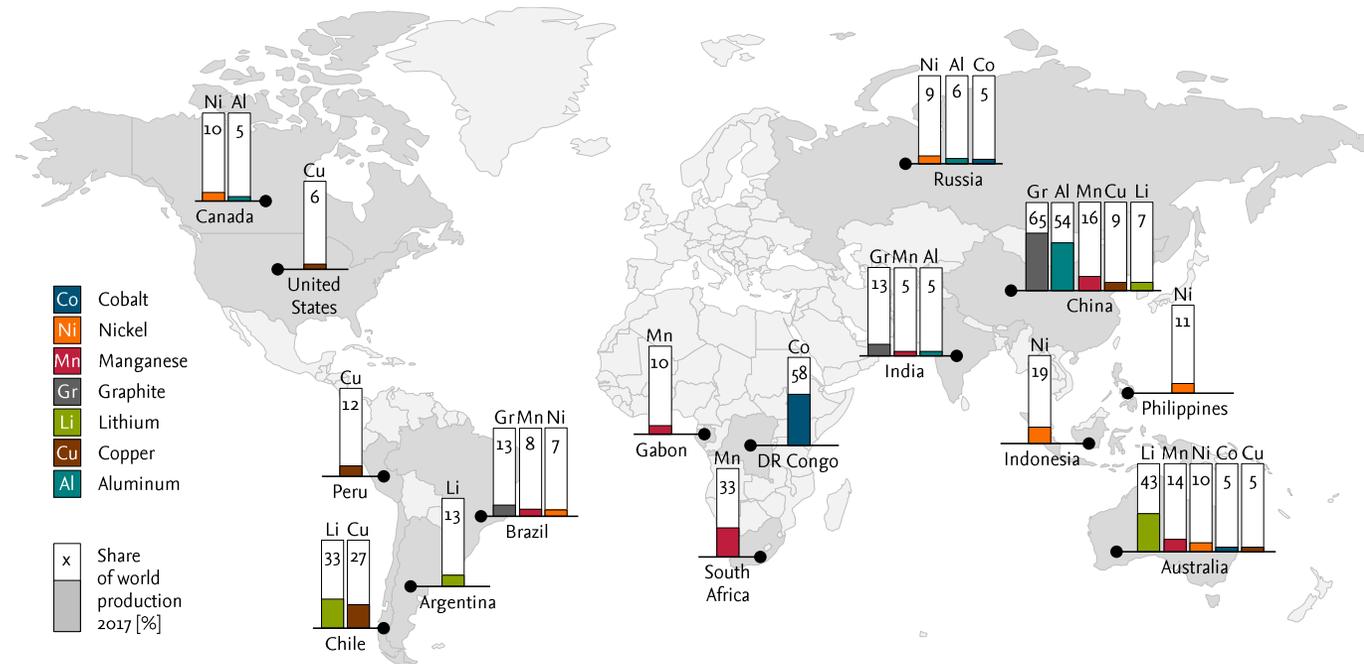


Ökobilanzdaten: Agora Verkehrswende (2019). Wesentliche Annahmen: BEV mit 53 kWh Lithium-Ionen-Batterie, Aufladung mit Windstrom. Darstellung in Anlehnung an Thies (2020).

12.11.2020 | Prof. Dr. Thomas S. Spengler | Wie nachhaltig sind Elektroautos? | Seite 13

Ökologische und soziale Hotspots in der Supply-Chain von Batterien

Globale Verteilung der wichtigsten Batterie-Rohstoffe



Ökologische und soziale Hotspots (Beispiele)



Kobalt: D.R. Kongo



Graphit: China



Lithium: Chile



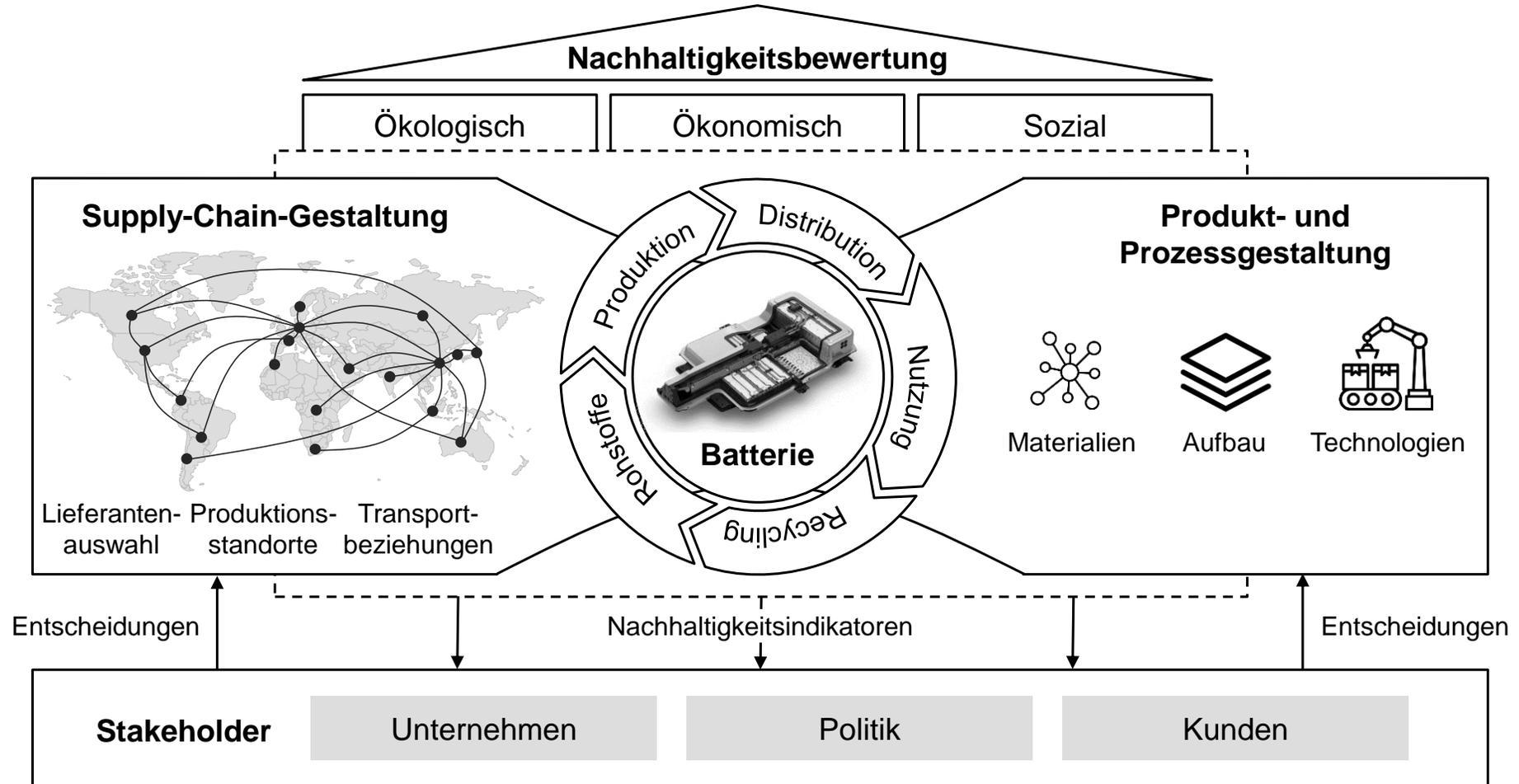
Bauxit: Australien

Bedarf einer ganzheitlichen Nachhaltigkeitsbewertung unter Berücksichtigung der globalen Supply-Chains

Thies (2020) mit Daten von USGS (2018). Nur Länder mit Beitrag > 5% an Weltproduktion dargestellt.

12.11.2020 | Prof. Dr. Thomas S. Spengler | Wie nachhaltig sind Elektroautos? | Seite 14

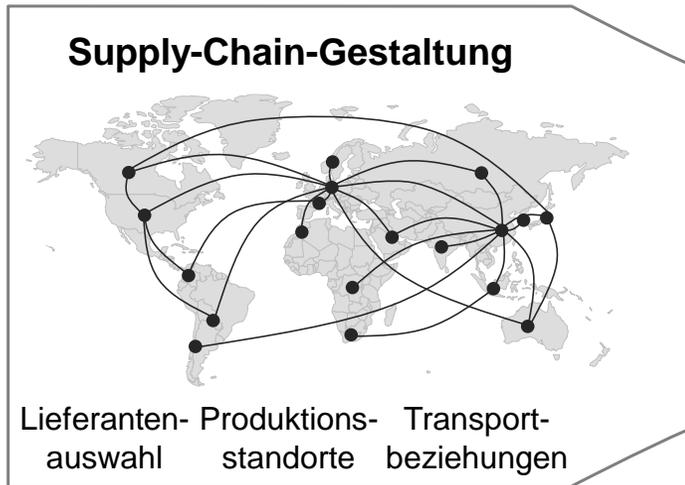
Bezugsrahmen für eine ganzheitliche Nachhaltigkeitsbewertung



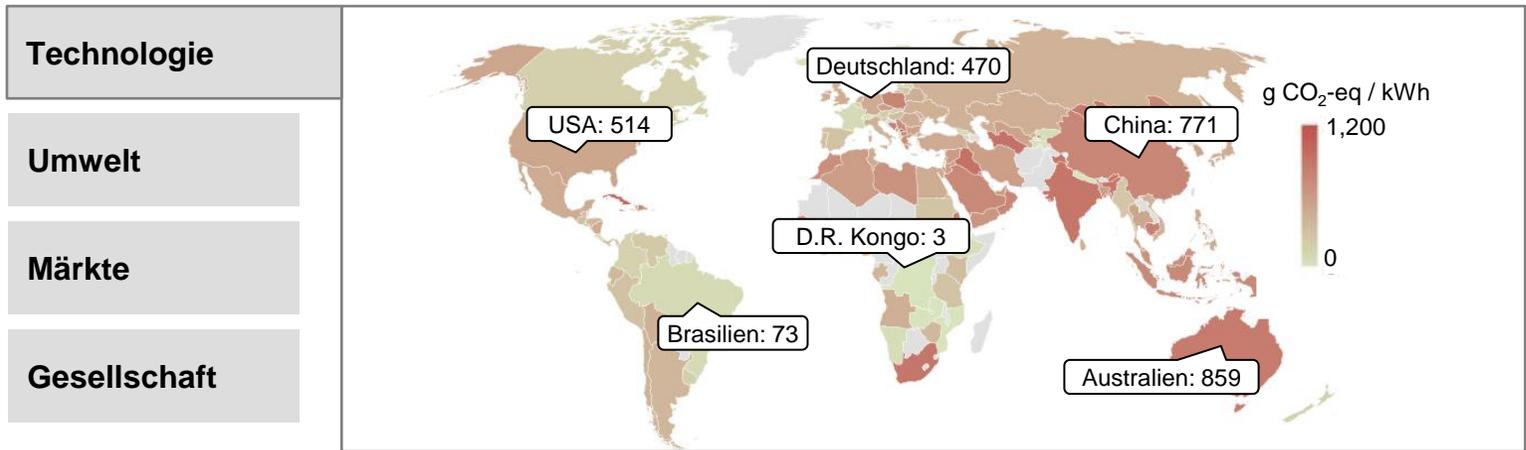
In Anlehnung an Thies (2020)

12.11.2020 | Prof. Dr. Thomas S. Spengler | Wie nachhaltig sind Elektroautos? | Seite 15

Herausforderung: Regionale Heterogenität in globalen Supply-Chains



Beispiel: CO₂-Intensität der Stromerzeugung



Wie ist regionale Heterogenität in der Nachhaltigkeitsbewertung zu berücksichtigen?

Welchen Einfluss hat regionale Heterogenität auf die Bewertungsergebnisse?

Thies, C.; Kieckhäfer, K.; Spengler, T. S.; (2020): **Activity analysis based modeling of global supply chains for sustainability assessment.** *Journal of Business Economics*, DOI: [10.1007/s11573-020-01004-x](https://doi.org/10.1007/s11573-020-01004-x).

Datenbasis: IEA (2013)

12.11.2020 | Prof. Dr. Thomas S. Spengler | Wie nachhaltig sind Elektroautos? | Seite 16

Fallstudie: Ganzheitliche Nachhaltigkeitsbewertung eines Batteriesystems

Zielsetzung

- Bewertung eines Lithium-Ionen-Batteriesystems
- Vergleich unterschiedlicher Supply-Chain-Konfiguration
- Berücksichtigung ökologischer, ökonomischer und sozialer Aspekte

Modellierung der Supply-Chain

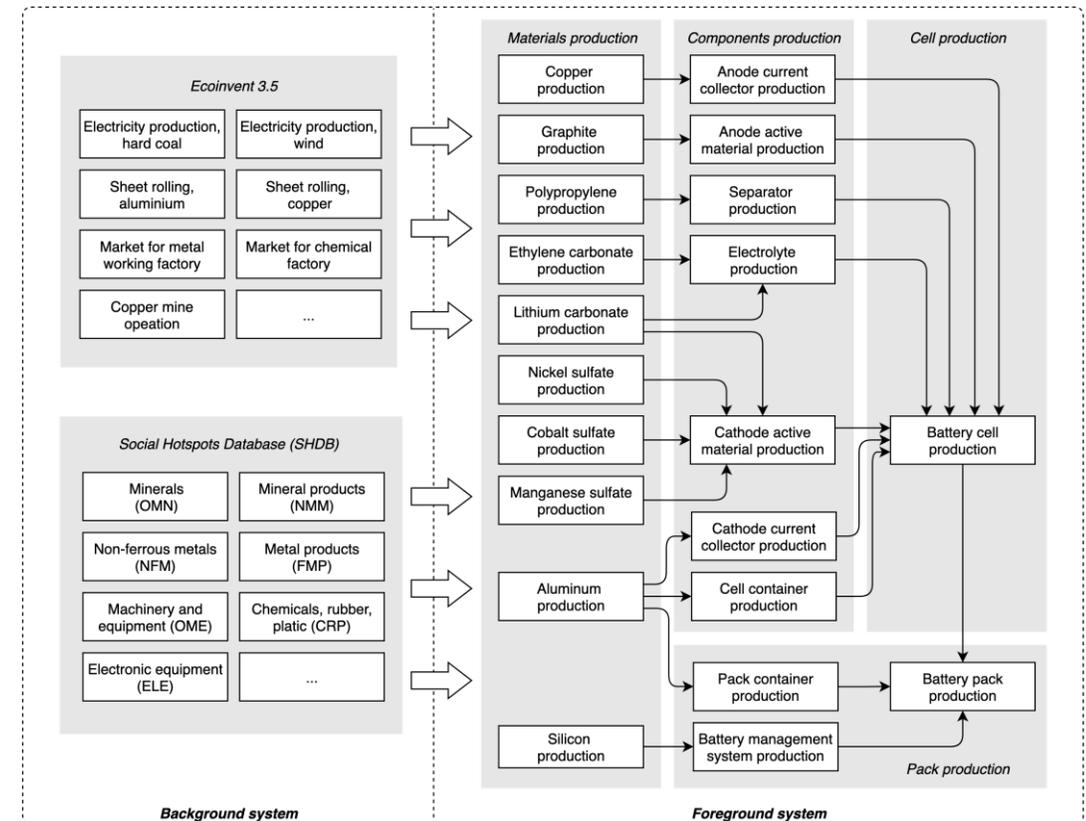
- Vordergrundsystem: Regionalisierte Aktivitäten in den Bereichen Rohstoffgewinnung, Komponenten-, Zell- und Systemproduktion
- Hintergrundsystem: Verknüpfung zu generischen Aktivitäten aus einschlägigen Datenbanken, u. a. Ecoinvent (Ökologie) und Social Hotspots Database (soziale Risiken)

Implementierung

- Datenmanagement und Berechnungen mit Python-Bibliothek „Brightway2“ (mit Anpassungen für räumlich-differenzierte Bewertung)
- Berechnung von 42 Nachhaltigkeitsindikatoren in unter 1 Sekunde



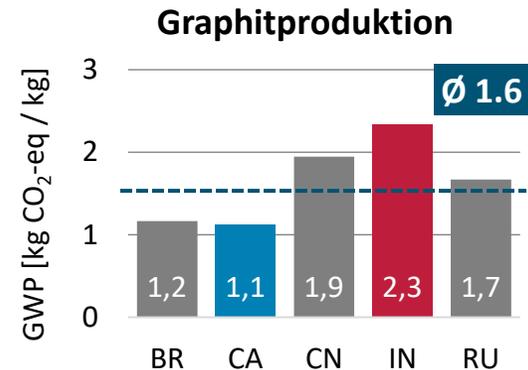
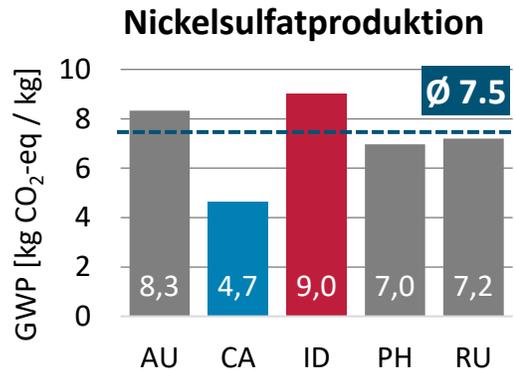
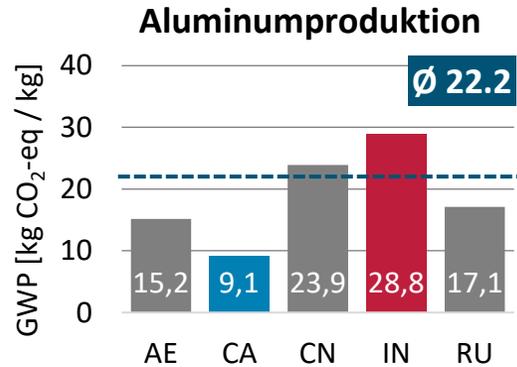
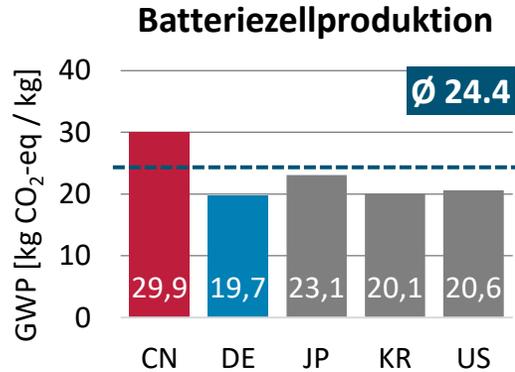
Lithium-Ionen-Batteriesystem
NMC-G, 52,9 kWh, 314,3 kg



Thies et al. (2020). SHDB: Social Hotspots Database, NMC: Lithium nickel manganese cobalt oxides, G: Graphite.

12.11.2020 | Prof. Dr. Thomas S. Spengler | Wie nachhaltig sind Elektroautos? | Seite 17

Ländervergleich für ausgewählte Produktionsaktivitäten



Definition von alternativen Supply-Chain-Konfigurationen

„BEST GWP“

- Aktivitäten werden in Ländern mit **geringstem GWP** durchgeführt



„BASELINE“

- Aktivitäten werden nach **durchschnittlichem Produktionsmix** durchgeführt



„WORST GWP“

- Aktivitäten werden in Ländern mit **höchstem GWP** durchgeführt

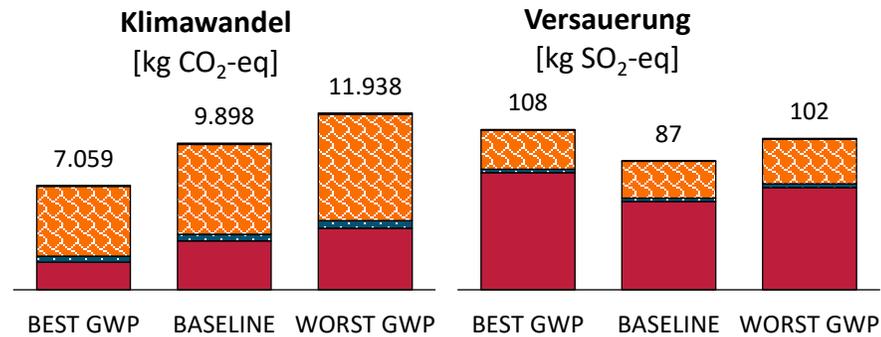


GWP: Global warming potential, AE: United Arab Emirates, AU: Australia, BR: Brazil, CA: Canada, CN: China, DE: Germany, ID: Indonesia, IN: India, JP: Japan, KR: Korea, PH: Philippines, RU: Russia, US: United States

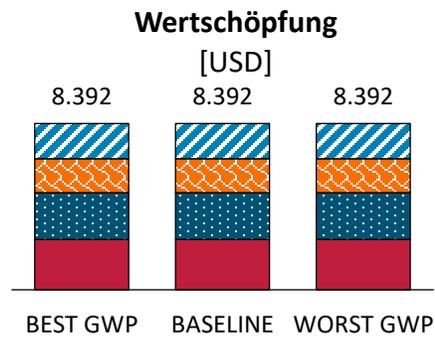
Fallstudie

Vergleich alternativer Supply-Chain-Konfigurationen

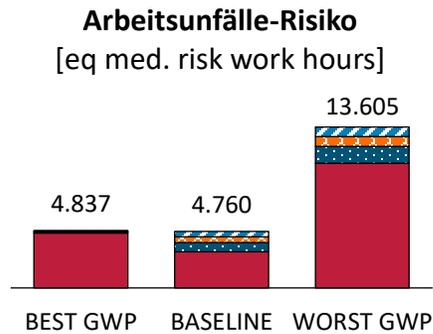
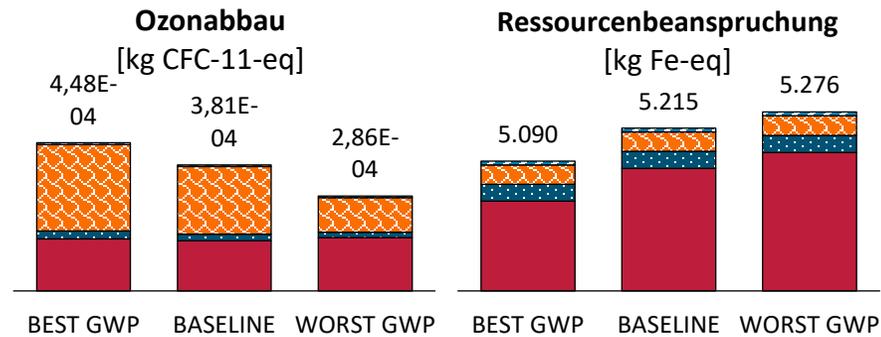
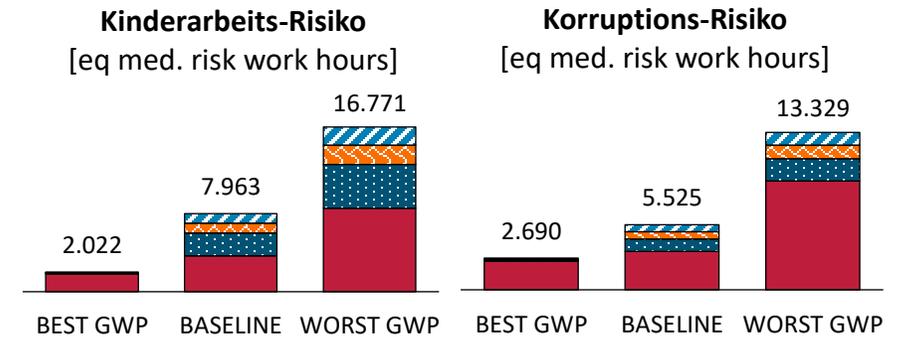
Ökologisch



Ökonomisch



Sozial

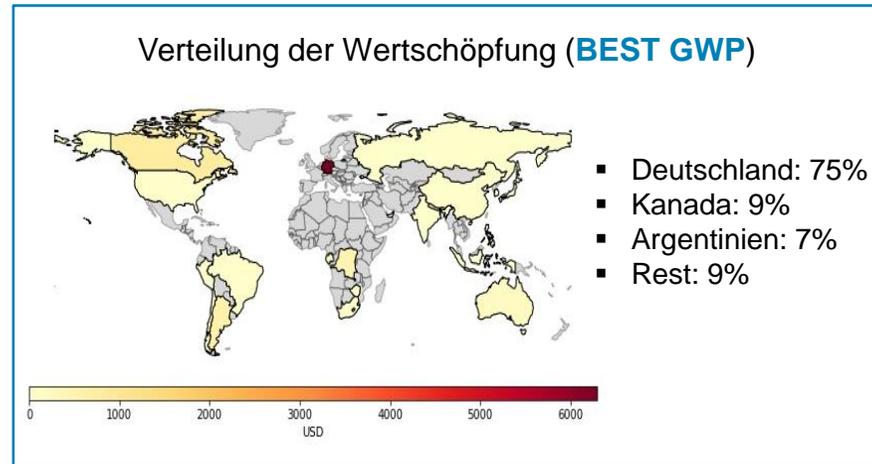


Thies et al. (2020)

12.11.2020 | Prof. Dr. Thomas S. Spengler | Wie nachhaltig sind Elektroautos? | Seite 19

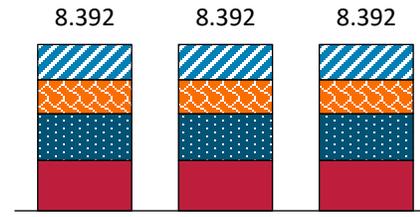
Fallstudie

Vergleich alternativer Supply-Chain-Konfigurationen

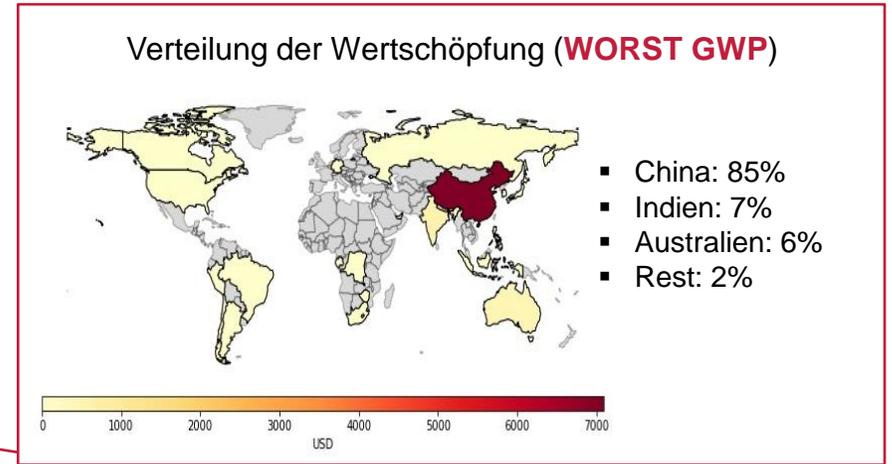


Ökonomisch

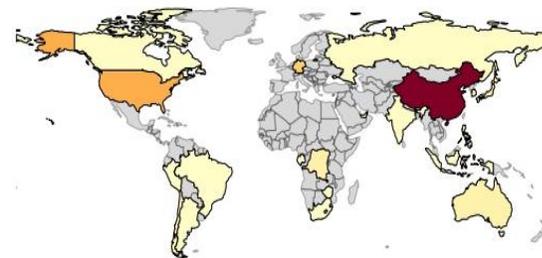
Wertschöpfung [USD]



BEST GWP BASELINE WORST GWP



Verteilung der Wertschöpfung (**BASELINE**)

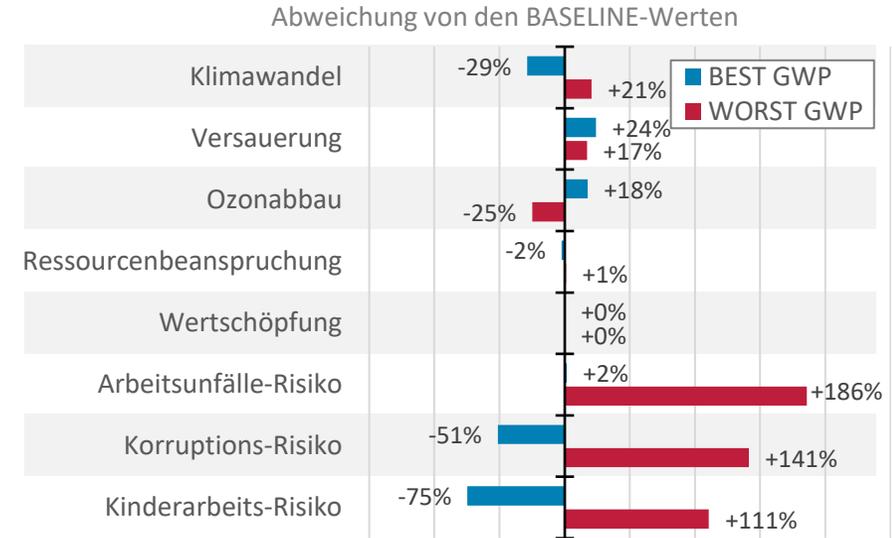


Thies et al. (2020)

12.11.2020 | Prof. Dr. Thomas S. Spengler | Wie nachhaltig sind Elektroautos? | Seite 20

Wesentliche Erkenntnisse

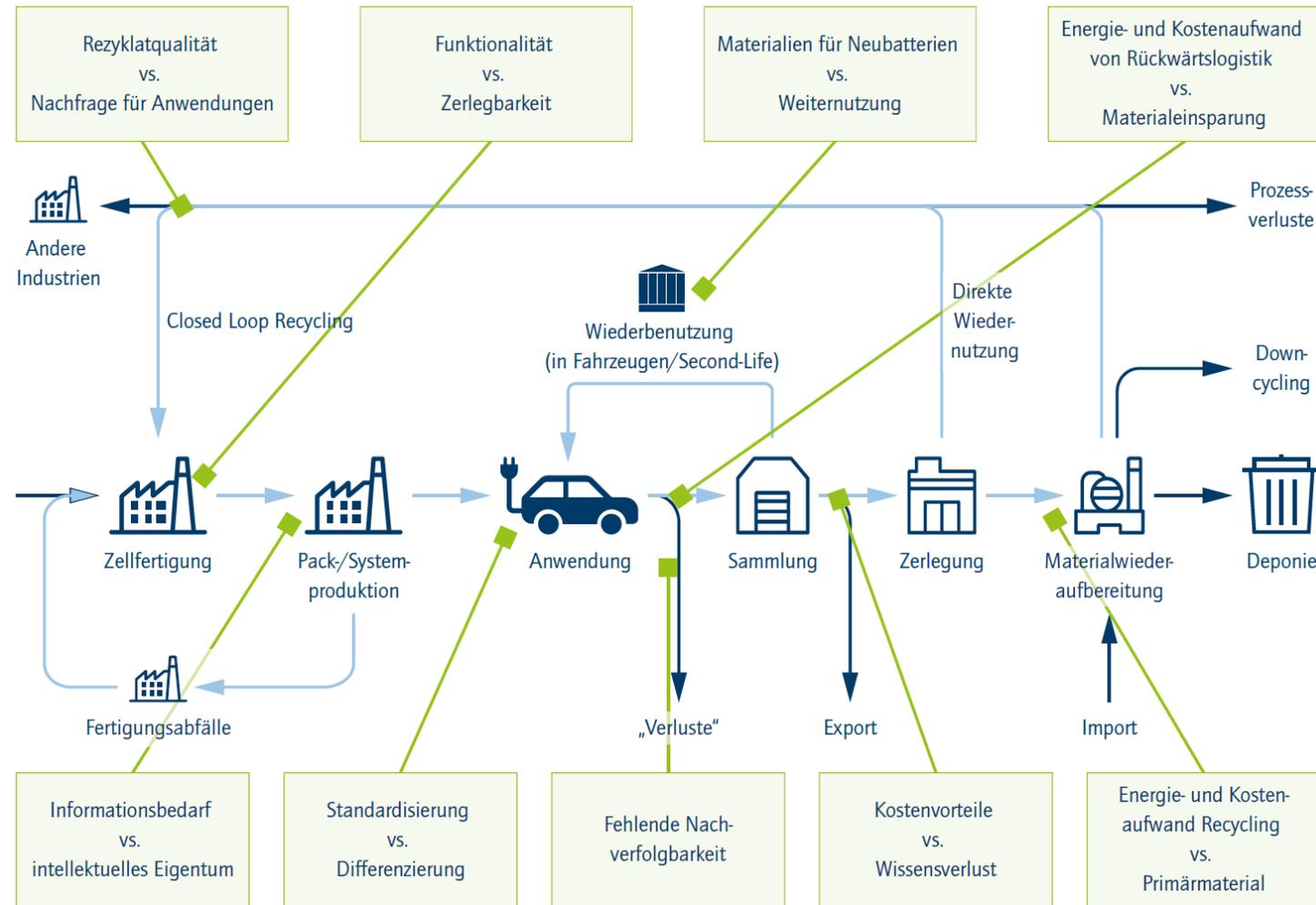
- Supply-Chain-Konfiguration beeinflusst Wirkungsindikatoren:
 - Ökologisch: bis zu +/- 30% (im Vergleich zu BASELINE)
 - Sozial: - 75% bis + 185% (im Vergleich zu BASELINE)
- Zielkonflikte zwischen den Wirkungskategorien
- Unterschiede in der räumlichen Verteilung der Auswirkungen
- Hoher Beitrag von Rohstoffen und Zellproduktion



Ansatzpunkte für die Supply-Chain-Gestaltung

- Rohstoffbeschaffung und Batterieproduktion in Ländern mit geringem Fußabdruck
- Gezielte Verbesserung von Technologien und Arbeitsbedingungen in den „Hotspots“
- Kreislaufführung von Batterierohstoffen durch „Closed-Loop Supply-Chains“

Zielkonflikte bei der Gestaltung nachhaltiger Wertschöpfungsketten für Batterien



acatech/Circular Economy Initiative Deutschland/SYSTEMIQ (2020)

12.11.2020 | Prof. Dr. Thomas S. Spengler | Wie nachhaltig sind Elektroautos? | Seite 22

Gliederung

- 1 Strategien zur Erreichung einer klimaneutralen Mobilität
- 2 Herausforderung 1: Kapazitätsaufbau für die Erzeugung erneuerbarer Energien
- 3 Herausforderung 2: Etablierung nachhaltiger Wertschöpfungsketten für Lithium-Ionen-Batterien
- 4 Fazit

Wie nachhaltig sind Elektroautos?

Einflussfaktoren

Energiesystem

- Anteil erneuerbarer Energien ist in jeder Lebenszyklusphase des Fahrzeuges entscheidend
- Synchronisation von Fahrzeugmarkt und Energiesystem erforderlich, d. h. schneller Ausbau erneuerbarer Energien
- Nutzung und Speicherung temporär überschüssiger Energie, z. B. in Form von Wasserstoff und E-Fuels

Wertschöpfungskette Batterien

- Hoher Beitrag der THG-Emissionen durch Rohstoffe und Zellproduktion
- Zielkonflikte zwischen Wirkungskategorien, z. B. THG-Emissionen gegenüber weiteren ökologischen und sozialen Wirkungen
- Unterschiede der Auswirkungen durch räumliche Verteilung

Eine Einzelbetrachtung auf Fahrzeugebene ist nicht ausreichend, um die Frage nach der Nachhaltigkeit von Elektroautos zu beantworten. Es muss eine lebenszyklusorientierte Betrachtung des gesamten Automobilsektors erfolgen.

Prof. Dr. Thomas S. Spengler

Institutsleiter

Technische Universität Braunschweig
Institut für Automobilwirtschaft und Industrielle Produktion
Lehrstuhl für Produktion und Logistik

Tel. : 0531 - 391 2202

Fax : 0531 - 391 2203

E-Mail: t.spengler@tu-braunschweig.de

Web: <https://www.tu-braunschweig.de/aip/pl>



Dr. Christian Thies

Tel. : 0531 - 391 2217

E-Mail: ch.thies@tu-braunschweig.de



Raphael Ginster, M. Sc.

Tel. : 0531 - 391 2211

E-Mail: r.ginster@tu-braunschweig.de



Literatur

- **Agora Verkehrswende (2019):** Klimabilanz von Elektroautos. Einflussfaktoren und Verbesserungspotential. URL: <https://www.agora-verkehrswende.de/veroeffentlichungen/klimabilanz-von-elektroautos/>.
- **AUDI (2018):** Audi treibt e-fuels-Technologie voran: Neuer Treibstoff e-benzin im Testeinsatz. URL: <https://www.audi-mediacyber.com/de/pressemitteilungen/audi-treibt-e-fuels-technologie-voran-neuer-treibstoff-e-benzin-im-testeinsatz-9912>.
- **BDEW (2019):** Stromerzeugung 1991-2019. URL: https://www.bdew.de/media/documents/20200914_D_Stromerzeugung1991-2019.pdf.
- **BMWi (2020):** Gesamtausgabe der Energiedaten - Datensammlung des BMWi. URL: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Binaer/Energiedaten/energiedaten-gesamt-xls.html>.
- **BMU (2020):** Klimaschutz in Zahlen. URL: <https://www.bmu.de/publikation/klimaschutz-in-zahlen-2020/>.
- **Circular Economy Initiative Deutschland (2020):** Ressourcenschonende Batteriekreisläufe – mit Circular Economy die Elektromobilität antreiben. Kwade, A., Hagelücken, C., Kohl, H. et al., acatech/SYSTEMIQ, URL: <https://www.acatech.de/publikation/ressourcenschonende-batteriekreislaeufe/>
- **Deutsche Welle (2020):** German ministers push for supply chain law against exploitation. URL: <https://www.dw.com/en/german-ministers-push-for-supply-chain-law-against-exploitation/a-54181340>.
- **DIHK (2020):** Faktenpapier Wasserstoff. URL: <https://www.dihk.de/resource/blob/24872/fd2c89df9484cf912199041a9587a3d6/dihk-faktenpapier-wasserstoff-data.pdf>.
- **IEA (2013):** World Energy Outlook. International Energy Agency. Paris. URL: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2013>.
- **IPCC (2018):** Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Intergovernmental Panel on Climate Change. URL: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_High_Res.pdf.
- **KBA (2018):** Jahresberichte/Presseberichte. URL: https://www.kba.de/DE/Presse/Jahresberichte/jahresberichte_node.html.
- **KBA (2020):** Statistik - Zahlen im Überblick. URL: https://www.kba.de/DE/Statistik/zahlen_im_ueberblick_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=6.

Literatur

- **Nelson, P.; Gallagher, K.; Bloom, I.; Dees, D.; Ahmed, S. (2018):** BatPaC - A Lithium-Ion Battery Performance and Cost Model for Electric-Drive Vehicles. Version 3.1 (2018-06-28). Argonne National Laboratory. URL: <http://www.cse.anl.gov/batpac>.
- **Refhyne (2018):** Project overview presentation. URL: <https://refhyne.eu/publications/>.
- **Reuters (2019):** BMW to buy cobalt direct from Australia, Morocco for EV batteries, 2019-04-23. URL: <https://reut.rs/2IScZ55>.
- **Thies, C. (2020):** Sustainability assessment of products with global supply chains: Methodological contributions and applications to electric mobility. Dissertation, Technische Universität Braunschweig
- **Thies, C.; Kieckhäfer, K.; Spengler, T. S.; (2020):** Activity analysis based modeling of global supply chains for sustainability assessment. Journal of Business Economics, DOI: [10.1007/s11573-020-01004-x](https://doi.org/10.1007/s11573-020-01004-x).
- **UBA (2020):** Treibhausgas-Emissionen in Deutschland. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland>.
- **UN (2015):** Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. A/RES/70/01. United Nations. URL: <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld/publication>.
- **UN News (2020):** UN highlights urgent need to tackle impact of likely electric car battery production boom. URL: <https://news.un.org/en/story/2020/06/1067272>.