

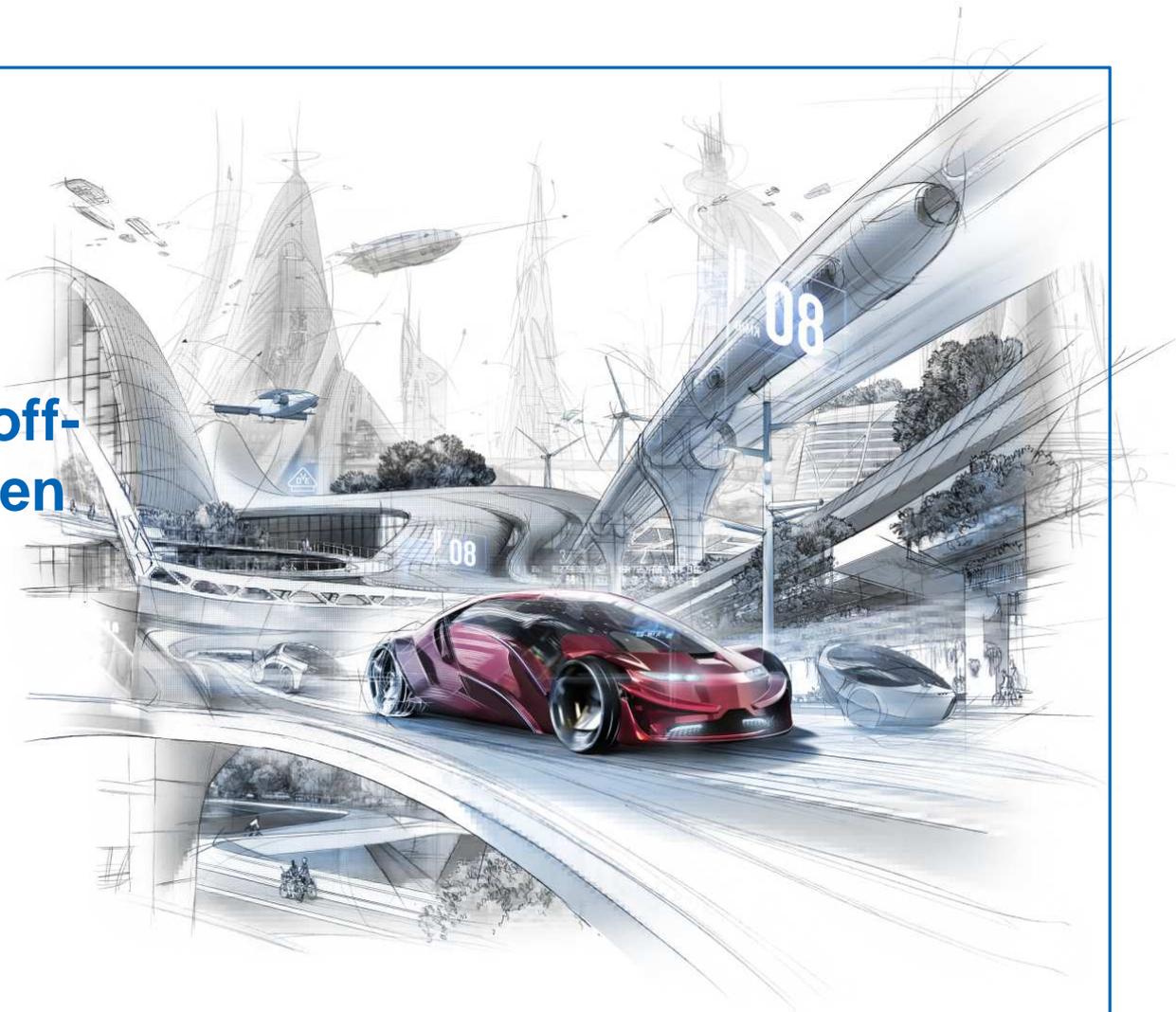
VDI/VDE-Studie*

Die Bedeutung von Brennstoffzellen- und Batteriefahrzeugen für die Elektromobilität

Martin Pokojski, inecs GmbH
Bad Liebenwerda, 18.09.2019



*Die Studie ist das Arbeitsergebnis einer interdisziplinären Arbeitsgruppe von VDE|ETG, VDI-GEU und VDI-FVT



VDE

Wo stehen wir heute?



- **Grundsätzliches Verständnis zur Elektromobilität vorhanden!**

- Wichtiger Beitrag zum Umweltschutz (lokal emissionsfrei)
- Geringere CO₂-Emissionen im Verkehrssektor bei Verwendung erneuerbarer Energien

aber

- Keine ausgewogene Diskussion in Bezug auf die verschiedenen Systemeigenschaften
- Favorisierung von Batteriefahrzeugen trotz großer Potenziale von Brennstoffzellenfahrzeugen zur Reduzierung der Emissionen von Treibhausgasen

- **Schlussfolgerung**

- **Sachgerechte Diskussion mit Berücksichtigung aller Einflussgrößen erforderlich**
- **Bewertung des Entwicklungsstands im Rahmen einer Arbeitsgruppe von VDE|ETG, VDI-GEU, VDI-FVT**



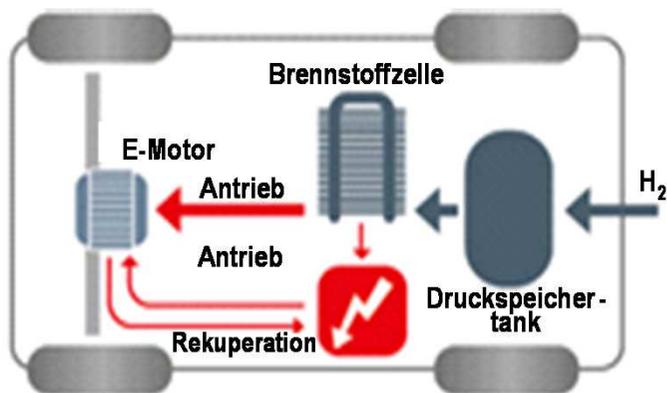
Technik - Vergleich der Systeme

Technischer Vergleich der Systeme (1)

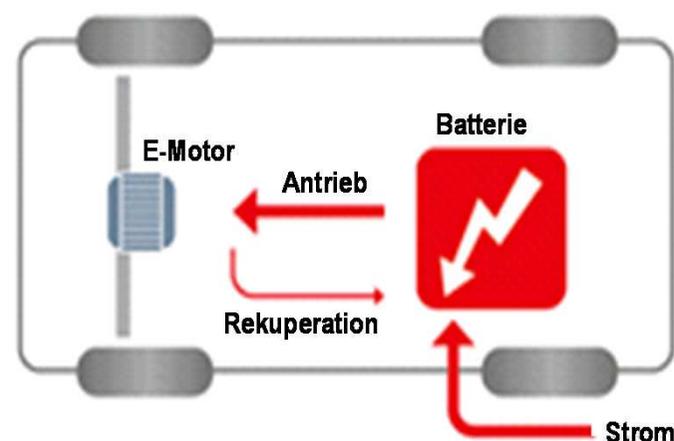
Konzeption



Brennstoffzellenfahrzeug (FCEV)



Batteriefahrzeug (BEV)



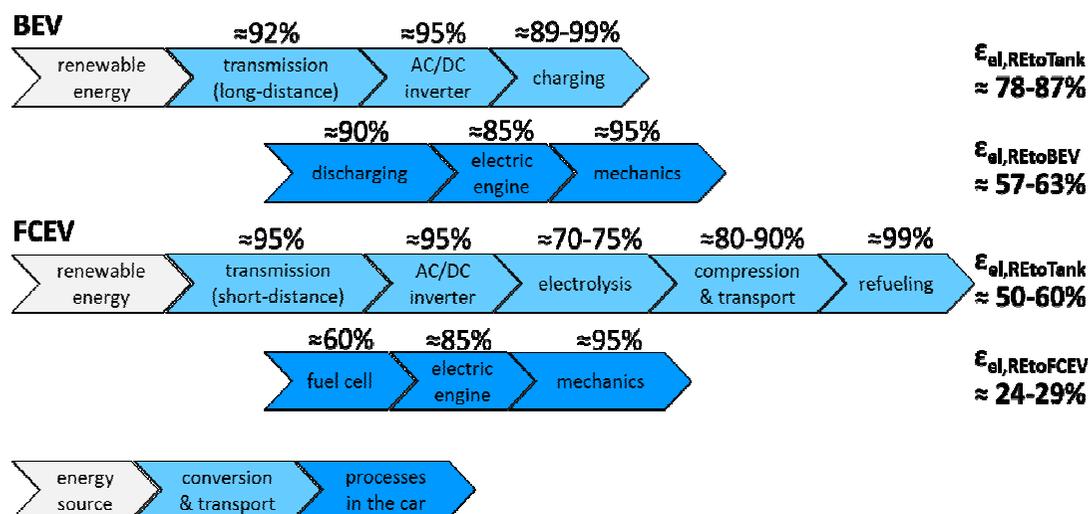
	FCEV	BEV
Rekuperation	<ul style="list-style-type: none"> Rückgewinnung der Bremsenergie: (Potenzial abhängig von Batteriegröße) 	<ul style="list-style-type: none"> Rückgewinnung fast der gesamten Bremsenergie möglich
Alterung	<ul style="list-style-type: none"> Mind. 4.000 h/Stack, Ziel 7.000 h. 	<ul style="list-style-type: none"> Beschleunigte Alterung bei hohen und niedrigen Temperaturen, hohen Lade- und Entladeraten

Technischer Vergleich der Systeme (2)

Effizienz



	Brennstoffzelle	Batterie
Effizienz	<ul style="list-style-type: none"> 25 - 31 % 	<ul style="list-style-type: none"> 61 - 72 % (mind. Faktor 2 besser)
Ladeprozess	<ul style="list-style-type: none"> Wirkungsgrad bei gegebener Technologie konstant 	<ul style="list-style-type: none"> Maximaler Wirkungsgrad bei langsamen Laden Bei Schnellladeprozessen deutliche Abnahme des Ladewirkungsgrades



Technischer Vergleich der Systeme (3) Tanken/Laden



	FCEV	BEV
Tanken/Laden	<ul style="list-style-type: none"> H₂-Tankzeit 3 - 5 min, vergleichbar mit heutigen Fahrzeugen 	<ul style="list-style-type: none"> Mehrere Stunden bei Leistungen bis 11 kW, 20 Minuten bei DC-Schnellladung (bis 80 % SOC)
Tank-/Lade-einrichtungen	<ul style="list-style-type: none"> Nachweis der Alltagstauglichkeit der Füll-einrichtungen (Dispenser) vorhanden Weltweit einheitlicher Dispenser-Standard 	<ul style="list-style-type: none"> Derzeit weltweit kein einheitlicher Standard

Dispenser



Ladestecker

	Typ 1 / USA	Typ 2 / Europa	GB / T / China
Wechselstrom (AC)	 SAE J1772 / IEC 62196-2	 IEC 62196-2	 GB/T 20234.2
Gleichstrom (DC)	 IEC 62196-3	 IEC 62196-3	 GB/T 20234.3
„Combined AC/DC Charging System“	 SAE J1772 / IEC 62196-3	 IEC 62196-3	

DC-Schnellladestation

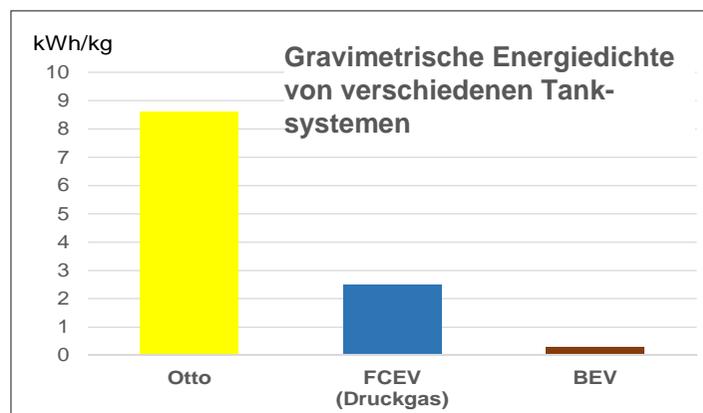


Technischer Vergleich der Systeme (4)

Reichweite



	Brennstoffzelle	Batterie
Reichweite/ Nutzlast	<ul style="list-style-type: none"> Reichweite abhängig vom Tankvolumen Geringer Tankeinfluss auf Fahrzeuggewicht Große Reichweiten (bis 800 km) bei gleichzeitig hoher Nutzlast 	<ul style="list-style-type: none"> Reichweite abhängig von Batteriegröße Fahrzeuggewicht nimmt mit Batteriegröße zu Einschränkung der Nutzlast durch Batteriegewicht Reichweitenbeschränkung durch Heizen u. Kühlen
Einfluss des Fahrzeugtyps	<ul style="list-style-type: none"> Reichweite unabhängig von Fahrzeugtyp In Bezug auf die Reichweite vergleichbar mit konventionellen Fahrzeugen 	<ul style="list-style-type: none"> Kleinwagen mit kleinerer Batterie (100 km) Fahrzeuge der Oberklasse mit 85 kWh, Distanzen von 390 km möglich





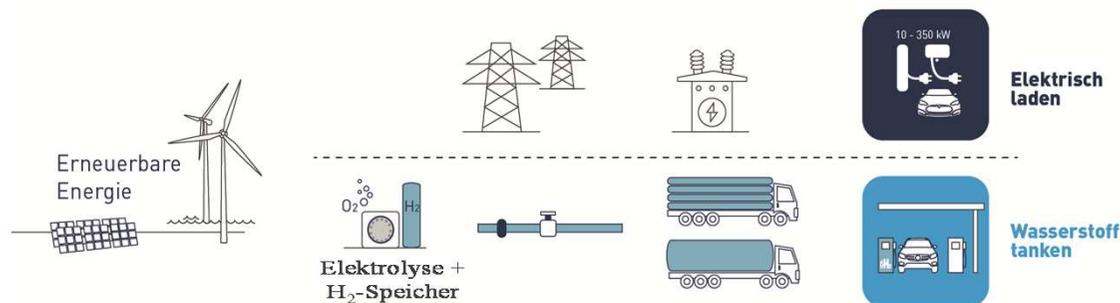
Infrastrukturen

Infrastruktur (1)

Infrastrukturentwicklung



	FCEV	BEV
Tank-/Lade-einrichtungen	<ul style="list-style-type: none"> H₂-Bevorratung 900 bar bis zu 1000 bar 	<ul style="list-style-type: none"> Je Ladestandort größere Zahl an Stellplätzen mit Ladeeinrichtungen benötigt
	<ul style="list-style-type: none"> Große Mengen H₂ vor Ort gespeichert, daher Nachfragespitzen unkritisch 	<ul style="list-style-type: none"> Je Station viele Ladepunkte zur Deckung von Nachfragespitzen, ggf. zusätzl. stationäre Batterie
Aufbau der Infrastruktur	<ul style="list-style-type: none"> Schnelle Anpassung der Struktur durch Nutzung von großtechnisch produziertem H₂ Erweiterung bestehender Tankstellen Umrüstung bestehender Erdgasleitungen 	<ul style="list-style-type: none"> Sukzessiver Aufbau der Ladeinfrastruktur für BEV Nutzen von Smart Grids für die Versorgung von Ladestationen

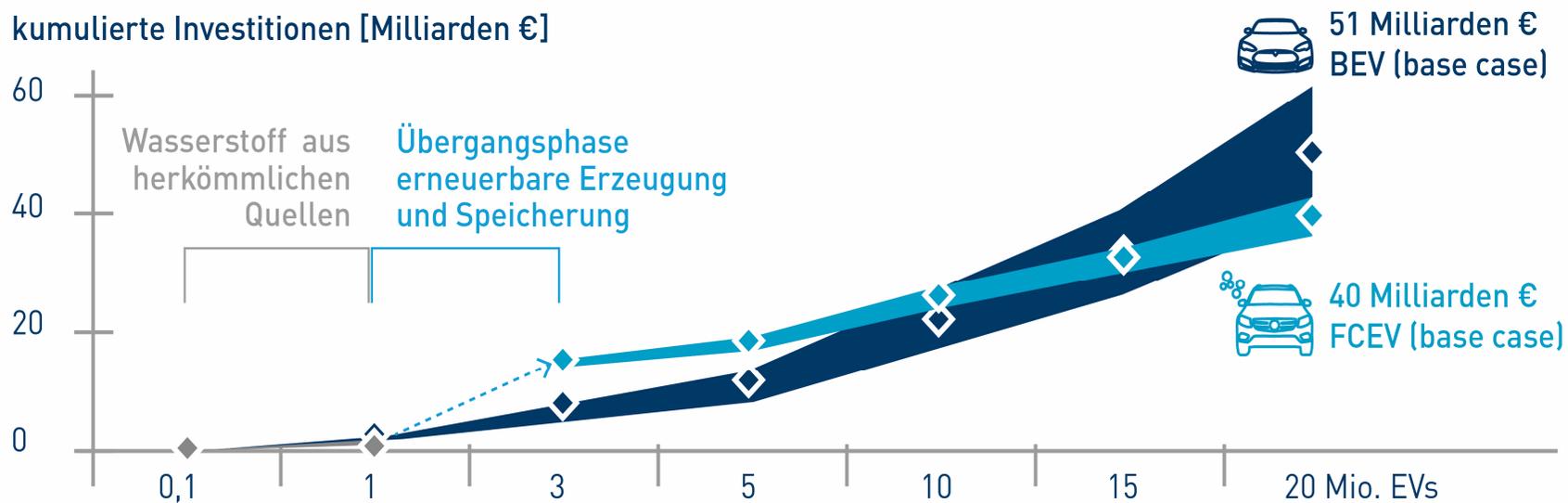


Infrastruktur (2)

Aufbau der Infrastruktur / Kosten



	FCEV	BEV
Infrastrukturkosten	<ul style="list-style-type: none"> Bei hoher Marktdurchdringung geringere Kosten für H₂-Infrastruktur erwartet 	<ul style="list-style-type: none"> Vorteile bei Infrastrukturinvestitionen bei geringer Marktdurchdringung





Energiebeschaffung

Energiebeschaffung (1)

Strombedarf von BEV und FCEV



Stromverbrauch Fahrzeug kWh/100km	Fahrleistung pro Jahr	Jahresverbrauch in kWh	BEV in Millionen	Strombedarf in TWh	Erf. zus. Jahresstromerzeugung in TWh
15	15.000	2.250	23	51,75	56,25
20	15.000	3.000	23	69,00	75,00
25	15.000	3.750	23	86,25	93,75
30	15.000	4.500	23	103,50	112,50

Strombedarf für ZEV

(Ann. 50 % BEV-Anteil in Deutschland - derzeit ca. 46,5 Mio. Pkw)

- BEV: Strombedarf 52 bis 104 TWh; entspricht Erzeugung von 56 bis 113 TWh
- FCEV: Strombedarf von 120 bis 240 TWh bzw. Stromerzeugung von ca. 130 bis 260 TWh

Stromaufkommen

- Stromerzeugung 2017 rd. 550 TWh: BEV erfordern eine um 21 % größere Erzeugung, FCEV eine um rund 50 % größere Erzeugung
- Strombedarf Wasserstoffherstellung: Bedarf entspricht dem zu erwartenden Stromüberschuss von 220 bis 270 TWh bei 80 % Anteil Erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung

Energiebeschaffung (2)

Strombeschaffung/H₂-Bereitstellung



Neue Stromautobahnen bis 2022

Konzept für den Ausbau des Stromnetzes bis 2022
Korridore (keine konkreten Trassen) für Neubauten



Strombeschaffung

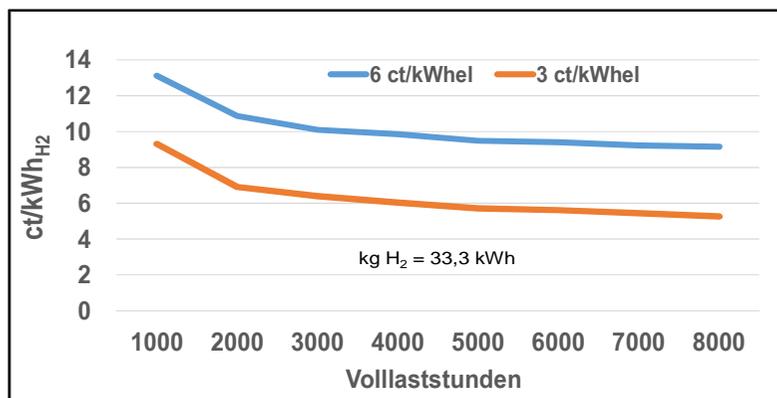
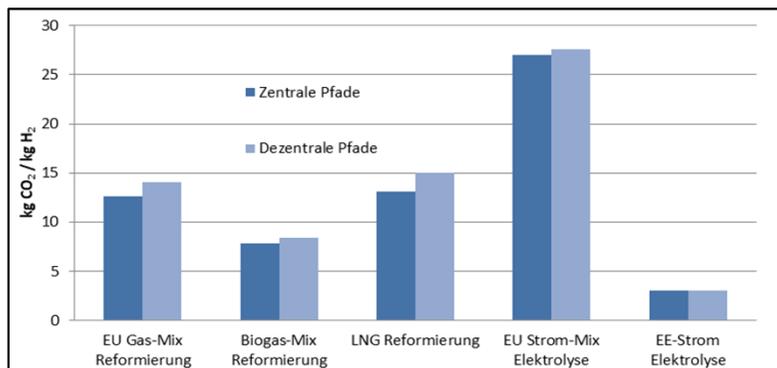
- Ausbau der Erneuerbaren Energien
- Verstärkung und Ausbau des Übertragungsnetzes (DC und AC)
- Realisierung von Smart Grids

Wasserstoffbeschaffung

- **Ist-Situation**
 - Verfügbarkeit / Kosten: Von der Markteinführung über den Markthochlauf bis hin zum Massenmarkt unkritisch
 - Menge / Preis: Derzeit unzureichende Versorgung der Tankstellen mit grünem Wasserstoff
- **Zukünftig**
 - Entwicklung des Wasserstoffs zu einem globalen Handelsgut
 - Verringerung der H₂-Beschaffungskosten durch Bezug aus Ländern mit günstigen Stromkosten

Energiebeschaffung (3)

CO₂-Emissionen / H₂-Kosten



Wasserstoffbereitstellung konventionell

- Ca. 90 % des jährlichen Wasserstoffbedarfs (40-60 Mio. t) für industrielle Anwendungen
- H₂-Produktion derzeit vorrangig per Dampfreformierung, Kohlevergasung und partieller Oxidation (ca. 10-15 kg CO₂ pro kg H₂ – teilweise weiterverwertet)

Wasserstoffbereitstellung per Elektrolyse

- Technologie mit dem höchsten CO₂-Reduktionspotential (Power2Hydrogen)
- Nutzung von regenerativem Strom, der nicht für den konventionellen Bedarf benötigt wird
- H₂-Gestehungskosten von Vergasungsprozessen bei 2 €/kg ± 30 €ct (ca. 6ct/kWh_{H₂}) wird für Elektrolyseure angestrebt

Energiebeschaffung (4)

Energiespeicherung/Netzoptimierung



	FCEV	BEV
Netz-/Systemdienlicher Betrieb	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Flexible Betriebsweise von Elektrolyseuren zur weiteren Integration Erneuerbarer Energien ▪ Einsparpotenzial durch Elektrolyse beim Redispatch-/Einspeisemanagement ▪ Vermeidung von Abregelungen ▪ Optionen für Regelenenergiemarkt durch gezieltes Steuern der Elektrolyseure 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Netzlastoptimierung in Verteilnetzen durch Einsatz von Fahrzeugbatterien ▪ Bessere Netzauslastung durch gesteuertes Laden ▪ Vermeiden von Ortsnetzüberlastungen durch Reduktion der Ladeleistung ▪ Ausgleich von Netzengpässen durch Einspeisung aus der Batterie (Vehicle-to-Grid) ▪ Bereitstellung von Blindleistung
Energiespeicherung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ H₂ ist idealer Energiespeicher für den mittelfristigen und saisonalen Energieausgleich ▪ H₂-Speicherung in Salz-Kavernen, Untertage-Porenspeicher oder Trägerflüssigkeiten 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Batterien zur Optimierung der Netzführung, u.a. Bereitstellung von Blindleistung ▪ Batterien für mittelfristigen und saisonalen Energieausgleich nicht geeignet
Zusätzliche Anwendungen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ H₂ in unterschiedlichen Bereichen (Strom, Wärme, Verkehr und Industrie) verwendbar - Potenzial für die von der Politik gewünschte Sektorenkopplung 	



Rohstoffe

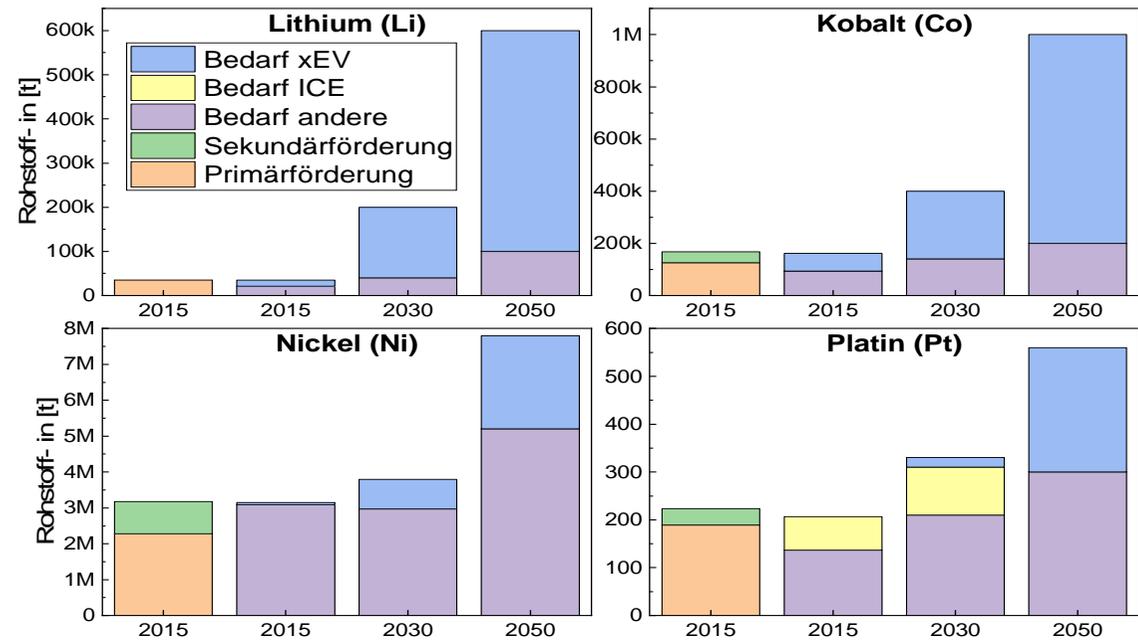
Kosten (1)

Kritische Rohstoffe

	Reserven	Ressourcen
Lithium	14 Mt	48 Mt
Nickel	80 Mt	135 Mt
Kobalt	8 Mt	26 Mt
Platin	20 kt	30 kt

Kritische Rohstoffe

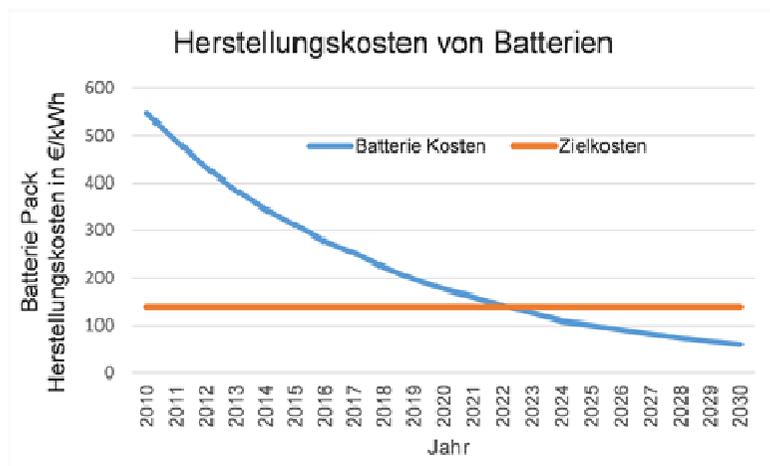
- Batterien: Lithium, Nickel und Kobalt
- Brennstoffzellen: Platin, mit abnehmender Tendenz



Ausbau der Förderkapazitäten, bevorzugt durch Steigerung der Recyclingrate

Kosten (2)

Kostenentwicklung



Kostenentwicklung bei BEV

- Kostenreduktion bei BEV aktuell deutlich ausgeprägter als bei FCEV, da Serienfertigung für Batteriesysteme weiter fortgeschritten als die bei Brennstoffzellen

Kostenentwicklung bei FCEV

- Sinkende Kosten für Brennstoffzellensysteme erwartet (bis 2020 auf 47 US\$/kW bei Aggregatgröße von 80 kW und Produktionsvolumen von 100.000 Einheiten pro Jahr)
- Kosten für Wasserstofftank 700 bar mit einer Kapazität von 5,6 kg (etwa 185 kWh): Weniger als 16 US\$/kWh (also etwa 3.000 US\$ für diesen Wasserstofftank) erwartet
- Kosten für die Nutzung von BEV und FCEV derzeit dominiert von Anschaffungskosten
- Bei Serienfertigung und höheren Transportgewichten bzw. Reichweitenanforderungen Kostenvorteile für das FCEV gegenüber BEV

Handlungsempfehlungen



- Ausbau der Wasserstoffinfrastruktur für den öffentlichen Personen- und Güterverkehr
- Realisierung der geplanten 400 Wasserstofftankstellen (vorrangig entlang von Autobahnen)
- Innerstädtischer Aufbau einer geeigneten Ladeinfrastruktur für BEV
- Überprüfung der Regularien zur schnelleren Realisierung von Tankstellen
- Einbeziehung des Energieträgers Wasserstoff in die sektorenübergreifende Langzeitstrategie für eine sichere Energieversorgung
- Unterstützung des Markthochlaufs durch Umstellung von Fahrzeugflotten auf Elektrofahrzeuge im privaten wie öffentlichen Bereich
- Begleitende Forschung zum Markthochlauf (Forschungsbedarf in den Bereichen Nebensysteme, Lebensdauer bzw. Degradationsverhalten im Realbetrieb sowie Lebenszyklusanalysen)
- Überprüfung der Kosten der Elektromobilität durch EEG-Umlagen, Netzentgelte sowie Steuern

Zusammenfassung



- BEV und FVEV leisten Beitrag zum Erreichen der politischen Ziele im Verkehrsbereich
- Nachhaltiger Beitrag zur CO₂-Minderung bei Einsatz Erneuerbarer Energien
- Potenzial für mittel- bis langfristige Minderung der volkswirtschaftlichen Kosten der Mobilität im Vergleich zum Status quo
- Derzeit Reichweitenvorteile für Brennstoffzellen-Fahrzeugen bei gleichzeitig größerer Nutzlast
- Mind. um etwa den Faktor 2 größere Effizienz bei BEV im Vergleich zu FCEV
- Kleinere Infrastrukturinvestitionen für BEV bei geringer Marktdurchdringung, bei hoher Marktdurchdringung Kostenvorteile für H₂-Infrastrukturem erwartet
- Kostenvorteile für Brennstoffzellenfahrzeuge bei höheren Nutzlast- und Reichweitenanforderungen
- Vorteile durch den netz- bzw. systemdienlichen Betrieb von Elektrolyseuren sowie H₂ als Langzeitspeicher
- Unterschiedliche Einsatzpräferenzen für BEV und FVEV; sie können sich jedoch sinnvoll ergänzen

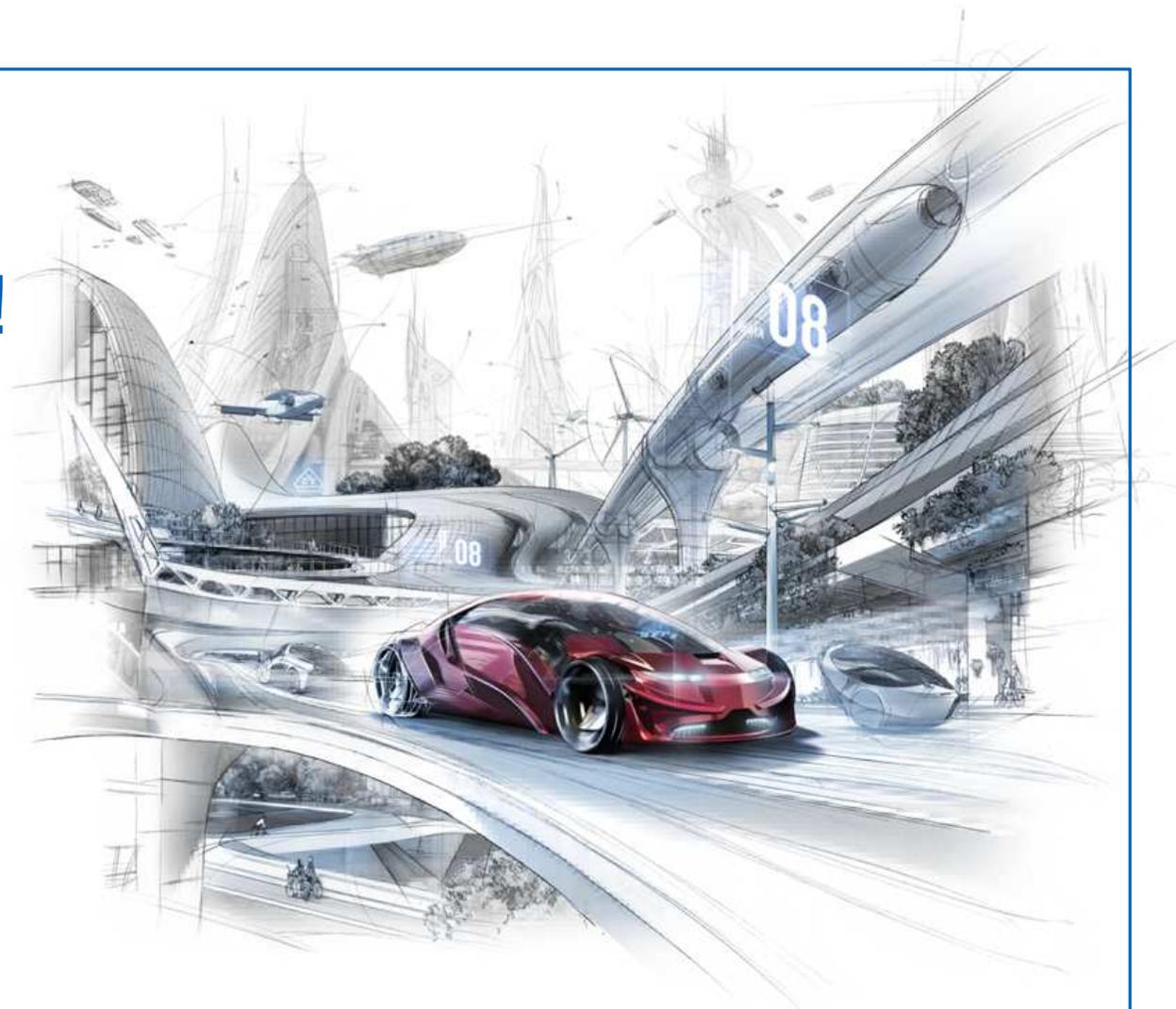
Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Wir gestalten die e-diale Zukunft.
Machen Sie mit.

Ihr Ansprechpartner:

Energietechnische Gesellschaft
im VDE (ETG)
Tel. +49 69 6308-346
etg@vde.com

inecs GmbH
Martin Pokojski
Tel. +49 30 40585679
martin.pokojski@inecs.de



VDE