

Elektromobilität

Theorie, Entwicklung und Alltag

R.H.A. Schott

26.06.2024



Wer bin ich?

René Schott

- Wohnort: Wegberg, Geburtsort: Roermond (NL)
- Studium: Elektrotechnik an der TU Eindhoven (NL)
- Beruf:
 - System Architekt bei Philips in Eindhoven (Röntgen-Geräte),
 - zuvor Co-Firmengründer von Macawi (Entwicklung von Beatmungsgeräten).
- Familie: verheiratet und zwei Kinder (13 und 10)
- Interessen: Familie, Medizin und Medizintechnik, Umwelt, Klimaschutz, Verkehrswende, Bildung, Digitalisierung

“

Seitdem ich Elektroauto fahre, bekomme ich viele Fragen über Elektromobilität.

Es fehlen zuverlässige Informationen und Erfahrungen.

Übersicht

- Warum Elektromobilität?
 - Elektroauto und Personenzug
- Technik
 - Elektro- und Verbrennerfahrzeug
- Nachhaltigkeit und Umweltaspekte
 - Wirkungsgrade
 - Herstellung und CO2-Bilanz
 - Energieproduktion und -bedarf
- Sicherheit
- Kosten
- Blick in die Zukunft
- Erfahrungen im Alltag





Warum Elektromobilität?

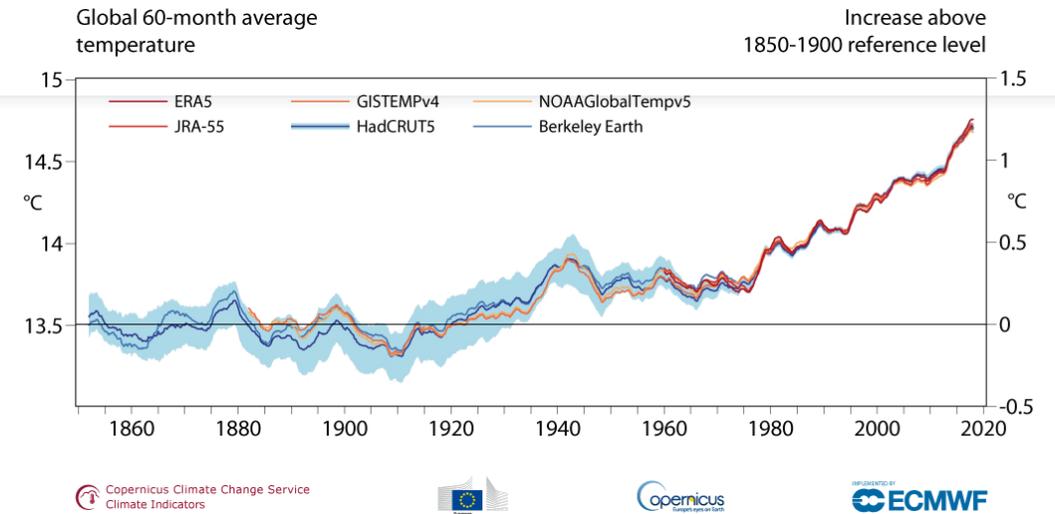
Warum Elektromobilität?

Elektromobilität (Wikipedia):

“Elektromobilität beschreibt die Beförderung von Personen und Gütern mithilfe elektrischer Antriebe.”

Wegen des sehr hohen Wirkungsgrades gilt Elektromobilität als großer Schritt in die richtige Richtung für die **Verkehrs- und Energiewende**, nötig um den Klimawandel zu bremsen,

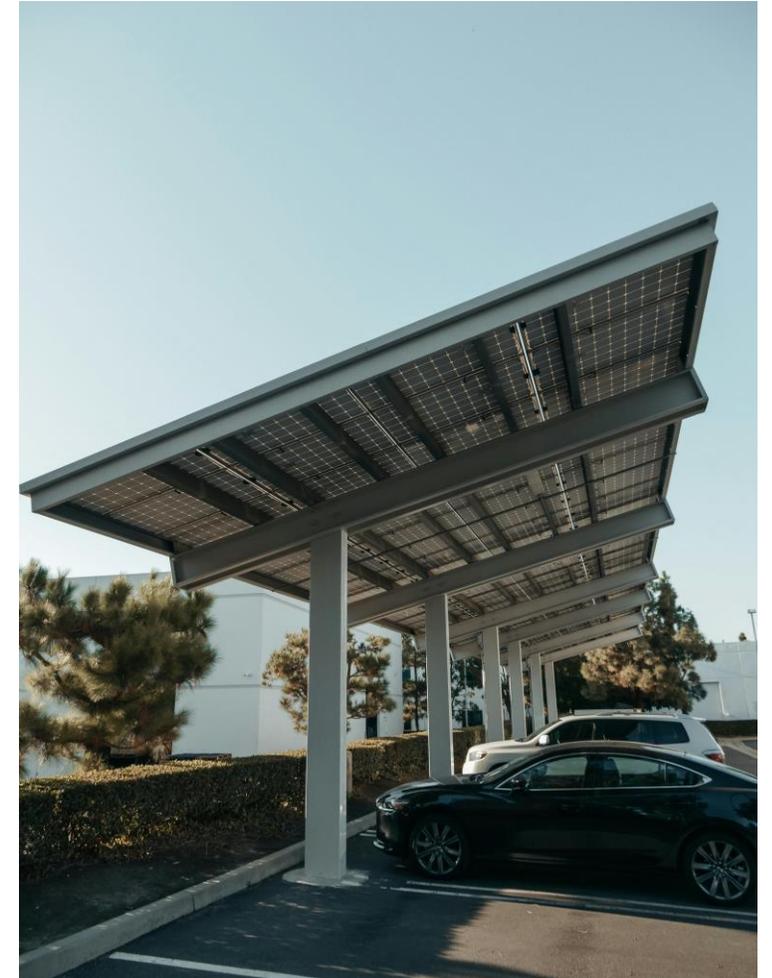
...ist jedoch nicht die Lösung!



Warum “elektrischer Strom”?

Warum “elektrischer Strom”?

- Energie in Form von “elektrischem Strom” kann relativ einfach generiert werden, mittels PV, Windrädern und Wasserkraftanlagen.
- Strom kann sehr effizient verteilt über vorhandene Netze, es muss nicht mit LKW verteilt werden.
- Strom kann vor allem über Photovoltaikanlagen dezentral produziert werden, an dem Ort wo er benutzt wird. Keine große Verteilung nötig.
- Strom ist eine der wenigen Energieformen mit denen Deutschland unabhängig von anderen Ländern sein kann, im Gegensatz zu Öl oder Gas.
- Keine lokalen Emissionen

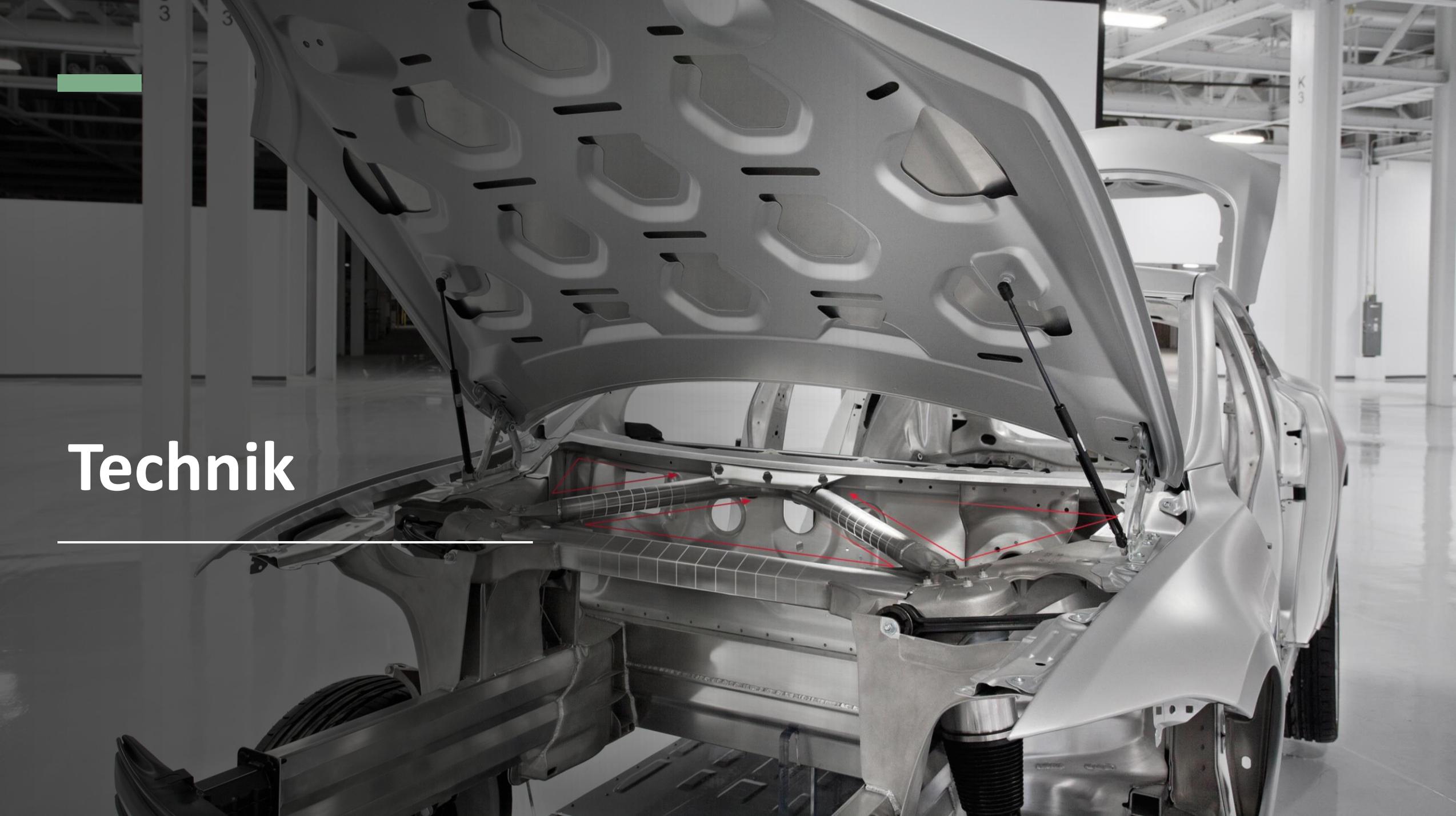


Vergleich Elektroauto und Personenzug

- Laut Bahn verbraucht der Nahverkehr etwa 62 kWh pro Passagier und 100 Kilometer.
- Die Bahn berichtet auch: Im Schnitt liegt der Verbrauch bei etwa 2,9 Liter (etwa 29 kWh) pro Passagier und 100 Kilometer.
- Im Vergleich: Das Elektroauto verbraucht im Schnitt etwa 18 kWh pro 100 Kilometer.
- Verbrauch kann reduziert werden durch bessere Auslastung, leichtere Züge und niedrigere Geschwindigkeiten.
- Mögliche Alternative: Elektro-Reisebus



Foto von Wolfgang Weiser

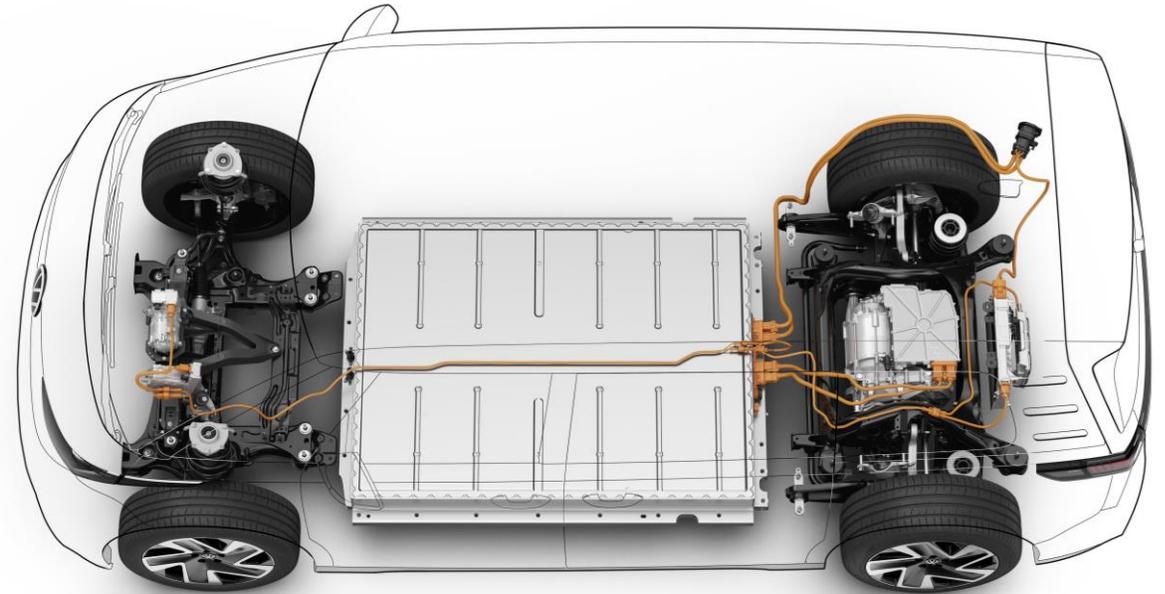


Technik

Elektrofahrzeug – Technik

Ein Elektroauto besitzt folgende Teile:

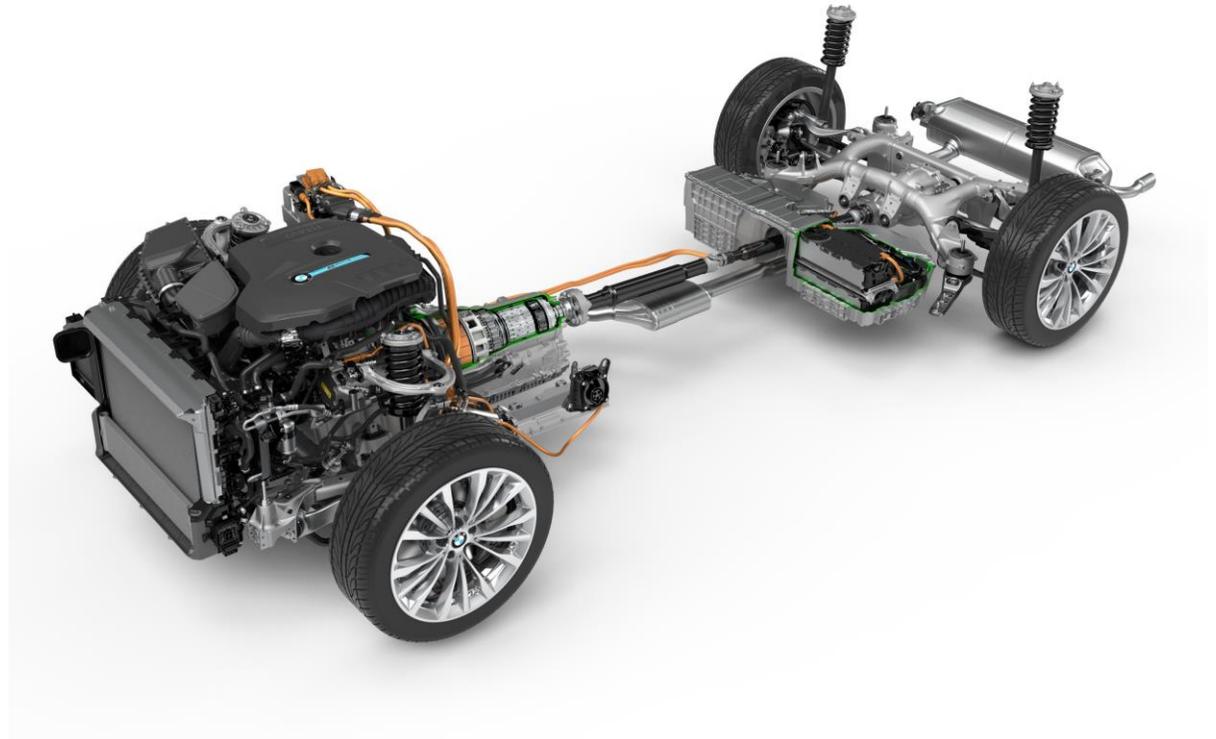
- Eine Hochvoltbatterie
 - Batteriemanagementsystem (BMS)
- Elektromotor(en)
 - Synchron und / oder asynchron
- Ladeelektronik
 - Für Schnell- und Langsamladen



Verbrennerfahrzeug – Technik

Ein Verbrennerfahrzeug besitzt folgende Teile:

- Motor
 - Kühlung
 - Schmierung
- Getriebe
 - Schmierung
- Tank
- Abgasanlage
 - Katalysator



Elektrofahrzeug – Elektromotor

Elektromotor

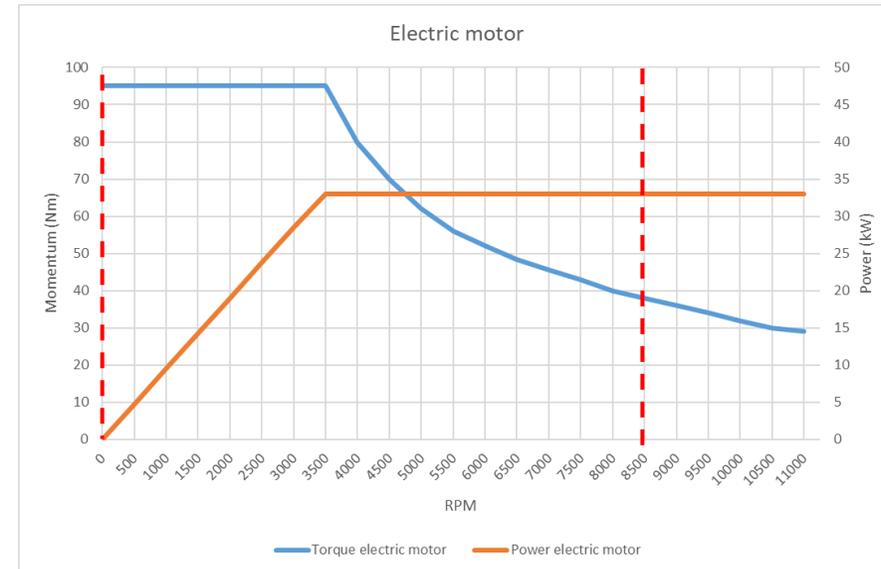
- Konstantes maximales Drehmoment ab 0 Umdrehungen.
- Kein Getriebe notwendig (spart Gewicht)

Energie-Rekuperation (regeneratives Bremsen)

- Verringert Energieverbrauch, spart Bremsscheiben und Bremsbeläge.

Motorabmessungen

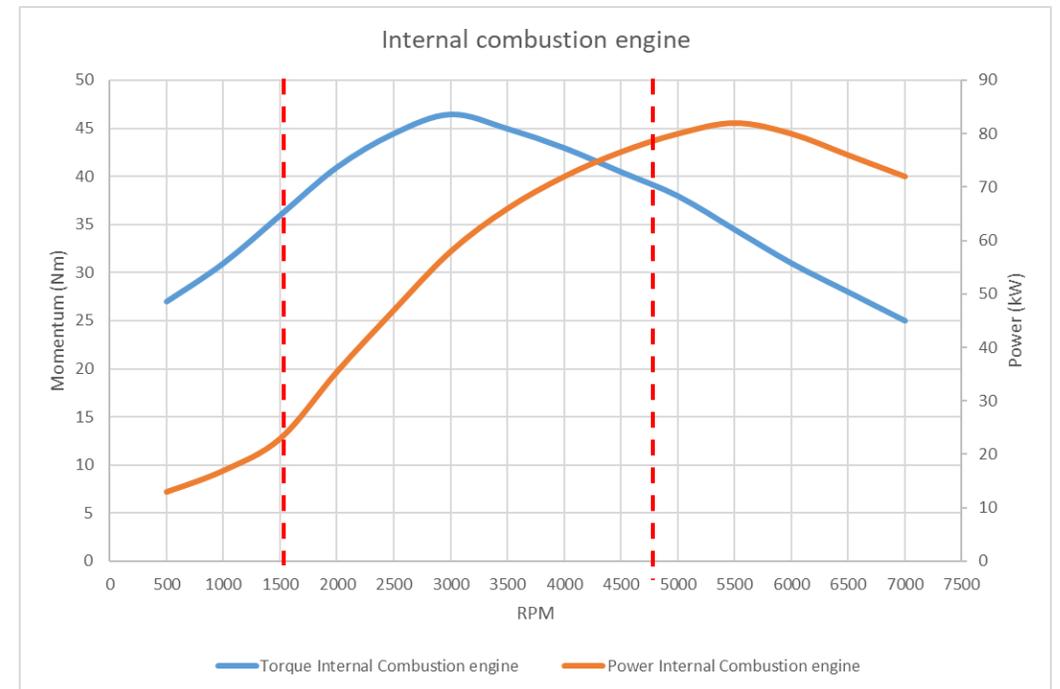
- Kleine Motorabmessungen sparen Platz für einen großen Kofferraum und oft einen Frunk.



Verbrennerfahrzeug - Motor

Verbrennungsmotor und Schaltgetriebe:

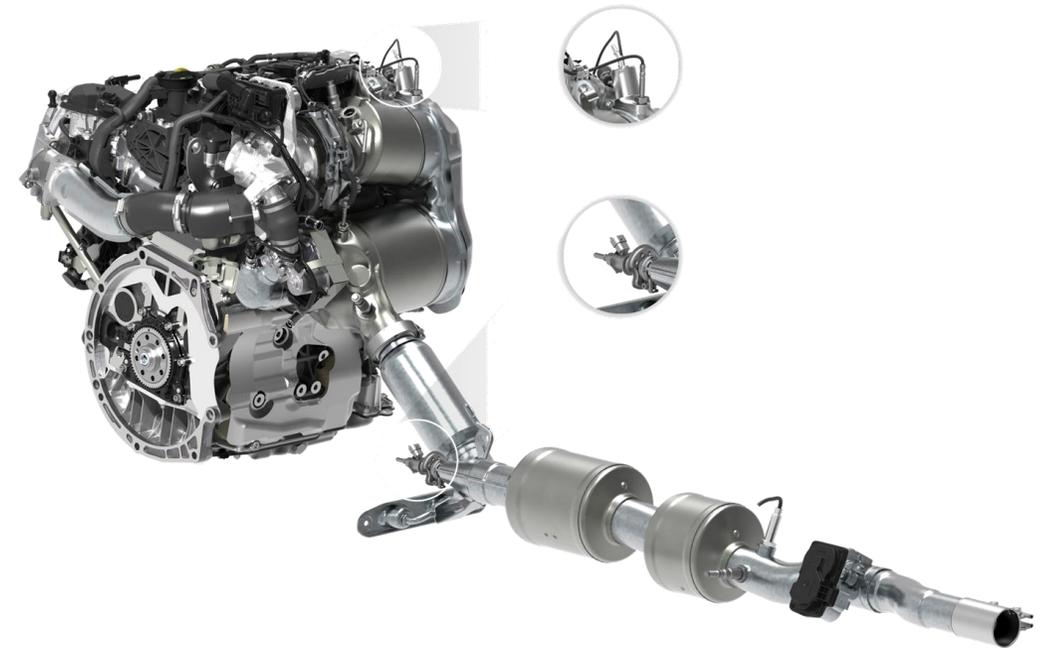
- Benzin / Diesel wird im Motor verbrannt und führt zu Hitze und Bewegung.
- Hohes Drehmoment (und Leistung) nur bei optimaler Drehzahl
- Niedriger Wirkungsgrad
- Getriebe ist nötig, um im optimalen Wirkungsradbereich zu bleiben



Verbrennerfahrzeug – Abgasreinigung

Durch den Katalysator können die Schadstoffemissionen im Abgas deutlich reduziert werden:

- Benzinmotor: geregelter Drei-Wege-Katalysator für Abgasreinigung
 - Umwandlung von Kohlenwasserstoffe, Kohlenstoffmonoxid (CO) und Stickoxide (NO_x) in Kohlenstoffdioxid (CO₂), Wasser und Stickstoff.
- Dieselmotor: SCR mit Adblue
 - Umwandlung der Stickoxide (NO_x) in Wasser und Stickstoff
 - Harnstoff (AdBlue) wird benötigt für die Reaktion.



Elektrofahrzeug – Laden und Ladeplanung

„Steht er, dann lädt er“ (Zitat Ove Kröger)

Laden im Alltag (Wallbox oder Ladensäule):

- AC-Laden (Langsamladen): meist 11kW (oder 22kW)
- Durchschnittsstrecke pro Tag in Deutschland: 43 km.
- Das sind etwa 8 kWh. Beim 11 kW AC-Laden ist das etwa 45 Minuten.
- Akkus in moderne Elektroautos sind minimal 55 kWh groß. → Ladung für etwa 5 Tage.
- Man fährt jeden Tag mit vollem Akku los. Man muss nicht mehr tanken.
- Ladesäulen können beantragt werden.

Laden auf der Langstrecke:

- An der Schnellladesäule an der Autobahn (Supercharger, Hypercharger / HPC): meist 150 – 300 kW
- Nachladen von 100 km Autobahnfahrt dauert etwa 5 bis 8 Minuten.
- Moderne Elektroautos haben ein gutes Navi, das die Ladeplanung übernimmt.
- Schnelllader werden automatisch, abhängig von der Strecke, Geschwindigkeit, Wetter und Verkehrsaufkommen geplant.
- Auch die Ladeplanung von anderen Autos wird mit einbezogen.
- Ladezeiten werden mit angegeben.
- Man gibt das Ziel ein und das Auto macht den Rest.

Elektrofahrzeug – Reichweite

	Verbrauch / 100 km	Reichweite in der Praxis bei 55 kWh	Reichweite in der Praxis bei 75 kWh
Stadt	10 – 13 kWh	~ 400 km	~ 650 km
Landstraße	15 – 19 kWh	~ 300 km	~ 430 km
Autobahn (Durchschnitt 110 km/h)	18 – 28 kWh	~ 250 km	~ 360 km

- Im Winter Mehrverbrauch von etwa 15 - 25%, mit Vorklimatisierung etwa 10%.
- Elektrische Verbraucher machen kaum Unterschied.



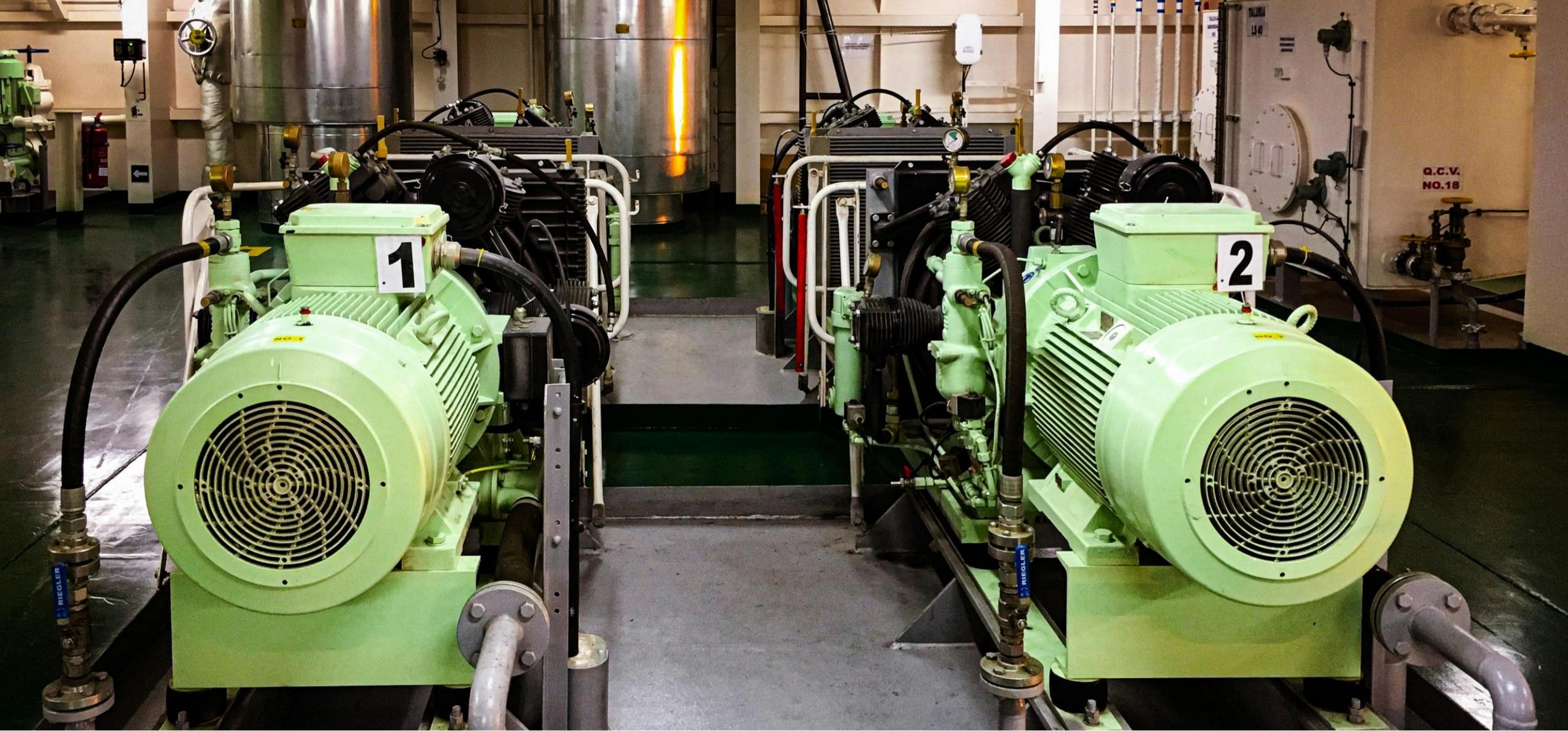
Übersicht

- Warum Elektromobilität?
 - Elektroauto und Personenzug
- Technik
 - Elektro- und Verbrennerfahrzeug
- Nachhaltigkeit und Umweltaspekte
 - Wirkungsgrade
 - Herstellung und CO2-Bilanz
 - Energieproduktion und -bedarf
- Sicherheit
- Kosten
- Blick in die Zukunft
- Erfahrungen im Alltag





**Nachhaltigkeit
und
Umweltaspekte**

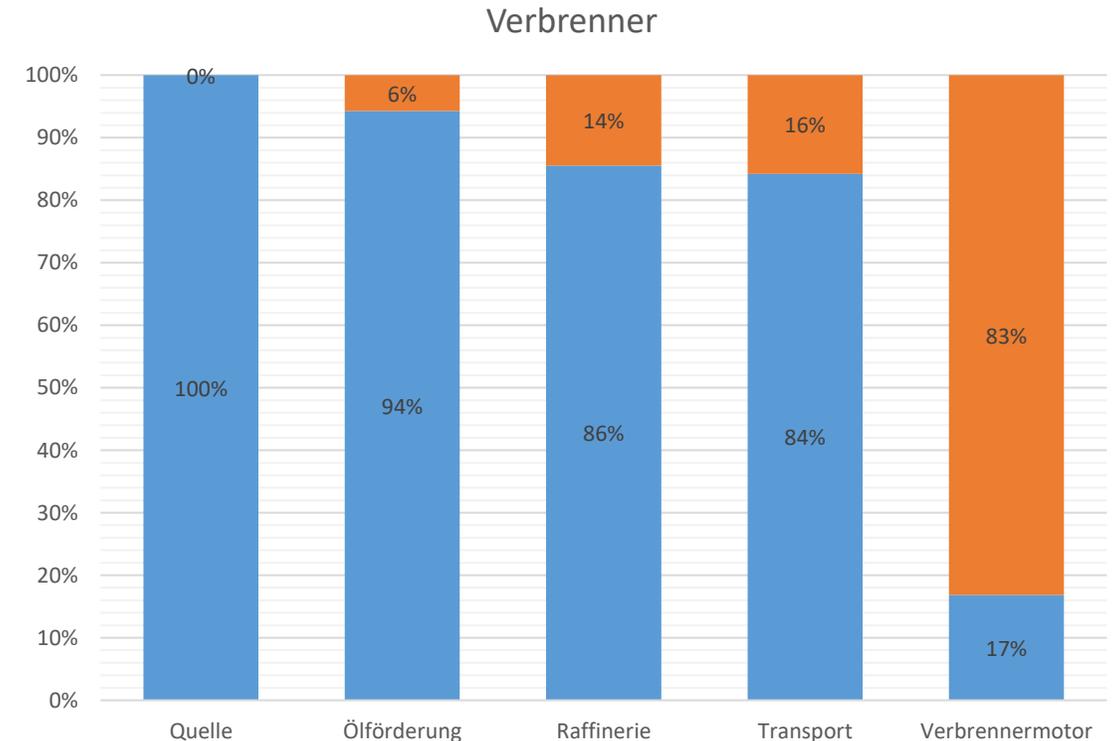


Wirkungsgrade

Wirkungsgrad Verbrennerfahrzeug

- Erdölförderung, Raffinierung zu Diesel / Benzin, Transport des Kraftstoffs über die Straße
→ Wirkungsgrad: <85%.
- Wirkungsgrad Motor + Getriebe:
→ Wirkungsgrad: ~20% im Schnitt (Diesel),

Wirkungsgrad total: $85\% * 20\% = 17\%$



Wirkungsgrad Elektrofahrzeug

- Kombiniertes Wirkungsgrad Stromerzeugung (Europa, 2023): 52%.
- Wirkungsgrad des Stromtransports über Stromnetz (Deutschland, 2019): 94.3%.

oder

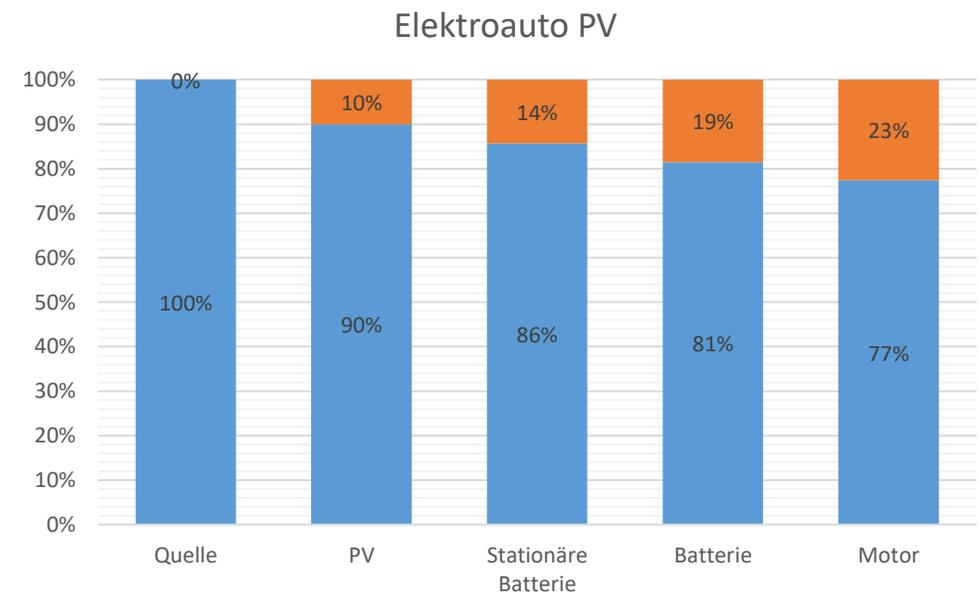
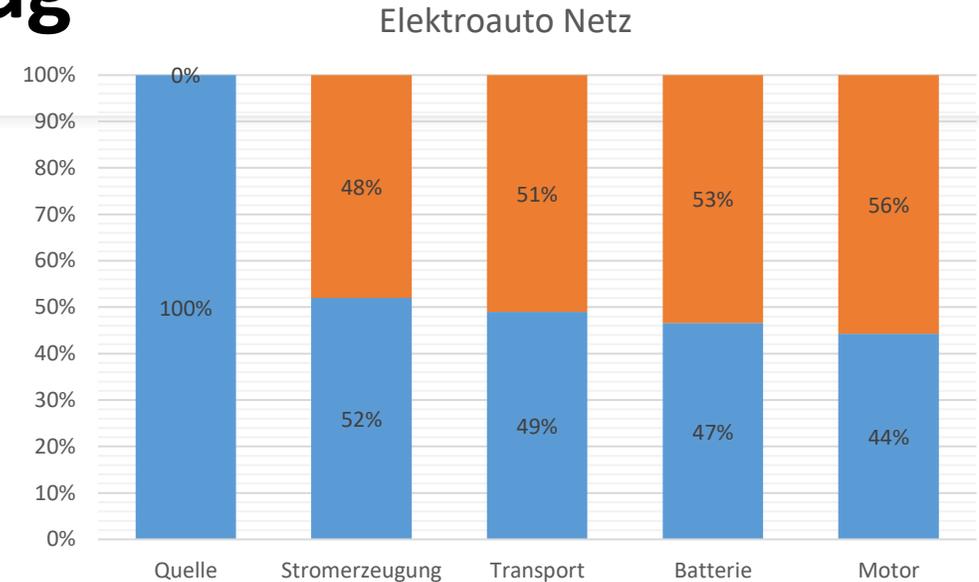
- Erneuerbare Energiequellen vor Ort (90%), bei Benutzung einer stationären Batterie (95%): 85,5%.

Wirkungsgrad Batterie / -Lader: ~95%.

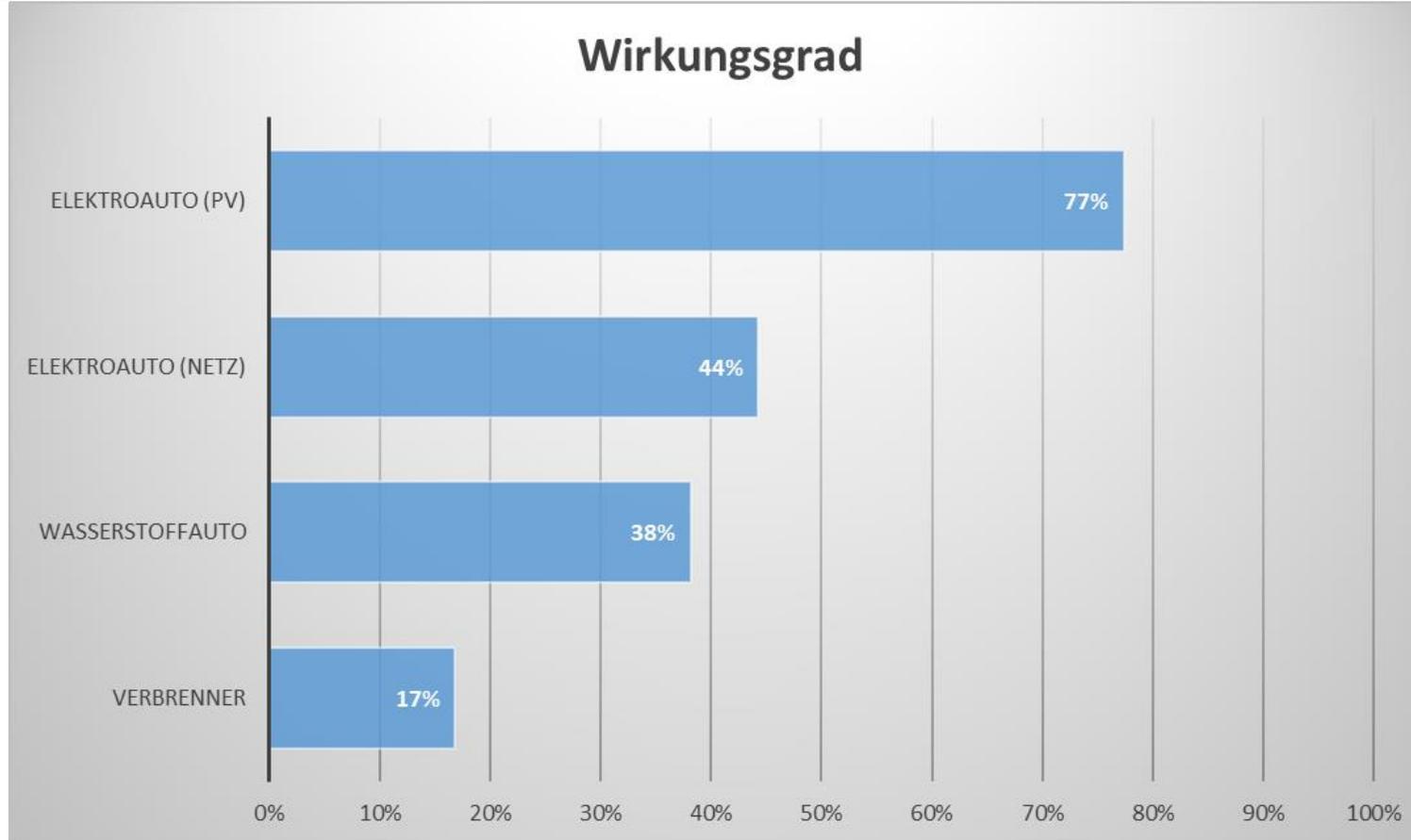
Wirkungsgrad von Elektromotor (Rekuperation inklusive): >95%.

Wirkungsgrad: ~44% (über Netz)

Wirkungsgrad: ~77% (mit PV vor Ort).



Vergleich Wirkungsgrade



Ein PKW mit Verbrennermotor verbraucht:

- 2,6 mal mehr Energie als ein Elektroauto über Netz geladen
- 4,6 mal mehr Energie als ein Elektroauto über PV geladen

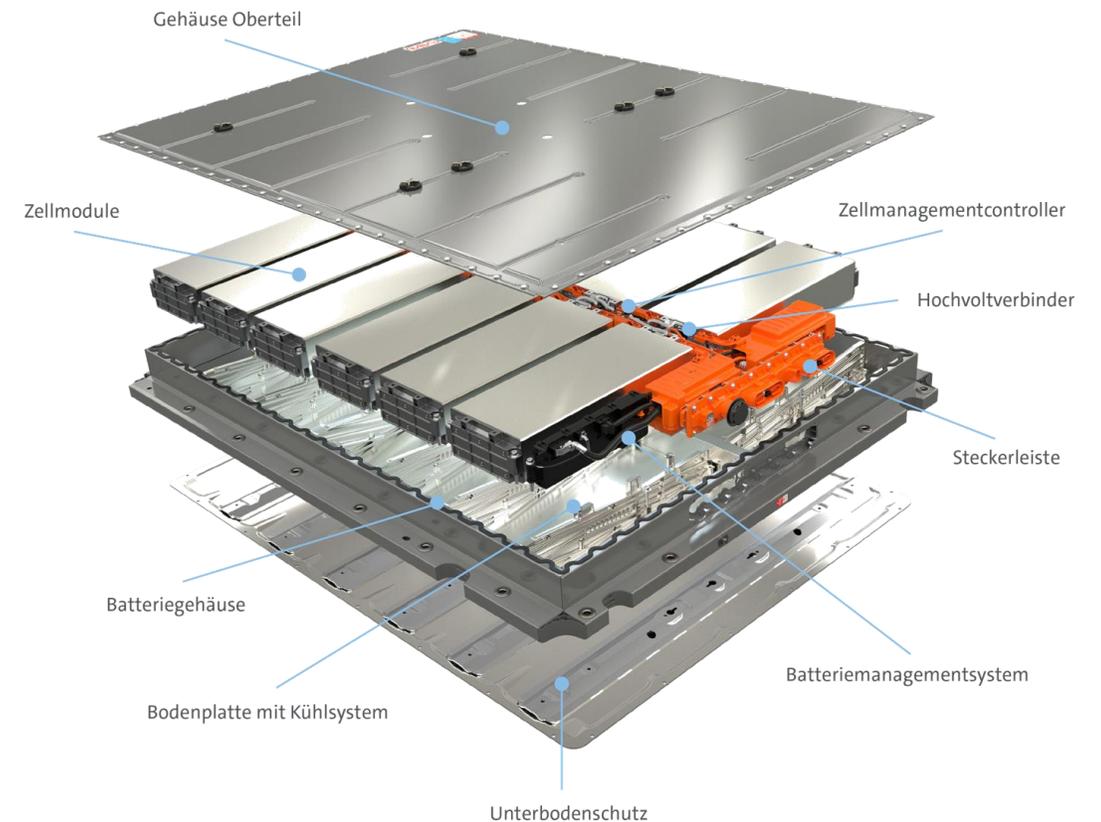


Herstellung

Elektrofahrzeug – Akku - Technologien

Gängige Akkutechnologien sind NCA (Nickel-Kobalt-Aluminium) oder NMC (Nickel-Mangan-Kobalt):

- Lithiummenge: ~5 kg in einer 70 kWh Batterie, die ~450 kg wiegt.
- Kobaltmenge: Standard ist 8% (36 kg), Tendenz fallend.
- Im Tesla Model 3 LR ist dies seit 2018: 1% (4,5 kg)



Elektrofahrzeug – Akku – LFP

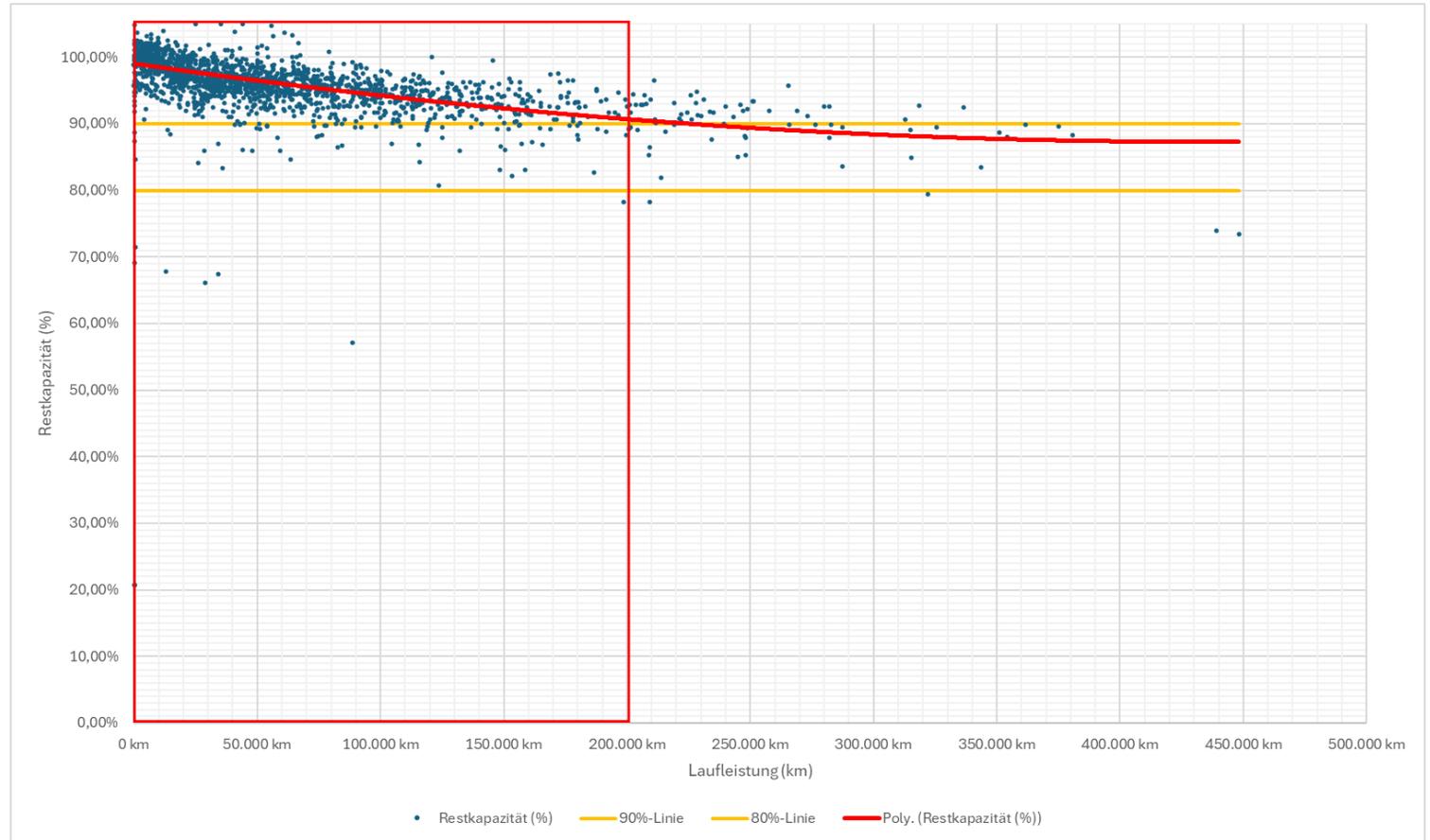
Neuere Akku-Technologie ist LFP (Lithium-Eisen-Phosphat)

- Vorteile:
 - Brennen kaum, auch nicht bei Beschädigung
 - Man kann sie immer auf 100% laden, ohne negativen Folgen für die Alterung des Akkus
 - Kein Kobalt und Nickel mehr nötig
 - Preiswerter → Tesla verkauft diesen Akku in den preiswerteren Modellen
- Nachteile:
 - Die Kapazität ist niedriger (Akku ist schwerer)
 - Die Schnellladegeschwindigkeit ist etwas niedriger.

Elektrofahrzeug – Akku – Haltbarkeit

Haltbarkeit von Akkus

- Eine Laufleistung von 300.000 km ist problemlos möglich.
- Eine geschätzte Laufleistung von 1.000.000 km scheint möglich.



Elektrofahrzeug – Akku – Zweites Leben

Second Life:

- Akkus, die für den Einsatz im Auto nicht mehr leistungsfähig genug sind, haben nach mehreren Tausend Ladezyklen immer noch einen Energieinhalt von 70 bis 80 Prozent ihrer ursprünglichen Kapazität.
- Weder ökonomisch noch ökologisch sinnvoll, sie in diesem Zustand zu entsorgen. Sie können im sogenannten Second Life (zweites Leben) im stationären Betrieb weiterverwendet werden.

Beispiele:

- BMW-Werk in Leipzig: stationärer Speicher, bestehend aus 700 zusammenschalteten i3-Akkus. Seit 2017 in Betrieb.
- Fährterminal im Hamburger Hafen: 2 Megawatt Stromspeicher, der aus ausrangierten BMW i3-Akkus besteht. Wird eingesetzt, um Lastspitzen im öffentlichen Stromnetz auszugleichen.
- Das 3 Megawatt Speichersystem in der Johan Crujff ArenA in Amsterdam bestehend aus 148 Nissan Leaf Akkus. Seit 2018 in Betrieb.

Elektrofahrzeug – Akku – Recycling

Recycling:

- Die in einem Akku enthaltenen Rohstoffe sind sehr wertvoll.
Eine Antriebsbatterie sehr viel Aluminium, Stahl, Kunststoffe, Lithium, Mangan, Kobalt und Nickel.
- Nach aktuellem Stand sind **Lithium-Ionen-Akkus zu etwa 90 % recycelbar**.
- Neue Batterieverordnung der EU:
 - Neu produzierte Batterien müssen einen Mindestanteil von recyceltem Material enthalten. Die Quoten werden auf Dauer angehoben.

Elektrofahrzeug – Rohstoffe – Lithium & Kobalt

Lithium:

- Vorkommen von Lithium in der Erdkruste ist 0.006%. (Kupfer ebenfalls 0.006%).
- Ist in geringer Menge im menschlichen Organismus vorhanden, hat jedoch keine bekannte biologische Funktion. Lithiumsalze werden als Medikament eingesetzt.
- Gewinnung in Australien (Minen) und Chile (Sole) und China.
- Gewinnung 2/3 aus Minen, 1/3 aus Sole.
- Salzhaltiges Grundwasser (kein Trinkwasser) wird an die Oberfläche gepumpt und über Verdunstungsteichen geleitet. Daraus wird dann Lithiumcarbonat hergestellt.

Kobalt:

- Vorkommen von Kobalt in der Erdkruste ist 0.004%.
- Als Bestandteil von Vitamin B12 ist Kobalt zudem für alles menschliche und tierische Leben essenziell.
- Wird überwiegend aus Kupfer- und Nickelerzen gewonnen.
- Höchste Fördermengen kommen aus der Demokratische Republik Kongo und aus Russland. Gerade im Kongo sind Arbeitsbedingungen in Minen oft schlecht
- Tesla und BMW kaufen Kobalt nur aus zertifizierten Minen in Australien und Marokko ein mit denen sie zusammenarbeiten, nicht aus dem Kongo.

Verbrennerfahrzeug - Herstellung

Verbrennungsmotor:

- Teile müssen hitzebeständig sein, wegen der Verbrennung im Motorinneren.
- Kobalt wird für verschiedene Teile benutzt: Kurbelwellen, Pleuelstangen, Nockenwellen, Ventilsitzringe. Auch für Raffinerien: Katalysatoren zur Entschwefelung von Diesel und Kerosin.
- Ein Verbrennungsmotor besteht aus mindestens 1200 verschiedenen Teilen. (Im Vergleich: der Elektroantrieb kommt nur auf etwa 200 Teile.)



Foto von Pablo Gómez auf Unsplash

Verbrennerfahrzeug - Herstellung

Katalysator, Lambdasonde:

- Elemente wie Platin, Palladium und Rhodium und Metalle der seltenen Erden wie Lanthan, Yttrium und Cer werden benutzt.



Zündkerzen:

- Eisen-Nickel-Chrom-Legierungen als Elektrodenwerkstoff.
- Auch Platin, Silber, Iridium oder eine Nickel-Yttrium-Legierung werden verwendet.
Ermöglicht deutlich längere Wechselintervalle.





Foto von Marek Piwnicki auf Unsplash

CO₂-Bilanz

CO2-Bilanz

Vergleich Strom aus Heizöl und Diesel

Heizöl setzt pro Liter 2,65 kg CO₂ frei.

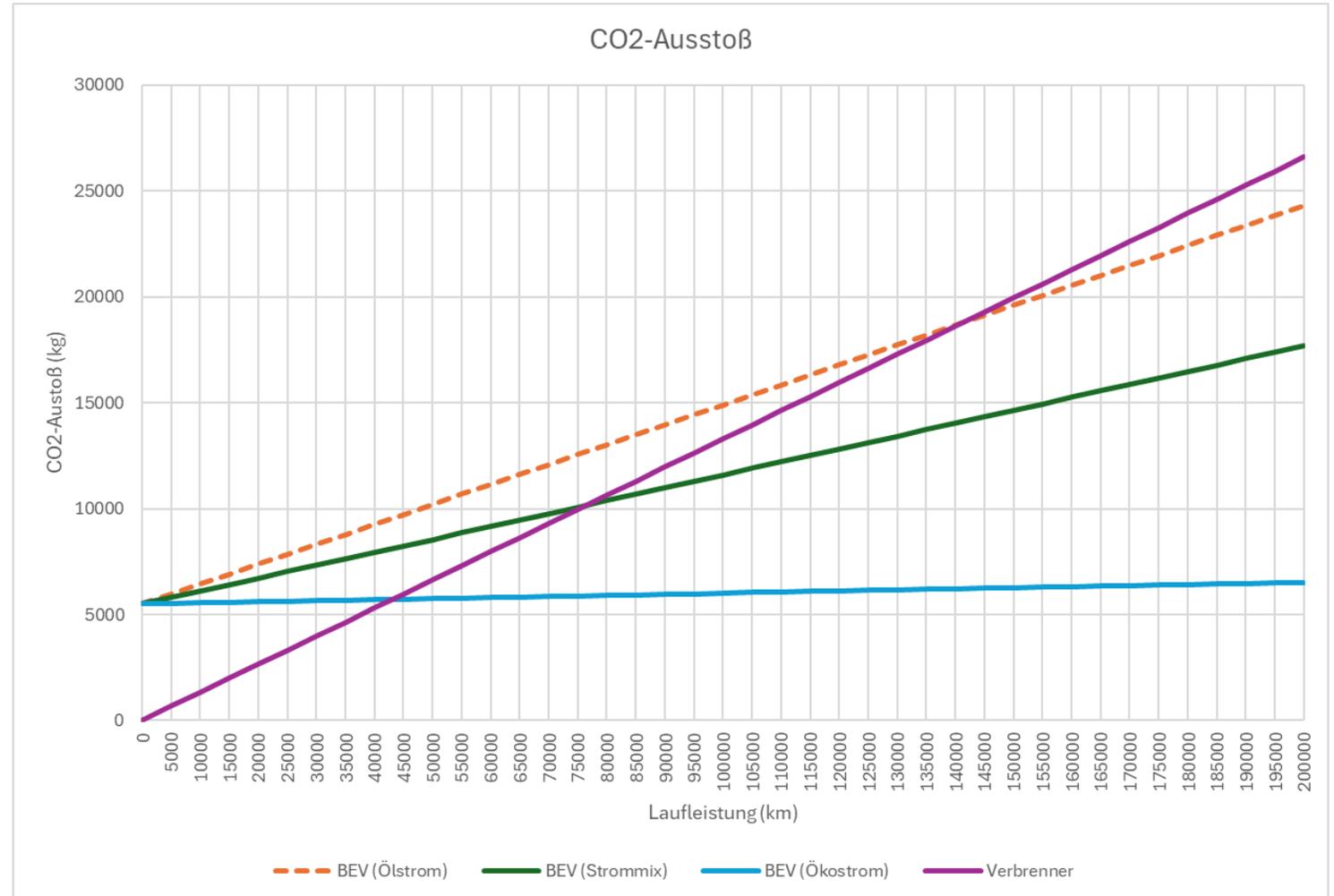
- Annahme: nur Strom aus Heizöl für Elektromobilität
- Im Kraftwerk: $\sim 10 \text{ kWh} / \text{L} * 45\%$ (Wirkungsgrad) = 4,5 kWh / L.
- Bei einem Verbrauch von 16 kWh / 100 km ist das $\sim 9,4 \text{ kg CO}_2 / 100 \text{ km}$.
- Verbrauch: 3,55 L / km.

Diesel setzt pro Liter ebenfalls 2,65 kg CO₂ frei.

- Bei einem Verbrauch von 5 L / 100 km ist das $5 * 2,65 = \sim 13 \text{ kg CO}_2 / 100 \text{ km}$.

CO2-Bilanz - Vergleich

- Etwa **100 kg CO2** pro kWh Speicherkapazität.
- Bei einer Batterie mit 55 kWh (etwa 400 km) sind das **5500 kg CO2**.

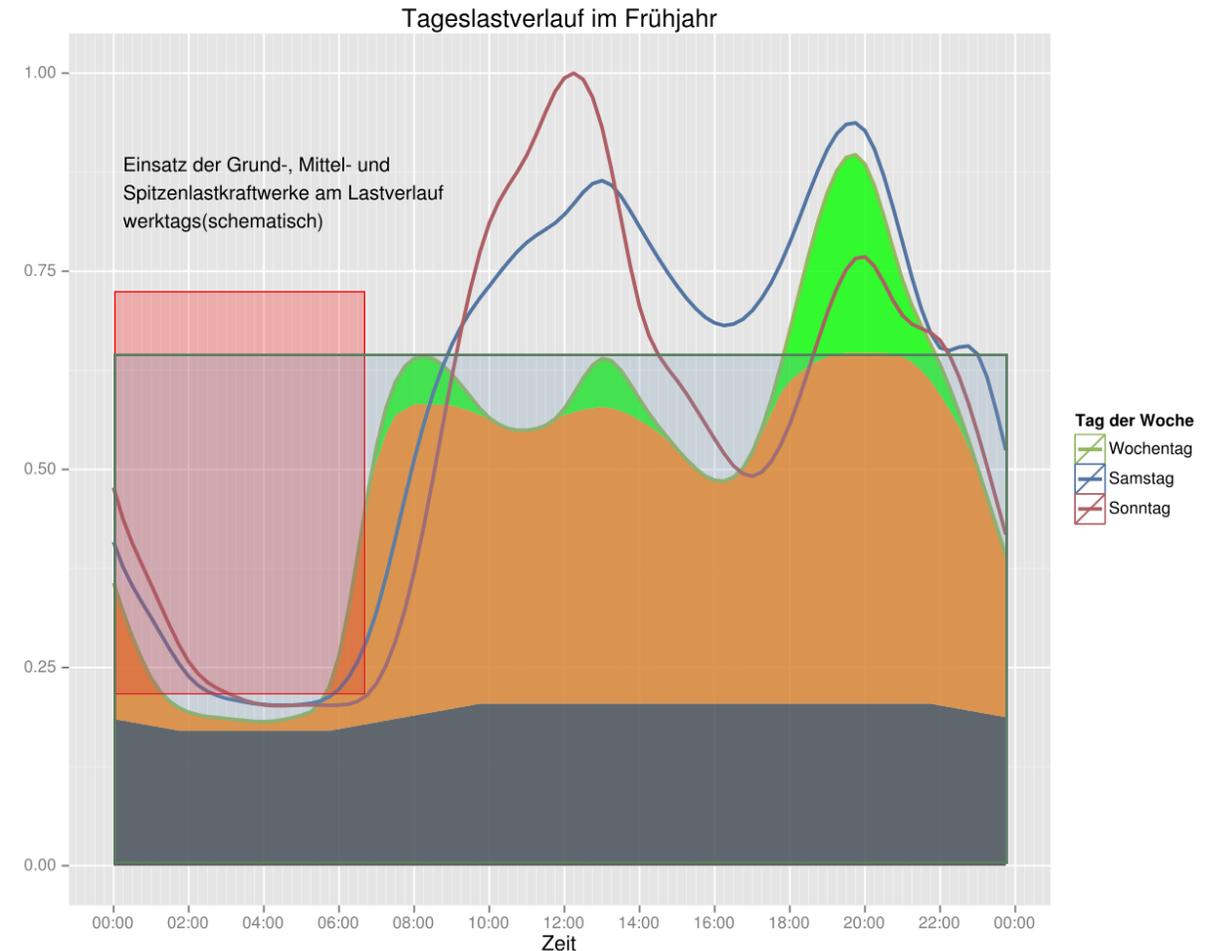




Energieproduktion und -Bedarf

Energieproduktion in Deutschland

- Elektrische Energieproduktion in Deutschland in 2018: 647 TWh (449 TWh in 2023)
- Durchschnittliche Energieproduktion pro Tag: 1770 GWh.
- Etwa 25% (~440 GWh) kann während der Nacht produziert werden (rotes Rechteck)



Hinweis: Grau und orange-farbene Teile im Diagramm können kontinuierlich produziert werden, grün im Moment nur während Spitzen.

Energiebedarf für Elektromobilität

- Anzahl der PKW in Deutschland (2023): 49 Millionen
 - **Durchschnittlich gefahrener Abstand pro PKW pro Tag in Deutschland: 43 km.**
 - Worst-Case Energiebedarf für Laden von Elektroautos in Deutschland:
 - Annahmen:
 - Die Anzahl der PKW nimmt nicht ab,
 - 40 Millionen von 49 Millionen PKW sind Batterie-elektrische Fahrzeuge,
 - Alle PKW laden während der Nacht,
 - ~8 kWh wird in der Nacht nachgeladen (für 43 km),
 - Solaranlagen vor Ort werden nicht genutzt.
- **40 Millionen x ~8 kWh = ~320 GWh** → Dies kann jetzt schon nachts geliefert werden (<440 GWh)
- Realistischer ist: die Zahl der PKW nimmt ab (autonomes Fahren) und man lädt nicht nur in der Nacht. PV-Anlagen werden oft benutzt zum Laden, wenn vorhanden.

Übersicht

- Warum Elektromobilität?
 - Elektroauto und Personenzug
- Technik
 - Elektro- und Verbrennerfahrzeug
- Nachhaltigkeit und Umweltaspekte
 - Wirkungsgrade
 - Herstellung und CO2-Bilanz
 - Energieproduktion und -bedarf
- Sicherheit
- Kosten
- Blick in die Zukunft
- Erfahrungen im Alltag





Sicherheit

Sicherheit - Unfallrisiken

- Dekra: Teil- oder vollelektrische Fahrzeuge sind den mit fossilen Brennstoffen betriebenen Fahrzeugen in puncto Sicherheit nicht unterlegen. Elektrofahrzeuge seien "genauso sicher wie Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor".
- Einige Gründe:
 - Die Stromversorgung wird bei einem Unfall innerhalb kürzester Zeit abgeschaltet
 - Die Batterie ist relativ schwer:
 - Sehr stabile Straßenlage,
 - Überschläge sind kaum möglich,
 - Das Fahrverhalten wird positiv beeinflusst.
 - Kein Motor vorhanden der in die Fahrgastzelle eindringen kann.

Sicherheit - Euro NCAP



Euro NCAP testet die Sicherheit von PKW.

- Best in Class 2022 (neueste Veröffentlichung):
 - Tesla Model S (Executive Car),
 - Hyundai IONIQ 6 (Large Family Car),
 - ORA Funky (Small Family Car),
 - Tesla Model Y (Small Off-Roader),
 - WEY Coffee 01 (Large Off-Roader).

Beste Ergebnisse 2023:

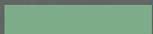
VW ID.7	Schrägheck	★★★★★	88,2
NIO ET5	Kombi, Schrägheck	★★★★★	88,2
smart #3	SUV	★★★★★	87,0
BYD DOLPHIN	Schrägheck	★★★★★	85,8
BMW 5er	Kombi, Stufenheck	★★★★★	85,4

Diese Fahrzeuge haben das beste Gesamtergebnis erreicht, basierend auf den Resultaten für Erwachsenen-Insassenschutz, Kindersicherheit, Fußgängerschutz und Assistenzsysteme.



Sicherheit - Brandrisiko

- Dekra: Bei Feuerentwicklung besteht bei elektrischen Antrieben **kein höheres Risiko** als bei Verbrenner-Systemen. Dies wurde durch Feuer- und Löschversuche mit Traktionsbatterien belegt.
- ADAC, Gesamtverband der Versicherer (GDV), Feuerwehrvertreter und Unfallforscher: E-Autos brennen laut Statistik **nicht häufiger** als Fahrzeuge mit Benzin- oder Dieselantrieb.
- Nach Angaben des US-amerikanischen Versicherungsunternehmens AutoinsuranceEZ brennen Elektroautos **etwa 60x weniger oft** als Verbrennerautos → Allerdings sind Elektroautos tendenziell neuere Fahrzeuge und die Anzahl ist noch deutlich geringer.
- Deutscher Feuerwehrverband:
 - **Löschen & Kühlen mit Wasser reicht.** Keine Spezialwerkzeuge für öffentliche Feuerwehren.
 - Abschleppunternehmen zuständig für Abtransport. Diese sind technisch und fachlich auf meist sehr gutem Stand.
- Bei heftigen Zusammenstößen **breiten sich Brände in Elektroautos langsamer aus** als in Verbrennerfahrzeugen, wegen großen Mengen brennender Flüssigkeiten, die benachbarte Gegenstände in Brand setzen können.



Kosten



Wartungskosten und Garantie

- Im Vergleich zum Verbrennerauto ist ein Elektroauto wartungsarm:
 - Kein Ölwechsel, keine Zündkerzen, kein Keilriemen, kein Zahnriemen, kein Luftfilter, kein Benzinfiler, ...
 - Bremsen werden viel Weniger benutzt (Hauptbremswirkung durch Rekuperation) → halten etwa 150.000 km.
 - Wärmepumpe ist Wartungsarm.
 - Beispiel Tesla: keine verpflichtende Inspektion. Es wird geraten jedes 2. Jahr die Bremsanlage und Innenraumfilter kontrollieren zu lassen.
 - Garantie: fast immer 8 Jahre auf elektrischen Antrieb und Akku. Bei Tesla außerdem 4 Jahre auf alle anderen Teile.



Foto von Tim Mossholder auf Unsplash

Gesamtkosten Elektrofahrzeug (TCO)

Laufleistung	25000 km/Jahr							
Haltedauer	8,00 Jahren							
Strompreis (Juni 2024)	€ 0,3500 EUR/kWh			Preissteigerung / Jahr	3,00%			
Benzinpreis (Juni 2024)	€ 1,7500 EUR/L			Preissteigerung / Jahr	3,00%			
	Tesla Model 3 LR Elektro		Ford Focus Benzin - Mild-Hybrid 1,0			A4 Limousine S line 45 TFSI quattro S tronic Benzin 2,0		
Allrad	ja		Nein			ja		
Leistung	440 PS		155 PS			265 PS		
Drehmoment	493 Nm		190 Nm			370 Nm		
0-100 km/h	4,4 s		8,4 s			5,5 s		
Höchstgeschwindigkeit	201 km/h		208 km/h			250 km/h		
Batterie - Tankinhalt	79 kWh		52 L			58 L		
Gewicht	1847 kg		1387 kg			1645 kg		
Reichweite (WLTP)	629 km		929 km			784 km		
Gepäckraum	594 L		358 L			460 L		
Listenpreis	€ 52.970,00		€ 44.375,00			€ 68.400,00		
Ermaßigung	0 %		10 %			10 %		
Kaufpreis	€ 52.970,00		€ 39.937,50			€ 61.560,00		
Zulassung	€ 75,00		€ 75,00			€ 75,00		
Kaufpreis	€ 53.045,00		€ 40.012,50			€ 61.635,00		
		pro Jahr	pro Monat		pro Jahr	pro Monat		pro Jahr
Versicherung		€ 720,05	€ 60,00		€ 720,05	€ 60,00		€ 720,05
KfZ-Steuer		€ 0,00	€ 0,00		€ 259,00	€ 21,58		€ 259,00
Wartung		€ 500,00	€ 41,67		€ 1.066,67	€ 88,89		€ 1.066,67
THG-Quote		-€ 50,00	-€ 4,17		€ 0,00	€ 0,00		€ 0,00
Festkosten		€ 1.170,05	€ 101,67		€ 2.045,72	€ 170,48		€ 2.045,72
Verbrauch	17 kWh / 100 km				5,6 L / 100 km			7,4 L / 100 km
Durchschnittspreis	€ 0,397 / kWh				€ 1,983 / L			€ 1,983 / L
Total / Jahr	4250 kWh				1400 L			1850 L
Energiekosten		€ 1.685,91	€ 140,49		€ 2.776,79	€ 231,40		€ 3.669,33
Laufleistung bei Ankauf	0 km				0 km			0 km
Laufleistung bei Verkauf	200000 km				200000 km			200000 km
Restwert bei Verkauf	€ 2.000,00				€ 4.000,00			€ 4.000,00
Abschreibung		€ 6.380,63	€ 531,72		€ 4.501,56	€ 375,13		€ 7.204,38
Gesamtkosten pro Jahr		€ 9.236,59	€ 769,72		€ 9.324,07	€ 777,01		€ 12.919,43
Nach Ablauf		€ 73.892,68			€ 74.592,58			€ 103.355,41



„Mit freundlicher Genehmigung von Tesla, Inc.“



Übersicht

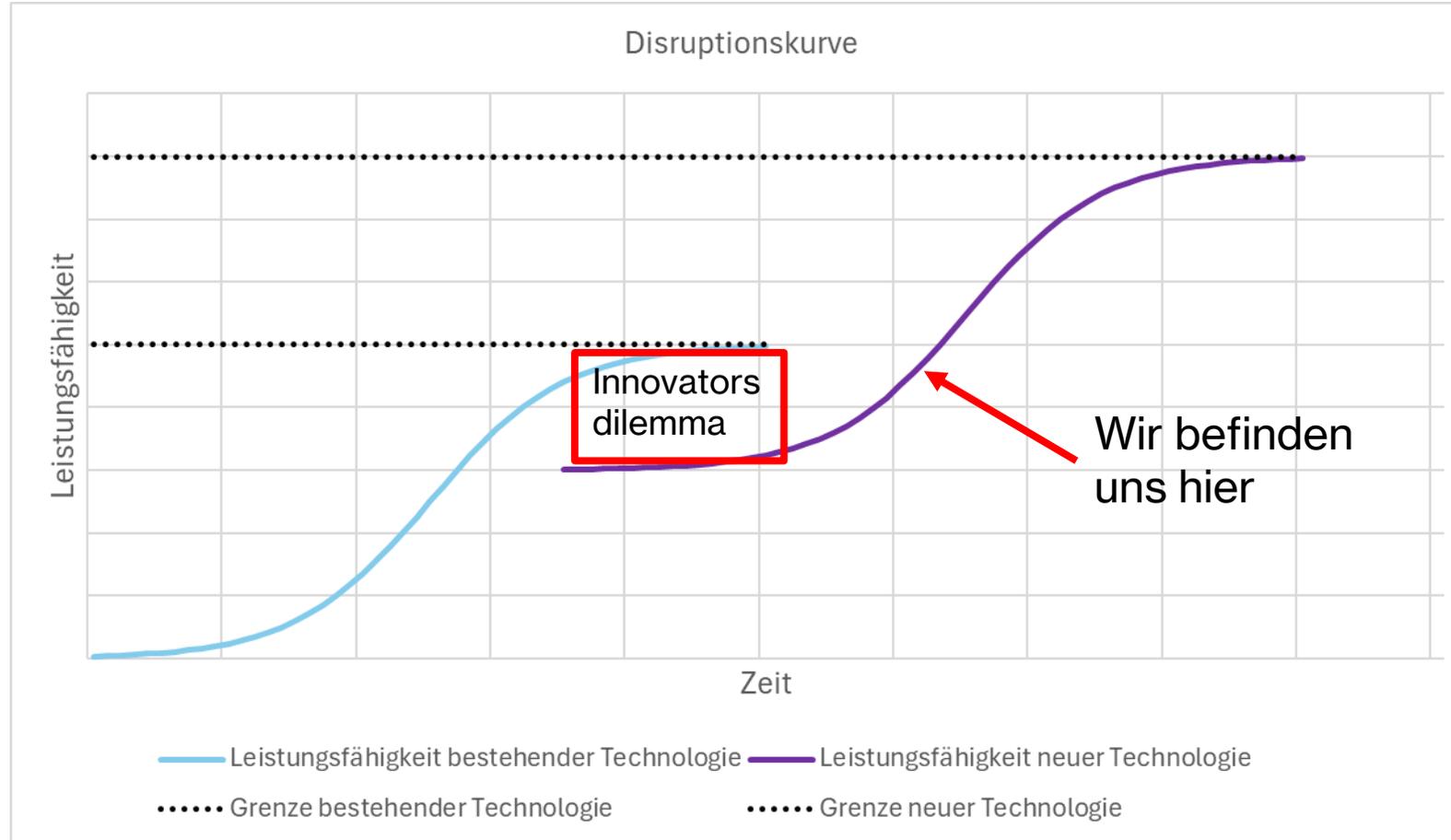
- Warum Elektromobilität?
 - Elektroauto und Personenzug
- Technik
 - Elektro- und Verbrennerfahrzeug
- Nachhaltigkeit und Umweltaspekte
 - Wirkungsgrade
 - Herstellung und CO2-Bilanz
 - Energieproduktion und -bedarf
- Sicherheit
- Kosten
- Blick in die Zukunft
- Erfahrungen im Alltag



A person in a dark hoodie stands in a vast field of tall grass, looking towards a sunset sky with wispy clouds. The scene is captured in a cinematic style with a color grade of blues and oranges.

Blick in die Zukunft

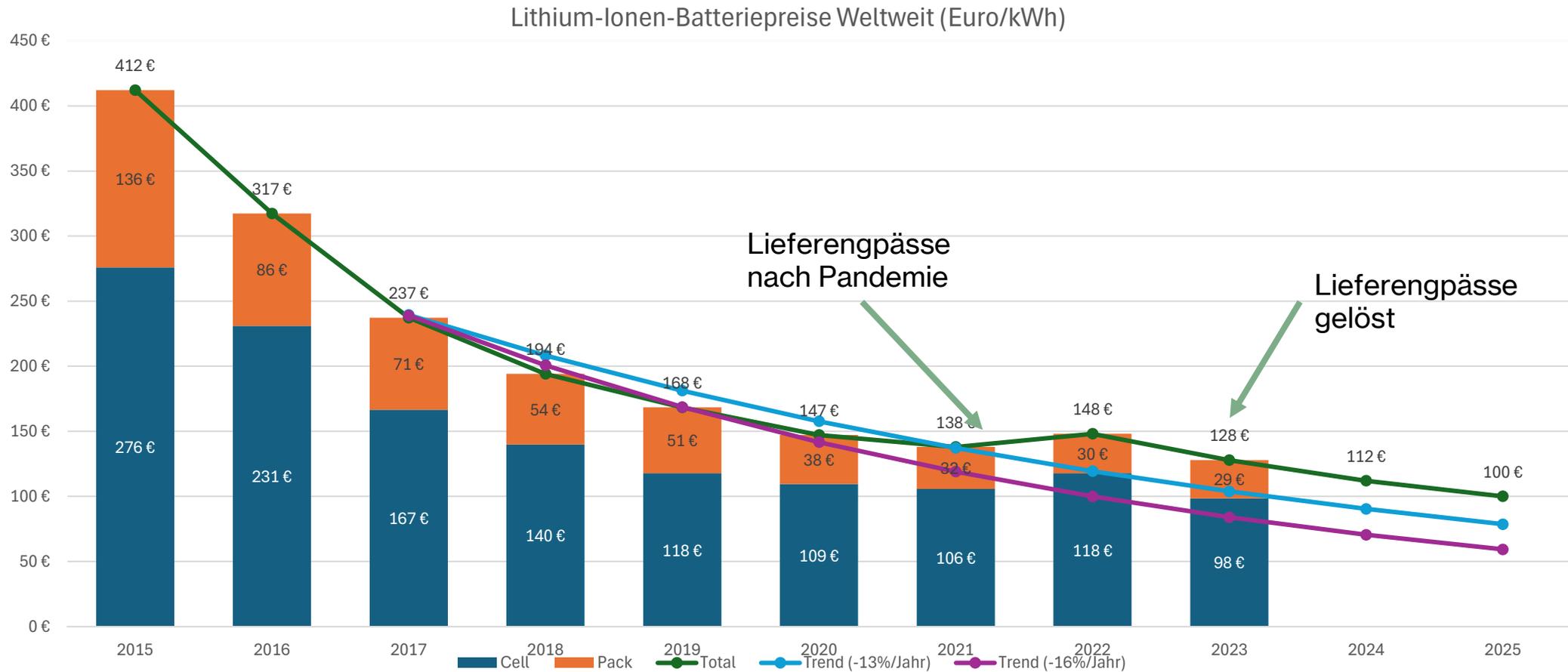
Disruption und Dilemma



Technische Entwicklung

- Ladeinfrastruktur
 - DC-/Schnellade-Infrastruktur ist jetzt schon ausreichend
 - AC-Lade-Infrastruktur muss ergänzt werden. Lader in der Straße können beantragt werden.
- Akkus
 - LFP (Lithium-Eisen-Phosphat)-Akkus werden in Zahl zunehmen.
 - Neueste Generation: Natrium-Ionen-Akku
 - Kein Lithium und kein Kobalt mehr nötig. Natrium kann aus Kochsalz (NaCl) hergestellt werden.
 - Erste Modelle sind 2024 in China auf dem Markt gekommen.

Kosten von Batterien



Durchschnittlich sinkt der Preis pro kWh mit 13% pro Jahr

Technische Entwicklung

Akkukosten

- Durch die Skalierung werden die Preise fallen. → ein Standard-50-kWh-Akku wird statt 7.750 US-Dollar bald nur noch 4.950 US-Dollar kosten könnte (-40%).

Vehicle-To-Grid: Autobatterien als Strompuffer für das Stromnetz

- Eine volle Autobatterie kann ein Haus mehrere Tage mit Strom versehen
- Dezentrale Stromproduktion und –verbrauch

Autonomes Fahren und Robotaxis

- Es wird geschätzt, dass durch autonomes Fahren die Zahl der benötigten Autos sich mit 80% verringern wird. → Transport-as-a-service
- Abomodelle für Transport.

Technische Entwicklung (2)

Neuere Brandlöschmethoden

- Der Einsatz von Löschdecken wird erprobt, die ein brennendes Fahrzeug komplett damit abdecken. Sie ist extrem hitzebeständig (1000 bis 1300 Grad).
 - Ausbreiten des Feuers wird verhindert
 - Abtransport und Quarantänehaltung eines abgelöschten Elektrofahrzeugs kann gesichert werden.
- Löschdorne können durch das Batteriegehäuse getrieben werden, um den Akku mit Wasser zu fluten.

Erfahrungen im Alltag

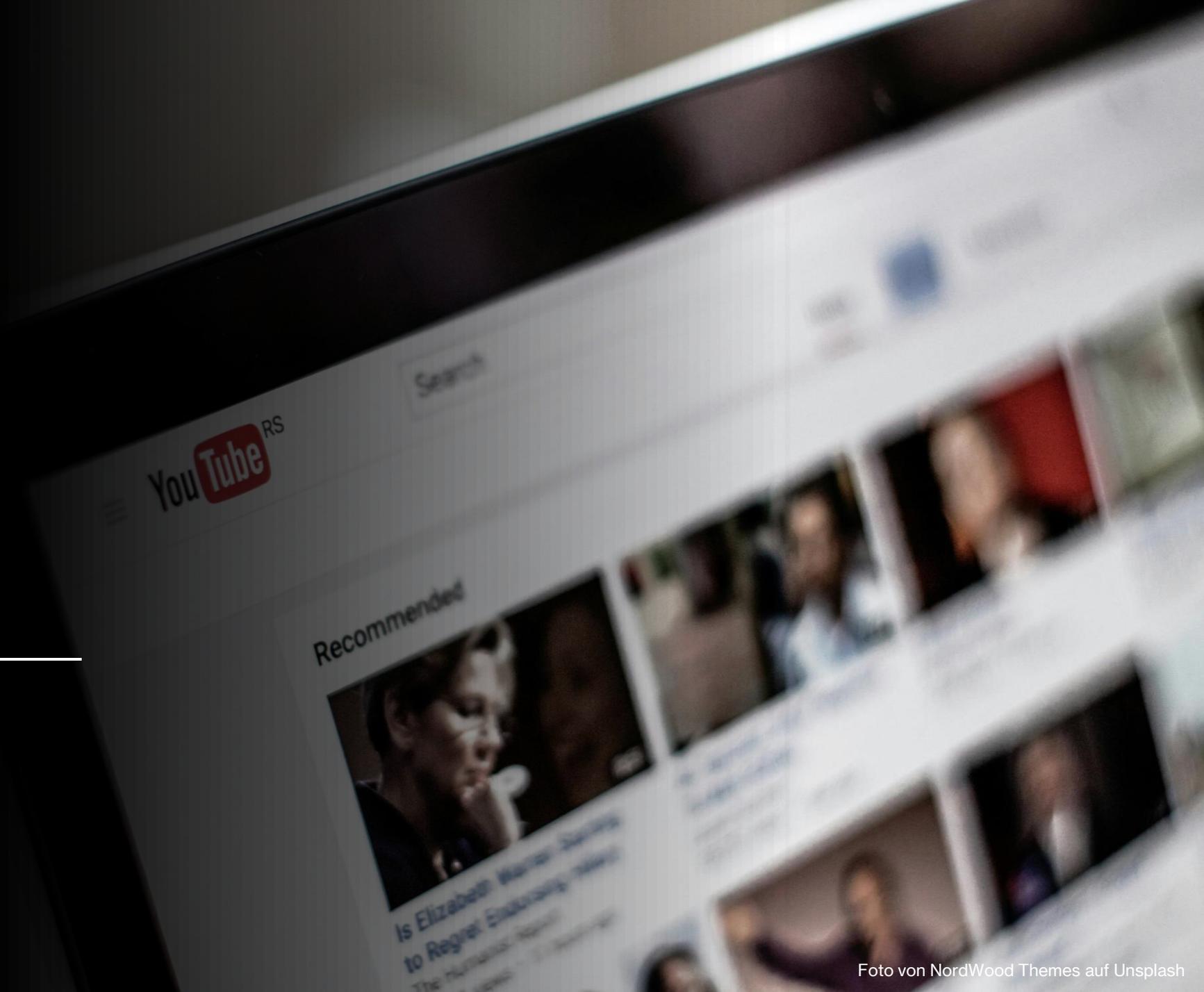


Der Alltag

- Das Fahren – Leise, hohe Leistung, niedriger Verbrauch
- Das Raumangebot – Kofferraum, Extra Kofferraum, Frunk
- Das Laden – Nachts an der Wallbox oder beim Einkauf
- Die Sicherheit – Sehr gute Straßenlage
- Das Heizen - Wärmepumpe
- Kosten – Keine Steuern, niedrige Stromkosten, sehr niedrige Wartungskosten, TGH-Quote.
- 2000,- Euro Ersparnis pro Jahr.



Videos bei Youtube



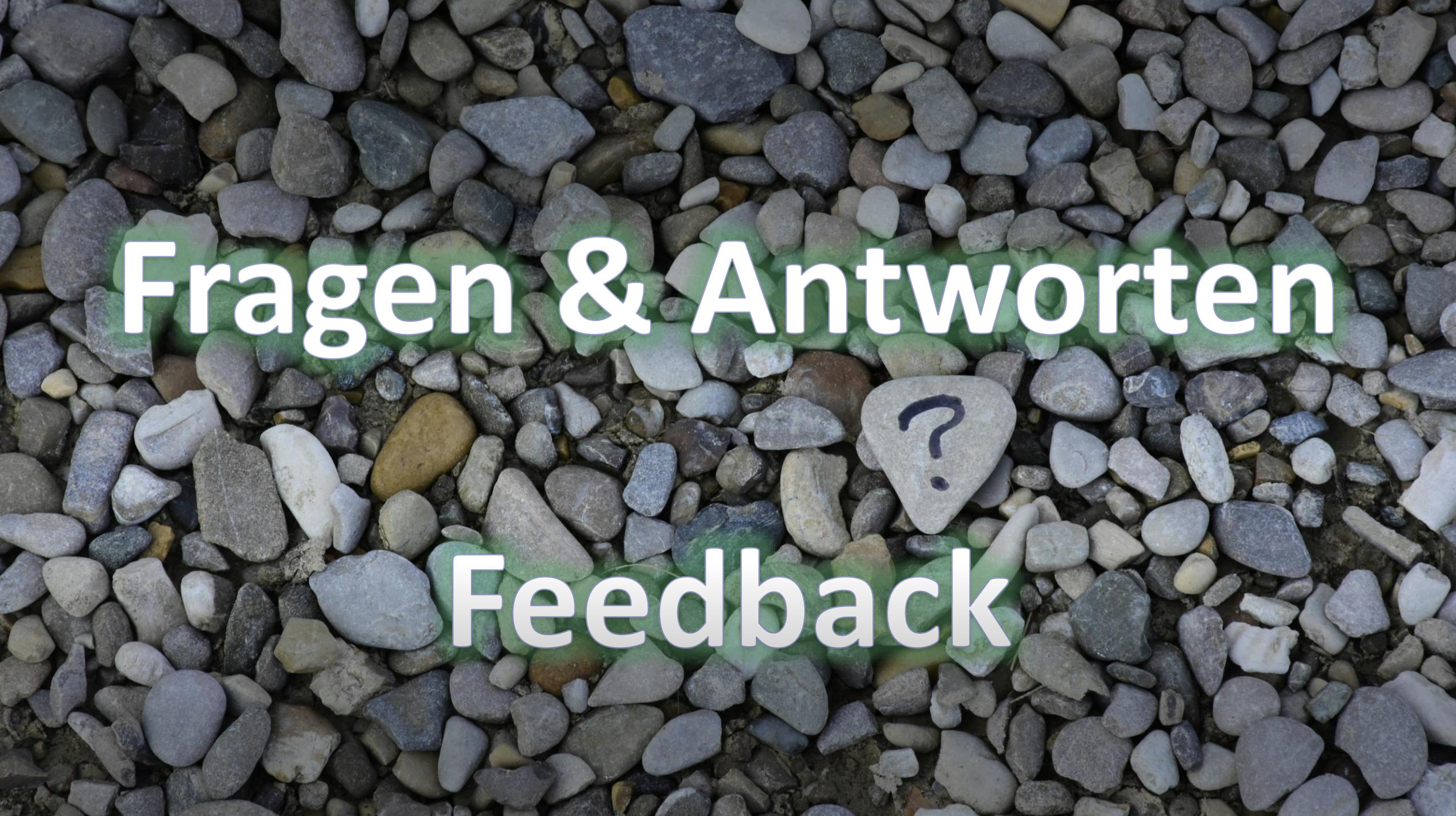
Videos

Keynote von Prof. Dr. Volker Quaschnig - Klimakrise noch abwendbar?



Dr. Watson - Die Wahrheit über Elektroautos





Fragen & Antworten

Feedback



A close-up photograph of a rustic wooden log spout. The log is cut horizontally and has a hole through its center. Water is flowing out of this hole, creating a small waterfall effect. The log is covered in moss and surrounded by green grass and small white flowers. In the background, there is a wooden fence and a bright, sunlit area. The overall scene is peaceful and natural.

Quellenangaben

Quellenangaben

1. [Fahrzeugkatalysator – Wikipedia](#)
2. [Selektive katalytische Reduktion – Wikipedia](#)
3. [Well-to-Tank – Wikipedia](#)
4. [Stromerzeugung – Wikipedia](#)
5. [Übertragungsverlust – Wikipedia](#)
6. [Lithium-Ionen-Akkumulator – Wikipedia](#)
7. [Is Lithium-ion the Ideal Battery? - Battery University](#)
8. [Everything You Ever Wanted To Know About Tesla Batteries \(insideevs.com\)](#)
9. [Exciting Developments In NMC 811 Lithium Battery Technology – CleanTechnica](#)
10. [BU-104a: Comparing the Battery with Other Power Sources - Battery University](#)
11. [Average Tesla Model 3/Model Y Battery Capacity Degradation After 200,000 Miles Impresses \(insideevs.com\)](#)
12. [Tesla Model S battery degradation data | Steinbuch \(maartensteinbuch.com\)](#)
13. [Lithium – Wikipedia](#)
14. [Cobalt – Wikipedia](#)
15. [Lithium-Ionen-Batterien sind ein Milliardengeschäft mit Schattenseite \(handelsblatt.com\)](#)
16. [Elektroauto: So funktioniert das Akku-Recycling \(adac.de\)](#)

Quellenangaben

17. [Johan Crujff Arena | The 3 megawatt energy storage system in Johan...](#)
18. [Elektroauto: So funktioniert das Akku-Recycling \(adac.de\)](#)
19. [Lithium-Recycling: Was passiert mit Li-Ion-Akkus? | SENE](#)
20. [Europa baut Recycling von Lithium-Ionen-Batterien aus - Fraunhofer ISI](#)
21. [Metalle der Seltenen Erden – Wikipedia](#)
22. [Fahrzeugkatalysator – Wikipedia](#)
23. [„Wie viel CO2 steckt in einem Liter Benzin?“ - Helmholtz Home](#)
24. [Wie klimafreundlich sind Elektroautos? \(bmuv.de\)](#)
25. [Bedarf an elektrischer Energie – Wikipedia](#)
26. [Stromerzeugung 2023: 56 % aus erneuerbaren Energieträgern - Statistisches Bundesamt \(destatis.de\)](#)
27. [Fahrzeugbrand – Wikipedia](#)
28. [E-Mobilität: Falschmeldungen über Brände und Wasserverbrauch | tagesschau.de](#)
29. [Natrium-Ionen-Akkumulator – Wikipedia](#)
30. <https://about.bnef.com/blog/lithium-ion-battery-pack-prices-hit-record-low-of-139-kwh/>
31. [Wie umweltfreundlich ist die Bahn eigentlich genau? - T&Emagazin \(temagazin.de\)](#)
32. [BFK-2023-C.-Emrich-Brandbekaempfung-E-Auto.pdf \(feuerwehrverband.de\)](#)

Quellenangaben

33. [Das Innovator's Dilemma - Warum erfolgreiche Unternehmen mit disruptiven Innovationen zu kämpfen haben \(morehandigital.info\)](https://www.morehandigital.info)
34. [Disruptionen: Wie disruptive Innovation Märkte umkrempeln \(cleanthinking.de\)](https://www.cleanthinking.de)
35. [S-Kurven-Konzept – Wikipedia](https://de.wikipedia.org/wiki/S-Kurven-Konzept)
36. [Kraftfahrt-Bundesamt - Inländerfahrleistung - Inländerfahrleistung \(kba.de\)](https://www.kba.de)
37. [Kraftfahrt-Bundesamt - Bestand \(kba.de\)](https://www.kba.de)
38. [Verbrenner verbrauchen mehr Rohstoffe als E-Autos | AUTO MOTOR UND SPORT \(auto-motor-und-sport.de\)](https://www.auto-motor-und-sport.de)
39. [Wofür wird Kobalt verwendet? – enex.me](https://www.enex.me)