

# Technologie-Roadmap für alternative Antriebstechnologien

## Schlussbericht

Roberto Bianchetti, Hans-Jörg Althaus, Anne Greinus | 19. September 2022



# Inhaltsverzeichnis

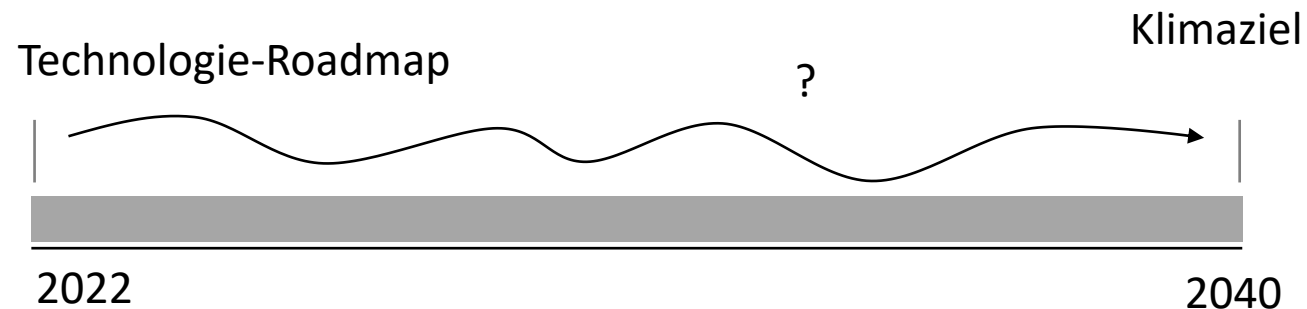
1. Ausgangslage, Methodik und Systemgrenze
2. Strategien der Fahrzeug-Hersteller
3. Entwicklung der Technologien
4. Produktion von strombasierten Treibstoffen
5. Politische Rahmenbedingungen
6. Gesamtkosten schwere Nutzfahrzeuge
7. Technologie-Roadmap

Technologie-Roadmap für alternative Antriebstechnologien

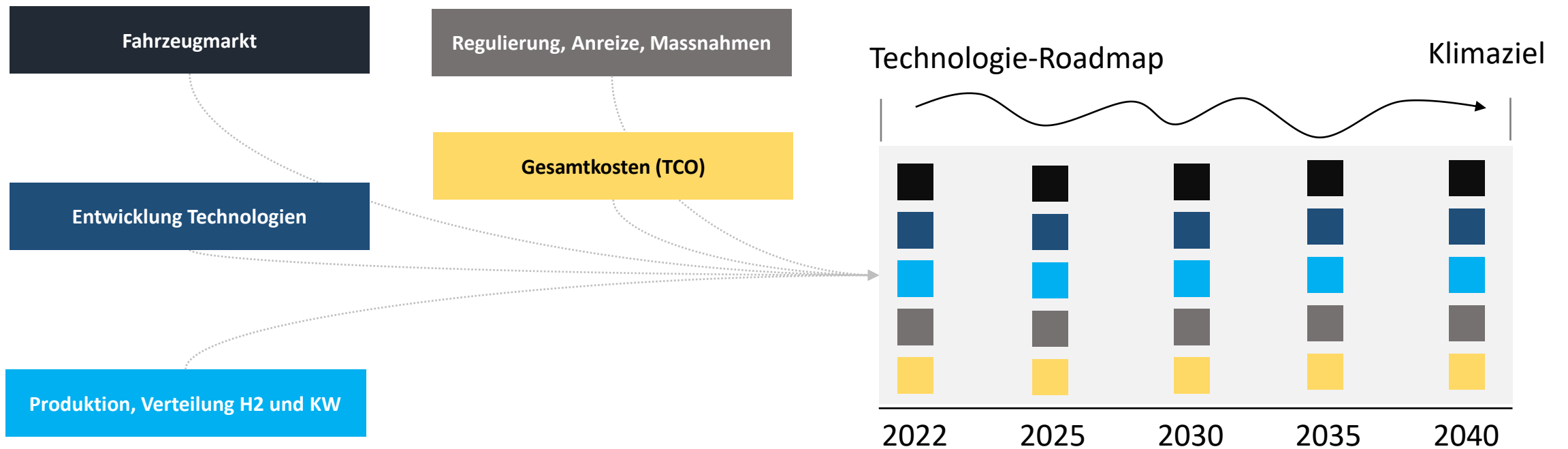
# 1. Ausgangslage, Methodik und Systemgrenze

# Ausgangslage und Ziele des Auftrags

- Ambitioniertes **Klimaziel** – klimaneutral bis 2040
- Umstieg auf alternative Antriebe bei allen Fahrzeugen (**Busse und Lastwagen**)
- Unklar, welche alternativen Antriebe in Zukunft für **die schweren Nutzfahrzeuge (SNF)** zum Einsatz kommen werden.
- **Ziel des Auftrags:** Die Technologie-Roadmap soll fundierte generische Grundlagen für eine komplette Umstellung der SNF-Flotte liefern, um eine strategische Planung vorzunehmen.

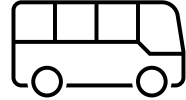


# Methodisches Vorgehen und Arbeitspakete



# Definition Systemgrenze

## Definition Systemgrenze Busse



### ▪ Fahrzeugkategorien:

- Minibus, Midibus, Standardbus, (Doppel-)Gelenkbus, Doppelstockbusse
- Alternativ nach Karosseriebauart: Niederflurbus, Hochflurbus

**Fokus Auftrag** ► Midibus (10m), Standardbus (12m, Niederflur), Standardbus (12m, Hochflur), Gelenkbus (18m)

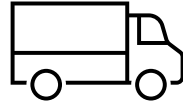
### ▪ Antriebstechnologien:

- Batterie-elektrischer Antrieb (Referenz) → Ladetechnologien: Depot-Ladung (Referenz), Opportunity-Charging
- Brennstoffzellen-elektrischer Antrieb
- Synthetischer Diesel → Power-to-Liquid (erneuerbarer Strom)

**Abgrenzung** ► Biodiesel steht nicht im Fokus des Auftrags (allenfalls eher als Beimischung)

# Definition Systemgrenze

## Definition Systemgrenze LKWs



- Fahrzeugkategorien:

- 7.5t–15t, 15t–26t, 26t–40t

**Fokus Auftrag** ▶ 7.5t–12t, >12t–40t

*Bemerkung: 3.5t Sprinter mit Anhänger → Nachtfahrverbot qualitativ diskutiert; 12–18 t sind Zugfahrzeuge bei TT > 26 t*

- Antriebstechnologien:

- Batterie-elektrischer Antrieb (Referenz) → Ladetechnologien: Depot-Ladung inkl. stationäre Schnellladung unterwegs
- Brennstoffzellen-elektrischer Antrieb
- Synthetischer Diesel → Power-to-Liquid (erneuerbarer Strom)

**Abgrenzung** ▶ Ladung via Oberleitungen entlang Autobahn wird qualitativ diskutiert

**Abgrenzung** ▶ Biodiesel steht nicht im Fokus des Auftrags (allenfalls eher als Beimischung)

**Abgrenzung** ▶ Biogas potenziell relevant wegen EU-Regulierung, wird qualitativ diskutiert

Technologie-Roadmap für alternative Antriebstechnologien

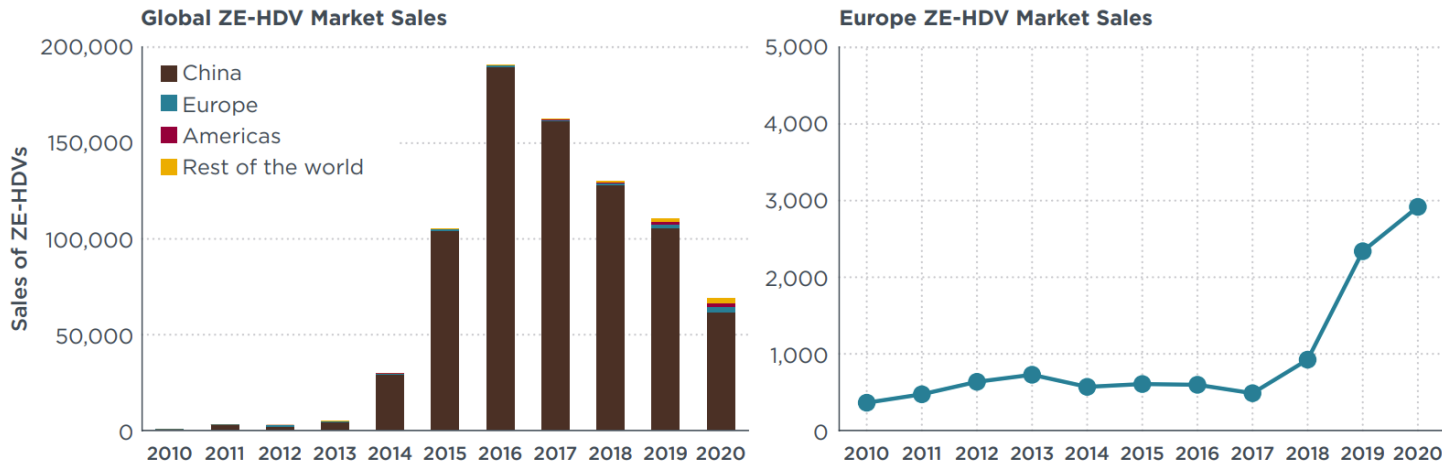
## 2. Strategien der Fahrzeug-Hersteller



# Strategien der Fahrzeug-Hersteller

## Weltmarkt für ZE-HDV\*

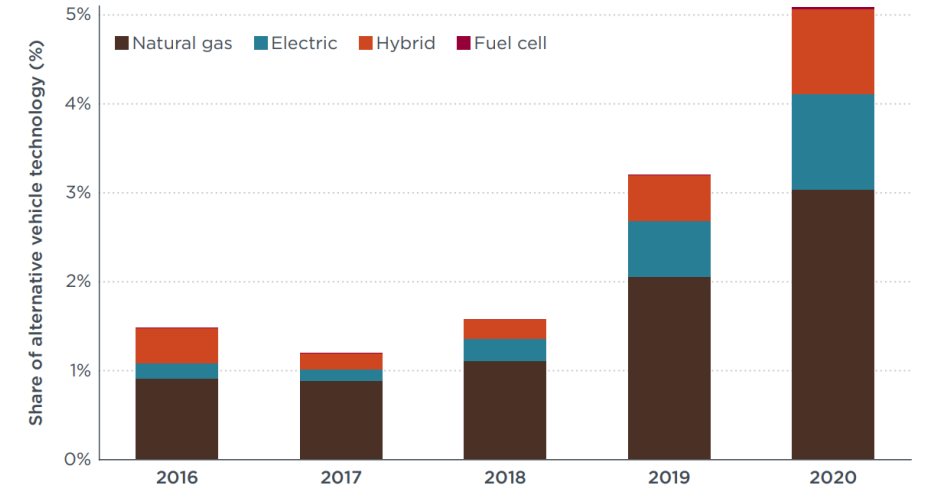
**Figure 1.** Global ZE-HDV sales (left) and Europe (EU 27, UK, Norway, and Switzerland) zero-emission HDV sales (right) between 2010 and 2020.



- China mit Abstand der grösste Markt mit > 99% des kumulierten Volumens
- Höhepunkt der Verkäufe 2016
- Rückgang wegen Verschärfung der Kriterien für Subventionen in China
- Europa grösster Markt nach China

- Im Jahr 2020 fast 3.000 ZE-HDVs zugelassen, +40% als im Jahr 2019
- Der ZE-HDV-Markt in Europa ist relativ klein (rund 1% des Gesamtabsatzes von neuen LKWs und Bussen).
- LKWs 26% der ZE-HDV-Neuzulassungen im 2020, Tendenz steigend

**Figure 2.** HDV new registrations market breakdown by alternative technology in Europe (EU 27, UK, Norway, and Switzerland) between 2016 and 2020.

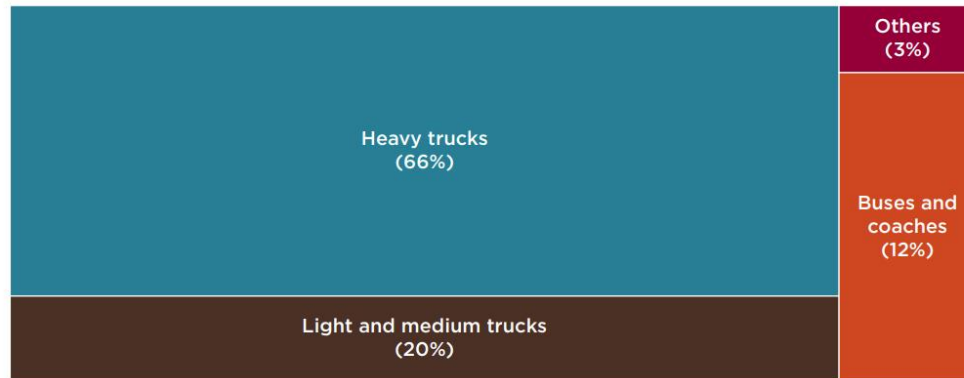


- Neuzulassungen Europa im Jahr 2020 (Bus und LKWs): 1.1% BEV und 0.01% FCEV
- In den letzten Jahren hat der Anteil der Erdgasantriebe deutlich zugenommen.
- Dies ist v.a. auf die Anreize in D zurückzuführen.

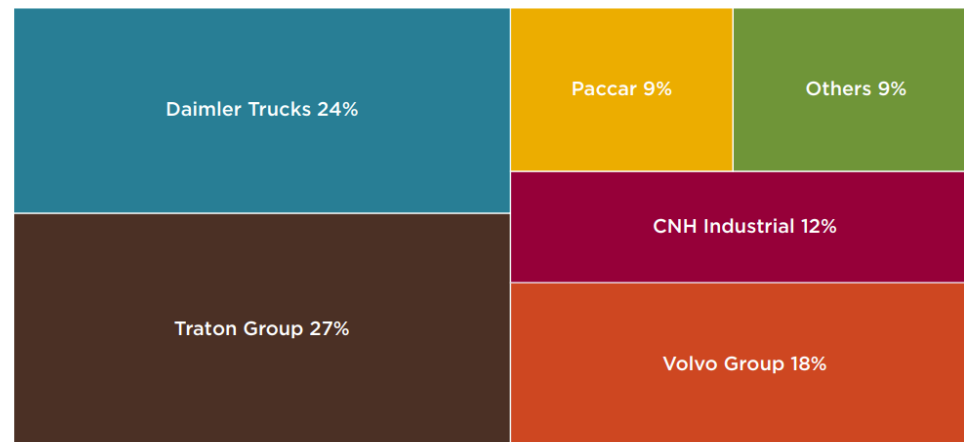
\*ZE-HDV: Zero-emissions Heavy-duty vehicles (battery-electric and fuel-cell electric HDV technologies)

# Strategien der Fahrzeug-Hersteller

## Überblick Europäischer Markt der Hersteller

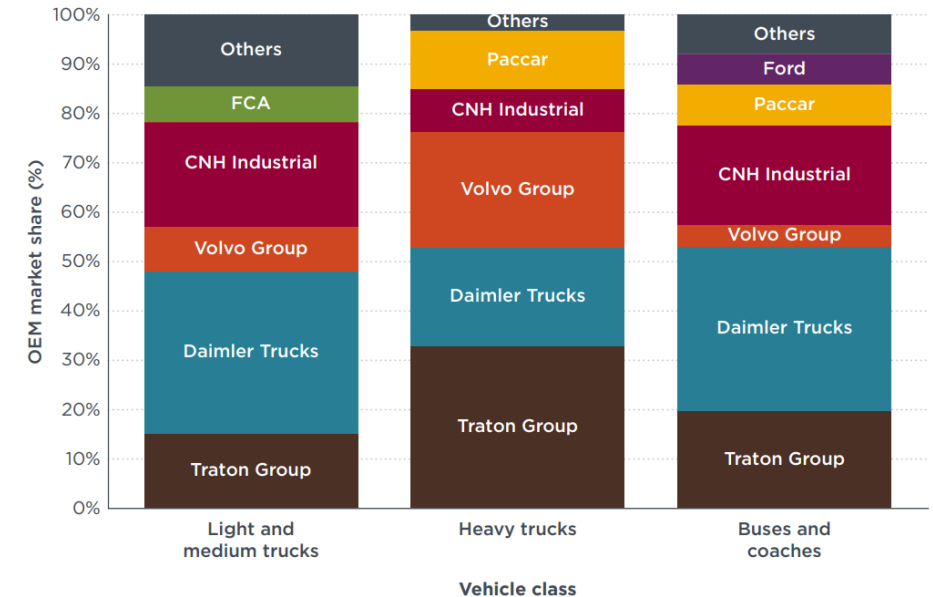


**Figure 3.** Breakdown of new truck and bus registrations in Europe (EU 27, UK, Norway, and Switzerland) by segment for the year 2020.



**Figure 4.** Breakdown of new truck and bus registrations in Europe (EU 27, UK, Norway, and Switzerland) by manufacturers for the year 2020.

**Figure 5.** Market share by manufacturer in key vehicle segments in Europe (EU 27, UK, Norway, and Switzerland) for the year 2020



- Der LKW- und Busmarkt in Europa wird hauptsächlich von einer Handvoll Hersteller dominiert.
- Die Traton Gruppe (Scania und MAN) und Daimler (Mercedes-Benz und Fuso) sind jeweils für ein Viertel der Neuzulassungen im Jahr 2020 verantwortlich.
- Die Volvo-Gruppe (Volvo Trucks und Renault Trucks) folgt mit einem Marktanteil von 18%.
- Paccar (DAF Trucks) und CNH Industrial (IVECO) hatten im Jahr 2020 einen Marktanteil von 9% bzw. 12%.

Quellen: ICCT 2021

# Strategien der Fahrzeug-Hersteller

## Hersteller von ZE-HDV und Ankündigungen

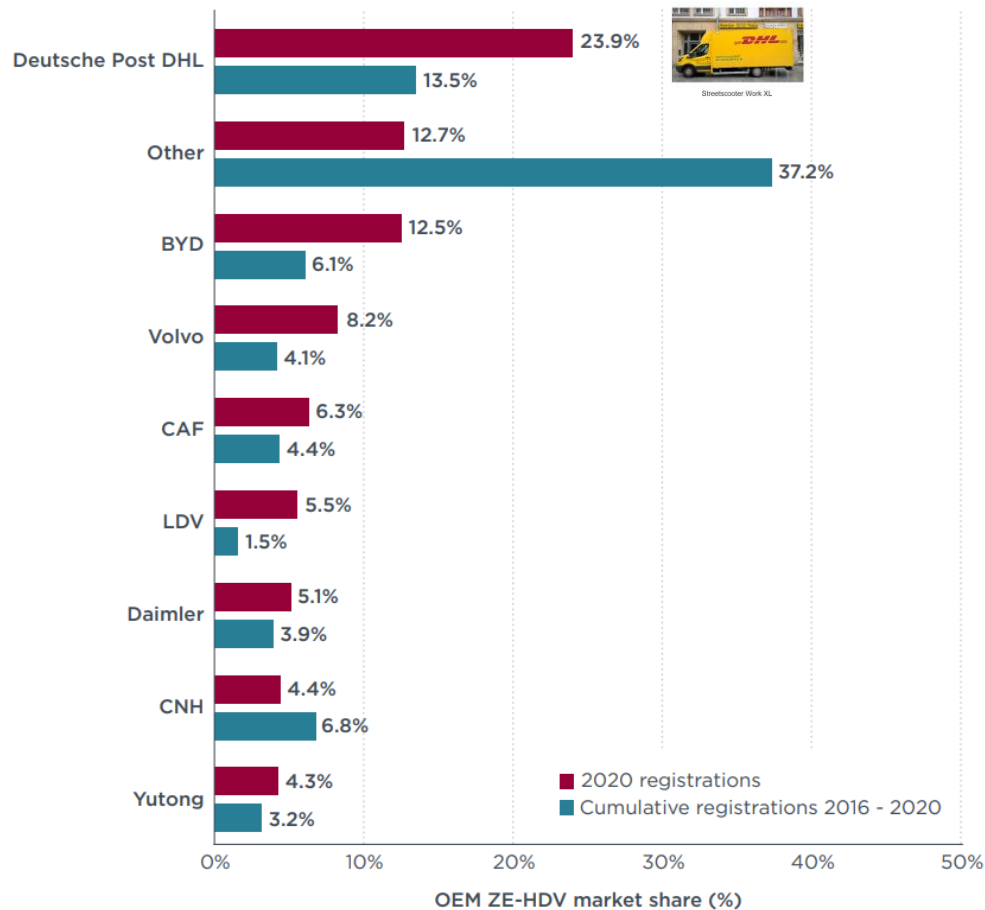
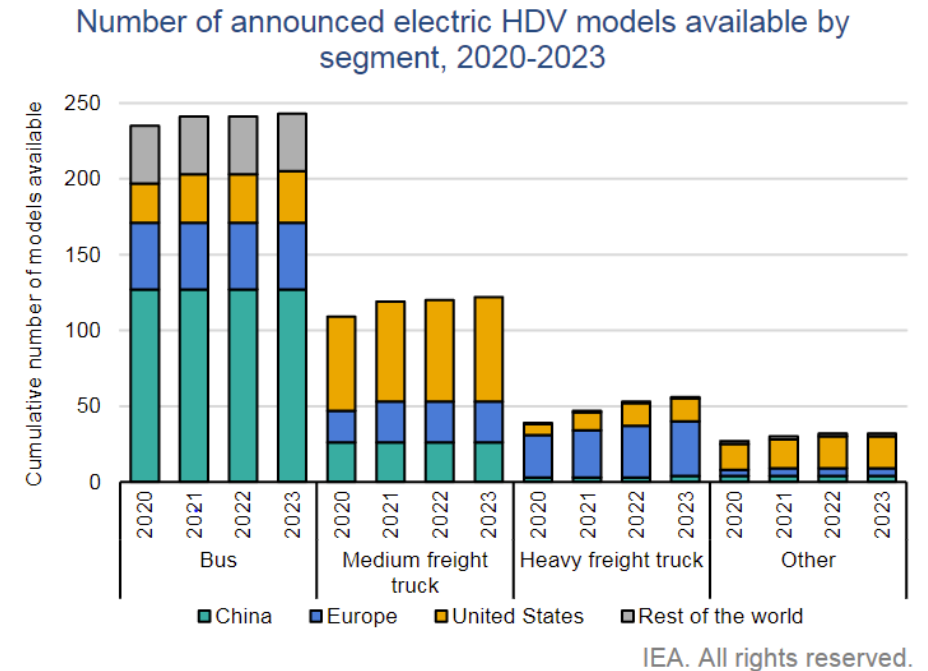


Figure 9. OEM market share of ZE-HDV aggregate sales between 2016 and 2020 and new registrations in 2020 in Europe (EU 27, UK, Norway, and Switzerland).



IEA. All rights reserved.

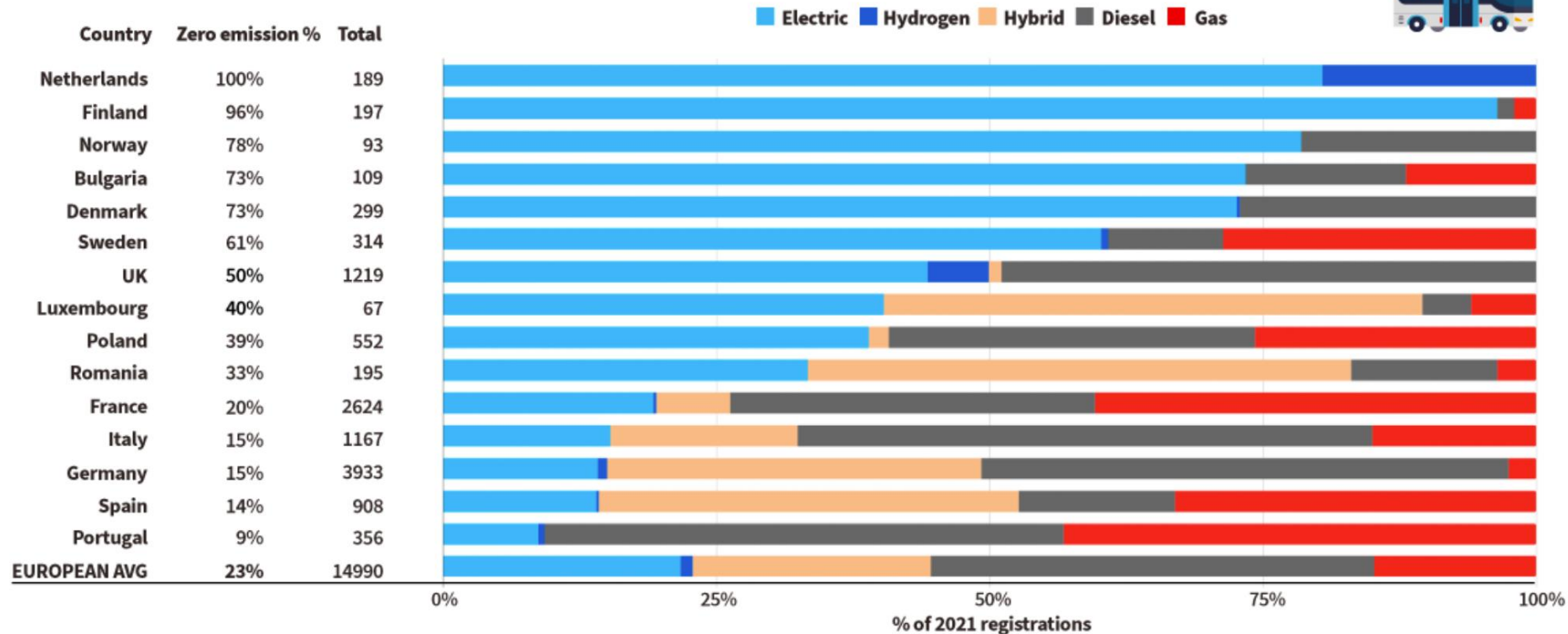
- Im Gegensatz zum Diesel-HDV-Markt ist der ZE-HDV-Markt in Europa vielfältiger, mit fast 10 OEMs die für 75% aller ZE-HDV-Zulassungen verantwortlich sind (Bemerkung: Streetscooter wurde von der Deutschen Post im Jahr 2022 verkauft).
- Stärke von aussereuropäischen Herstellern auf dem ZE-HDV-Busmarkt erwähnenswert.
- LKWs: Über 60 BEV-Modelle sind bis 2023 angekündigt. Busmarkt eher stagnierend.
- Erste Elektro-Lkw für den Fernverkehr mit einer Reichweite von 500 km ab 2024 auf dem Markt.

Quellen: ICCT 2021, IEA EV-Outlook 2021

# Aktuelle Situation ZE-Busse in Europa

## Zero emission urban buses: who's leading?

Top of the European league table

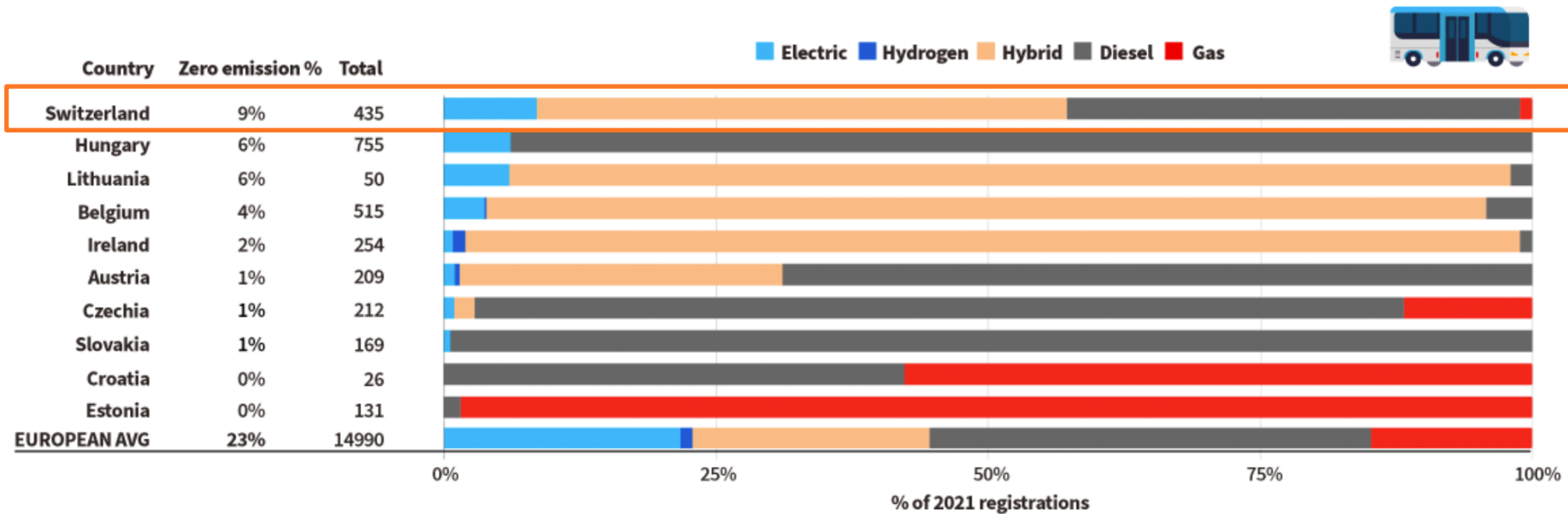


Scope: new urban buses registered in 2021 with GVW above 8t. Trolley buses are not included but make up a small amount of annual registrations (71 in 2021)  
Zero emission buses include battery electric ('electric' here) and hydrogen fuel cell ('hydrogen' here)

Source: Chatrou CME Solutions, 2021 market data

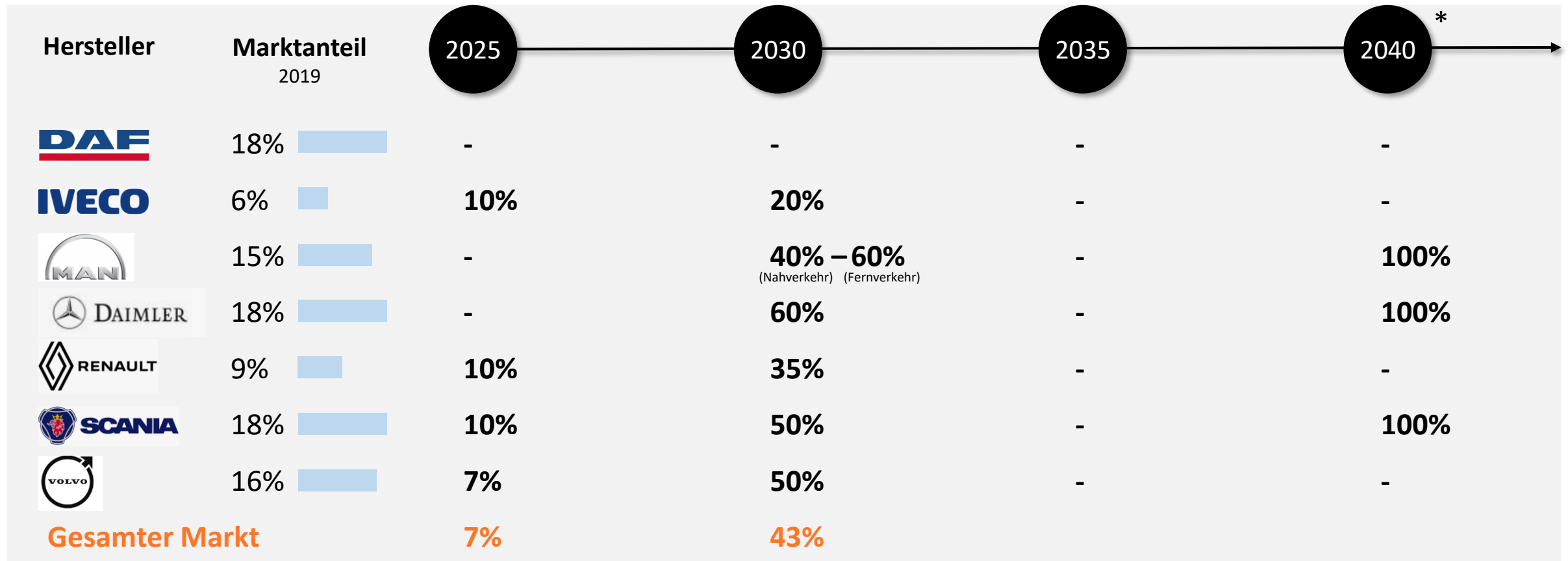
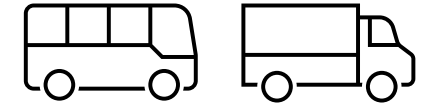
# Aktuelle Situation ZE-Busse in Europa

## Zero emission urban buses: who's falling behind? Bottom of the European league table



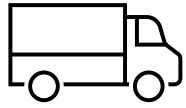
# Strategien der Fahrzeug-Hersteller

## Öffentliche Ankündigungen Verkaufsanteile ZE-HDV

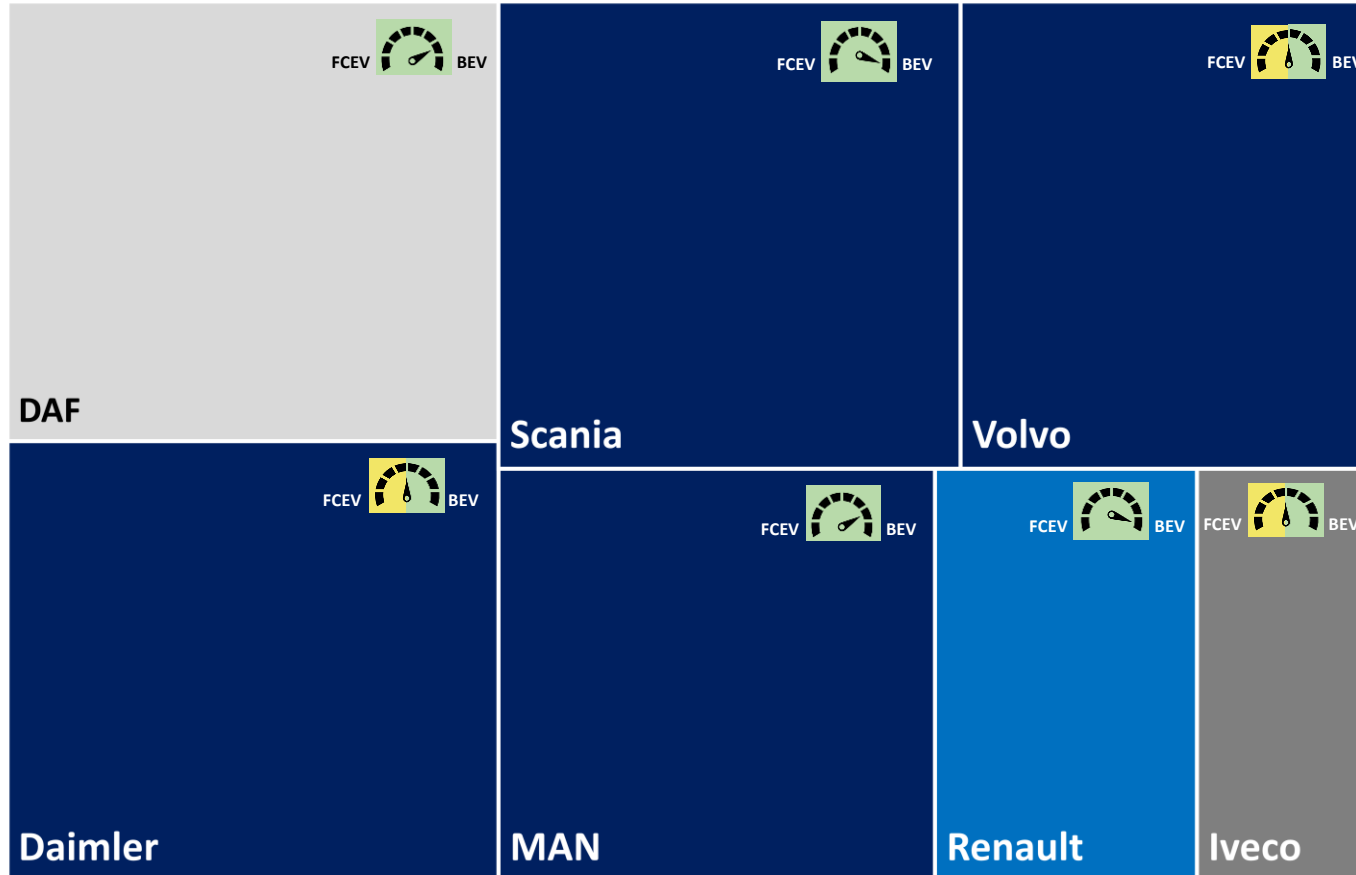


*\*Ankündigung der ACEA, dass alle neuen LKWs in der EU im Jahr 2040 fossilfrei sein sollen. Dies bedeutet jedoch keine Verpflichtung zur Abschaffung des Verbrennungsmotors.*

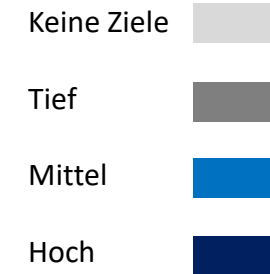
# Strategien der Fahrzeug-Hersteller



## LKWs – Technologie Claims



### Ambition Verkaufsanteile ZE-HDV



Die Größe der Boxen ist proportional zum Marktanteil in EU (Total 100%).

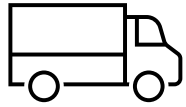
Fokus BEV

→ Marktanteil von rund **60%**

Fokus BEV + FCEV

→ Marktanteil von rund **40%**

# Strategien der Fahrzeug-Hersteller



## LKWs – Technologie Claims

### Hyundai Motor Group



Hyundai sieht die in Europa zuletzt vernachlässigte H2-FC Technologie als Türöffner in den europäischen Lastwagenmarkt. Im vergangenen Jahr lieferte Hyundai Motor mit dem XCIENT Fuel Cell den weltweit ersten in Serie gefertigten Brennstoffzellen-Elektro-Schwerlastwagen an Kunden in der Schweiz aus. (15.09.2021)

### Volvo



Die Volvo Group sieht Batteriebetriebene Elektrofahrzeuge als eine gute Lösung für den städtischen Lieferverkehr, Stadtbusse, regionale Transporte und ähnliche Aufgaben. Doch dort, wo schwerere Lasten befördert oder längere Strecken zurückgelegt werden müssen, setzen die Reichweite und das Eigengewicht der Batterien Grenzen. Hier dürften Wasserstoff-Brennstoffzellen eine interessante Alternative sein. (10.11.2021)

### MAN



Hat eine Zukunftsstrategie namens „NewMAN“, welche sich in punkto Technik auf Zero-Emission-Technologien konzentriert. Der Fokus ist dabei klar auf der batteriebetriebenen Elektromobilität mit Wasserstoff als Alternative. (20.09.2021)  
Die batterieelektrischen Antriebe bilden die Basis für die schweren E-Trucks ab 2024. Erst wenn weit nach 2030 ausreichend grüner H2 und die entsprechende Infrastruktur zur Verfügung stehen, rechnen sie mit dem Einsatz von H2-Lkw in ausgewählten Anwendungsbereichen. (18.02.22)

### Iveco & Nikola



Im Rahmen einer strategischen und exklusiven Partnerschaft mit Nikola entwickeln IVECO und die Nikola Corporation gemeinsam BEVs und wasserstoffbetriebene Brennstoffzellen-Elektrofahrzeuge (FCEVs), die in Europa von Iveco und in den USA von der Nikola Corporation hergestellt werden sollen. (23.11.2021)

### Framo - FES GmbH



Kapazitätserweiterung der Produktion auf 1000 elektrische Nutzfahrzeuge pro Jahr.  
Ankündigung „kritische Marktlücke“ des Fern- und Schwertransports mit H2-Truck schliessen zu wollen. (19.04.2021)

### Volta Trucks



Nach der neuen „Road to Zero Emissions“-Strategie will das Startup Volta Trucks 27.000 E-Trucks pro Jahr verkaufen. Bei der Vorstellung des Volta Zero im September 2020 hiess es noch, dass die Produktion im Jahr 2025 bei 5.000 Fahrzeugen liegen soll. Da der Auftragsbestand bereits im Januar bei 260 Millionen US-Dollar gelegen haben soll, hat Volta nach eigenen Angaben seine Pläne beschleunigt. (06.05.2021)

### Traton (Scania, MAN, Volkswagen Truck & Bus, Navistar, and RIO)

Die TRATON GRUPPE investiert bis 2026 rund 2,6 Milliarden Euro in die Forschung und Entwicklung von batterieelektrischen Antrieben (Batterie-Lastwagen auch im Fernverkehr). Das Unternehmen misst der Brennstoffzelle künftig nur in Nischenanwendungen Bedeutung bei und konzentriert sich mehr auf den reinen Batterieantrieb. (19.05.2022).

Die VW-Nutzfahrzeugholding Traton mit Lkw-Marken wie MAN und Scania setzt voll auf Batterie-Lastwagen auch im Fernverkehr. Dagegen wollen die Konkurrenten Daimler, Volvo und Iveco, der Gashersteller Linde und die Energiekonzerne Shell, OMV und Total dem Wasserstoff-Lkw europaweit zum Durchbruch verhelfen. (14.02.2022)



### Renault Trucks



Renault setzt bei neuen Stromern – ähnlich wie Volkswagen – in allen Segmenten auf standardisierte Batteriezellen, um die Kosten auf Pack-Ebene bis 2030 um 60 Prozent zu senken. (30.06.2021)

Zudem planen sie im Verteilerverkehr ab Frühjahr 2022 noch Batteriefahrzeuge anzubieten. Dies betrifft die Modelle D und D Wide, 16–26 Tonnen. (16.11.2021)

### Daimler Truck



Batterie- und Brennstoffzelle (Doppelstrategie). Je leichter die Ladung und je kürzer die Distanz, desto eher wird die Batterie zum Einsatz kommen. Je schwerer die Ladung und je länger die Distanz, desto eher wird die Brennstoffzelle das Mittel der Wahl sein. Bis Ende 2022 wollen wir in den Hauptabsatzregionen (Europa, USA und Japan) ein Angebot batterieelektrischer Serienfahrzeuge schaffen. In der zweiten Hälfte des Jahrzehnts wollen wir Serienfahrzeuge mit wasserstoffbasiertem Brennstoffzellenantrieb auf die Strasse bringen. (11.02.2022).

### DAF



DAF steht unter Paccar und produziert zur Zeit nur BEV, teils mit Antrieb von VDL. Neben den BEV, die sie bereits heute anbieten, und den Hybridfahrzeugen, die in der Entwicklung sind, könnte die Wasserstofftechnologie eine sehr interessante Option für die Zukunft werden. (17.11.2021)



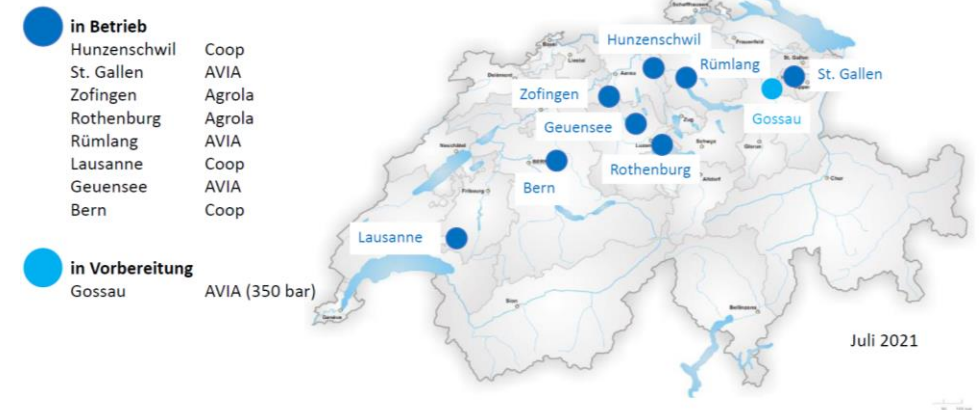
# Strategien der Fahrzeug-Hersteller

## CH – Stand Hyundai Projekt

- Bis 2025 ist der Aufbau der Fahrzeugflotte auf 1'600 Hyundai XCIENT Fuel Cell geplant.
- Nach der Vorstellung der ersten serienmässigen Brennstoffzellen-Nutzfahrzeuge (2019) enthüllte Hyundai im Mai 2021 die neusten Versionen.
- Coop, Migros, Traveco, Galliker Logistics, Camion Transport, F. Murpf AG and G. Leclerc Transport AG haben Bestellungen für den XCIENT getätigt.
- Stand Mitte 2021: 46 LKWs auf den Strassen, rund 1 Mio. km gefahren → **Zielerreichung 2025 fraglich**

**Demonstrator GoH!** Neues Projekt in der Romandie mit dem Ziel, die wirtschaftliche und technische Machbarkeit einer rein CH Wasserstoffindustrie zu demonstrieren (inkl. Entwicklung eines 40-Tonnen-LKWs)

H2 Tankstellen in der Schweiz  
350 bar & 700 bar



Quellen:

- <https://aktuell.hyundai.ch/wasserstoff-elektromobilitaet-in-der-schweiz-erfolgreich-unterwegs-hyundai-xcient-fuel-cell-trucks-erreichen-die-marke-von-einer-million-kilometer-ohne-co2-emissionen/>  
- Projekt GoH! | GOH!

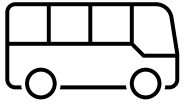
# Strategien der Fahrzeug-Hersteller

## Exkurs aussereuropäische Hersteller

- **Heutiger Stand:** Europäische Bushersteller liefern rund 75% der neuen Elektrobusse in Europa. BYD (China) machte im Jahr 2020 rund 12.5% der Zulassungen aus, dank dem Elektrobusmodell K9. Yutong (China) folgte mit einem Marktanteil von rund 4%.
- **Voraussetzung:** Service-Netz soll in der Schweiz vorhanden sein. Dieses K.o.-Kriterium schliesst kurz- bis mittelfristig die meisten aussereuropäischen Hersteller aus. Weitere Fragezeichen bestehen bzgl. Qualität bzw. Zuverlässigkeit.
- **Kleinräumiger CH-Markt:** Der Markt in der CH ist verzettelt und somit können aussereuropäische Hersteller ihre konkurrenzfähige Preise oft nicht anbieten (anders als z.B. in den Niederlanden).
- **Längerfristige Entwicklung:** Einige Anbieter werden sich in der EU durchsetzen bzw. etablieren, wobei die heute dominierenden EU-Hersteller auch längerfristig die Hauptrolle spielen werden.



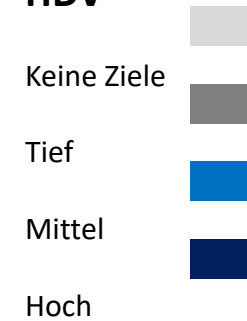
# Strategien der Fahrzeug-Hersteller



## Busse – Technologie Claims



### Ambition Verkaufsanteile ZE-HDV

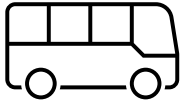


Die Grösse der Boxen ist proportional zum Marktanteil in EU (Total 100%).

Fokus BEV: Marktanteil von rund **28%**

Fokus BEV + FCEV: Marktanteil von rund **58%**

# Strategien der Fahrzeug-Hersteller



## Busse – Technologie Claims

### Hyundai Motor Group



Mit unserer führenden Brennstoffzellentechnologie demonstriert Hyundai Motor, wie serienmässig hergestellte Elec City Fuel Cell-Busse dazu beitragen können, die CO<sub>2</sub>-Emissionen zu reduzieren und gleichzeitig saubere Mobilität zu bieten. Die Durchführung dieser Betriebsversuche wird uns helfen, unsere Fahrzeuge weiterzuentwickeln, um die Anforderungen unserer europäischen Kunden zu erfüllen. (25.06.2021)

### Solaris (CAF-Gruppe)



Emissionsarme oder -freie Fahrzeuge 2018 im eigenen Unternehmen schon 36 Prozent aller abgewickelten Aufträge ausgemacht haben. Und: „Prognosen zufolge wird der Anteil emissionsarmer und -freier Stadtbusse am Stadtbusmarkt in den nächsten 10 Jahren auf 80 Prozent steigen, vor allem auf Kosten konventioneller Antriebe.“ Vor diesem Hintergrund sei geplant, in den kommenden Jahren mindestens die Hälfte der Produktionskapazitäten auf die Fertigung alternativ betriebener Busse auszurichten. Für das laufende Jahr plant Solaris derweil zwei Produktpremieren: So soll auf dem UITP-Weltkongress in Stockholm im Juni der Solaris Urbino 12 hydrogen vorgestellt werden, ein 12 Meter langer Elektrobus mit einer Wasserstoff-Brennstoffzelle als Range Extender. (08.03.2019)

### Volvo Group



Die Volvo Group sieht Batteriebetriebene Elektrofahrzeuge als eine gute Lösung für den städtischen Lieferverkehr, Stadtbusse, regionale Transporte und ähnliche Aufgaben. Doch dort, wo schwerere Lasten befördert oder längere Strecken zurückgelegt werden müssen, setzen die Reichweite und das Eigengewicht der Batterien Grenzen. Hier dürften Wasserstoff-Brennstoffzellen eine interessante Alternative sein. (10.11.2021)

### MAN



Hat eine Zukunftsstrategie namens „NewMAN“, welche sich in punkto Technik auf Zero-Emission-Technologien konzentriert. Der Fokus ist dabei klar auf der batteriebetriebenen Elektromobilität mit Wasserstoff als Alternative. (20.09.2021)

### ADL / BYD



Nach ADL / BYD könnte sich die Brennstoffzellentechnologie neben der Batterie speziell für Doppeldecker als praktikable und ergänzende Option erweisen. (09.11.2021)

### Traton (Scania, MAN, Volkswagen Truck & Bus, Navistar, und RIO)

Die TRATON GRUPPE investiert bis 2026 rund 2,6 Milliarden Euro in die Forschung und Entwicklung von batterieelektrischen Antrieben. Das Unternehmen misst der Brennstoffzelle künftig nur in Nischenanwendungen Bedeutung bei und konzentriert sich stärker auf den reinen Batterieantrieb. (19.05.2022)



### Iveco Bus (früher Irisbus, Teil von CHN Ind.)



Eine vollelektrische Iveco-Busreihe wird für 2023 erwartet (der Crossway-Elektrifizierungsplan wurde kürzlich vorgestellt). Im Jahr 2024 soll eine neue, vollelektrische und brennstoffzellenbetriebene schwere Baureihe entwickelt werden (einschliesslich einer eigenen Produktion von E-Achsen). (18.11.2021)

### Daimler Buses (inkl. Setra)



Daimler Buses bietet bis 2030 in jedem Segment CO<sub>2</sub>-neutrale Fahrzeuge an – Doppelstrategie auf Basis von Batterien und Wasserstoff. Bis 2030 sollen in allen Segmenten in Europa und Lateinamerika Fahrzeuge mit Akku- und Wasserstoff-Antrieb angeboten werden. Auch sollen 2030 nur noch Elektro-Stadtbusse angeboten werden. (02.05.2022)

### VDL



VDL Bus & Coach is fully engaged in the development of hydrogen fuel cell to increasingly shape the future of electric driving. By working with a modular concept, a module with an energy system of standard dimensions can be integrated into any vehicle. Precisely which energy system the module works on – battery technology or hydrogen – makes no difference to how the vehicle is built. (12.12.2021)

### Wrightbus



Wrightbus hat innerhalb von zwölf Monaten vier emissionsfreie Busse eingeführt (UK-Markt). Dazu gehören Doppeldecker und Eindecker – sowohl als BEV als auch als FCEV, wobei sich Wrightbus vor allem über die Wasserstoffbusse definiert. Sie sollten in diesem Markt als Start-Up im Auge behalten werden. (09.11.2021)

# Strategien der Fahrzeug-Hersteller

## Hochboden Busse – Stand der Dinge

- Zurzeit nur vereinzelte ZE-Hochboden Busse Cars auf dem Markt
- **MAN** bietet künftig ein Elektrobus-Chassis für den Weltmarkt an, inkl. Anwendung Intercity-Bus
- **Yutong Tce12**: Elektro-Reisebus, Batterie mit 280 kWh und Reichweite von rund 200 Meilen
- **Motor Coach Industries (MCI)**: Elektroversion von J4500, Reichweite von über 200 Meilen
- **FlixBus**: Einführung von H<sub>2</sub>-Bussen wird vorbereitet (in Kollaboration mit Freudenberg Sealing Technologies).
- **H2X**, australisches Unternehmen: Absichtserklärung mit Stadt Trelleborg, um **H<sub>2</sub>-Hochflurbusse** zu entwickeln.

05.04.21  
In The News

**MCI unveils its first battery-electric zero-emission luxury coach in the North American market**

Published by BUS Ride



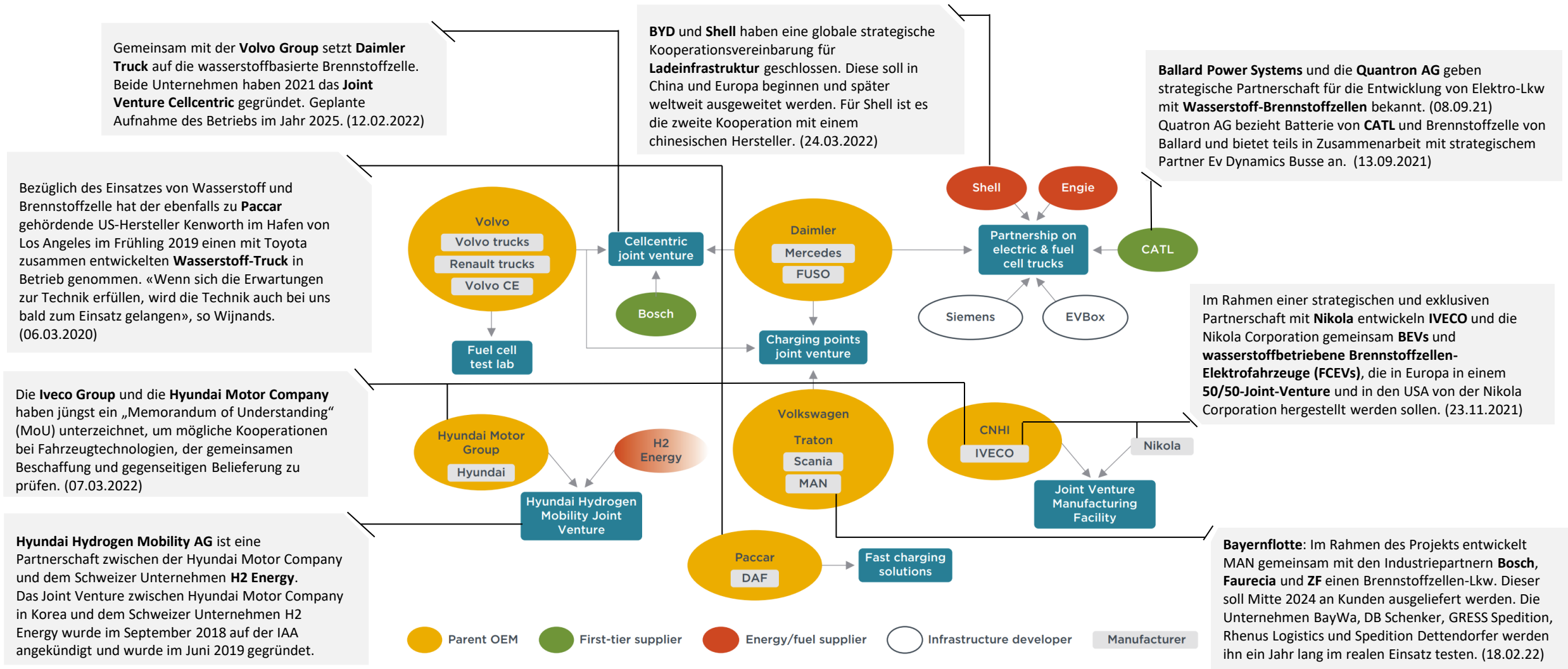
Quellen:

- <https://www.sustainable-bus.com/news/flixbus-is-preparing-to-introduce-hydrogen-buses-a-cooperation-with-freudenberg-starting/>
- <https://www.electrichybridvehicletechnology.com/news/fuel-cell-technology/first-of-its-kind-hydrogen-bus-being-developed-for-sweden.html>
- <https://www.mcicoach.com/mci-unveils-its-first-battery-electric-zero-emission-luxury-coach-in-the-north-american-market/>
- <https://www.focustransport.org/2020/08/yutong-tce12-zero-emission-electric.html>
- <https://www.electrive.net/2022/06/09/man-bringt-e-bus-chassis-fuer-den-weltmarkt/>

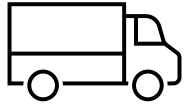


# Kooperationen und Entwicklungspläne von Herstellern in EU

## Allianzen treiben die Technologieentwicklung voran



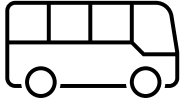
# Strategien der Fahrzeug-Hersteller



## LKWs – Fazit

- **Nahverkehr:** Konsens zwischen Hersteller, BEV dominante Antriebstechnologie
- Die europäischen Hersteller **sind sich uneinig** über den technologischen Weg für **Langstrecken LKWs:**
  - Die **Traton Gruppe** (grösste Hersteller von LKWs) sieht für FCEV-HDVs **keine Zukunft**. BEV sind aus technischer und wirtschaftlicher Sicht die beste Alternative.
  - Anderen OEMs in Europa (insb. **Daimler, Volvo und Iveco**) erforschen **sowohl BEV als auch FCEV LKWs-Modelle**. Joint Venture (**Cellcentric**) zw. Daimler und Volvo für die Produktion von Brennstoffzellen.
- Bei allen Herstellern, die FCEV anbieten, sind auch BEV ein Thema. Für Designwerk (Futuricum), Quantron AG und Tesla Motors gibt es keine Pläne Richtung FCEV.
- Grundsätzlich zunehmender **Konsens** zwischen Herstellern und der Industrie, dass BEVs eine dominierende Rolle **auch im Fernverkehr** spielen werden.
- Die ersten Elektro-Lkw für den Fernverkehr mit einer **Reichweite von 500 km** werden im Jahr 2024 auf den Markt kommen, wie von MAN, Scania und Daimler angekündigt.

# Strategien der Fahrzeug-Hersteller



## Busse – Fazit

- Alle Hersteller verkaufen **BEV in Serie**, die meisten Hersteller haben **eine FCEV Linie**. Zurzeit gibt es noch **keine** markreifen, emissionsfreien **Reisebusse**.
- **Daimler, VDL und Iveco** fahren explizit eine **Doppelstrategie**, die die Produktion von BEV und FCEV Busse vorsieht. Daimler wird ab 2030 nur noch Elektro-Stadtbusse anbieten (BEV oder FCEV).
- **Traton** (u.a. Scania und MAN) setzen voll auf die Elektrifizierung mit BEV-Bussen.
- **Van Hool** ist der wichtigste Akteur in Europa für FCEV, vor allem in den Niederlanden und Deutschland, wo in den letzten zwei Jahren mehr als 30 Wasserstoffbusse verkauft wurden.
- Etwa **98%** der in den letzten zwei Jahren **neu zugelassenen emissionsfreien Busse** in Europa waren BEV. FCEV sind weniger energieeffizient und werden voraussichtlich **eine untergeordnete Rolle** spielen.



# Quellen

## Grundlagen

- Öffentliche Ankündigungen von Herstellern in Medien, auf deren Website bzw. in Industriereports
- ICCT 2021: Race to Zero, How manufacturers are positioned for zero-emission commercial trucks and buses in Europe
- ICCT 2022: The CO<sub>2</sub> Standards Required for Trucks and Buses for Europe to Meet its Climate Targets, März 2022
- IEA 2021: Global EV Outlook 2021
- IEA 2022: Global EV Outlook 2022
- T&E 2021: Easy Ride: why the EU truck CO2 targets are unfit for the 2020s
- T&E 2022: Why long-haul trucks can be battery electric, Factsheet

## Interviews

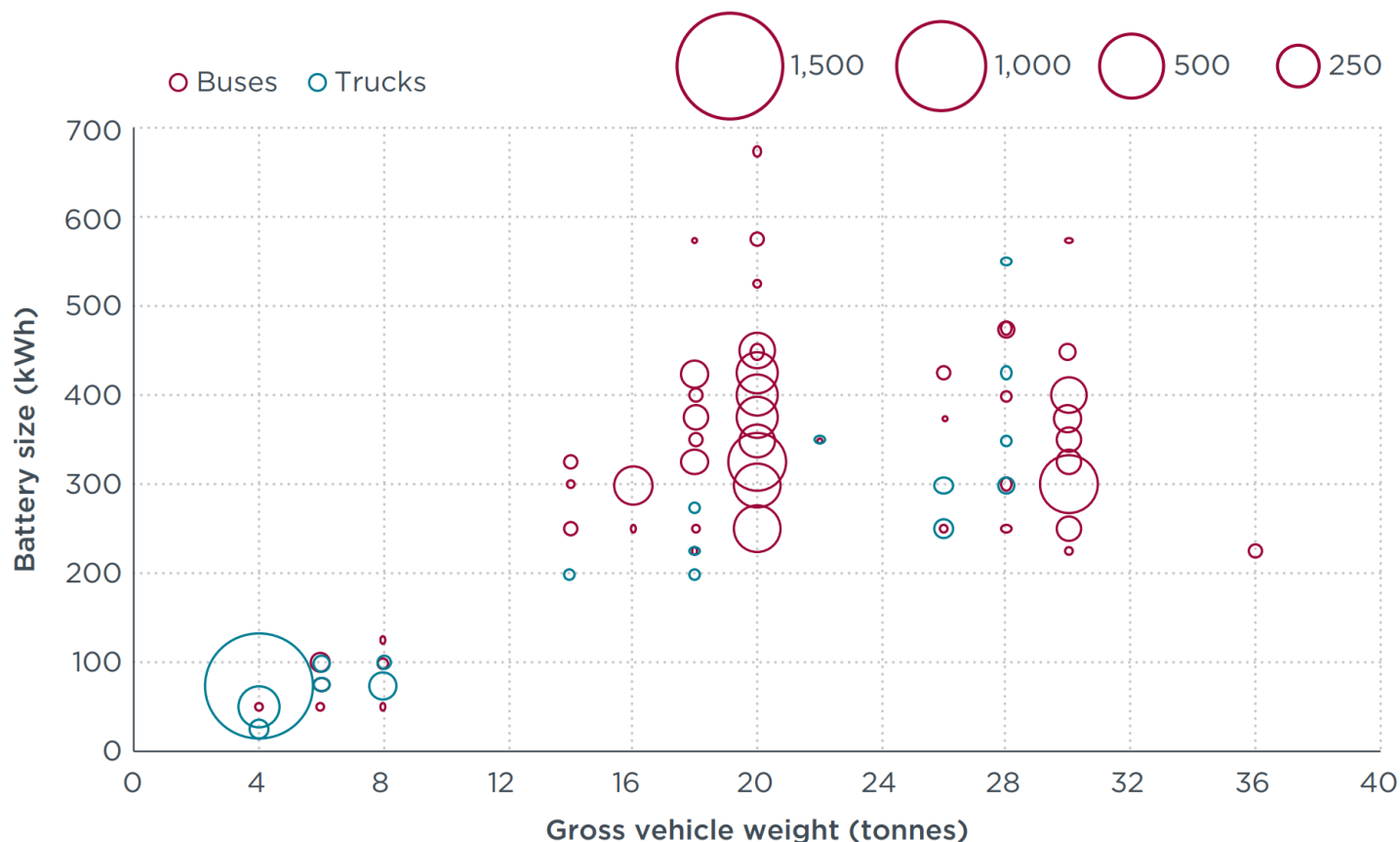
- Stefan Würms, MAN, Leiter Verkauf Bus
- Michael Wanitschek, MAN, Leiter Verkauf Lkw

Technologie-Roadmap für alternative Antriebstechnologien

## 3. Entwicklung der Technologien

# Überblick Markt heute

## ZE-HDV Modelle in Europa (Gewicht vs. Batteriekapazität)

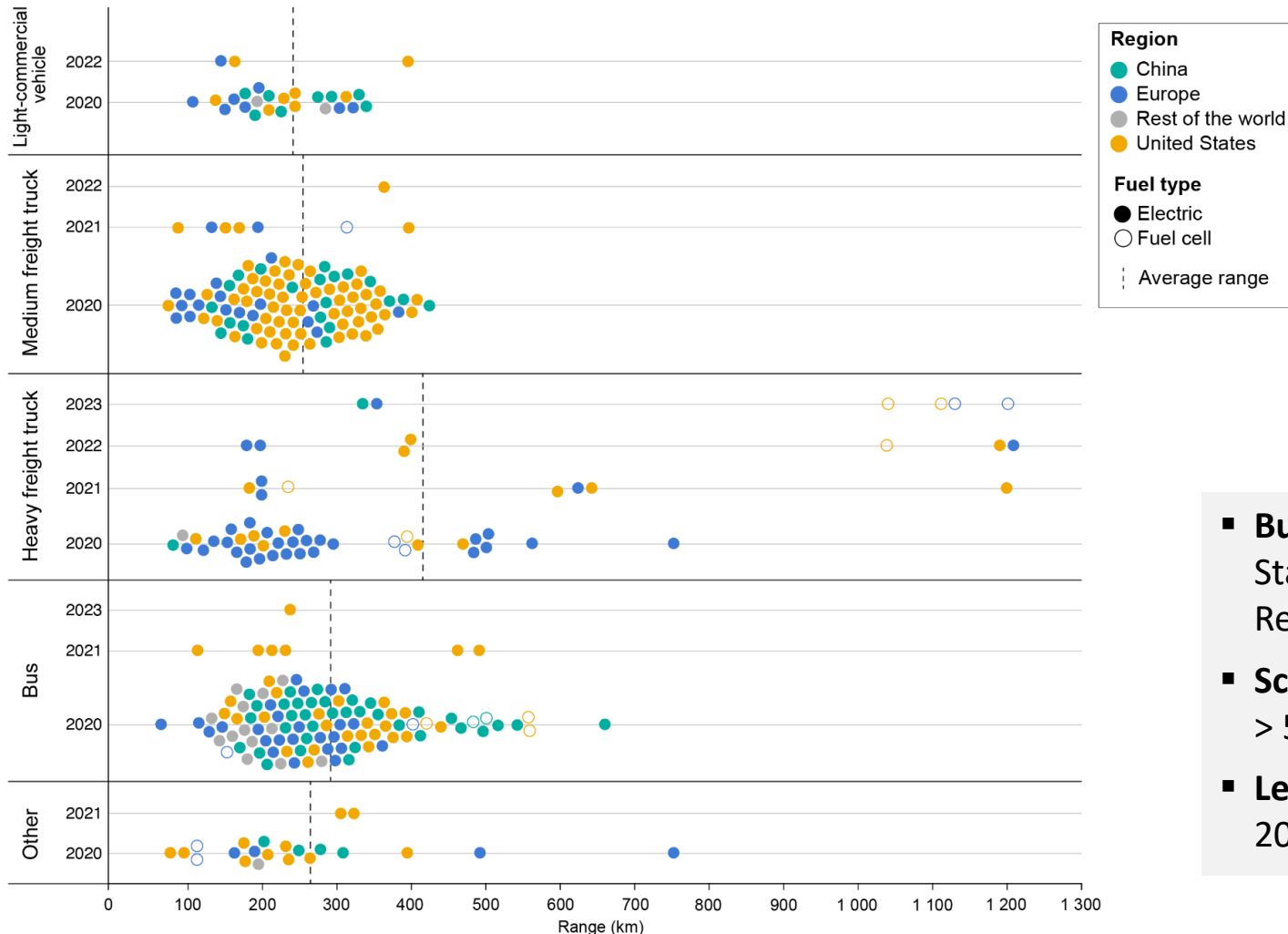


**Figure 10.** Distribution of electric buses and trucks battery as function of gross vehicle weight based on aggregate sales between 2016 and 2020 in Europe (EU 27, UK, Norway, and Switzerland) Resolution: 2 tonnes - 25 kWh.

- Batteriegröße für E-Busse von 60–680 kWh, je Anwendung und Ladeinfrastruktur.
- **Standardbusse** (12 m, 20t, >50% der gesamten ZE- Busverkäufe 2016–2020) v.a. mit 250–500 kWh Batterien (reale Reichweite 90–200 km).
- **Gelenkbusse** (18m, rund 30t) mit Batteriegrößen von 200–400 kWh. Höherer Energieverbrauch → häufiger aufladen mit einer Leistung von 350 kW.
- **Schwerere Lkw** (>26t) mit größeren Batterien von 250–500 kWh ausgestattet (Depotladung im Vordergrund v.a. wegen derzeit fehlende öff. Ladeinfrastruktur).
- **Leichtere Lkw** (bis 7t) mit Batterien von rund 100 kWh ausgestattet.

# Überblick Markt morgen

## Aktuelle und angekündigte Modelle



Jun 20, 2022 | Stuttgart



11.06.2022

Scania präsentiert Elektro-Lkw für den nationalen Fernverkehr



Scania bietet Kunden von nun an jedes Jahr neue elektrische Modelle an. Zu den Fahrzeugen für den innerstädtischen Lieferverkehr kommen jetzt batterieelektrische Lkw für den regionalen Transport hinzu. Die neue Modellreihe mit einer Batteriekapazität von 624 kWh ist mit R- oder S-Fahrerhäusern erhältlich.

- **Busse:** Zahlreiche neue Modelle im Jahr 2020. Gewisse Stagnation in EU bis 2023. Diverse Modelle mit Reichweiten > 400 km.
- **Schwerere Lkw (>12t):** Diverse angekündigte Modelle mit > 500 km Reichweite (BEV und FCEV, v.a. USA und EU)
- **Leichtere Lkw (bis 12t):** Zahlreiche neue Modelle im Jahr 2020.

Quellen:

- IEA 2021
- <https://globaldrivetozero.org/tools/zero-emission-technology-inventory/>

# Hochleistungsladen im Lkw-Fernverkehr

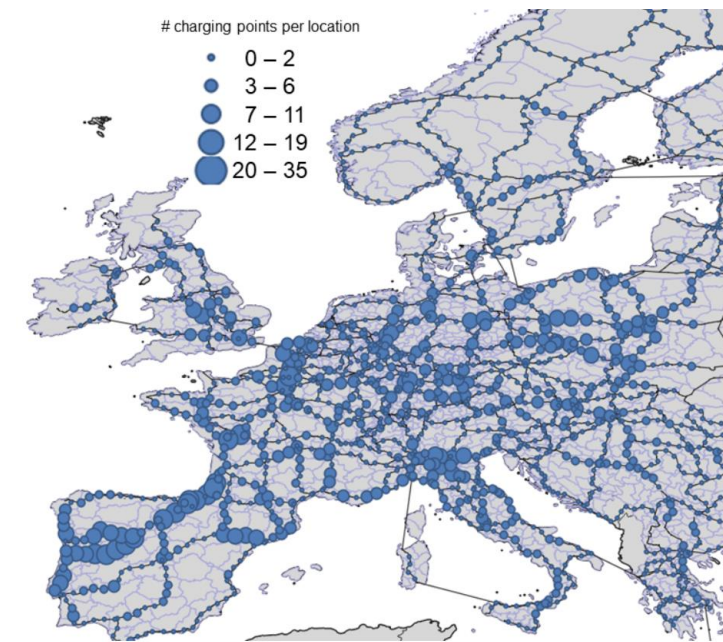
## Megawatt-Ladenetz in Europa

### Ausgangslage

- Aufladen von 400 km in 45 Min → Ladeleistung von 800 kW benötigt
- Derzeitiger Schnellladestandard (Combined Charging System– CCS) erlaubt bis zu 350 kW

### Megawatt-Laden

- Neuer Standard für MW-Ladesysteme wird entwickelt (Ladeleistung von über 1 MW)
- Spezifikationen dafür für Ende 2022 erwartet, die endgültige Norm soll 2023 vorliegen.
- Alle LKW-Hersteller drängen auf den **Aufbau eines Megawatt-Ladenetzes** in Europa  
(siehe ACEA *Position paper – Proposal for the Alternative Fuels Infrastructure Regulation*)
- **Entwurf EU-Kommission:** Hochleistungsladestationen alle 50 km und alle 150 km Wasserstofftankstellen entlang des Hauptverkehrsstrassennetzes.  
→ *Fokussierung auf eine Technologie sinnvoll*



**Oberleitungen**, bei denen LKW während der Fahrt auf der Autobahn aufgeladen werden, werden ebenfalls auf öffentlichen Strassen in Europa erprobt.

Quellen:

- <https://www.isi.fraunhofer.de/de/blog/2022/status-quo-und-zukunft-h2-Verkehrssektor.html>
- <https://www.acea.auto/publication/position-paper-proposal-alternative-fuels-infrastructure-regulation-afir/>
- Plötz et al. (2019), Plötz et al. (2021), European Commission 2021

# Hochleistungsladen im Lkw-Fernverkehr

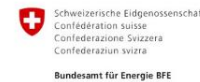
## Megawatt-Projekt in der Schweiz

Das BFE unterstützt ein Projekt von **Designwerk** zum Thema Mega-Watt-Ladung für LKWs

- Ziel: 80% SoC in 45 Minuten
- Einsatz von Second-life Batterien für Peak shaving
- DC Ladestation mit 1.5 bis 2.1 MW
- Stationäre-Batterie mit 1.8 MWh
- Zeithorizont: 2022 bis Ende 2023



## MEGAWATT-CHARGER PROJECT PARTNER



Quellen: Designwert, BFE, BAV



# Hochleistungsladen im Lkw-Fernverkehr

## Megawatt-Ladenetz in Europa

### Weltweit erste Megawatt-Laden-Projekt in Deutschland

- Aufbau von Hochleistungsladepunkten mit **Megawatt Charging Systems** (MCS,  $\geq 1$  MW) im realen Logistikbetrieb (Autobahn / Logistikzentren) mit 20 Partner aus Industrie und Wissenschaft.
- **Kooperation MAN / ABB:** ABB will die MCS-Ladetechnologie in den nächsten 3 Jahren zur **Marktreife** bringen.
- Mögliche Tagesreichweiten von **600-800 km** für BEV-LKWs.
- Das HoLa-Projekt soll Basis für einen **flächendeckenden Ausbau** sein.
- Auswirkungen auf die Netze: für den Netzausbau sind erhebliche Investitionen nötig (Lösungsansätze mit stationären Batterien denkbar)
- Für die Einführung der MCS ist ein verbindlicher und **einheitlicher Standard** zentral.



Quellen:

- [HoLa \(hochleistungsladen-lkw.de\)](https://hochleistungsladen-lkw.de)
- <https://www.tir-transnews.ch/man-elektro-lkw-ist-ab-2024-bereit-fuer-megawatt-laden/>

# Hochleistungsladen im Lkw-Fernverkehr

## Megawatt-Ladenetz in Europa

- **CHAdeMO-Verband und China Electricity Council:** Entwicklung des Standards „ChaoJi“ für das Laden bis **900 kW**. Eine Version bis **1.8 MW** – „Ultra ChaoJi“ – ist in Entwicklung.
- **CharIN-Initiative:** Gründung **Megawatt Charging System Taskforce**, Entwicklung bis 2023 eines Standards für das Aufladen von SNF (1 MW) mit **Combined Charging System (CCS)**.
- Tesla (Ende 2020): Zusammenarbeit mit Drittanbietern, um einen Standard für **Megacharger** zu entwickeln (für Semi-LKWs)
- Regionale Bemühungen für Entwicklung einer Megacharging-Infrastruktur:
  - **Traton Group:** Joint Venture mit Industriepartnern für Aufbau eines öffentlichen Hochleistungsladenetzes mit europaweit mindestens 1'700 Ökostrom-Ladepunkten
  - **Iberdrola:** Installation Megacharger-Infrastruktur in den SNF-Korridoren in Spanien bis 2025
  - **ElaadNL:** frei zugängliches Megacharger-Testzentrum für Unternehmen und Hochschulen
  - **West Coast Clean Transit Corridor Initiative** → Installation bis 2030 von Ladestationen mit 2 MW entlang Transitkorridoren von Mexiko bis zur Kanada





# Batterietausch bei Bussen und Lkw?

- **Batterietausch bei BEV-PW** wurde in den Zehnerjahren von „Better Place“ und von Tesla propagiert. Konnte sich aber im Westen nicht durchsetzen.
- In **China** gibt es inzwischen **mehrere tausend Batterietauschstationen** für PW und rund **45% der in 2022 neu zugelassenen BEV-SNF in China nutzen Batterietauschtechnologien**.
- In Europa ist Batterietausch bei SNF (noch) kein Thema.
- Batterietausch könnte die Leistungsspitzen deutlich reduzieren und so Kosten sparen. Benötigt jedoch hohe Standardisierung



Quellen: IEA 2021

# Wasserstoffnetz im Lkw-Fernverkehr

## Tankstellennetz in Europa

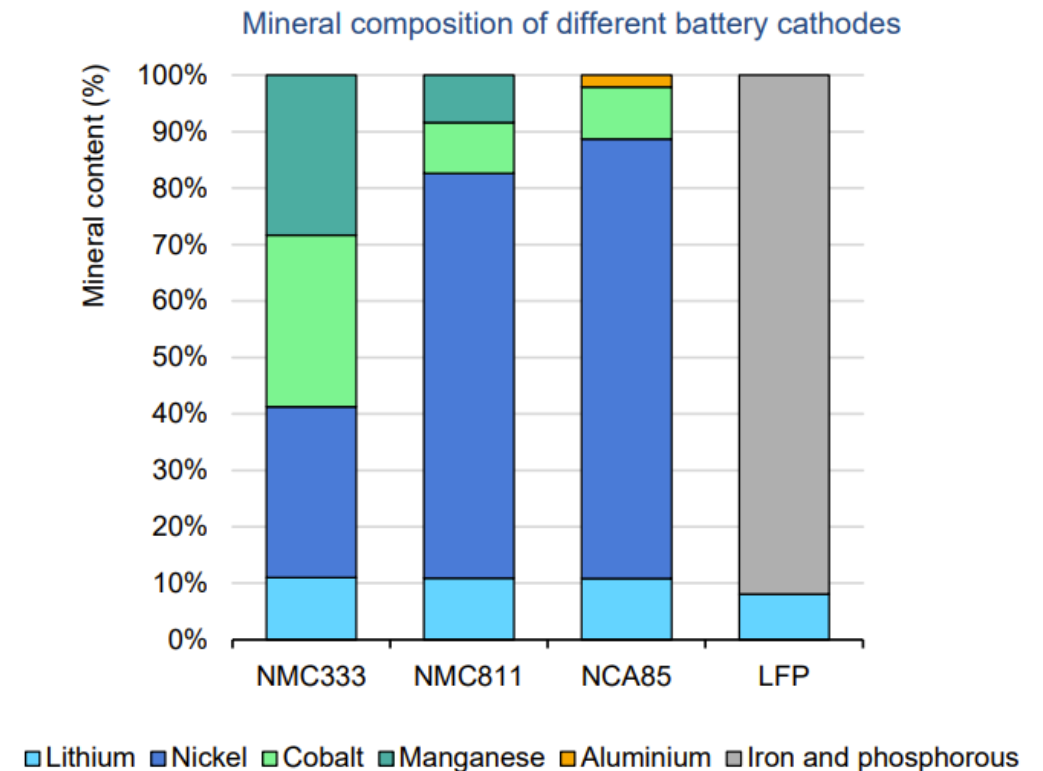
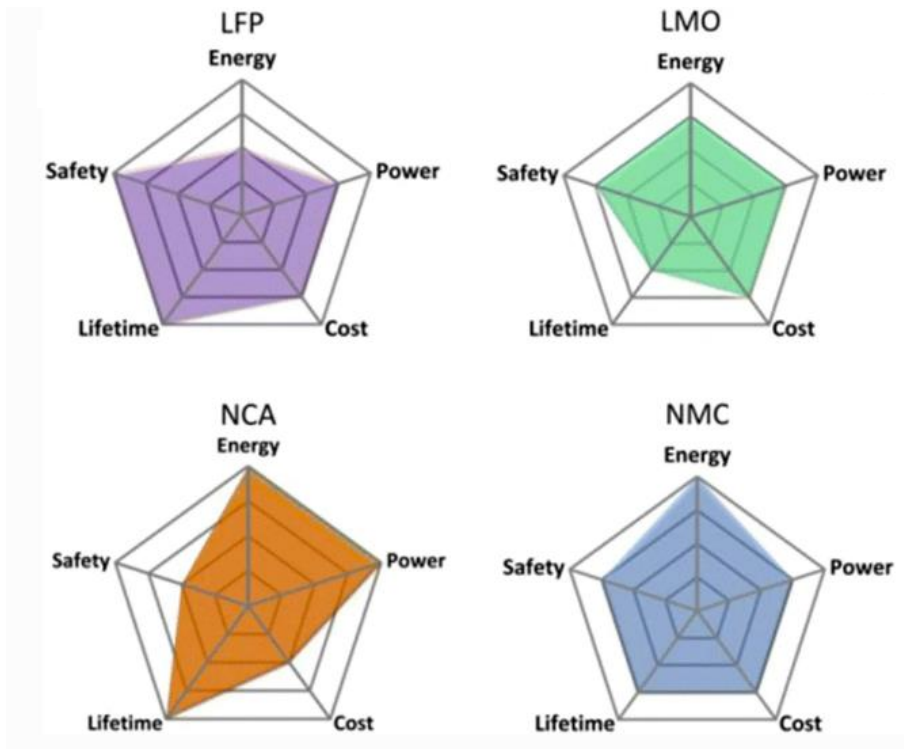
- **H2 Energy und Trafigura** haben im 2021 bekannt gegeben, dass sie künftig gemeinsam das Wasserstoff-Ökosystem in Europa vorantreiben. Trafigura, einer der weltgrössten Händler fossiler Rohstoffe, hat sich mit 62 Mio. Dollar beteiligt.
- **Grüner Wasserstoff aus Dänemark für Tankstellen in Deutschland:** H2 Energy Europe und OGE haben Bündnis für CO2-freien Kraftstoff geschlossen (19. Mai 2022).
- **Phillips 66 und H2 Energy Europe** entwickeln Wasserstofftankstellennetz in Deutschland, Österreich und Dänemark (08. Februar 2022).



# Überblick Batterie-Technologien

## Überblick Batterie-Technologien

- Überblick über die verschiedenen Lithium-Ionen-Chemien, die für Anwendung in HDV zur Verfügung stehen, mit einer Bewertung mehrerer wichtiger Leistungsindikatoren.



# Überblick Batterie-Technologien

## Lithium-Nickel-Mangan-Kobalt-Oxid (NMC)

### Key Players



- Beliebteste Li-Ionen-Kathoden, wird in rund **28%** der weltweit verkauften E-Fahrzeuge eingesetzt. Marktanteil wird bis 2027 voraussichtlich auf **63%** steigen (Boukhalfa & Ravichandran, 2020).
- Verwendung von **nickelreichen Kathoden** (z.B. NMC-532, NMC-622, NMC-811) erhöht Energiedichte und reduziert Menge des kostspieligen Kobalts. Allerdings kann sich negativ auf die **Lebensdauer** auswirken (Julien & Mauger, 2020).
- **Aktuelle NMC-Zellen:** Energiedichten von **250 Wh/kg**, Steigerung auf **300 Wh/kg** in den nächsten Jahren. Batteriezellen aus einer NMC-Kathode in Kombination mit Graphitanode können Energiedichten bis **350 Wh/kg** erreichen. (Ding et al., 2019)
- **Verbesserungen an der Anode** (Zugabe von Silizium, Verwendung von Lithiummetall, Verwendung von Festkörperelektrolyten) können die Energiedichte von Batteriezellen deutlich erhöhen und Energiedichten von über **400 Wh/kg** erreichen. (Lu et al., 2019)

# Überblick Batterie-Technologien

## Lithium-Nickel-Mangan-Kobalt-Oxid (NMC)

### Key Players



- NMC-Zellen weisen eine gute **Zykluslebensdauer** auf (Miao et al., 2019) und übertreffen **2.000 Zyklen** bei einer Ladekapazität **von 80%**. (Preger et al., 2020)
- Die **Kosten** von NMC-Zellen hängen von der Zusammensetzung der Zellen ab, vor allem von den hohen Kosten für Kobalt. Die Kosten für NMC-Zellen liegen je nach Zusammensetzung zwischen **70 \$/kWh und 90 \$/ kWh**. (Wentker et al. 2019)
- Die meisten Hersteller – **Daimler, MAN, Volvo, Renault und E-Force** – verwenden NMC-Zellen in diversen Fahrzeugen ihres Portfolios. MAN wird künftig nur auf NMC setzen.

# Überblick Batterie-Technologien

## Lithium-Nickel-Kobalt-Aluminiumoxid (NCA)



- NCA ähnelt den NMC-Zellen in Bezug auf die Energiedichte und Haltbarkeit. (Boukhalfa & Ravichandran, 2020)
- Zellen mit NCA-Chemie haben eine typische **Energiedichte von über 200 Wh/kg** und werden wie NMC-Zellen in den kommenden Jahren **300 Wh/kg** erreichen. (Ding et al., 2019)
- Bislang ist **Tesla** der einzige Fahrzeughersteller, der NCA-Zellen für seine Batterien einsetzt.
- Es ist jedoch noch nicht bekannt, ob Tesla die gleiche Batteriechemie auch für seinen **Tesla Semi** verwenden wird, oder ob stattdessen NMC-Zellen zum Einsatz kommen werden.
- Die **Kosten** für typische NCA-Zellen sind mit **70 \$/kWh-80 \$/kWh** vergleichbar mit denen von NMC-Zellen. (Wentker et al., 2019)
- Es ist erwähnenswert, dass alle betrachteten Batterietypen ein ähnliches Verhältnis von **Pack-zu-Zelle-Kosten von 2.4-2.6** aufweisen. (Basma et al. 2021)



# Überblick Batterie-Technologien

## Lithiumeisenphosphat (LFP)



- LFP ist eine weitere **weit verbreitete Li-Ionen-Kathodenchemie** für E-Fahrzeuge.
- Batterien mit LFP-Chemie bieten eine **geringere Energiedichte** als NMC- und NCA-Chemie, bieten aber eine **höhere Zyklenlebensdauer von über 2'500 Zyklen** im Vergleich zu etwa 1'000-1'500 Zyklen für die NCA- und 2'000 Zyklen für die NMC-Batterie Zelle. (Preger et al., 2020)
- Die höhere Lebensdauer der LFP-Batteriezellen ermöglicht **Lade- und Entladeraten**, die 30% höher sind als bei NMC- und NCA-Batteriezellen. (Battery University, 2021)
- LFP-Batterien haben einen **erheblichen Kostenvorteil**, da sie kein Kobalt enthalten (Wentker et al., 2019)
- LFP-Batterien haben zwar eine geringere Energiedichte auf Zellebene, aber sie erfordern dank ihrer **höheren Widerstandsfähigkeit** gegen thermisches Durchgehen eine **weniger komplexe Integration in Packs**. Dies wiederum erhöht das gravimetrische Zell-Pack-Verhältnis (GCTPR) von LFP-Batterien auf 80%-90%, verglichen mit 55%-65% bei nickelbasierten Batterien. (X.-G. Yang et al., 2021)

# Überblick Batterie-Technologien

## Lithiumeisenphosphat (LFP)



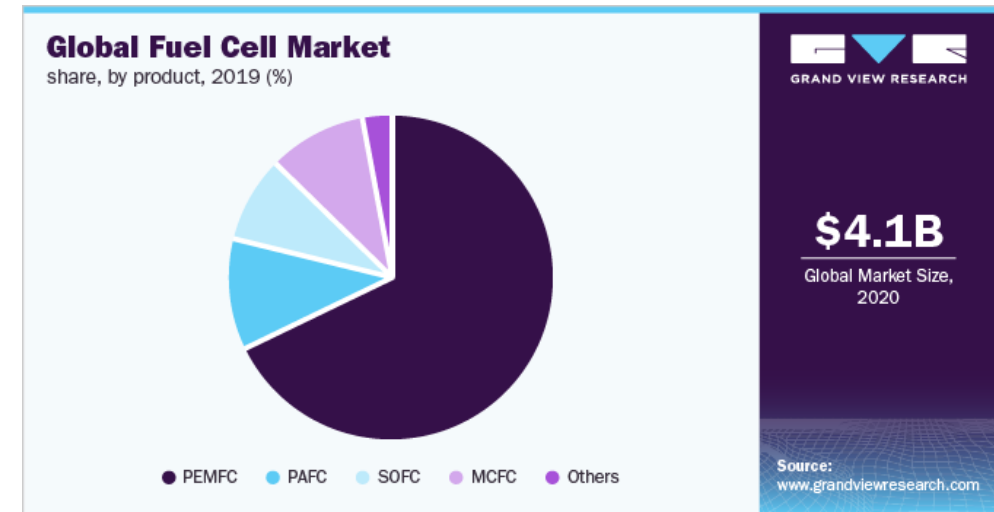
- Trotz Einschränkungen bei der Energiedichte der Zellen gab es **in letzter Zeit Fortschritte bei LFP-Batterien**. (Basma et al. 2021)
- Der chinesische Batteriehersteller **CATL** hat Pionierarbeit bei der Herstellung von Zellen Herstellungsmethode, die zu einer **Energiedichte von 160 Wh/kg** auf Pack-Ebene und hat es geschafft, die Kosten auf Zellebene unter 60 \$/kWh zu senken. (Manthey, 2020)
- Ein weiterer chinesischer Batteriehersteller, **Guoxuan**, hat eine Energiedichte von 212 Wh/kg LFP-Zelle Dichte erreicht und will bis Ende 2022 **260 Wh/kg** erreichen. (Kane, 2021)
- Vor allem chinesische Bushersteller verwenden LFP-Batterien in **Depotlader**. Europäische Hersteller wie **VDL** und **DAF** verwenden ebenfalls LFP-Batterien in ihren Produkten.
- Kürzlich haben grosse Hersteller wie Tesla und Volkswagen die **Umstellung auf LFP-Chemie** angekündigt (E-Fahrzeuge). Fast die Hälfte aller Tesla EVs, die im ersten Quartal 2022 produziert wurden, verwendet LFP. (IEA 2022)



# Entwicklung Brennstoffzellen

## Überblick Brennstoffzellen-Typen

- Die im Fahrzeugbereich am häufigsten verwendeten Brennstoffzellen-Module sind «polymer electrolyte membrane fuel cell» (**PEMFC**)
- Typische elektrische **Leistung** für SNF zwischen **60–180 kW** (entspricht durchschn. benötigte Leistung von einem SNF).
- Gewicht der Module liegt zwischen ca. **250–400 kg**.
- Vor wenigen Jahren kosteten die Module rund 600'000 Euro. Heute liegen sie gemäss Angaben von Ballard bei **200'000–300'000 Euro**.  
Ziel von Ballard: noch einmal Halbierung der Kosten.
- Die **Lebensdauer** von Brennstoffzellen-Modulen liegt heute im Bereich von typischen Batterielebensdauern.



→ *Entspricht Batterie von 3'125 kWh*

# Entwicklung Brennstoffzellen

## Grösste OEM-Hersteller von Brennstoffzellen

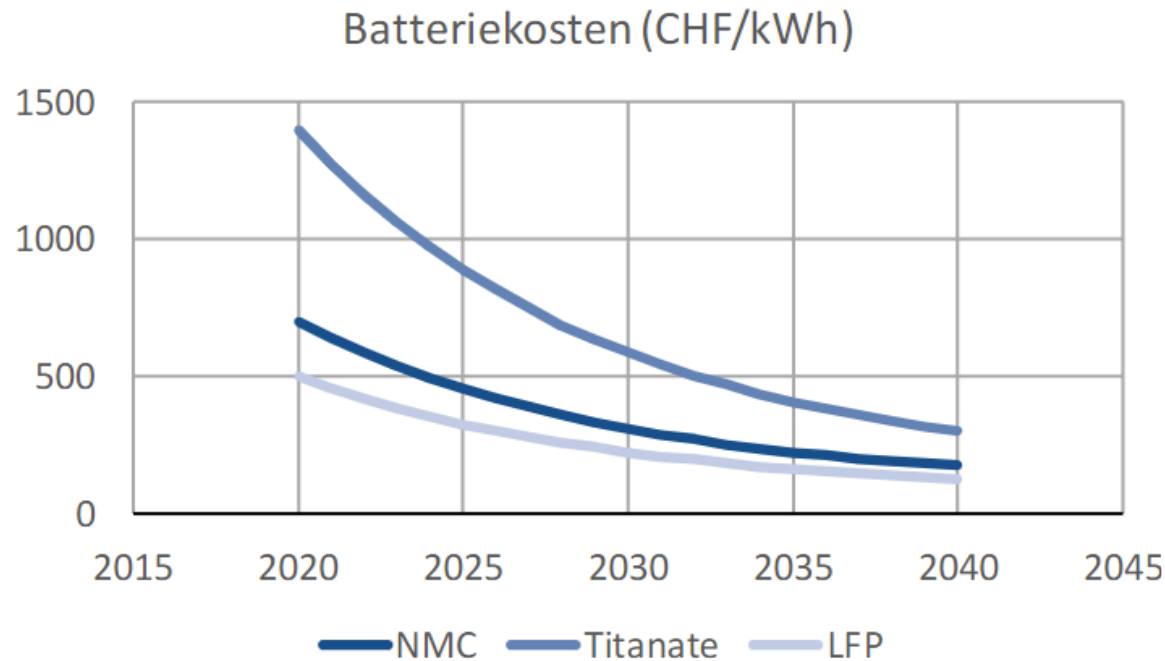
- Der Markt für Brennstoffzellen in der Automobilindustrie wird auf rund 14'000 Einheiten im Jahr 2020 geschätzt und soll bis 2028 > **900'000** Einheiten erreichen.
- → *Vergleich mit Batterien (2021):*
  - 16.5 Mio Pkw
  - 0.74 Mio. SNF
- Daimler und Volvo: joint Venture Cellcentric soll grösster FC produzent in Europa werden. Produktionsstart in 2025; Serienproduktion bis 2030

Hersteller	Land	Bemerkungen, Brennstoffzellen-Typ
Hyundai Fuel Cell	Südkorea	Weltweit führend in der Entwicklung der H2-Brennstoffzellentechnologie. Fokus PEMFC
Doosan Fuel Cell	Südkorea	Fokus PAFC
Horizon Fuel Cell	Singapur	Fokus PEMFC, Verwendung in Lkws und Busse
Ballard Fuel Cell	Canada	Seit 1979. Fokus PEMFC
Nuvera Fuel Cell	USA	In 80 Ländern mit rund 66.000 Mitarbeiter.
Air Liquide Fuel Cell	Frankreich	
Hydrogenics Fuel Cell	Canada	
Intelligent Energy Fuel Cell	UK	Fokus PEMFC
PowerCell Fuel Cell	Schweden	Brennstoffzellen für die schw. Autoindustrie hergestellt.
Nedstack Fuel Cell	Niederlande	Fokus PEMFC
Proton Motor Fuel Cell	Deutschland	Fokus PEMFC
Plug Fuel Cell	USA	
ITM Fuel Cell	UK	Fokus PEMFC

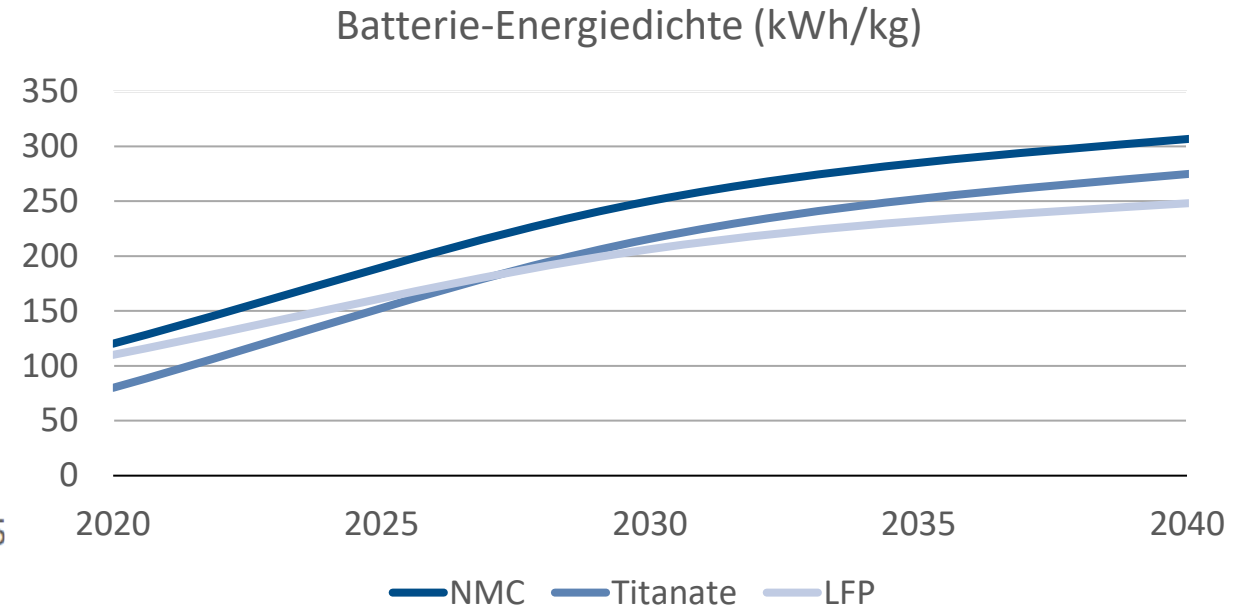
Quellen:

- <https://mzwmotor.com/fuel-cell-manufacturers/>
- <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/automotive-fuel-cell-market-14859789.html>
- IEA 2022

# INFRAS-Prognosen Entwicklung Batterien



Grafik: INFRAS

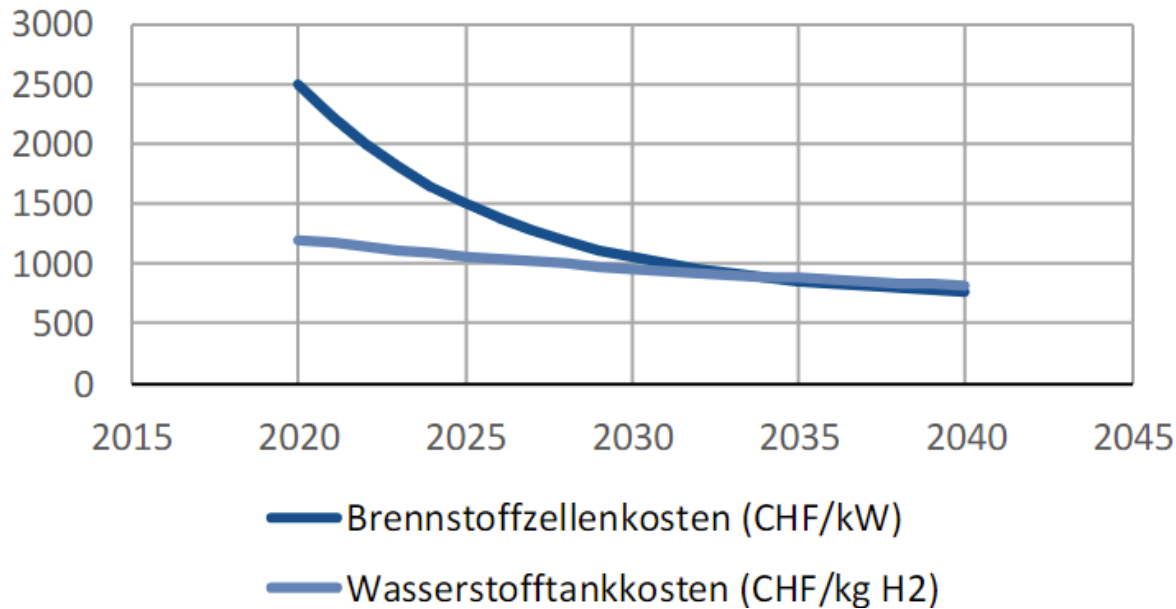


Grafik: INFRAS

**Bemerkung:** Es ist zu beachten, dass Batterien für SNF deutlich teurer sind als Batterien für Elektro-Pkw.

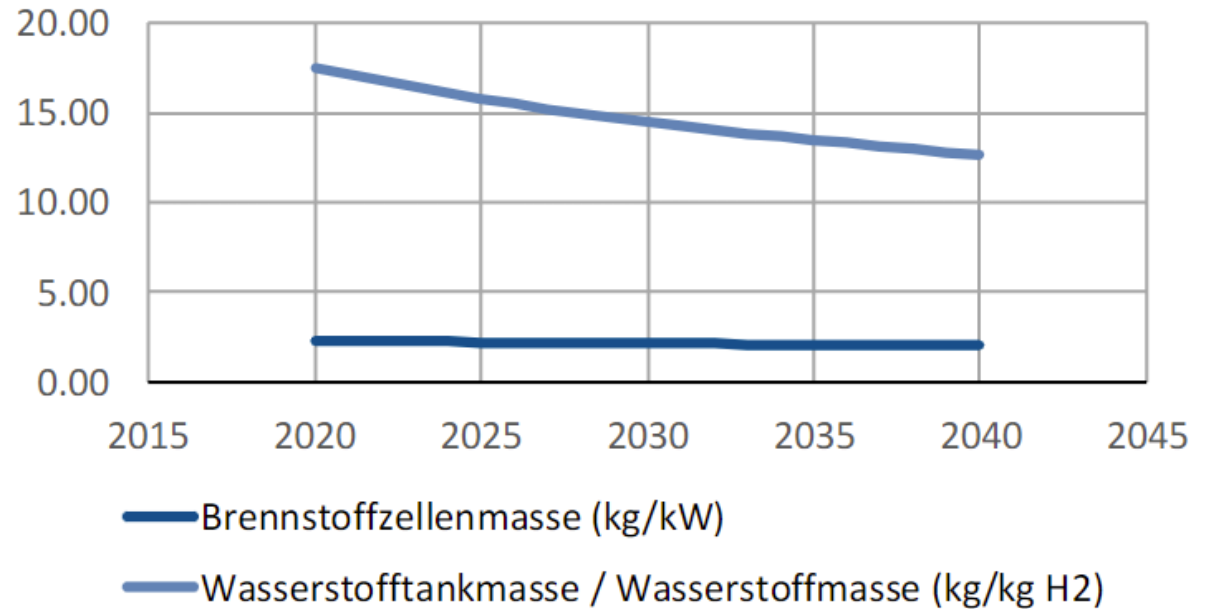
# INFRAS-Prognosen Entwicklung Brennstoffzellen

## Brennstoffzellen



Grafik: INFRAS

## Brennstoffzellen



Grafik: INFRAS

# Quellen

## Grundlagen wissenschaftliche Publikationen

- **Basma, H., Beys, Y., & Rodríguez, F. (2021).** Battery electric tractor-trailers in the European Union: A vehicle technology analysis. *International Council on Clean Transportation*. <https://theicct.org/publication/battery-electric-tractor-trailers-in-the-european-union-a-vehicle-technology-analysis/>
- **Boukhalfa, S., & Ravichandran, K. (2020).** *State of the Electric Vehicle Lithium-Ion Battery Market 2019-2030*. PreScouter. <https://www.prescouter.com/report/state-of-the-electric-vehicle-lithium-ion-battery-market-2019-2030/>
- **Ding, Y., Cano, Z. P., Yu, A., Lu, J., & Chen, Z. (2019).** Automotive Li-Ion Batteries: Current Status and Future Perspectives. *Electrochemical Energy Reviews*, 2(1), 1–28. <https://doi.org/10.1007/s41918-018-0022-z>
- **Julien, C. M., & Mauger, A. (2020).** NCA, NCM811, and the Route to Ni-Richer Lithium-Ion Batteries. *Energies*, 13(23), 6363. <https://doi.org/10.3390/en13236363>
- **Kane, M. (2021).** *VW-Related Guoxuan High-Tech Launches Record-Setting 210 Wh/kg LFP Battery Cells*. InsideEVs. Abgerufen 14. Juni 2022, von <https://insideevs.com/news/481770/guoxuan-210-whkg-lfp-battery-cells/>
- **Lu, Y., Rong, X., Hu, Y.-S., Chen, L., & Li, H. (2019).** Research and development of advanced battery materials in China. *Energy Storage Materials*, 23, 144–153. <https://doi.org/10.1016/j.ensm.2019.05.019>
- **Manthey, N. (2020, Mai 15).** *New Tesla battery to break 100\$/kWh barrier; CATL involved*. Electrive.Com. <https://www.electrive.com/2020/05/15/new-tesla-battery-to-break-100-kwh-barrier-catl-involved/>
- **Miao, Y., Hynan, P., von Jouanne, A., & Yokochi, A. (2019).** Current Li-Ion Battery Technologies in Electric Vehicles and Opportunities for Advancements. *Energies*, 12(6), 1074. <https://doi.org/10.3390/en12061074>
- **Preger, Y., Barkholtz, H. M., Fresquez, A., Campbell, D. L., Juba, B. W., Romàn-Kustas, J., Ferreira, S. R., & Chalamala, B. (2020).** Degradation of Commercial Lithium-Ion Cells as a Function of Chemistry and Cycling Conditions. *Journal of The Electrochemical Society*, 167(12), 120532. <https://doi.org/10.1149/1945-7111/abae37>
- **Wentker, M., Greenwood, M., & Leker, J. (2019).** A Bottom-Up Approach to Lithium-Ion Battery Cost Modeling with a Focus on Cathode Active Materials. *Energies*, 12(3), 504. <https://doi.org/10.3390/en12030504>
- **Yang, X.-G., Liu, T., & Wang, C.-Y. (2021).** Thermally modulated lithium iron phosphate batteries for mass-market electric vehicles. *Nature Energy*, 6(2), 176–185. <https://doi.org/10.1038/s41560-020-00757-7>

# Quellen

## Grundlagen Lade- und Tankinfrastruktur

- INFRAS 2020: Abschätzung des Einsatz- und CO<sub>2</sub>-Reduktionspotenzials durch Busse mit nicht fossilen Antriebstechnologien und Fördermöglichkeiten. Grundlagestudie zum Postulatsbericht 19.3000. Im Auftrag des BFE und BAV.
- Plötz, P.; Speth, D. (2021): Truck Stop Locations in Europe – Final Report. Karlsruhe: Fraunhofer ISI.
- Plötz, P.; Gnann, T.; Jochem, P.; Ümitcan Yilmaz, H.; Kaschub, T. (2019): Impact of electric trucks powered by overhead lines on the European electricity system and CO<sub>2</sub> emissions. Energy Policy 130, Pages 32-40.
- EC (European Commission) (2021): Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on the deployment of alternative fuels infrastructure, and repealing Directive 2014/94/EU of the European Parliament and of the Council. Brussels, 14.7.2021. COM(2021) 559 final, 2021/0223 (COD).
- Sauter, V.; Speth, D.; Plötz, P.; Signer, T. (2021): A charging infrastructure network for battery electric trucks in Europe. Working Paper Sustainability and Innovation, S 02/2021. Karlsruhe: Fraunhofer ISI.

## Interviews

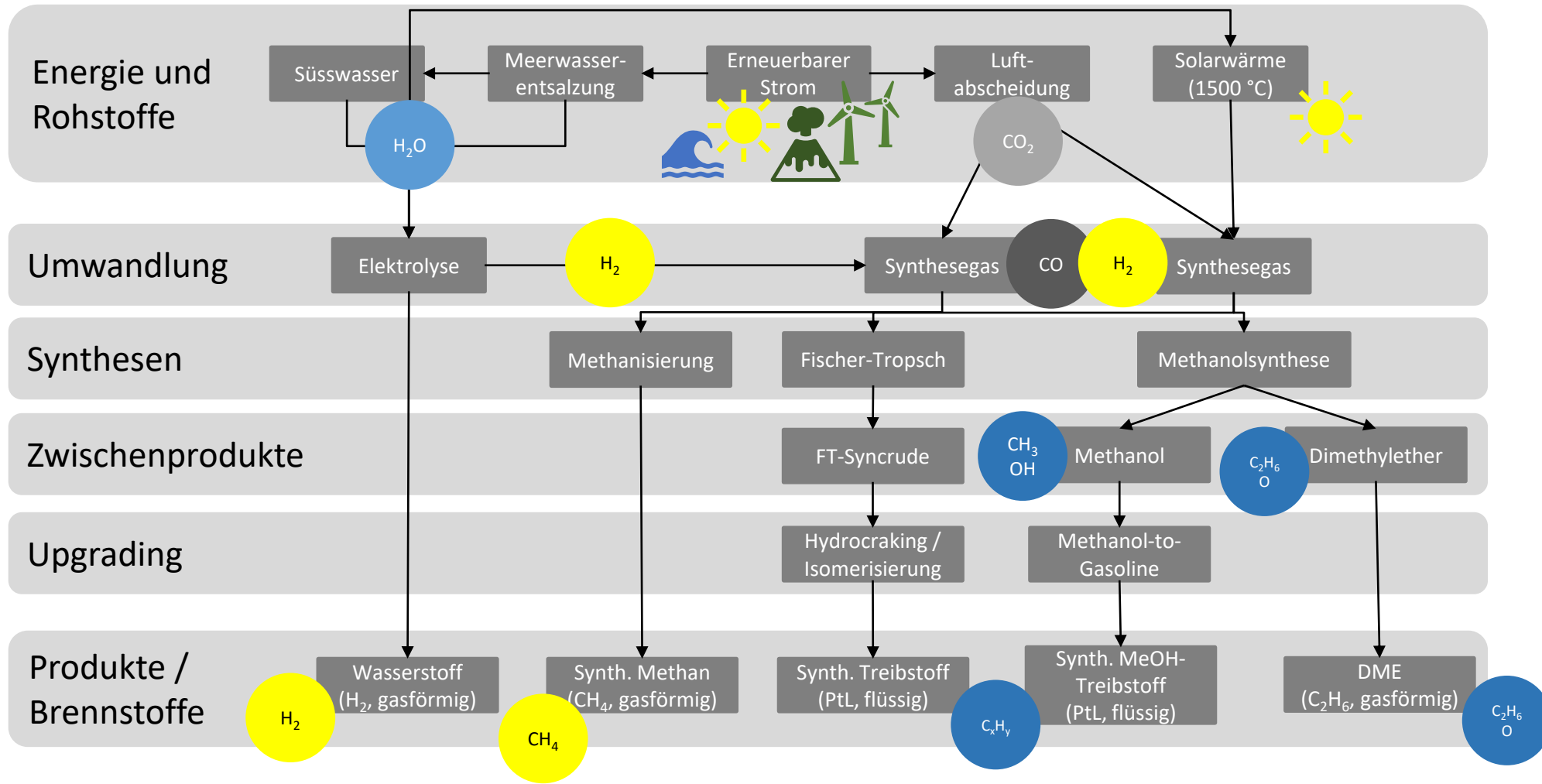
- Christian Kohlmeyer, ABB
- Tristan Chevroulet, Bundesamt für Verkehr

Technologie-Roadmap für alternative Antriebstechnologien

## 4. Produktion von strombasierten Treibstoffen



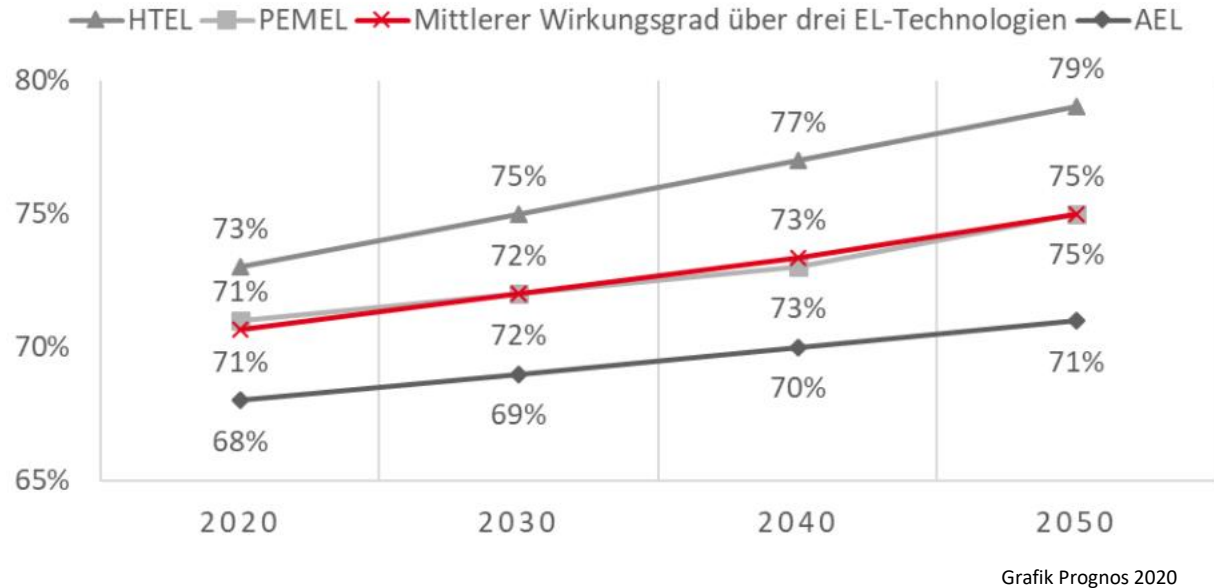
# Herstellung strombasierter Treibstoffe



Grafik INFRAS, basierend auf Prognos 2020 (ergänzt)

# Energetische Wirkungsgrade

Elektrolyse:



Methanisierung: 76%  
Methanolsynthese: 83%  
Fischer-Tropsch-Synthese: 67%

- **Mittlerer Wirkungsgrad** über gesamtes Anlageleben  
Degradation zwischen 0.25% und 2.5% (AEL und PEMEL) und bis zu 6% (HTEL) pro 1'000 Betriebsstunden
- Lebensdauer 20 - 30 Jahre mit einmaligem Ersatz der Stacks
- Berechnet aus theoretischem Maximalwert und einem H<sub>2</sub>-Verlust von 1%-5% sowie einem CO<sub>2</sub>-Verlust von 3%-7%.

# Systemoptimierung

- Elektrolyse und Synthese sollten für tiefe Kosten **möglichst hohe Volllaststunden** erreichen.
- Dazu müsste das **Stromangebot** möglichst **konstant** sein. Ist bei PV und Wind nicht der Fall, bei Laufwasserkraft und Geothermie möglich.
- Bei PV und Wind muss **ein Optimum zwischen installierter Erzeugungsleistung und dem Leistungsbedarf für die Elektrolyse gefunden werden**. Das Optimum hängt von verschiedenen Faktoren ab und liegt für PV und/oder Wind bei 80 - 90% Nutzung des Erneuerbaren Stroms und 3'000 – 6'000 Volllaststunden der Elektrolyse. (Prognos 2021)
- Um Synthese bei 7'000 bis 8'000 Volllaststunden zu betreiben wird ein **Wasserstoffspeicher** gebraucht. Eine relativ günstige Möglichkeit dafür ist Salzkaverne.  
(Bsp. Produktion mit PV in MENA-Region\*: 85'000 Nm<sup>3</sup> Speicher nötig (100 bar/25 °C)  
→ geeignete geologische Situation ist wichtig!

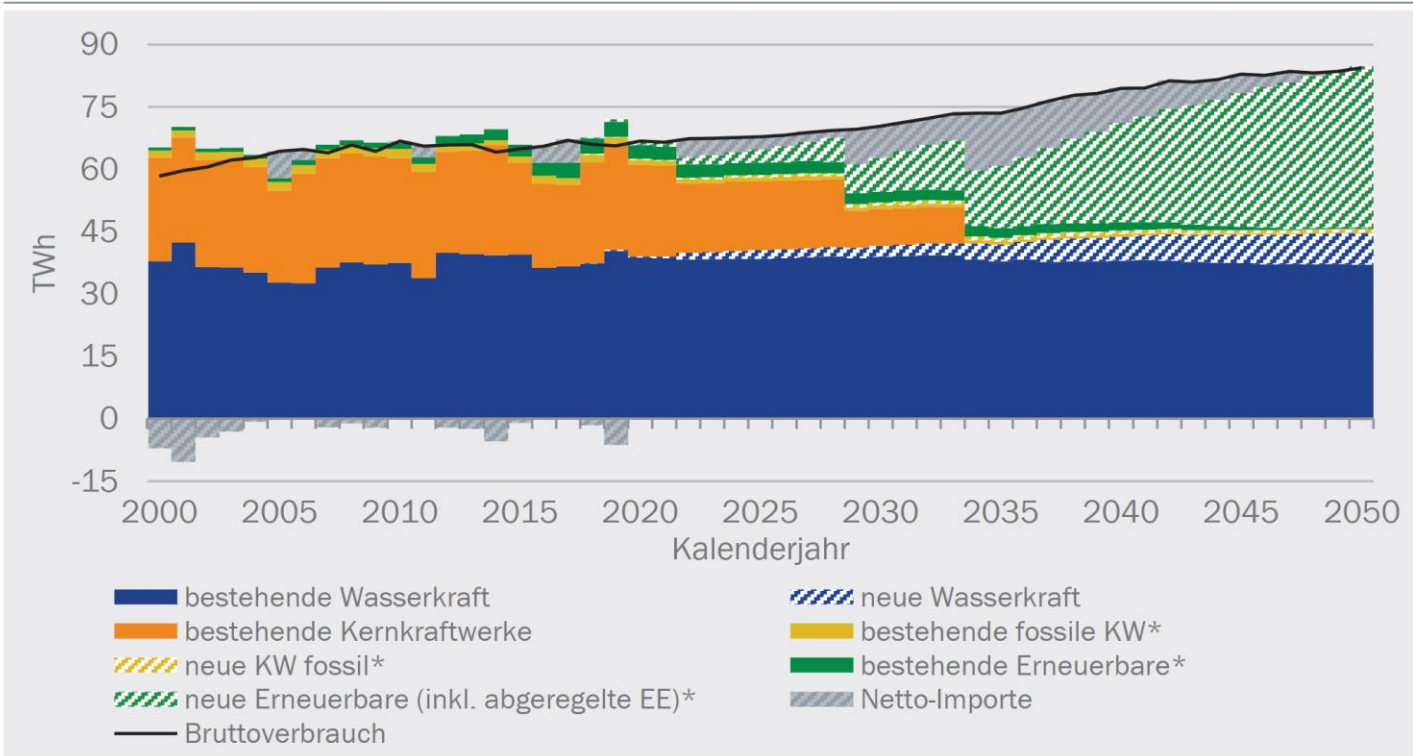
# Transport strombasierter Treibstoffe in die Schweiz

- **MENA Region:** Transporte mit Pipeline (z.T. bestehend via Italien / Spanien). Distanz ca 4'000 km
- Gase (Wasserstoff und Methan) benötigen **etwas mehr Energie** für den Transport als Flüssigkeiten
- **Schifftransporte** insbesondere für **flüssige Treibstoffe** denkbar. Bei Verwendung von fossilem Treibstoff für die Schiffe muss das dem erneuerbaren Treibstoff angelastet werden. Bei Verwendung von Erneuerbaren Treibstoffen zum Schiffsbetrieb steigen die Transportkosten deutlich über Pipelinetransporte.

# Produktion strombasierter Treibstoff in der Schweiz

**Abbildung 18: Stromerzeugung nach Technologien**

Entwicklung der jährlichen Stromerzeugung nach Technologien im Szenario ZERO Basis, Strategievariante «ausgeglichene Jahresbilanz 2050», in TWh



\* gekoppelt und ungekoppelt

eigene Darstellung

© Prognos AG / TEP Energy GmbH / INFRAS AG 2020

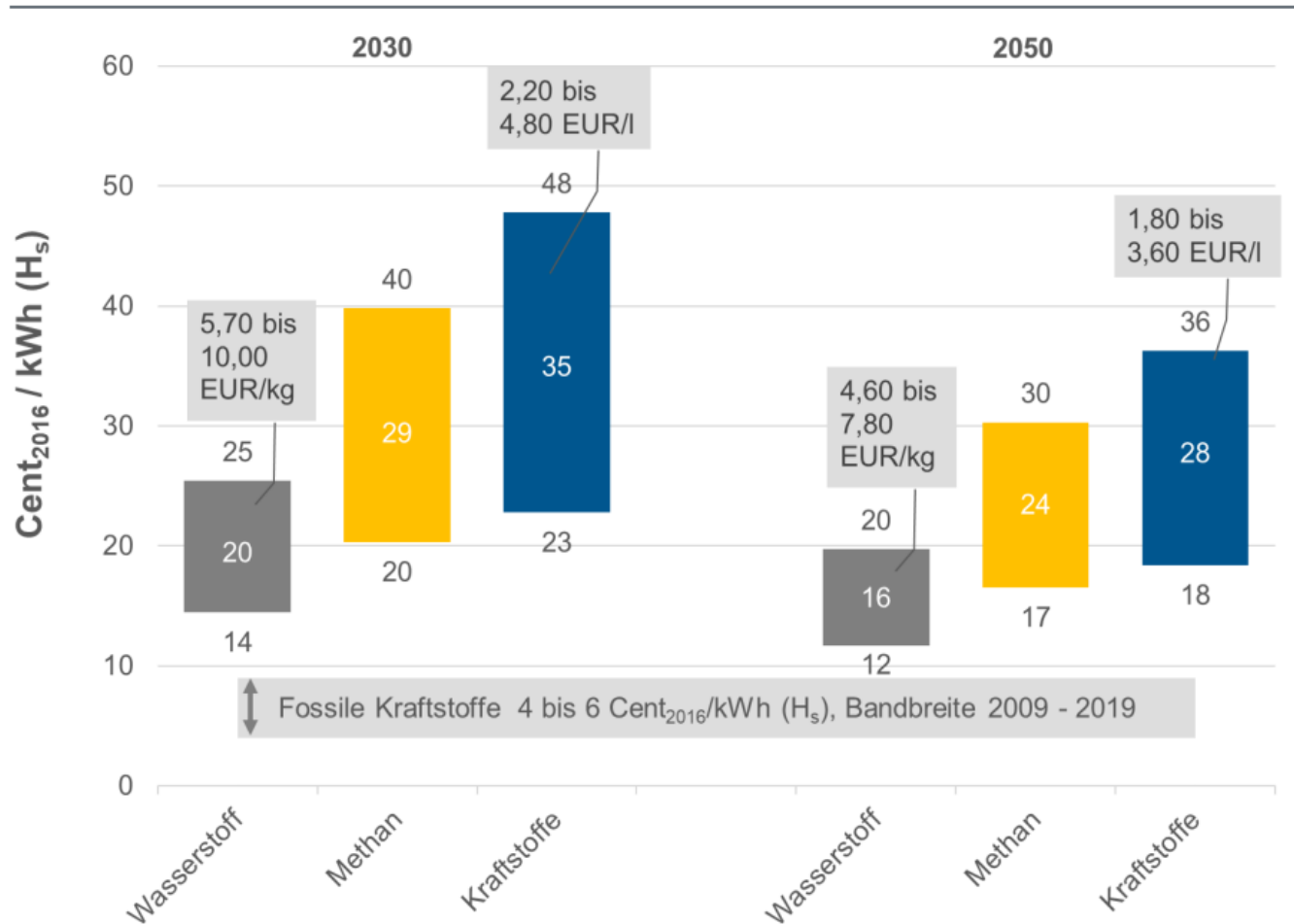
Trotz sehr ambitioniertem Ausbau der Erneuerbaren Energien wird ein **Stromimport** nötig.

→ Es steht in der Schweiz praktisch keine Energie zur Verfügung, um strombasierte Treibstoffe zu produzieren.

→ Produktion von Wasserstoff mit Laufwasserkraft ist praktisch der einzige wirtschaftlich mögliche Pfad in der Schweiz. Kannibalisiert aber die Bandenergie.

# Bereitstellungskosten beim Endverbraucher

Abbildung 1: Bandbreiten der Bereitstellungskosten beim Endverbraucher



Grafik Prognos 2020

**Kosten, nicht Preise!**  
 → Keine Margen / Gewinne berücksichtigt.

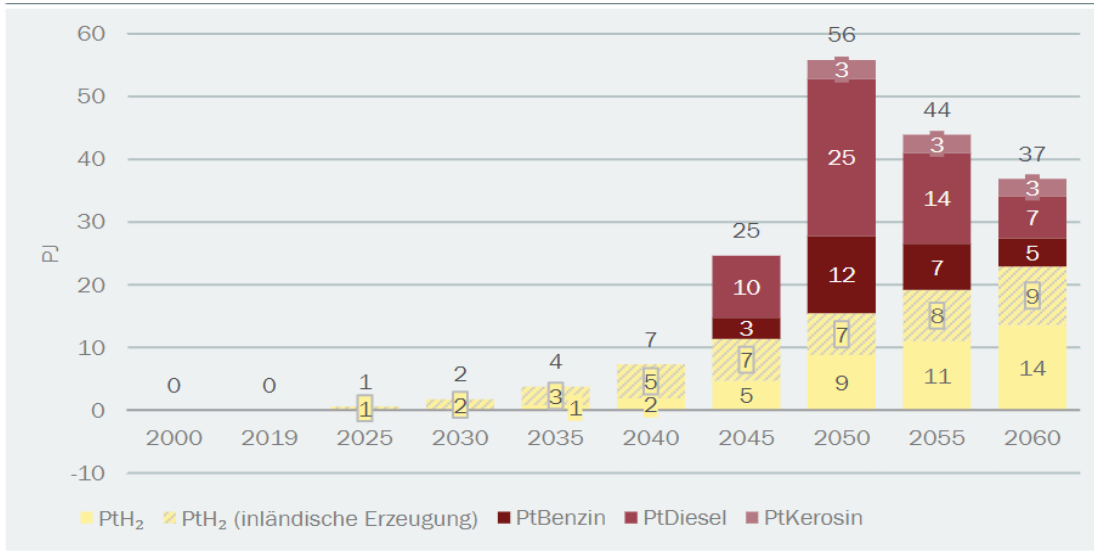
Zum Vergleich:  
 Dieselpreis an Tankstelle heute:  
 2.3 CHF/l ≈ 0.23 CHF/kWh

Tiefere Kosten ggf. in Iceland möglich  
 → nordurpower.com

# Bedarf strombasierter Treibstoffe Schweiz / Deutschland

Abbildung 92: Verbrauch an strombasierten Energieträgern und inländische H<sub>2</sub>-Produktion

Entwicklung des Verbrauchs strombasierter Energieträger im Szenario ZERO Basis, in PJ



ohne Verbrauch des internationalen Flugverkehrs

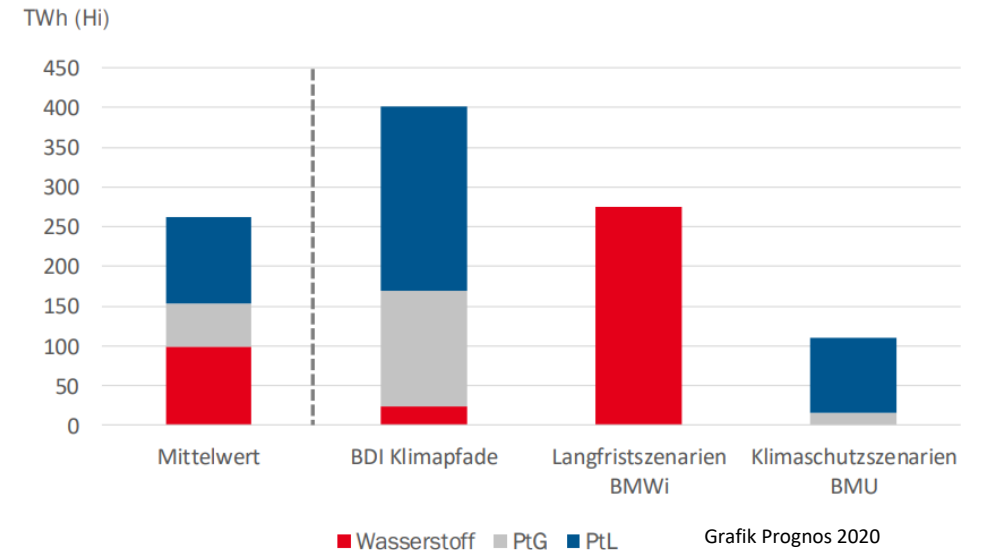
Grafik Prognos / TEP / INFRAS 2021

Intl. Flugverkehr ab Schweiz 2050: 61 PJ

Zum Vergleich:

- Treibstoffbedarf 2020: 245 PJ
- 1 PJ = 278 Mio. kWh
- 1 PJ H<sub>2</sub> ≈ 92.6 Mio. Nm<sup>3</sup>
- 1 PJ FT PtL ≈ 30.6 Mio. Liter

Abbildung 2: Langfristige Bedarfsmenge strombasierter Energieträger



■ Wasserstoff ■ PtG ■ PtL

Grafik Prognos 2020

- Treibstoffbedarf 2020: 2'300 PJ
- Langfristiger Bedarf Deutschland: 250 TWh = 900 PJ
- Je nach Szenario kein oder ausschliesslich Wasserstoff

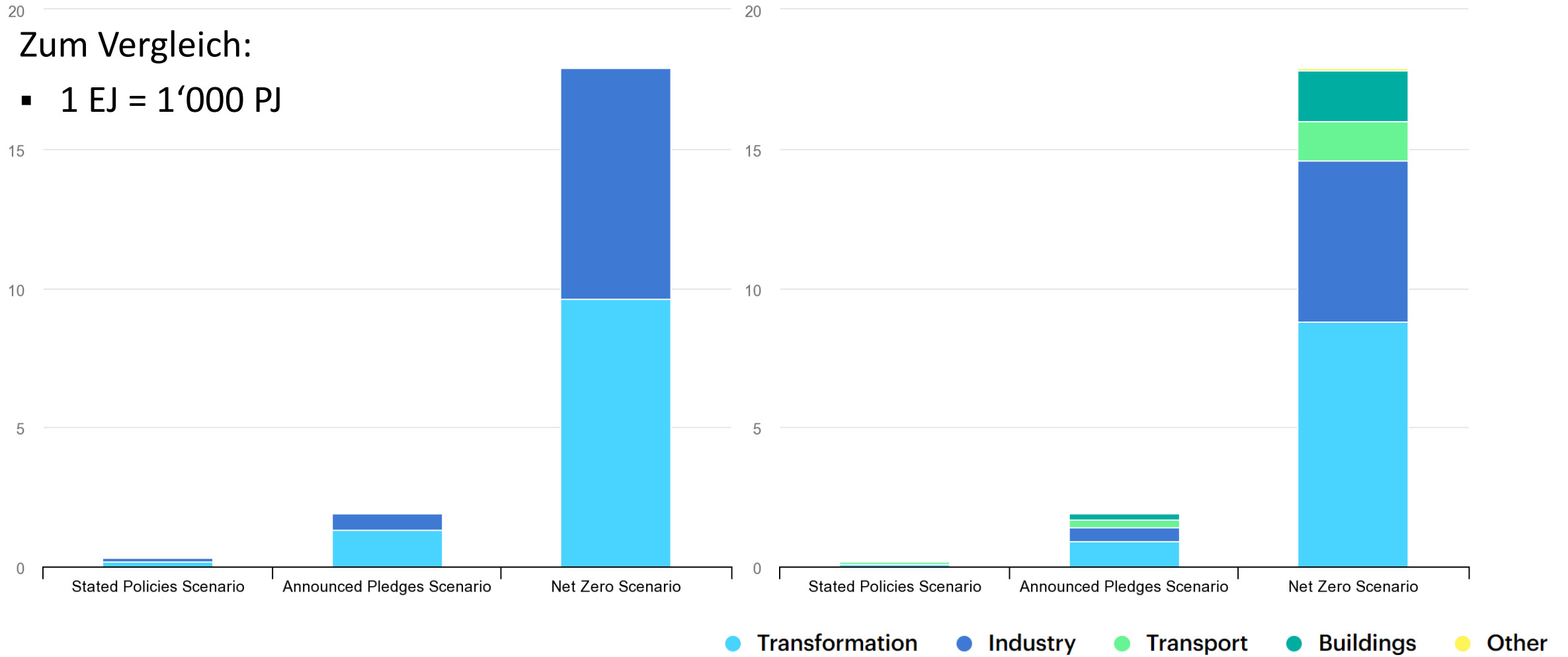


# Pilotprojekt: Nordur

- 2022 soll in Island (Hellisheidi) der Bau eines PtG Werk starten. 23 / 24 soll es fertiggestellt werden.
- Produktion von 100 GWh synthetischem Methan (ca. 0.0036 PJ)
- Schiffstransport nach Basel in Container



# Nachfrage strombasierter Treibstoffe (global)



# Produktion strombasierter Treibstoffe (global)

- 1 EJ = 1'000 PJ

- STEPS: Stated Policy Scenario

- APS: Announced Pledges Scenario

- NZE: Net Zero Emission Scenario



1'000 mal Bedarf in CH 2030



# Strombasierte Treibstoffe für die Schweiz

## Fazit

- Wasserstoff (und Methan) günstiger als PtL.
- Bis 2030: Wasserstoff wahrscheinlich in geringen Mengen verfügbar; kaum PtL.
- Bis 2040 können PtL im globalen Markt verfügbar sein. Hauptabnehmer dürfte Luftfahrt sein.
- Kosten für H<sub>2</sub> und PtL bleiben auch bis 2050 hoch.
- H<sub>2</sub> und PtL für CH dürfte v.a. in der MENA Region produziert werden. Gegebenenfalls könnte auch Island (mit Geothermie) ein Anbieter werden. Potenzial allerdings sehr überschaubar.
  - Abhängigkeit / Versorgungsrisiken vergleichbar mit fossilen Treibstoffen heute

# Quellen

## Grundlagen

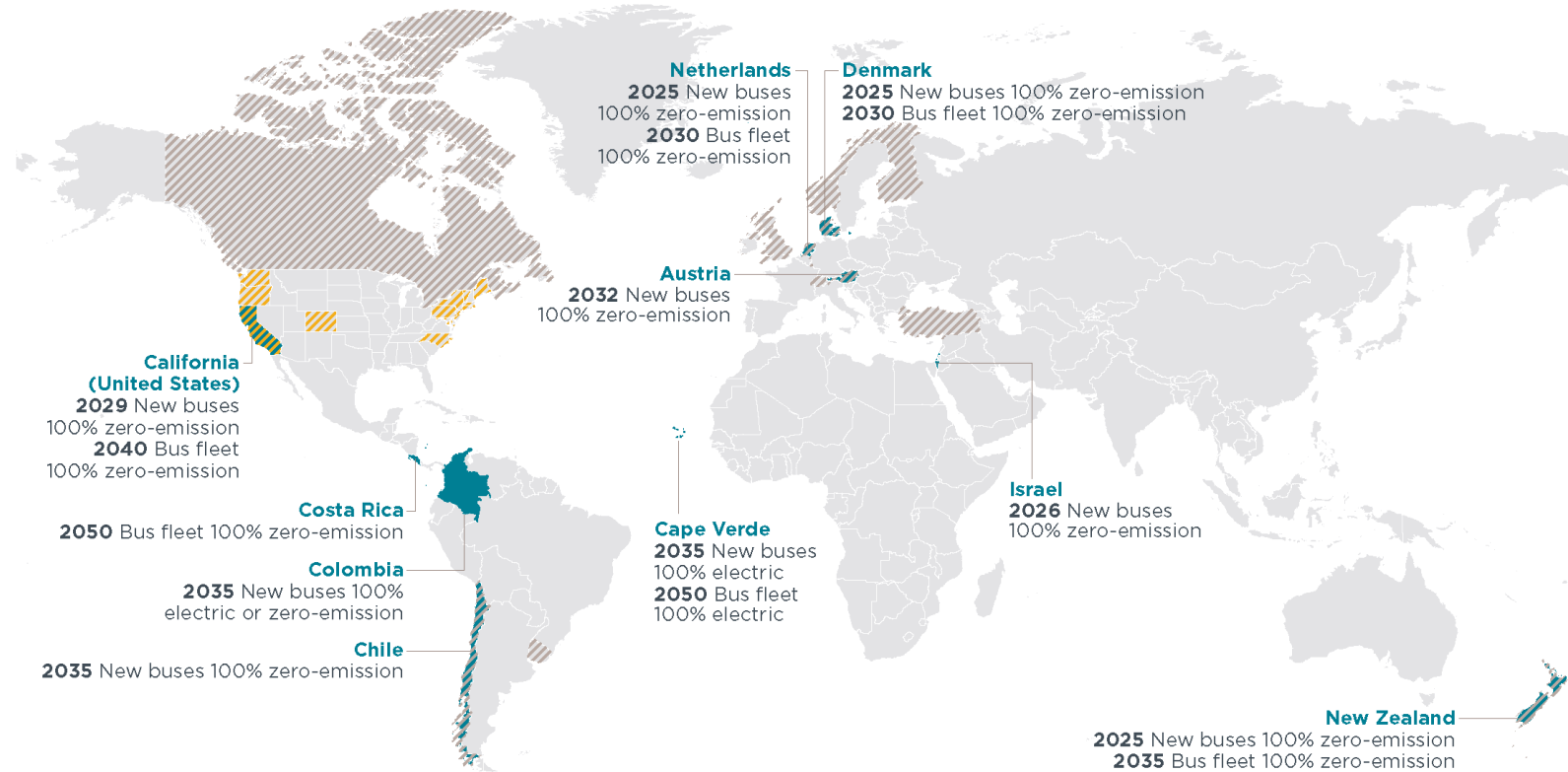
- INFRAS 2022: Energieperspektiven 2050+ (Teil Verkehr). Im Auftrag des BFE
- Prognos 2020: Kosten und Transformationspfade für strombasierte Energieträger. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie
- IEA: World Energy Outlook 2021

Technologie-Roadmap für alternative Antriebstechnologien

## 5. Politische Rahmenbedingungen

# Angekündigte phase-outs für Busse

Governments with official targets to 100% phase out sales of internal combustion engine buses by a certain date  
(Status: Through March 2022)



- Governments with official targets
- ▨ U.S. states Memorandum of Understanding (MoU)\*
- ▨ Global Memorandum of Understanding (MoU)\*

U.S. states Memorandum of Understanding (MoU)

California, Colorado, Connecticut, Hawaii, Maine, Maryland, Massachusetts, New Jersey, New York, North Carolina, Oregon, Pennsylvania, Rhode Island, Vermont and Washington and the District of Columbia

2030 New medium- and heavy-duty vehicles 30% zero-emission

2050 New medium- and heavy-duty vehicles 100% zero-emission

Global Memorandum of Understanding (MoU)

Austria, Canada, Chile, Denmark, Finland, Luxembourg, Netherlands, New Zealand, Norway, Scotland, Switzerland, Turkey, United Kingdom, Uruguay, Wales

2030 New medium- and heavy-duty vehicles 30% zero-emission

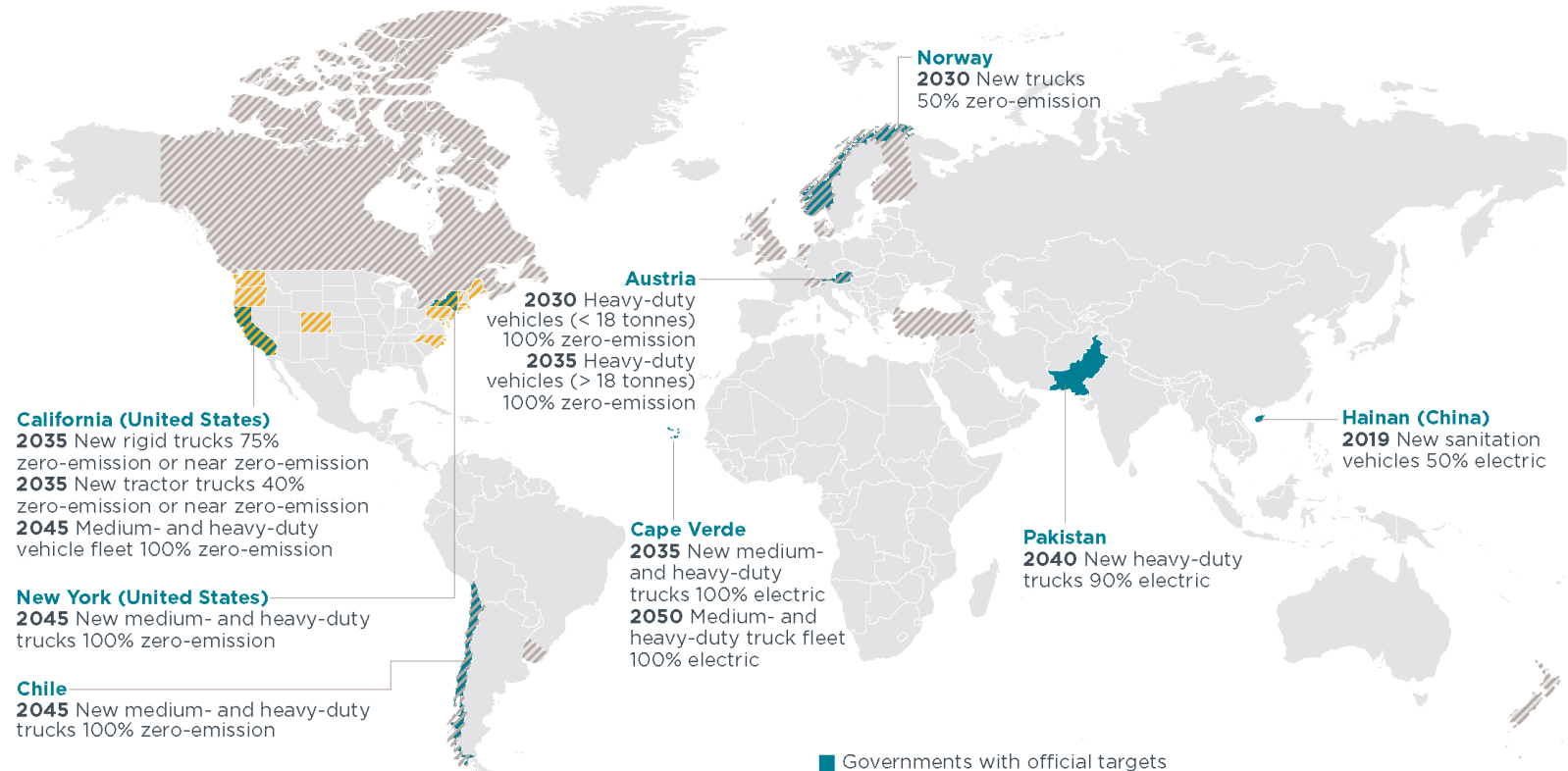
2040 New medium- and heavy-duty vehicles 100% zero-emission

\* Not necessarily yet reflected in an official national/state policy document such as a climate or transport strategy/plan, in a law, or in a similar framework.



# Angekündigte phase-outs für LKWs

Governments with targets toward phasing out sales of internal combustion engine trucks by a certain date  
(Status: Through March 2022)



- Governments with official targets
- ▨ U.S. states Memorandum of Understanding\*
- ▨ Global Memorandum of Understanding (MoU)\*

U.S. states Memorandum of Understanding (MoU)

California, Colorado, Connecticut, Hawaii, Maine, Maryland, Massachusetts, New Jersey, New York, North Carolina, Oregon, Pennsylvania, Rhode Island, Vermont and Washington and the District of Columbia

**2030** New medium- and heavy-duty vehicles 30% zero-emission  
**2050** New medium- and heavy-duty vehicles 100% zero-emission

Global Memorandum of Understanding (MoU)

Austria, Canada, Chile, Denmark, Finland, Luxembourg, Netherlands, New Zealand, Norway, Scotland, Switzerland, Turkey, United Kingdom, Uruguay, Wales

**2030** New medium- and heavy-duty vehicles 30% zero-emission  
**2040** New medium- and heavy-duty vehicles 100% zero-emission

Note: Governments with an at least 40% new truck sales target.

\* Not necessarily yet reflected in an official national/state policy document such as a climate or transport strategy/plan, in a law, or in a similar framework.

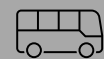
# Übersicht Umfeldanalyse Politik

Bund fördert explizit BEV und FCEV, aber



- Wegfall LSVA-Ausnahme für BEV- und FCEV-Lkw ab 2030 geplant
- Einführung einer Abgabe für E-Fahrzeuge ungewiss (ab 2030 aufgrund sinkender Einnahmen aus der Mineralölsteuer sinnvoll)



Synthetische Treibstoffe werden nicht explizit gefördert.

Wegfall Rückerstattung Mineralölsteuer KTU geplant 

Förderung Anschaffung emissionsfreie Busse durch KTU geplant 

Wegfall Ausnahme LSVA für BEV und FCEV 

Abgabe für E-Fahrzeuge (Ersatzabgabe) (ab 2030?)  

Kompensationsprojekte  

2022

2025

2030

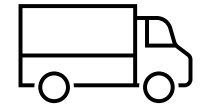
2035

2040

# Steckbriefe

## Fiskalische Instrumente

### Leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe (LSVA)

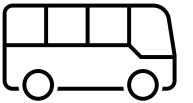


<b>Aktuell (2022)</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Gütertransportfahrzeuge ab 3.5 t zulässiges Gesamtgewicht (zGG) für alle gefahrenen Km im Zollgebiet CH</li><li>▪ Durchschnittlicher LSVA-Tarif richtet sich nach dem Landverkehrsabkommen mit der EU, Differenzierung der LSVA-Tarife nach Schadstoffklassen (2.28 Rp./tkm für Euro 6 und besser, Rest: 3.10 Rp./tkm)</li><li>▪ Unbefristete Ausnahme elektrisch betriebener Fahrzeuge (BEV, FCEV) von der Abgabepflicht</li></ul>
<b>Künftige Entwicklungen</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Befristung der Ausnahme für rein elektrisch betriebene Fahrzeuge bis 2030 (geplante Revision CO2-Gesetz)</li><li>▪ Weiterentwicklung der LSVA gemäss Eckpunkte im Verlagerungsbericht 2021, Vernehmlassungsvorlage wird bis Mitte 2023 erarbeitet (analog revidierter EU-Wegekostenrichtlinie EG/1999/62, EU/2022/362)<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Einführung einer CO2-Differenzierung</li><li>▪ Zeitliche Befristung der Ausnahme elektrisch betriebener Fahrzeuge (Annahme BAV: Amortisation BEV mit LSVA-Ausnahme nach 4–5 Jahren möglich) sofern CO2-Gesetz nicht revidiert wird</li></ul></li><li>▪ Keine Anpassung Landverkehrsabkommen und damit der durchschnittlichen Tarife geplant</li></ul>
<b>Auswirkungen</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Ab 2031 Erhöhung der Kosten pro Kilometer und zGG für BEV und FCEV abhängig von der CO2-Differenzierung, Ausgestaltung noch unklar</li><li>▪ EU-Wegekostenrichtlinie: Befreiung oder Ermässigungen für emissionsfreie Fahrzeuge bis Ende 2025, ab 2026 Ermässigung max. 75% ggü. schlechtester Emissionsklasse</li></ul>

# Steckbriefe

## Fiskalische Instrumente

### Pauschale Schwerverkehrsabgabe (PSVA)



<b>Aktuell (2022)</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Fahrzeuge ab 3.5 t zGG , die keine LSVA zahlen</li><li>▪ Pauschale Abgabe pro Jahr abhängig von der Fahrzeugkategorie</li><li>▪ Befreiung Fahrzeuge, die im Rahmen einer Konzession für den Personentransport eingesetzt werden</li></ul>
<b>Künftige Entwicklungen</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Mittelfristig: keine Änderungen seitens BAV geplant</li><li>▪ Langfristig: Zeitabhängige Infrastrukturgebühren wie die PSVA widersprechen dem Verursacherprinzip und könnten langfristige in fahrleistungsabhängige Abgaben überführt werden (Revision Wegekostenrichtlinie EG/1999/62).</li></ul>
<b>Auswirkungen</b>	keine bei einnahmenneutraler Umgestaltung

# Steckbriefe

## Fiskalische Instrumente

### Mineralölsteuer und Mineralölsteuerzuschlag

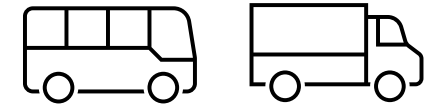


<b>Aktuell (2022)</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Verbrauchssteuer auf Treibstoffe (z.B. 76.82 Rp./l für Benzin, 79.57 Rp./l für Diesel)</li><li>▪ Steuererleichterungen bis Ende 2023 (Kompensation durch höhere Besteuerung Diesel/Benzin) für<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Erd- und Flüssiggas</li><li>▪ biogene (erneuerbare) Treibstoffe (aus Biomasse oder anderen erneuerbaren Energieträgern hergestellt, bei Erfüllung Kriterien könnten auch e-Fuels* von Erleichterungen profitieren)</li></ul></li><li>▪ Rückerstattungen u.a. für konzessionierte Transportunternehmen (KTU) in Höhe von rund 70 Mio. CHF p.a.</li></ul>
<b>Künftige Entwicklungen</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Verlängerung Steuererleichterungen bis Ende 2024</li><li>▪ Wegfall der Rückerstattung für KTU (ab 2025, keine Differenzierung nach Ortsverkehr oder RPV) und Förderung des Bundes für die Umrüstung auf Elektro- oder Wasserstoffantrieb (explizit keine Förderung: synthetische Treibstoffe, Biodiesel) mit max. 15 Mio. CHF p.a. bis 2035 (geplante Revision CO<sub>2</sub>-Gesetz)</li><li>▪ Ausarbeitung eines Finanzierungskonzepts (UVEK/efd) für eine fahrleistungsabhängige Abgabe zur Kompensation der sinkenden Einnahmen aus der Mineralölsteuer mit Dekarbonisierung: Umsetzung einer Ersatzabgabe auf alternativ betriebene Fahrzeuge (vgl. folgende Folie)</li></ul>
<b>Auswirkungen</b>	Busse KTU: Erhöhung Betriebskosten, finanzielle Förderung Investitionskosten bei Umstellung ab 2025

# Steckbriefe

## Fiskalische Instrumente

### Ersatzabgabe / Abgabe E-Fahrzeuge (voraussichtlich ab 2030)

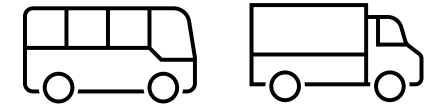


<b>Aktuell (2022)</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Der Bund kann eine Abgabe auf Fahrzeuge erheben (Art. 131 Abs. 2 Bst. b BV), die andere Antriebsmittel als Treibstoffe nutzen, macht aber aktuell davon keinen Gebrauch.</li><li>▪ Diese betrifft alle Motorfahrzeuge, für die alternative Treibstoffe verwendet werden.</li></ul>
<b>Künftige Entwicklungen</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Voraussichtlich ab 2030 wird eine fahrleistungsabhängige Ersatzabgabe für alternativ betriebene Fahrzeuge, die keine Mineralölsteuer zahlen, eingeführt.</li><li>▪ Die Höhe orientiert sich an der heutigen Mineralölsteuer. Die Abgabe ist mindestens nach der Fahrzeugkategorie differenziert.</li><li>▪ Die Anpassung braucht eine Änderung der Bundesverfassung, damit die Einnahmen entsprechend den Mineralölsteuereinnahmen verwendet werden können. Die Umsetzung ist daher nicht vor 2030 möglich.</li></ul>
<b>Auswirkungen</b>	Busse/Lkw: Erhöhung Kosten BEV/FCEV ab ca. 2030 (Betriebskosten bei einer fahrleistungsabhängigen Abgabe, Fixkosten bei einer pauschalen Abgabe)

# Steckbriefe

## Fiskalische Instrumente

### Kantonale Motorfahrzeugsteuern

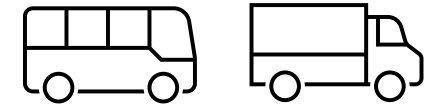


<b>Aktuell (2022)</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Alternativ betriebene Fahrzeuge (Busse, Lkw) bzw. energieeffiziente Fahrzeuge sind in einzelnen Kantonen von der Motorfahrzeugsteuer befreit oder zahlen einen reduzierten Steuertarif (kantonale Gesetze). In anderen Kantonen sind sie aber auch benachteiligt (z.B. wenn die Steuer einzig ans Fahrzeuggewicht gebunden ist und das Mehrgewicht der Batterie nicht berücksichtigt wird).</li><li>▪ Eher für PW und LNF relevant.</li></ul>
<b>Künftige Entwicklungen</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Mit zunehmender Verbreitung nicht-fossiler Fahrzeuge ist deren Befreiung oder Ermässigung bei der Motorfahrzeugsteuer nicht mehr sinnvoll. Damit das Steueraufkommen der Kantone nicht sinkt, werden Befreiungen voraussichtlich abgeschafft und Ermässigungen (Boni) gesenkt oder gar aufgehoben.</li><li>▪ Die Anpassung der Ausgestaltung der kantonalen Motorfahrzeugsteuer werden voraussichtlich stufenweise erfolgen (Bemessungsgrundlagen eher Gewicht und Leistung, Hubraum bei E-Fahrzeugen nicht relevant). Eine Abschaffung der Motorfahrzeugsteuer oder Integration in eine nationale fahrleistungsabhängige Abgabe ist unwahrscheinlich.</li><li>▪ Der Umsetzungshorizont ist je nach Kanton verschieden.</li></ul>
<b>Auswirkungen</b>	Erhöhung der fixen Abgaben für BEF und FCEV (ab 2030/2035?)

# Steckbriefe

## Klimapolitische Massnahmen

### Kompensationspflicht / CO<sub>2</sub>-Bepreisung / -handel



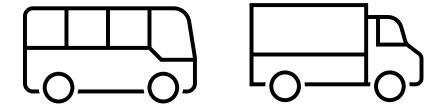
<b>Aktuell (2022)</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Kompensationspflicht für Importeure fossiler Treibstoffe (CO<sub>2</sub>-Gesetz), maximal zulässiger Kompensations-Zuschlag von 5 Rp./l Benzin oder Diesel (effektiv rund 1.5 Rp./l)</li><li>▪ Keine CO<sub>2</sub>-Abgabe auf fossile Treibstoffe</li></ul>
<b>Künftige Entwicklungen</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Kompensationspflicht für Treibstoffimporteure bleibt bestehen.</li><li>▪ Bedeutung Kompensationsprojekte sinkt sukzessive (mit zunehmender Dekarbonisierung), weil die zu finanzierenden Massnahmen bzw. Verminderungen zusätzlich sein müssen und dies immer weniger der Fall sein wird.</li><li>▪ Eine Einführung einer CO<sub>2</sub>-Abgabe auf fossile Treibstoffe ist im Rahmen der geplanten Revision des CO<sub>2</sub>-Gesetzes nicht vorgesehen.</li></ul>
<b>Auswirkungen</b>	Allenfalls Erhöhung Kosten fossiler Treibstoffe → Betrifft v.a. fossil betriebene Fahrzeuge, für Roadmap nicht relevant



# Steckbriefe

## Klimapolitische Massnahmen

### CO<sub>2</sub>-Flottenzielwerte

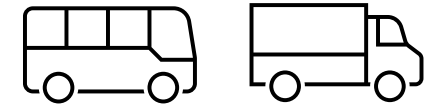


<b>Aktuell (2022)</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Einführung CO<sub>2</sub>-Flottenzielwerte für schwere Nutzfahrzeuge in der EU (Verordnung (EU) 2019/1242), aber:</li><li>▪ keine Flottenzielwerte für Busse und Gütertransportfahrzeuge &gt; 3.5 t zulässigem Gesamtgewicht in der Schweiz</li></ul>
<b>Künftige Entwicklungen</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Keine Einführung Flottenzielwerte für schwere Nutzfahrzeuge in der Schweiz mit der geplanten Revision des CO<sub>2</sub>-Gesetzes vorgesehen</li><li>▪ Anrechnung e-Fuels mit 0 g CO<sub>2</sub>: keine geplante Massnahme im Bereich SNF. Das Thema wird aktuell im Rahmen von «Fit for 55» für PW und LNF diskutiert.</li></ul>
<b>Auswirkungen</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Anrechnung von PtL bei den CO<sub>2</sub>-Flottengrenzwerten wäre eine (indirekte) Förderung.</li></ul>

# Steckbriefe

## Klimapolitische Massnahmen

### Exkurs: Europäischer Rechtsrahmen



#### Euro-Normen

- Bis Euro VI gemäss EU Verordnung 595/2009 für schwere Nutzfahrzeuge in der Schweiz (Landverkehrsabkommen)
- Einführung Euro VII noch offen, Verordnungsentwurf der EU Kommission war für 1. Quartal 2022 geplant

#### «European Green Deal» ➡ «Fit for 55»

- European Green Deal: Strategie mit dem Ziel der Klimaneutralität bis 2050 (Pariser Abkommen)
- Netto-Treibhausgasemissionen in der EU bis 2030 um mindestens 55 % ggü. 1990 senken: Legislativ-Paket «Fit for 55» umfasst Anpassung verschiedener Rechtsvorschriften, u.a. Überarbeitung der Verordnung über den Aufbau von Infrastruktur für alternative Kraftstoffe (AFIR) geplant

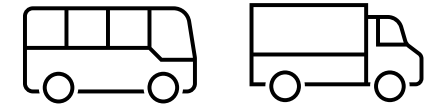
#### EU-Richtlinie 2009/33/EG zur Förderung sauberer und energieeffizienter Fahrzeuge

- Öffentliche Auftraggeber und Betreiber öffentlicher Personenverkehrsdienste im Rahmen eines öffentlichen Dienstleistungsauftrages sollen beim Kauf von Personenkraftwagen, leichten und schweren Nutzfahrzeugen sowie Bussen die Energie- und Umweltauswirkungen berücksichtigen.
- Die Richtlinie definiert nationale Zielwerte für die Beschaffung sauberer und energieeffizienter Fahrzeuge für die Jahre 2021–2025 bzw. 2026–2030

# Steckbriefe

## Fördermassnahmen

### Förderung Anschaffung E-Fahrzeuge

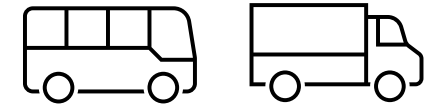


<b>Aktuell (2022)</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Finanzierung Busse der KTU im Rahmen der öffentlichen Bestellung plus Agglomerationsprogramm des Bundes (Fahrzeugumrüstung)</li><li>▪ Förderprogramme im Rahmen von Kompensationsprojekten (CO<sub>2</sub>-Kompensationspflicht der Treibstoffimporteure gemäss CO<sub>2</sub>-Gesetz), z.B. Kompensationsprojekt «Elektro- und Hybridbusse» der Stiftung Klimaschutz und CO<sub>2</sub>-Kompensation (KliK) / Stiftung myclimate Kantonale und kommunale Förderprogramme für Busse (sehr heterogen) oder EnAW Programm für elektrische SNF (Fahrzeug- und Fahrteneffizienzprogramm)</li><li>▪ Kantonale und kommunale Förderprogramme (sehr heterogen)</li></ul>
<b>Künftige Entwicklungen</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Kompensationsprojekte verlieren mit zunehmender Dekarbonisierung an Bedeutung (keine Zusätzlichkeit)</li><li>▪ Neues, nationales Förderprogramm (rückzahlbare Darlehen) für elektrisch betriebene Lkw mit Wegfall der LSVA-Ausnahme für BEV und FCEV ab 2030 derzeit in Prüfung beim Bund (vollkommen offen)</li><li>▪ Neue Bundesförderung ÖV-Busse 2025–35 (Aufhebung Rückerstattung MinÖSt KTU, Revision CO<sub>2</sub>-Gesetz)</li></ul>
<b>Auswirkungen</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Mittelfristig: Reduktion der Anschaffungskosten von Fahrzeugen für Unternehmen möglich, aber abhängig von der Ausgestaltung</li><li>▪ Langfristig: mit zunehmender Durchdringung BEV/FCEV Reduktion von Förderungen und damit Erhöhung der Anschaffungskosten für die Unternehmen (Ausnahme: subventionierter Bereich ÖV)</li></ul>

# Steckbriefe

## Fördermassnahmen

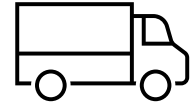
### Förderung Anschaffung Tank-/Ladeinfrastruktur



<b>Aktuell (2022)</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Finanzierung der Ladeinfrastruktur der KTU im Rahmen der öffentlichen Bestellung plus Agglomerationsprogramm des Bundes (Ladeinfrastruktur)</li><li>▪ Kantonale und kommunale Förderprogramme (sehr heterogen)</li></ul>
<b>Künftige Entwicklungen</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Ausbau privater und öffentlicher Tank-/Ladeinfrastruktur notwendig</li><li>▪ Zukünftige Förderungen (nicht nur finanzieller Art) offen</li></ul>
<b>Auswirkungen</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Mittelfristig: Reduktion der Anschaffungskosten von Lade-/Tankinfrastruktur möglich, abhängig von der Ausgestaltung</li><li>▪ Langfristig: mit zunehmender Durchdringung Reduktion von Förderungen und damit Erhöhung der Anschaffungskosten für die Unternehmen (Ausnahme: subventionierter Bereich ÖV)</li></ul>

# Steckbriefe

## Exkurs



### Regulatorischer Rahmen für den Gütertransport in Deutschland / deutscher Unternehmen

<b>Aktuell (2022)</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Die Bundesregierung erarbeitete im November 2020 ein Gesamtkonzept klimafreundliche Nutzfahrzeuge.</li><li>▪ Die Anschaffung alternativ betriebener Fahrzeuge sowie der Tank- und Ladeinfrastruktur für den Güterverkehr werden durch den Bund technologieoffen gefördert. Im Fokus stehen BEV, FCEV, Hybrid- und Oberleitungs-Hybrid-Lkw. Aktuelle Förderprogramme fördern:<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Machbarkeitsstudien</li><li>▪ Anschaffung neuer Fahrzeuge (80% der Investitionsmehrausgaben)</li><li>▪ Aufbau und teilweise Betrieb Tank-/Ladeinfrastruktur (Wasserstoff, Strom) (80% der förderfähigen Kosten)</li></ul></li><li>▪ Gesamtförderkonzept für erneuerbare Kraftstoffe für die Jahre 2021–2024, welches auch Errichtung und Betrieb einer Entwicklungsplattform für strombasierte Flüssigkraftstoffe (Power-to-Liquid, PtL) mit Fokus auf den Flug- und Schiffsverkehr umfasst</li></ul>
<b>Künftige Entwicklungen</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Die Lkw-Maut soll künftig nach CO<sub>2</sub>-Emissionen differenziert werden, um den Hochlauf alternativ angetriebener Nutzfahrzeuge zu unterstützen.</li><li>▪ Die Förderprogramme für die Fahrzeuganschaffung laufen bei Kostendegression ab 2026 aus.</li></ul>
<b>Auswirkungen</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Reduktion der Anschaffungs- und teilweise Betriebskosten BEV / FCEV. E-Fuels nicht für Strasse im Fokus.</li></ul>

# Fazit

- In Bezug auf TCO v.a. Wegfall Befreiung LSVA und Einführung/Höhe Ersatzabgabe relevant:

		
<b>BEV</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Einführung einer Ersatzabgabe (2030?)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Wegfall Befreiung LSVA ab 2030</li> <li>▪ Einführung einer Ersatzabgabe (2030?)</li> </ul>
<b>FCEV</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Einführung einer Ersatzabgabe (2030?)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Wegfall Befreiung LSVA ab 2030</li> <li>▪ Einführung einer Ersatzabgabe (2030?)</li> </ul>
<b>E-Fuels</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Einführung einer Ersatzabgabe (2030?)</li> <li>▪ Keine Förderung des Bundes bei Umrüstung der KTU</li> <li>▪ Höhe Mineralölsteuer unklar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Einführung einer Ersatzabgabe (2030?)</li> <li>▪ Keine LSVA Steuerbefreiung</li> <li>▪ Höhe Mineralölsteuer unklar</li> </ul>

- Keine Änderungen Nachfahrverbot erwartet, da Instrument zur Verlagerung von Strasse auf Schiene

# Quellen

## Grundlagen

- BAFU 2022: Revision des CO<sub>2</sub>-Gesetzes, Erläuternder Bericht zur Vernehmlassungsvorlage und Gesetzesentwurf.
- BAV 2022: Verlagerungsbericht 2021.
- UVEK 2022: Konzeption für den Ersatz der Mineralölsteuern (Ersatzabgabe), Bericht an den Bundesrat.
- INFRAS 2020: Abschätzung des Einsatz- und CO<sub>2</sub>-Reduktionspotenzials durch Busse mit nicht fossilen Antriebstechnologien und Fördermöglichkeiten, Grundlagenstudie, im Auftrag des BFE.
- INFRAS / Rapp / Ecoplan 2021: Konzeption einer fahrleistungsabhängigen Abgabe, Schlussbericht.

## Interviews

- Bundesamt für Verkehr (BAV), Kompetenzzentrum LSVA, Thomas Supersaxo
- Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abteilung Klima, Sektion Klimapolitik, Tobias Scheurer
- Bundesamt für Zoll und Grenzsicherheit (BAZG), Mineralölsteuer, Frau Pitcharo
- Bundesamt für Energie (BFE), Sektion Energieeffizienter Verkehr, Sebastian Dickenmann

Technologie-Roadmap für alternative Antriebstechnologien

## 6. Gesamtkosten Schwere Nutzfahrzeuge



# Gesamtkostenvergleiche SNF

- Entwicklung der **Gesamtkosten (TCO)** als wichtiger Faktor für die Beurteilung der unterschiedlichen Antriebstechnologien
- **Ergebnisse:** Gesamtkostenvergleiche für die verschiedenen Antriebstechnologien bis 2040
- **Räumliche Abgrenzung:** Territorium Schweiz + Unternehmen in der Schweiz
- Fokus auf **Kostendifferenzen** zwischen den Antriebstechnologien
- **Sensitivitätsanalysen**, um diverse Annahmen zu prüfen
- Berücksichtigte Fahrzeugtypen:
  - LKWs 7.5t, 32t und 40t
  - Midibus, Standardbus und Gelenkbus
  - Antriebstechnologien: BEV, FCEV und e-Fuels

# Gesamtkostenvergleiche SNF – Annahmen für LKWs

## Wichtigste Annahmen

- Einmaliger Batterie- und Stackaustausch vorgesehen
- Infrastruktur für Tanken/Laden in den Energiekosten berücksichtigt
- Lebensdauer: 12 Jahre
- Energiekosten
  - BEV: 0.3 CHF/kWh für Depotladung (8 Rp. Für Ladeinfrastruktur), 1.0 CHF/kWh für öffentliches Laden
  - FCEV: 14 CHF/kg H2 (inkl. Tankstellenkosten)
  - e-Fuels: 4 CHF/l

		Batteriespeicherkapazität (kWh)		
		2020	2030	2040
Lastwagen	7.5t	80	96	115
Lastwagen	32t	500	600	720
Lastwagen	Sattelzug 40t	500	600	720

		Lebensfahrleistungen (km)				
		2020	2025	2030	2035	2040
Lastwagen	7.5t	650'000	650'000	650'000	650'000	650'000
Lastwagen	32t	560'000	560'000	560'000	560'000	560'000
Lastwagen	Sattelzug 40t	1'000'000	1'000'000	1'000'000	1'000'000	1'000'000

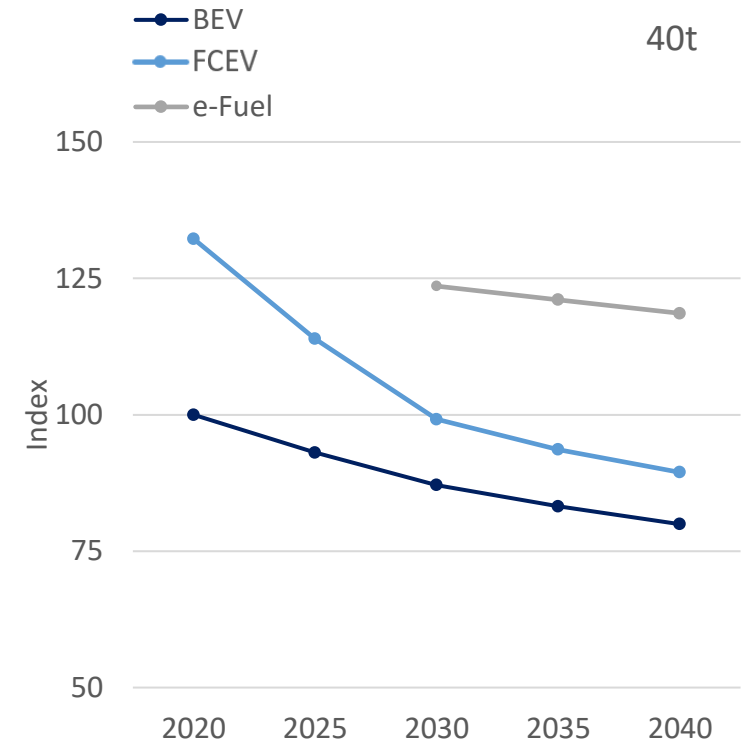
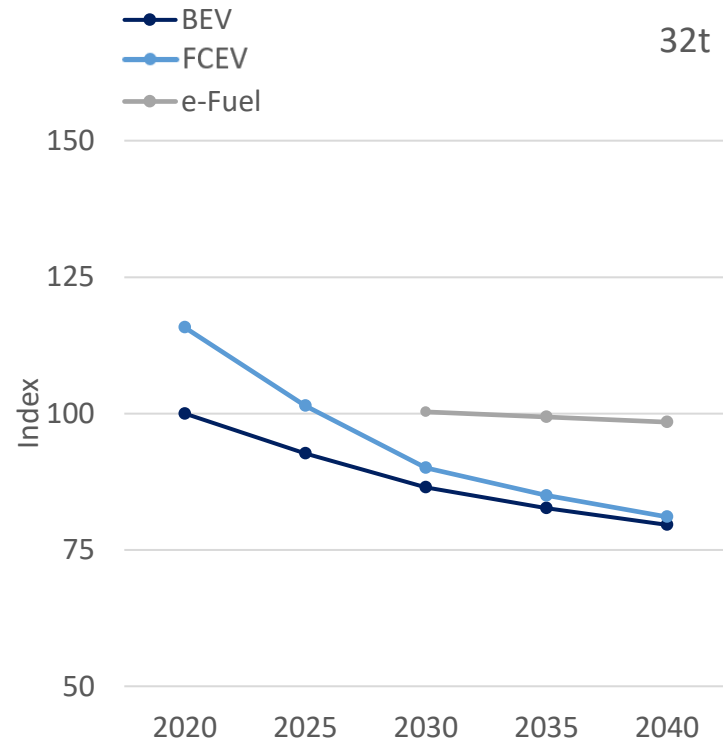
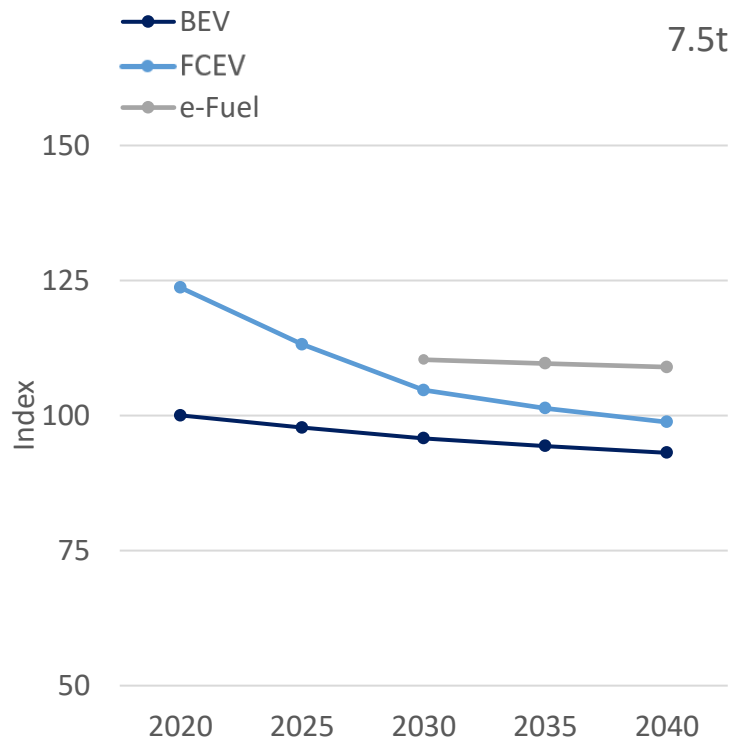
			Anschaffungskosten (CHF)				
			2020	2025	2030	2035	2040
Lastwagen	7.5t	Benzin	150'000	150'000	150'000	150'000	150'000
Lastwagen	7.5t	Elektrisch	250'000	221'000	192'000	173'000	154'000
Lastwagen	7.5t	Brennstoffzelle	506'000	380'000	255'000	208'000	162'000
Lastwagen	32t	Benzin	242'000	242'000	242'000	242'000	242'000
Lastwagen	32t	Elektrisch	726'000	601'000	477'000	407'000	337'000
Lastwagen	32t	Brennstoffzelle	970'000	720'000	470'000	380'000	289'000
Lastwagen	Sattelzug 40t	Benzin	272'000	272'000	272'000	272'000	272'000
Lastwagen	Sattelzug 40t	Elektrisch	758'000	632'000	507'000	434'000	361'000
Lastwagen	Sattelzug 40t	Brennstoffzelle	1'208'000	886'000	563'000	448'000	333'000

# Gesamtkostenvergleiche – Sensitivitäten LKWs

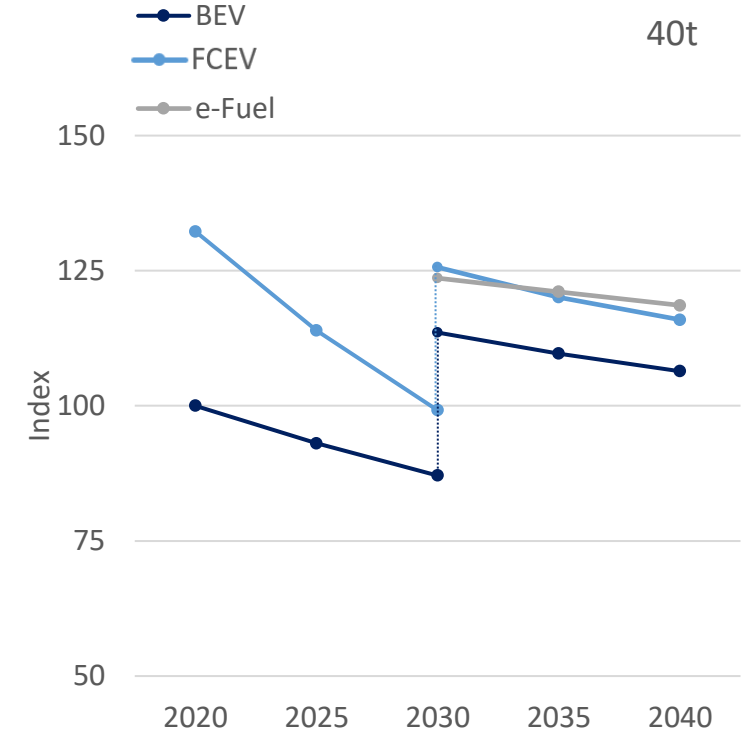
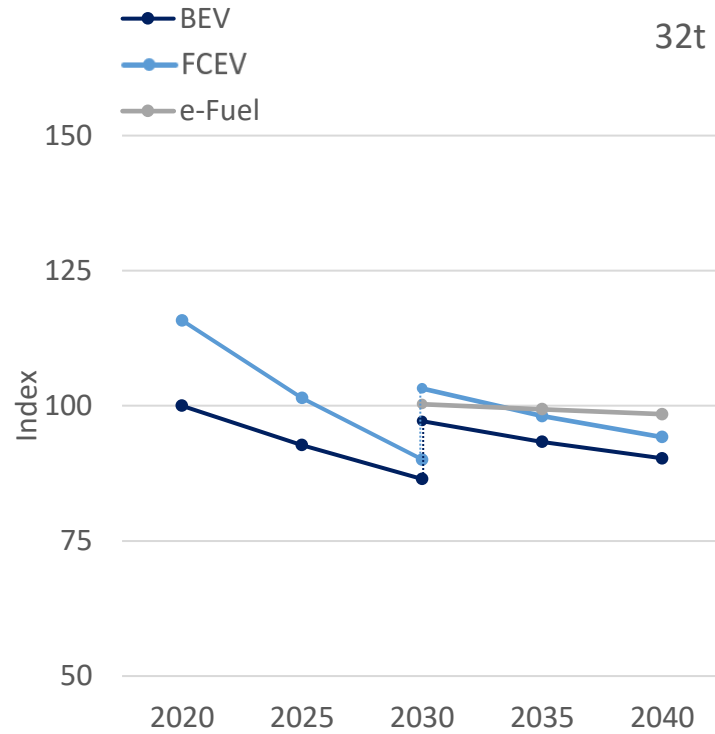
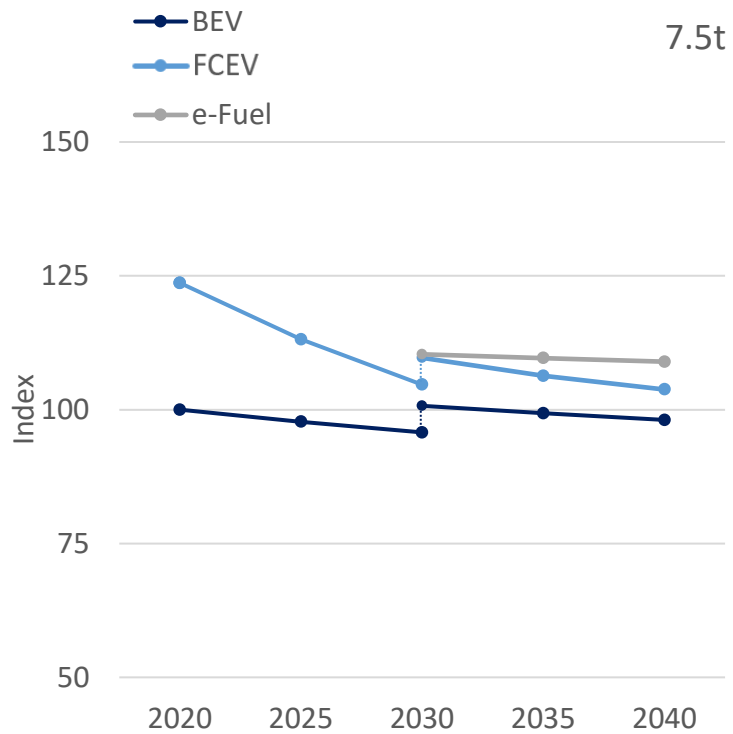
## Sensitivitäten

- Wegfall Ausnahme LSVA für BEV / FCEV ab 2030 (und keine spezielle Förderung für BEV/FCEV)
- Energiekosten:
  - Strom: 0.2 bis 0.6 CHF/kWh
  - H2: 10 bis 16 CHF/kg
  - e-Fuels: 3 bis 5 CHF/l
- Energiekosten: Wann sind e-Fuels bzw. FCEV im Vergleich zu BEV kompetitiv?

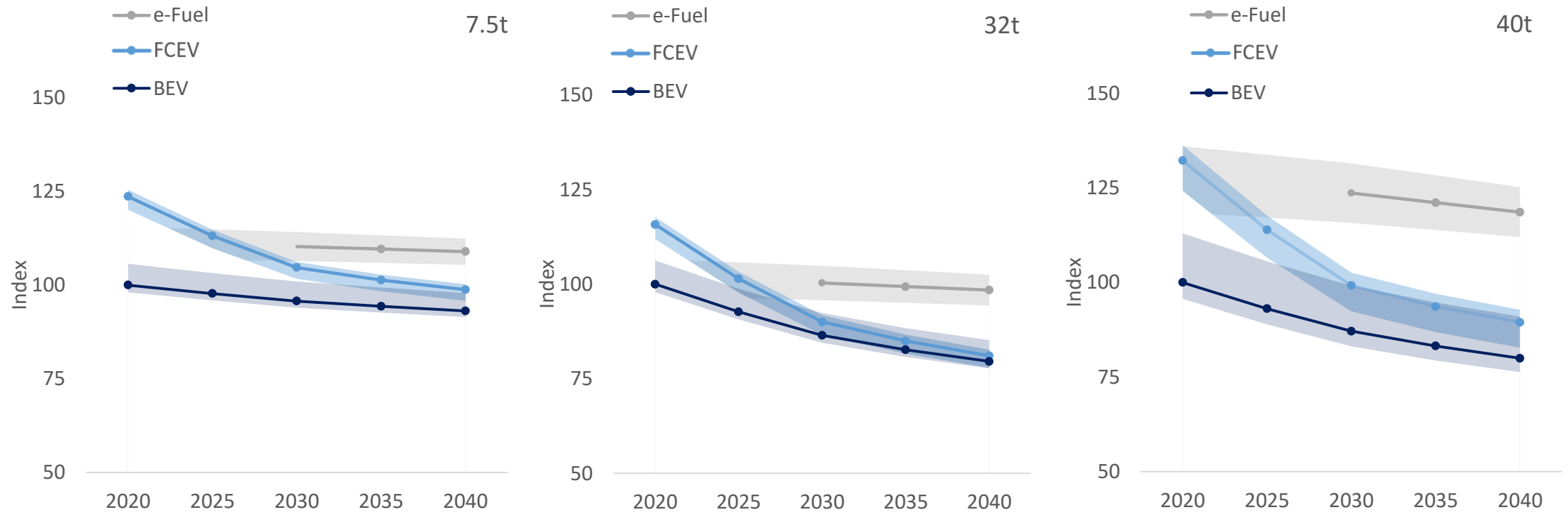
# Gesamtkosten LKWs: Ergebnisse bis 2040



# Gesamtkosten LKWs: Wegfall Ausnahme LSVA für BEV / FCEV



# Gesamtkosten LKWs: Ergebnisse bis 2040 mit Bandbreiten (min und max Energiekosten)



# Energiekosten, wann sind FCEV / e-Fuels kompetitiv?

## Verhältnis Gesamtkosten: FCEV/BEV im Jahr 2040, 32t

Bemerkung: ohne Ausnahme für LSVA, Energiekosten inkl. Ladeinfrastruktur bzw. Tankstellen

	Strompreis (CHF/kWh)							
	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
8.0	0.99	0.97	0.95	0.93	0.91	0.90	0.88	0.86
8.5	0.99	0.97	0.95	0.94	0.92	0.90	0.88	0.87
9.0	1.00	0.98	0.96	0.94	0.92	0.91	0.89	0.87
9.5	1.00	0.98	0.96	0.94	0.93	0.91	0.89	0.88
10.0	1.01	0.99	0.97	0.95	0.93	0.91	0.90	0.88
10.5	1.01	0.99	0.97	0.95	0.93	0.92	0.90	0.88
11.0	1.02	1.00	0.98	0.96	0.94	0.92	0.90	0.89
11.5	1.02	1.00	0.98	0.96	0.94	0.93	0.91	0.89
12.0	1.03	1.00	0.98	0.97	0.95	0.93	0.91	0.90
12.5	1.03	1.01	0.99	0.97	0.95	0.93	0.92	0.90
13.0	1.03	1.01	0.99	0.97	0.96	0.94	0.92	0.90
13.5	1.04	1.02	1.00	0.98	0.96	0.94	0.92	0.91
14.0	1.04	1.02	1.00	0.98	0.96	0.95	0.93	0.91
14.5	1.05	1.03	1.01	0.99	0.97	0.95	0.93	0.92
15.0	1.05	1.03	1.01	0.99	0.97	0.95	0.94	0.92
15.5	1.06	1.04	1.01	1.00	0.98	0.96	0.94	0.92
16.0	1.06	1.04	1.02	1.00	0.98	0.96	0.94	0.93
16.5	1.07	1.04	1.02	1.00	0.98	0.97	0.95	0.93
17.0	1.07	1.05	1.03	1.01	0.99	0.97	0.95	0.93
17.5	1.07	1.05	1.03	1.01	0.99	0.97	0.96	0.94
18.0	1.08	1.06	1.04	1.02	1.00	0.98	0.96	0.94

Energiekosten H2 (CHF/kg)

## Verhältnis Gesamtkosten: e-Fuel/BEV im Jahr 2040, 32t

Bemerkung: ohne Ausnahme für LSVA, Energiekosten inkl. Ladeinfrastruktur bzw. Tankstellen

	Strompreis (CHF/kWh)							
	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
2.00	1.00	0.98	0.96	0.94	0.92	0.91	0.89	0.87
2.20	1.01	0.99	0.97	0.95	0.93	0.91	0.90	0.88
2.40	1.02	1.00	0.98	0.96	0.94	0.92	0.91	0.89
2.60	1.03	1.01	0.99	0.97	0.95	0.93	0.91	0.90
2.80	1.04	1.02	1.00	0.98	0.96	0.94	0.92	0.91
3.00	1.05	1.02	1.00	0.98	0.97	0.95	0.93	0.91
3.20	1.05	1.03	1.01	0.99	0.97	0.96	0.94	0.92
3.40	1.06	1.04	1.02	1.00	0.98	0.96	0.95	0.93
3.60	1.07	1.05	1.03	1.01	0.99	0.97	0.95	0.94
3.80	1.08	1.06	1.04	1.02	1.00	0.98	0.96	0.94
4.00	1.09	1.07	1.05	1.03	1.01	0.99	0.97	0.95
4.20	1.10	1.08	1.06	1.04	1.02	1.00	0.98	0.96
4.40	1.11	1.09	1.06	1.04	1.02	1.00	0.99	0.97
4.60	1.12	1.10	1.07	1.05	1.03	1.01	0.99	0.98
4.80	1.13	1.10	1.08	1.06	1.04	1.02	1.00	0.98
5.00	1.14	1.11	1.09	1.07	1.05	1.03	1.01	0.99
5.20	1.14	1.12	1.10	1.08	1.06	1.04	1.02	1.00
5.40	1.15	1.13	1.11	1.09	1.07	1.05	1.03	1.01
5.60	1.16	1.14	1.12	1.10	1.07	1.05	1.03	1.02
5.80	1.17	1.15	1.13	1.10	1.08	1.06	1.04	1.02
6.00	1.18	1.16	1.13	1.11	1.09	1.07	1.05	1.03

Energiekosten e-Fuel (CHF/l)

# Gesamtkostenvergleiche SNF – Annahmen für Busse

## Wichtigsten Annahmen

- Einmaliger Batterie- und Stackaustausch vorgesehen
- Infrastruktur für Tanken/Laden in den Energiekosten berücksichtigt
- Lebensdauer: 12 Jahre für Midibusse, 12 Jahre für Standard- und Gelenkbusse
- Energiekosten
  - BEV: 0.3 CHF/kWh (8 Rp. Für Ladeinfrastruktur)
  - FCEV: 14 CHF/kg (inkl. Tankstellenkosten)
  - e-Fuels: 4 CHF/l

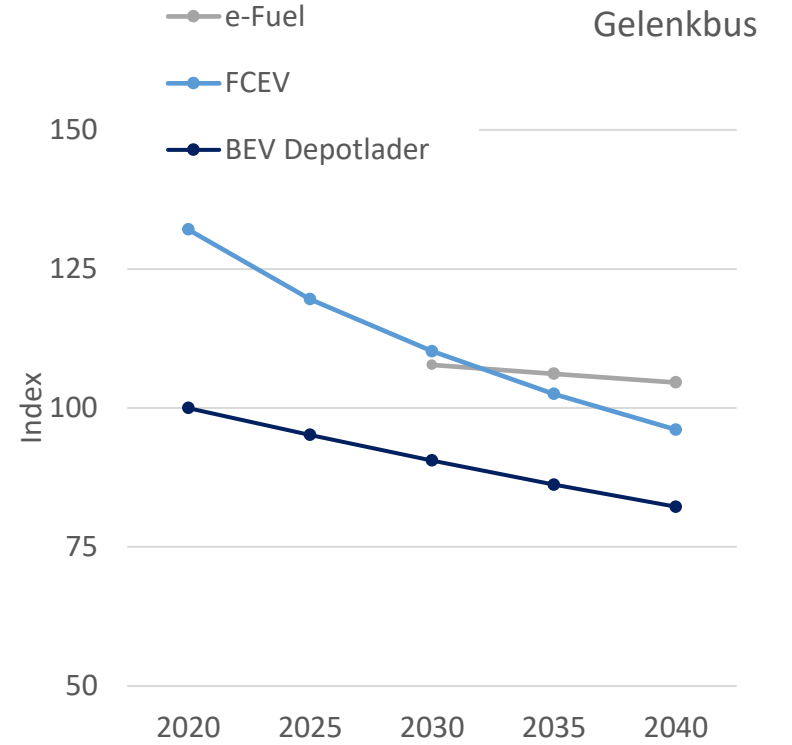
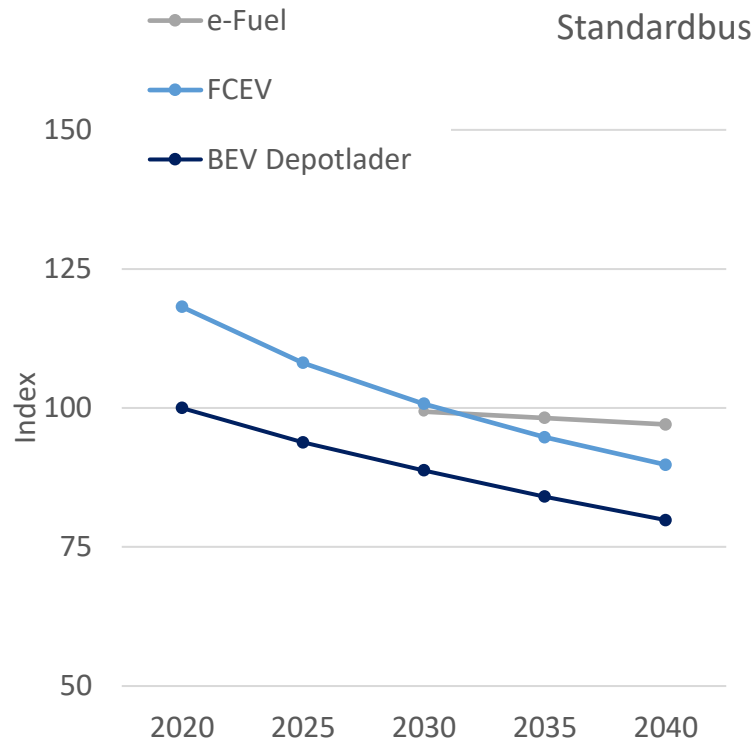
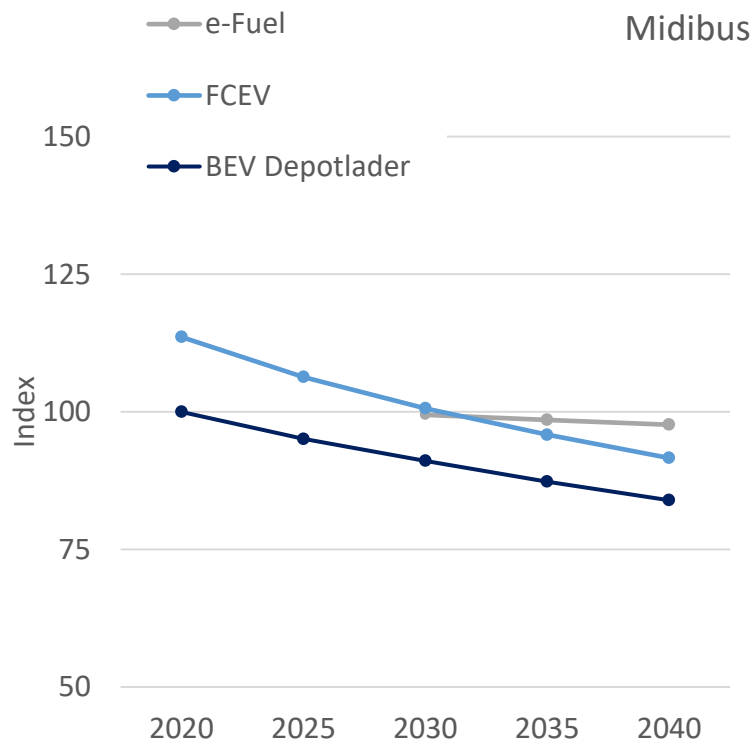
		Batteriespeicherkapazität (kWh)			
		2020	2030	2040	2050
Midibusse	Elektrisch Depotlader	400	450	500	500
Midibusse	Elektrisch Gelegenheitslader	250	250	250	250
Standardbusse	Elektrisch Depotlader	600	675	750	750
Standardbusse	Elektrisch Gelegenheitslader	300	300	300	300
Gelenkbusse	Elektrisch Depotlader	600	900	1100	1100
Gelenkbusse	Elektrisch Gelegenheitslader	300	300	300	300

		Lebensfahrleistungen (km)				
		2020	2025	2030	2035	2040
Midibusse	Basis	700'000	700'000	700'000	700'000	700'000
Standardbusse	Basis	960'000	960'000	960'000	960'000	960'000
Gelenkbusse	Basis	960'000	960'000	960'000	960'000	960'000

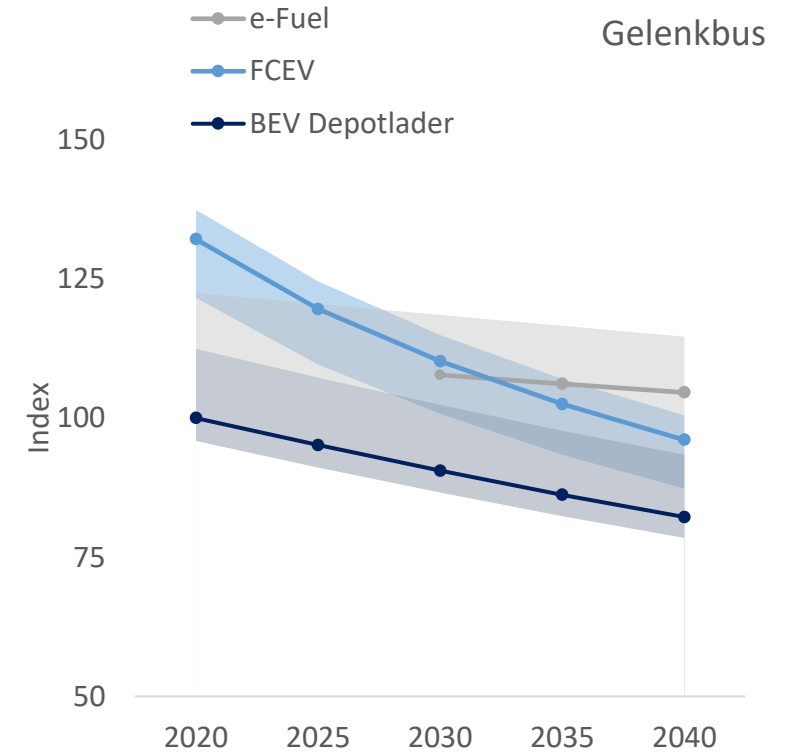
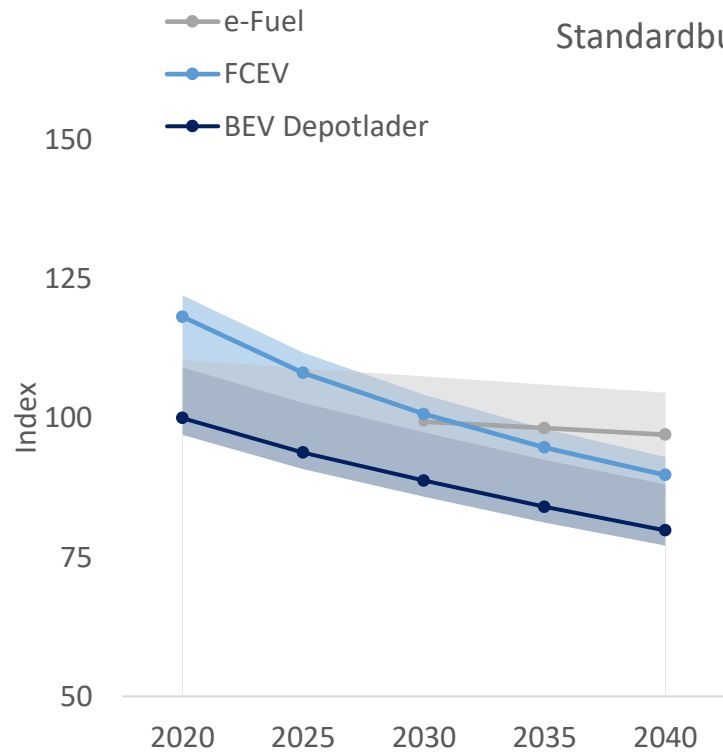
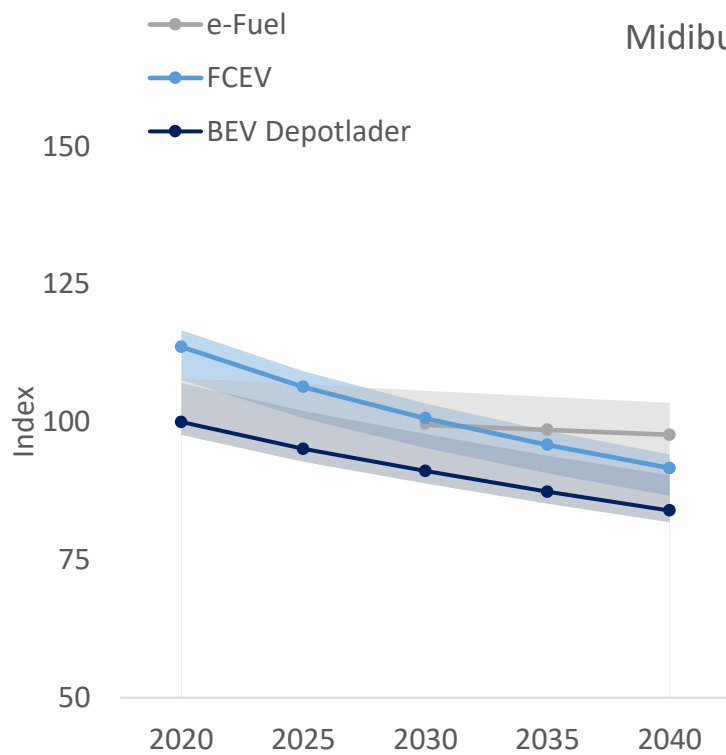
		Anschaffungskosten (CHF)				
		2020	2025	2030	2035	2040
Midibusse	Diesel	330'000	330'000	330'000	330'000	330'000
Midibusse	Elektrisch Depotlader	710'000	636'250	562'500	488'750	415'000
Midibusse	Elektrisch Gelegenheitslader	620'000	562'500	505'000	447'500	390'000
Midibusse	Brennstoffzelle	750'000	655'000	560'000	465'000	370'000
Standardbusse	Diesel	350'000	350'000	350'000	350'000	350'000
Standardbusse	Elektrisch Depotlader	888'000	784'750	681'500	578'250	475'000
Standardbusse	Elektrisch Gelegenheitslader	680'000	615'000	550'000	485'000	420'000
Standardbusse	Brennstoffzelle	890'000	768'750	647'500	526'250	405'000
Gelenkbusse	Diesel	500'000	500'000	500'000	500'000	500'000
Gelenkbusse	Elektrisch Depotlader	1'075'000	977'500	880'000	782'500	685'000
Gelenkbusse	Elektrisch Gelegenheitslader	870'000	795'000	720'000	645'000	570'000
Gelenkbusse	Brennstoffzelle	1'305'000	1'125'000	945'000	765'000	585'000



# Gesamtkosten Busse: Ergebnisse bis 2040



# Gesamtkosten Busse: Ergebnisse bis 2040 in Bandbreiten (min und max Energiekosten)



# Gesamtkosten SNF – Fazit

- **BEV** werden ab 2030 aufgrund **ihrer Kostenvorteile** dominieren.
- Der **Wegfall der LSVA-Ausnahme** für BEV und FCEV würde den Kostenunterschied mit e-Fuels deutlich reduzieren (insb. bei FCEV).
- **e-Fuels** sind bei LKWs deutlich teurer, wegen **hohen Energiekosten** bei gleichzeitig sinkender Anschaffungskosten BEV/FCEV (Annahme: FCEV-Markt entwickelt sich). Bei den Bussen sind e-Fuels z.T. günstiger als FCEV (u.a. keine LSVA und höherer Anteil der Energiekosten).
- Die **sensitivsten Parameter** sind Lebensfahrleistung, Energiekosten sowie Batteriegrösse (bei BEV).
- Bei hohem Strompreis für BEV (Stichwort Megawatt Charging) könnten FCEV im Langstreckenverkehr kompetitiv werden.
- Klare Tendenz: **Depotlader** werden sich künftig gegen Opp-Charger durchsetzen, obwohl teurer (u.a. dank höherer Flexibilität).
- FCEV könnten jedoch für **topographisch anspruchsvolle und lange Linien** relevant sein.

# Quellen

## Grundlagen

- ASTAG (2017): Selbstkosten für schwere Nutzfahrzeuge
- INFRAS (2019): CO<sub>2</sub>-Emissionsvorschriften für schwere Nutzfahrzeuge, im Auftrag des BFE
- INFRAS/PSI/Quantis (2020): Umweltauswirkungen von Fahrzeugen im urbanen Kontext
- INFRAS (2022): Ökobilanz der Fahrzeugflotte der Post
- European Commission (2018): Support for preparation of the impact assessment for CO2 emissions standards for Heavy Duty Vehicles
- ICCT (2021): Total Cost of Ownership for Tractor-Trailers in Europe: Battery Electric vs. Diesel
- Ifeu (2022): Vergleichende Analyse der Potentiale von Antriebstechnologien für Lkw im Zeithorizont 2030

Technologie-Roadmap für alternative Antriebstechnologien

## 7. Technologie-Roadmap

Strategien  
Fahrzeug-Hersteller  
Ankündigungen Verkaufsanteile  
emissionsfreie SNF  
Technologie Claims

Angekündigte emissionsfreie  
SNF-Modelle

Megawatt Ladeinfrastruktur

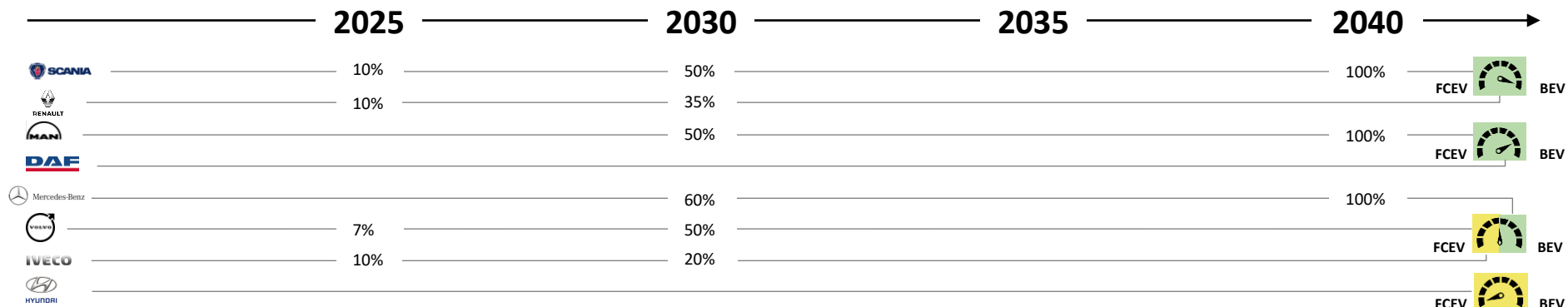
Batterietechnologien

Strombasierte Treibstoffe

International (Phase-Outs)

Politische  
Rahmenbedingungen &  
Regulierung Schweiz

Gesamtkosten SNF



v.a. Busmodelle BEV Lkw für den Fernverkehr (> 500 km Reichweite)

Norm Megawatt-Laden | Traton: EU-Schnellladenetz mit 1'700 Hochleistungs-Ladepunkte | Ziel ACEA: 50'000 Hochleistungs-Ladepunkte | EU-Kommission: Hochleistungs-ladestationen alle 50 km und alle 150 km Wasserstofftankstellen

