
Antriebswende im ÖPNV – Anforderungen an die kommunale Infrastruktur

ADAC Expertenreihe 2021

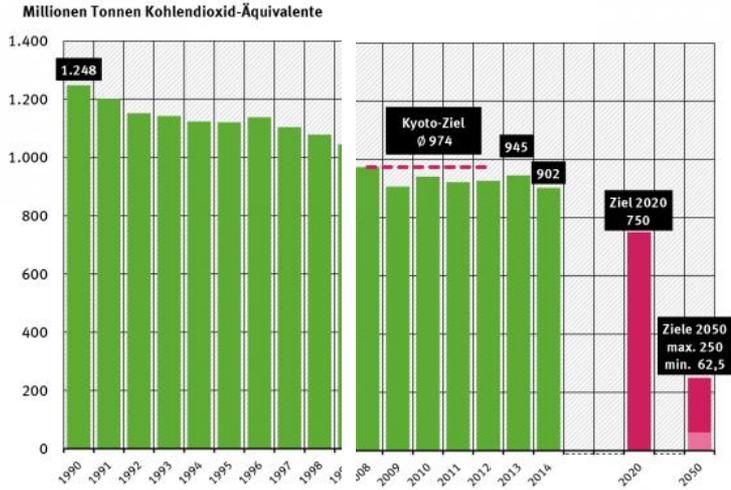
„Infrastruktur für die Antriebswende in Städten und Gemeinden“

Köln, 19.05.2021

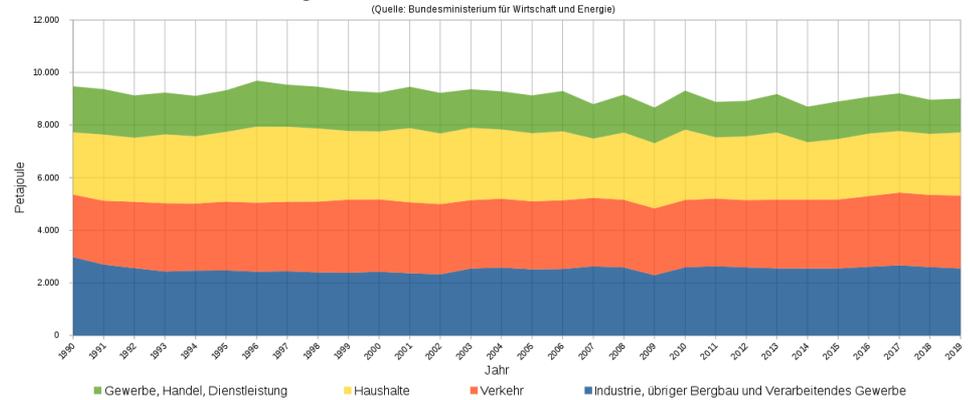
Martin Schmitz

Nachhaltigkeit und Umweltschutz – Politische Forderungen und Rahmenbedingungen

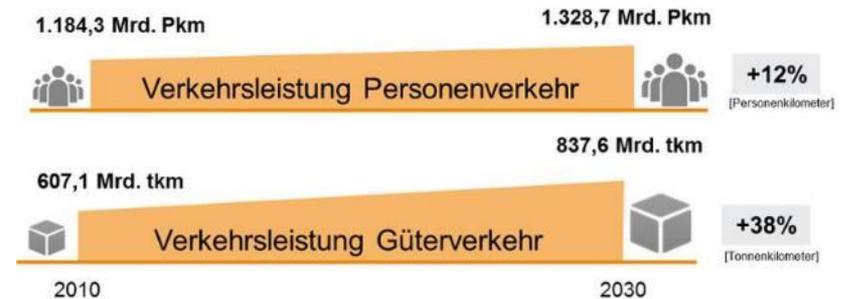
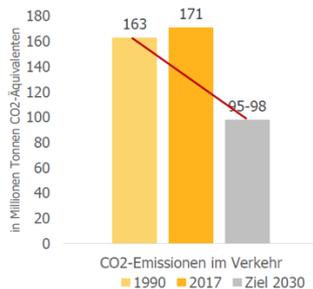
Pariser UN-Klimagipfel



Endenergieverbrauch nach Bereich in Deutschland

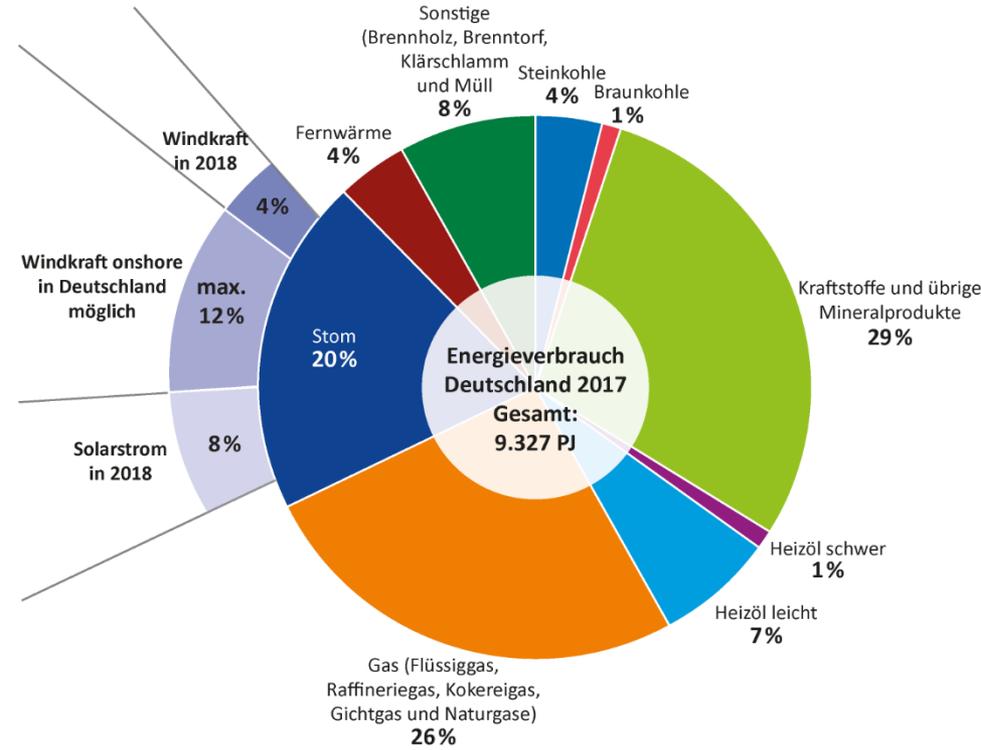


ÖV spielt eine wichtige Rolle bei umweltschonender Mobilität! Mehr Mobilität mit weniger CO₂ durch Effizienzerhöhung!



Quelle: Studie „Ein Strommarkt für die Energiewende Weißbuch – BMWi“; BMVI – BVWP, Ergebnisrapport „Strom 2030“ des BMWi., NPM AG1 Zwischenbericht

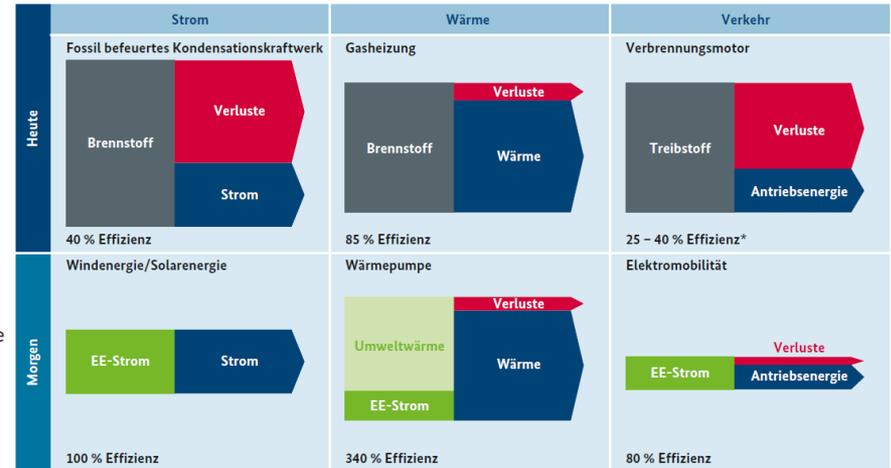
Nachhaltigkeit und Umweltschutz – Energieverbrauch



6 Prozent des Gesamt-Energieverbrauchs wird regenerativ erzeugt!

Quelle: Studie „Ein Strommarkt für die Energiewende Weißbuch – BMWi“; BMWi – BVWP, Ergebnisrapport „Strom 2030“ des BMWi | Grafik links VDV

Wärmepumpen und Elektromobilität steigern die Energieeffizienz und ersetzen Brennstoffe



* Die Effizienz von Verbrennungsmotoren in anderen Anwendungen (z. B. Seeverkehr, Motorkraftwerke) kann über 50 % liegen.

Quelle: Eigene Darstellung nach Fraunhofer IWES (2015a)

Energieeffizienz ist die entscheidende Größe

Stromverbrauch verschiedener Technologien, um eine Einheit fossiler Treibstoffe im Verkehr zu ersetzen

Stromverbrauch bzw. Bedarf an Netzen, Wind- und Solaranlagen, um eine Einheit fossiler Treibstoffe zu ersetzen

Elektrofahrzeuge, die Strom **direkt** aus Batterien oder aus Oberleitungen nutzen, benötigen vergleichsweise wenig Strom.



Elektrofahrzeuge, die den Strom aus **Wasserstoff** gewinnen, benötigen deutlich mehr Strom.



Sehr viel mehr Strom ist nötig, wenn Strom zuerst in Treibstoffe (**Power-to-Gas/Liquid**) umgewandelt und dann in Verbrennungsmotoren genutzt wird.



Migrationsprozess vom fossilen auf das postfossile Zeitalter – Wohin geht der Weg?

Brennstoffzellen



Trolley



Hybrid



Batterie



synthetische Kraftstoffe



Batterie-Hybrid

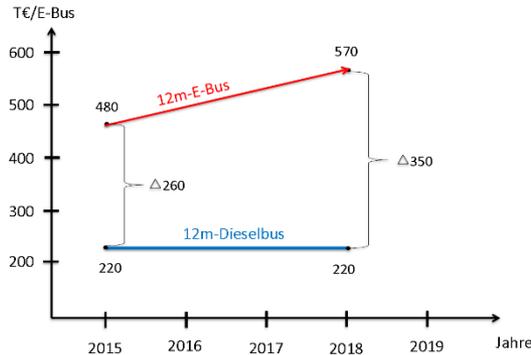


Quelle: VDV, Volvo, Van Hool, RVK, Braunschweiger Zeitung, SSB

Migrationsprozess vom fossilen auf das postfossile Zeitalter – Anforderungen der Betreiber

Die finanziellen Probleme werden durch die Förderung und durch den erhöhten Reservebedarf noch höher.

Beispielhaft: Beschaffungs-Preise im Vergleich



- doppelte Infrastrukturen
- teurere Produkte

Regionalkonferenz E-Busse VDV Niedersachsen/Bremen

Seite 35

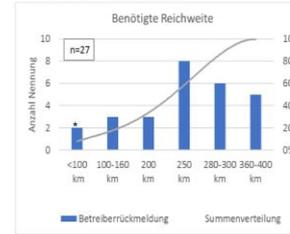
Erste Auswertung Betriebsdaten

Betreiberanforderungen I

- Betreiberanforderungen (VCDB, SEK, ts): Rücklauf bisher von 28 Betreibern mit unterschiedlicher Qualität/ Detaillierung

Erste Auswertungen:

- Geforderte Reichweite

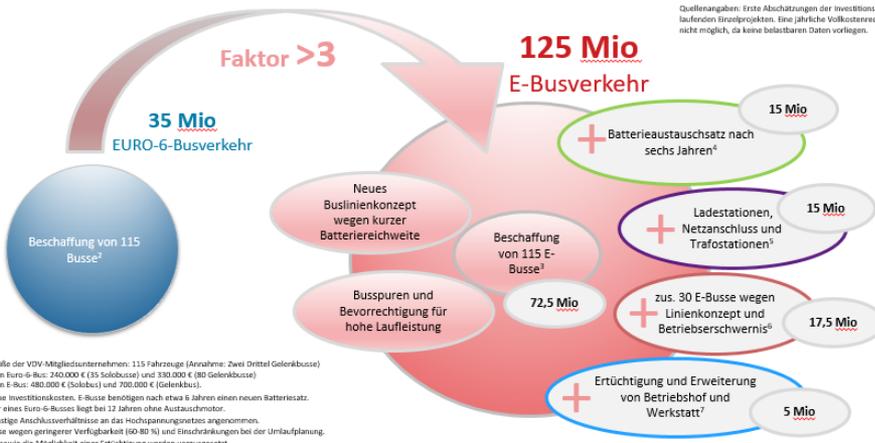
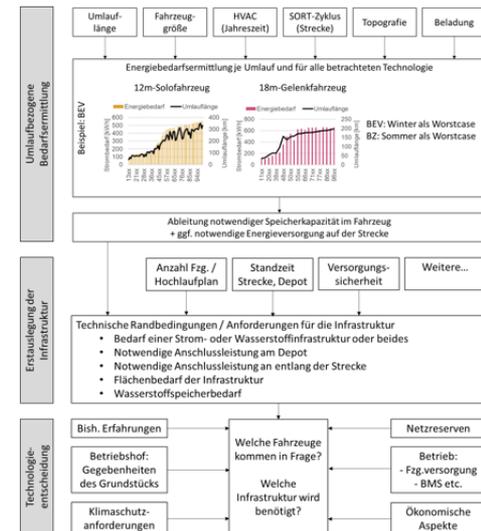


- Datenpunkt mit höchster Rückmeldungsquote
- 81% der VU's benötigt 200 km+ Reichweite
- 200-300 km Reichweite von 63% der VU's gefordert
- >360 km bei 19% der VU's erforderlich
- * Reichweitenanforderung <100 km ergeben sich aus 1 VU mit Gelegenheitsladen und 1 VU mit Flughafenvorfeldbetrieb

- BZ Busse gleichmäßig verteilt (250, 300, 400 km)



30% 30% 40%



Quellenangaben: Erste Abschätzungen der Investitionskosten aus laufenden Einzelprojekten. Eine jährliche Vollkostenrechnung ist nicht möglich, da keine belastbaren Daten vorliegen.

¹ Mittlere Flottengröße der VDV-Mitgliedsunternehmen: 115 Fahrzeuge (Annahme: Zwei Drittel Gelenkbusse)
² Beschaffungskosten Euro-6-Bus: 240.000 € (35 Solobusse) und 330.000 € (80 Gelenkbusse)
³ Beschaffungskosten E-Bus: 480.000 € (Solobus) und 700.000 € (Gelenkbus)
⁴ Zusätzlich verschiedene Investitionskosten: E-Busse benötigen nach etwa 6 Jahren einen neuen Batteriesatz. Die Nutzungsdauer eines Euro-6-Busses liegt bei 12 Jahren ohne Austauschmotor.
⁵ Es werden lageoptimierte Anschlussverhältnisse an das Hochspannungsnetz angenommen.
⁶ Mehrbedarf E-Busse wegen geringerer Verfügbarkeit (50-80 %) und Stützstränkungen bei der Umladplanung.
⁷ Eine zentrale Lage sowie die Möglichkeit einer Erleichterung werden vorausgesetzt.

Quelle: : Thinkstep AG, VDV, BSAG

Migrationsprozess vom fossilen auf das postfossile Zeitalter – Anforderungen an das Energie- & Betriebshofmanagement

Energie- und Betriebshofmanagement ist bei einem Flottenbetrieb Grundvoraussetzung, da dieses einen Einfluss auf

- die Ausprägung der Ladeinfrastruktur,
- die Leistungsfähigkeit der Energieversorgungsanlage,
- die Bereitstellung der Energie durch den Versorger (Spitzenkappung),
- das Sicherheitskonzept
- die Standzeiten und Aufstellung der Fahrzeuge sowie
- die Zeitabhängigkeit des Strompreises

hat. Insbesondere bei „unbewachten“ Abstellanlagen sind über die Leitstelle steuerbare Prozesse des Ladeprozesses zum Aufrechterhalten des Betriebs nötig.

→ **Die Energiekosten stellen den zweitgrößten Kostenblock in der Verkehrsbranche**

VDV 463 und 261: eine einheitliche Kommunikation zwischen Elektrobuss und verschiedenen Backends, z. B. Betriebshofmanagementsystemen.

Quellenangaben

Migrationsprozess vom fossilen auf das postfossile Zeitalter – Anforderungen an das Abstellmanagement

Die Migration auf alternative Kraftstoffe fordert

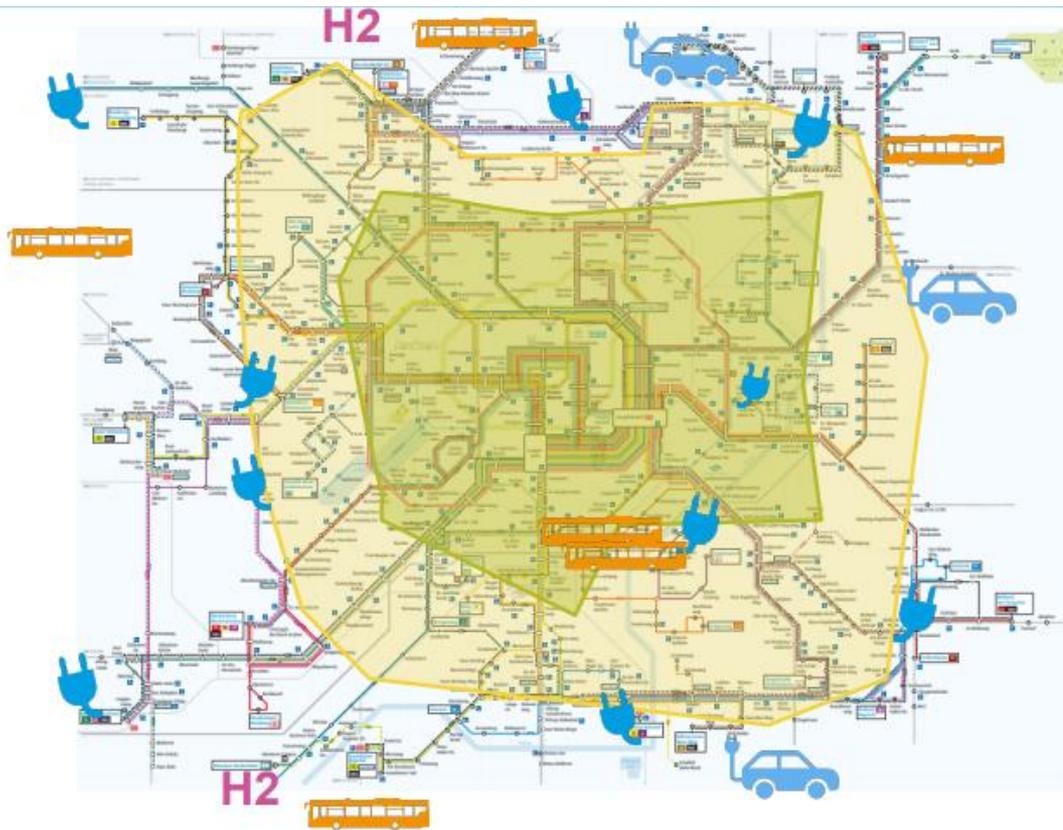
- einen Doppelbetrieb der Tank- und Ladeinfrastruktur
- neue Abstellordnungen mit größeren Abständen für die Ladeinfrastruktur
- neues Brandschutzkonzept mit Havarieplatz und Brandmeldeanlagen
- zusätzlichen Platz für Trafos und Ladegeräte zuzüglich weiterer Infrastruktur
- Anpassung der Werkstätten, z. B. Bereitstellung eines Dacharbeitsstandes, Arbeitsplatz für Arbeiten unter Spannung usw.
- Beschaffung von Lagerbehältern für defekte und beschädigte Batterien

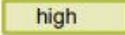
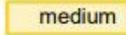
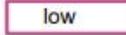
→ **Zusätzliche Flächen werden für die Anforderungen benötigt!**

Umsetzung der Empfehlungen aus der VDV- Schrift 825 „Auswirkungen der „Clean Vehicles Directive“ im Linienbus auf Betriebshöfe und Werkstätten“

Infrastruktur

Stadtwerke Münster – Planung zu Ladeinfrastruktur



- Electric charging station 
 - Hydrogen charging station 
 - Bus depot 
 - Central bus depot and garage 
 - On-demand bus system 
- Passenger load
- high 
 - medium 
 - low 

Quelle: Herr Schläfke, Stadtwerke Münster

Infrastruktur

Stadtwerke Münster – Notwendige Energie

Fast Charging Point Zoo



Fast Charging Point Gallenkamp



11 km, 12 mtr bus

12 kWh energy needs ~ 10 min charging
200 km/day = 220 kWh/day
VDL Citea 62,5 kWh (LTO Battery),
Last Order: 220 kWh

Storage of solar electricity and
Charging station at Depot



Hydrogen filling station
Amelsbüren



20+ km, 18 mtr bus

45+ kWh energy needs
5 – 10 Minuten turning time
350 – 400 km day = 750 kWh/day
Last Order: VDL Citea 420 kWh

Quelle: Herr Schläfke, Stadtwerke Münster

Infrastruktur

Stadtwerke Münster - Depotumbau



Quelle: Herr Schläfke, Stadtwerke Münster

Infrastruktur

RVK– H2-Tankstelle

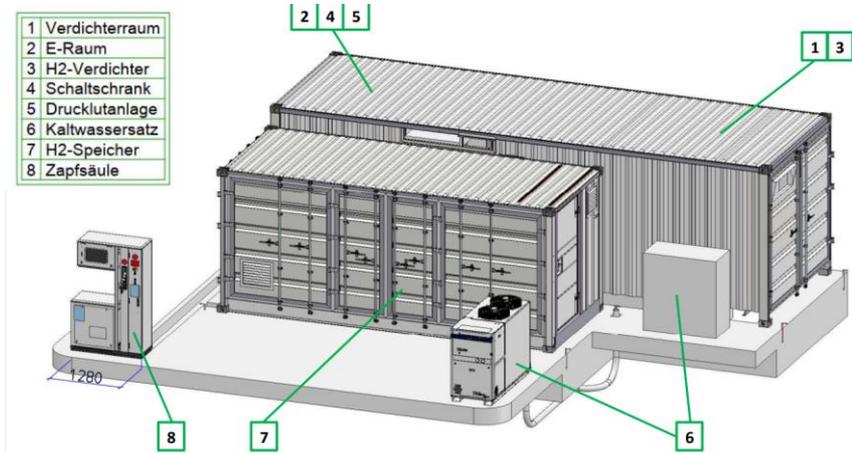
Standorte und Kapazität der H₂-Tankstellen



Quelle: rvk Köln

Infrastruktur

SSB Stuttgart & RVK – H2-Tankstelle

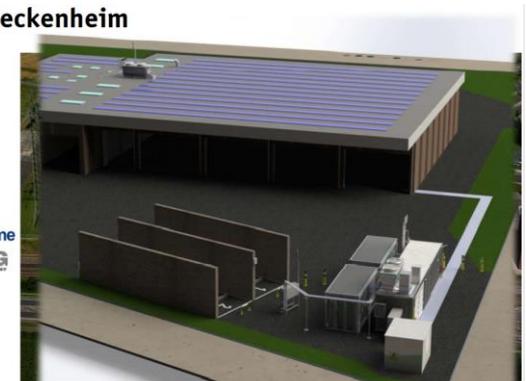


Die Anforderungen (Sicherheitsabstände) bezüglich der Lagerung sind im stadtnahen Umfeld kaum umsetzbar. Ab einer Lagermenge von 3 t gilt die 4. BImSchV und ab 5 t die 12. BImSchV, bei der Anlieferung von Flüssigwasserstoff gilt z. B. ein Sicherheitsabstand von 160 m, bei 500 bar 90 m und bei 200 bar 60 m zu schutzbedürftigen Dritten.

Quelle: Herr Wiedemann, SSB, Schwelm, rvk Köln

H₂-Tankstelle Meckenheim

- **Neubau einer H₂-Tankstelle**
- **Kapazität:** 20 BZ-Busse
- **Lagerkapazität:** ca. 1024 kg H₂
- **Betreiber:** RVK
- **Industriepartner:** AREVA-Konsortium, MCEL, AMPLIA, framatome, ANLEG
- **Inbetriebnahme:** 03/2021



Infrastruktur

RVK – H2-Tankstelle

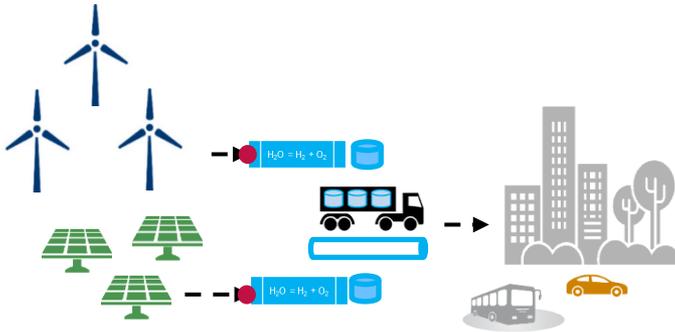


Quelle: rvk Köln

H2-elektrische Fahrzeuge

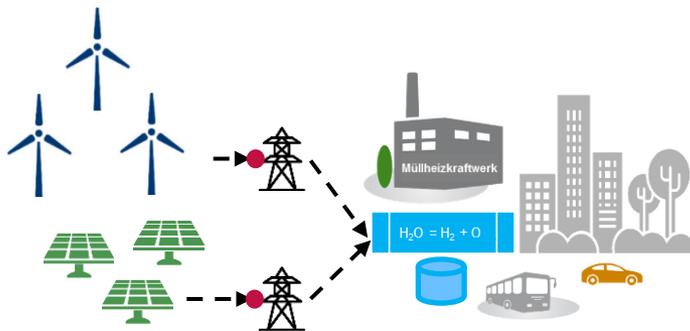
Integration von EE-Strom in die H₂-Mobilität

Erzeugungsnah Umwandlung in H₂ direkt an EE-Anlage – Vermeidung Strombezug aus dem Netz



- Umwandlung von EE-Strom in mehrere kleine Elektrolysen in H₂ direkt an EE-Anlage
- „Einsammeln“ und Transport via Fahrzeug oder Pipeline an Verbrauchszentren

Verbrauchsnahe Umwandlung in H₂ unter maximaler Nutzung von Synergien mit anderen Sektoren



- Transport EE-Strom via Stromnetz (in NRW nahezu keine Stromnetzengpässe)
- Umwandlung zu H₂ in einem Elektrolyseur an einem technischen Standort im Verbrauchsgebiet

Quelle: WSW

Vorteile

Vermeidung von Stromnetzengpässen bei der Integration von EE

Keine Umlagen und NNE auf Strom aus öffentlichem Netz

Vorteile

Nah an der Verkehrslenke (kurze Transportwege)

Technische Kapazitäten vorhanden (H₂O, Elektrische Leistung, etc.)

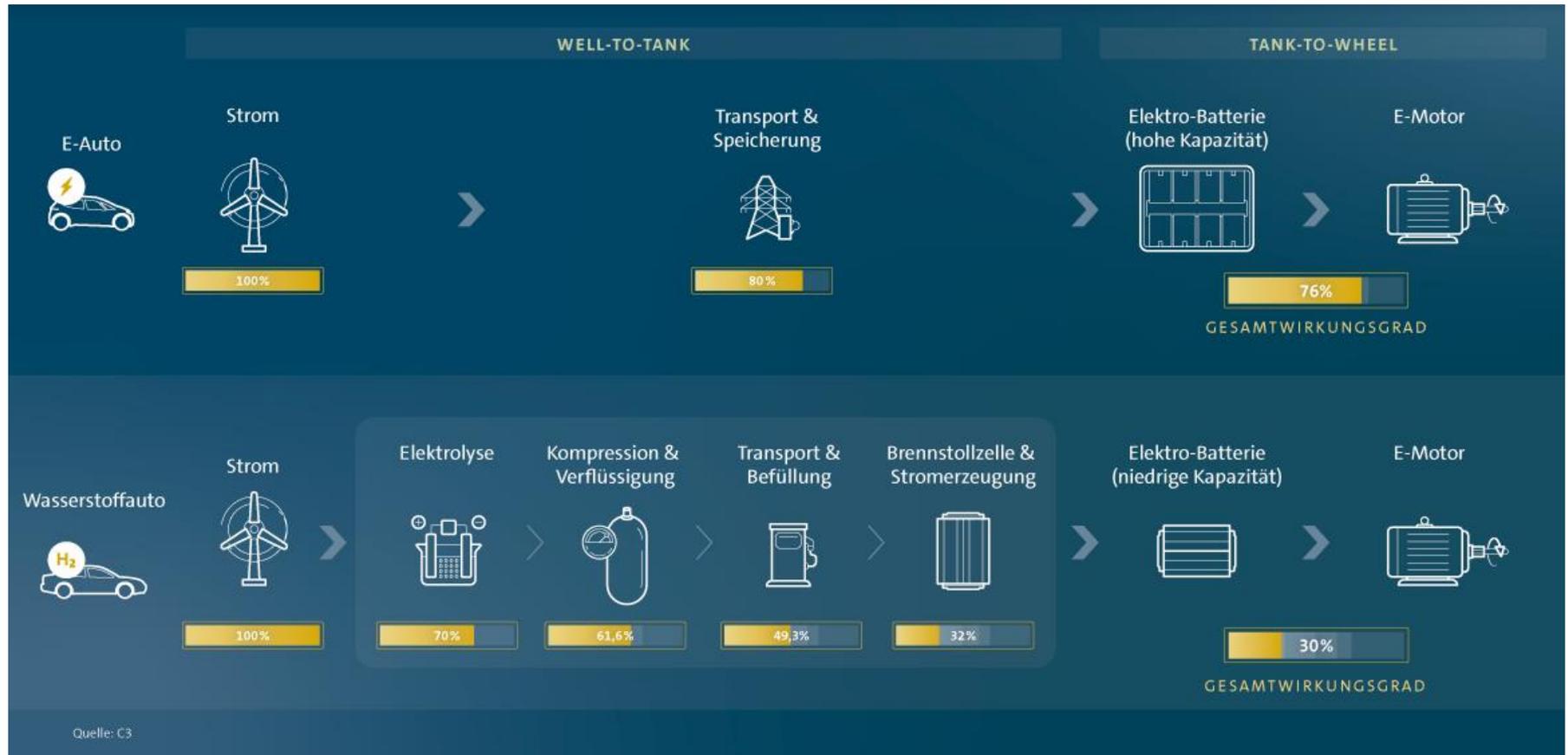
Nutzungsmöglichkeit Nebenprodukte (Wärme und O₂)

Geringere spezifische CAPEX H₂-Erzeugung und Verdichtung

Batterie und Brennstoffzelle

Effizienz- und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

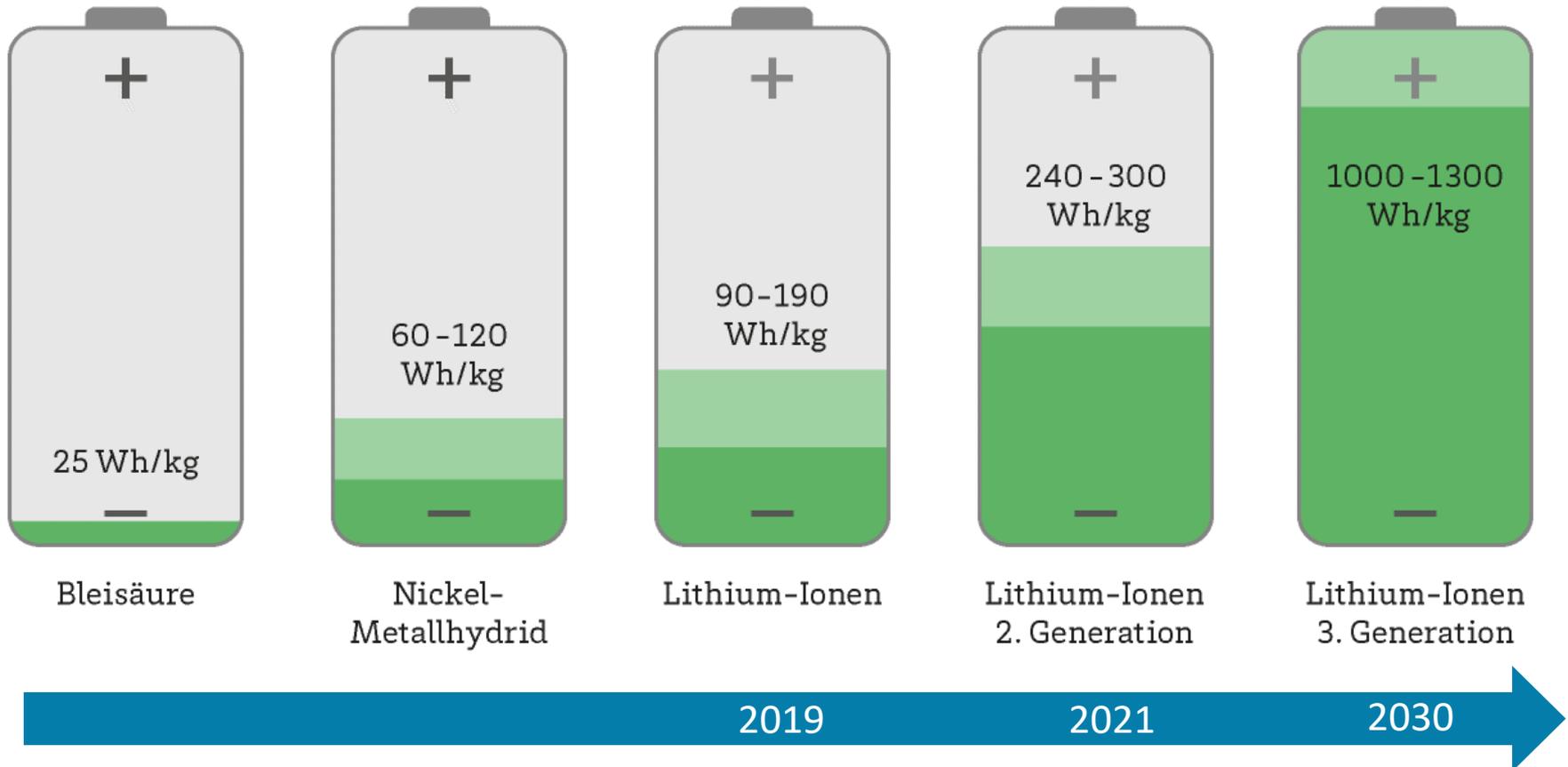
Die Wirkungsgrade im Vergleich bei Nutzung von Öko-Strom



Quelle: www.volkswagenag.com

Batterieelektrische Fahrzeuge

Entwicklung der Energiedichte von Batterien



Quelle: VDV in Anlehnung an Fraunhofer Institut

Treibstoffe / Energieträger

Kostenstruktur

Diesel

- 1,- €/l – Verbrauch: 30 l/100 km: Kosten 30,- €/100 km

synthetischer Kraftstoff

- Grau: 1,08 € – Verbrauch: 30 l/100 km: Kosten 32,4 €/100 km
- grün: 2,50 € – Verbrauch: 30 l/100 km: Kosten 75 €/100 km

Elektrisch

- 10 bis 17 ct/kWh – Verbrauch: 1 bis 1,7 kW/km = 10,- €/100 km

H₂

- 9,5 €/kg H₂ – Verbrauch: 8,5 kg/100 km = 80,75 €/100 km
- Ziel bei Großproduktion: 3,5 €/kg H₂ – Verbrauch: 8,5 kg/100 km = 29,75 €/100 km

Treibstoffe / Energieträger

Energieeffizienz

Emissionen pro Personenkilometer (Pkm) mit klassischer Antriebstechnik im

- motorisierten Individualverkehr (MIV): zirka 6,2 l/100 Pkm mit 160 g CO₂/Pkm
- öffentlichen Verkehr (ÖV) mit Bussen: nur 2,8 l/100 Pkm mit 75 g CO₂/Pkm
- Straßenbahn/U-Bahn sogar nur 2,4 l/100 Pkm mit 64 g CO₂/Pkm

Energieverbrauch pro Personenkilometer (Pkm) mit alternativer Antriebstechnik im

- elektrischen MIV zwischen 0,10 und 0,14 kWh/Pkm
- e-Stadtlinienbus mit 1,15 kWh/km damit 0,058 kWh/Pkm

ÖV bietet doppelte Energieeffizienz pro Pkm!

Effizienter Umgang mit regenerativ bereitgestellten Energien ist auf Grund der begrenzten Menge wichtig!

Treibstoffe / Energieträger

Vor- und Nachteile aus betrieblicher Sicht

Diesel	Batterie	H ₂	Synthetische Kraftstoffe
Vorteil:	Vorteil:	Vorteil:	Vorteil:
<ul style="list-style-type: none">– günstig (Verkehrswende finanzierbar)– Infrastruktur vorhanden– schnell tankbar	<ul style="list-style-type: none">– niedrige TCO-Kosten– Technik vorhanden– keine CO₂-Emissionen	<ul style="list-style-type: none">– Diesel-Reichweite– schnelle Betankung	<ul style="list-style-type: none">– Diesel-Reichweite– schnelle Betankung– gleiche Infrastruktur wie bei Diesel
Nachteil:	Nachteil:	Nachteil:	Nachteil:
<ul style="list-style-type: none">– nicht klimaneutral– NOx Emission	<ul style="list-style-type: none">– hoher Anschaffungspreis– Begrenzte Reichweite	<ul style="list-style-type: none">– Technik im Prototypstadium– teurer Kraftstoff– Lagerung und Transport	<ul style="list-style-type: none">– nur „grau“, „grüne“ nicht lieferbar– Kraftstoff teuer

sinkende Effizienz bei regenerativer Erzeugung

Fazit

- Die Anforderungen an eine emissionsarme bzw. -freie Mobilität mit weniger Verkehr nimmt zu.
 - Der ÖV bietet aufgrund seiner ökologischen Vorteile heute schon eine Lösung für die Herausforderungen bei der Flächennutzung und zur Luftreinhaltung.
 - 1. Verkehrsverlagerung u. a. durch Kapazitätsausbau im ÖV
 - 2. Antriebswende
 - E-Mobilität bietet eine Möglichkeit zur Nutzung regenerativer Energien im Verkehrssektor.
 - Der Transformationsprozess im Bus-Sektor auf E-Mobilität fordert:
 - **neue Betriebskonzepte**
 - **neue Betriebs-hofs- und Werkstattkonzepte**
 - **neue Ladeinfrastruktur**
 - **neue IT-Tools**
 - **neue Fahrzeuge**
 - Die Finanzierung muss gesichert werden!
- Der ÖV steht zu den Klimazielen und erarbeitet Lösungen!

Öffentlicher Verkehr steht für nachhaltige, klimafreundliche und ressourcenschonende Mobilität

Martin Schmitz

schmitz@vdv.de | T 0221 57979-123
