
Keynote

Die ganze Wahrheit über Antriebsenergien

ÖVG-Forum:

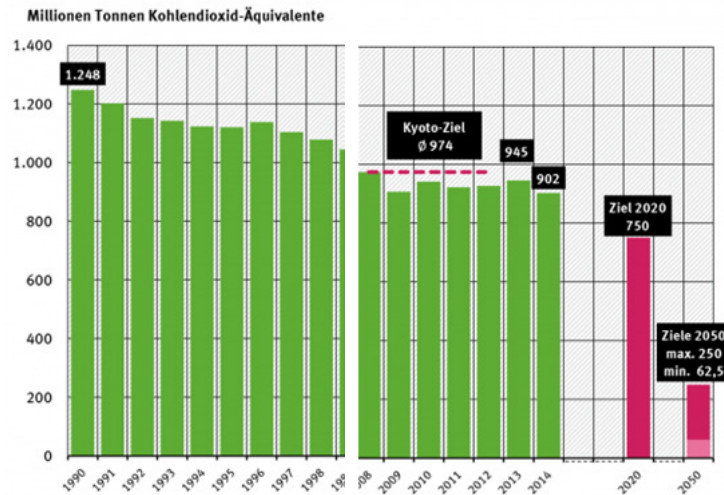
Verkehrswende findet „Stadt“: Lösungen durch Alternative Antriebssysteme

Wien, 10.12.2020

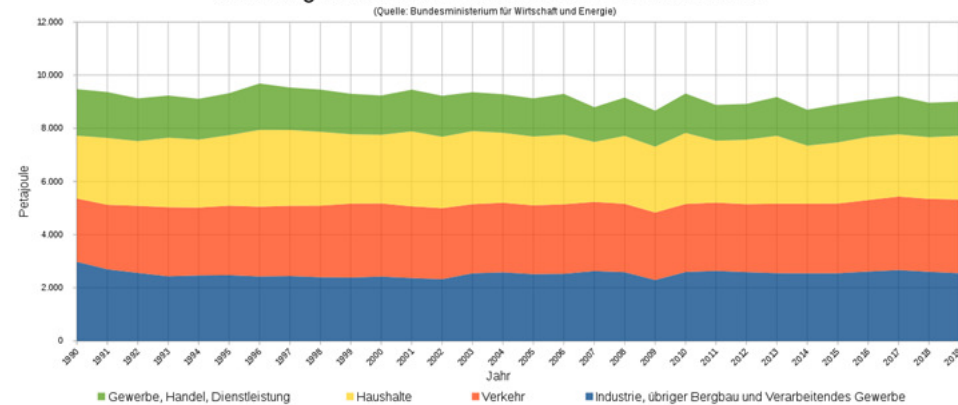
Martin Schmitz

Nachhaltigkeit und Umweltschutz – Politische Forderungen und Rahmenbedingungen

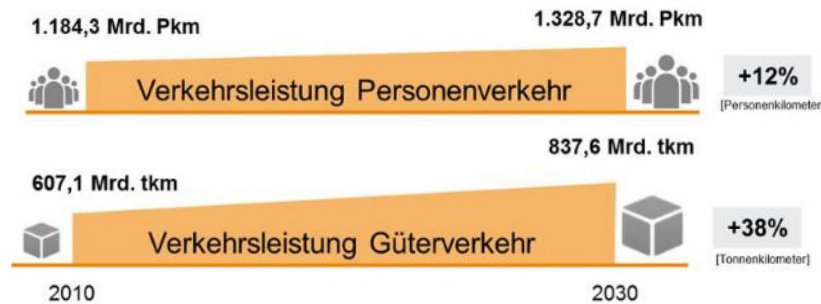
Pariser UN-Klimagipfel



Endenergieverbrauch nach Bereich in Deutschland

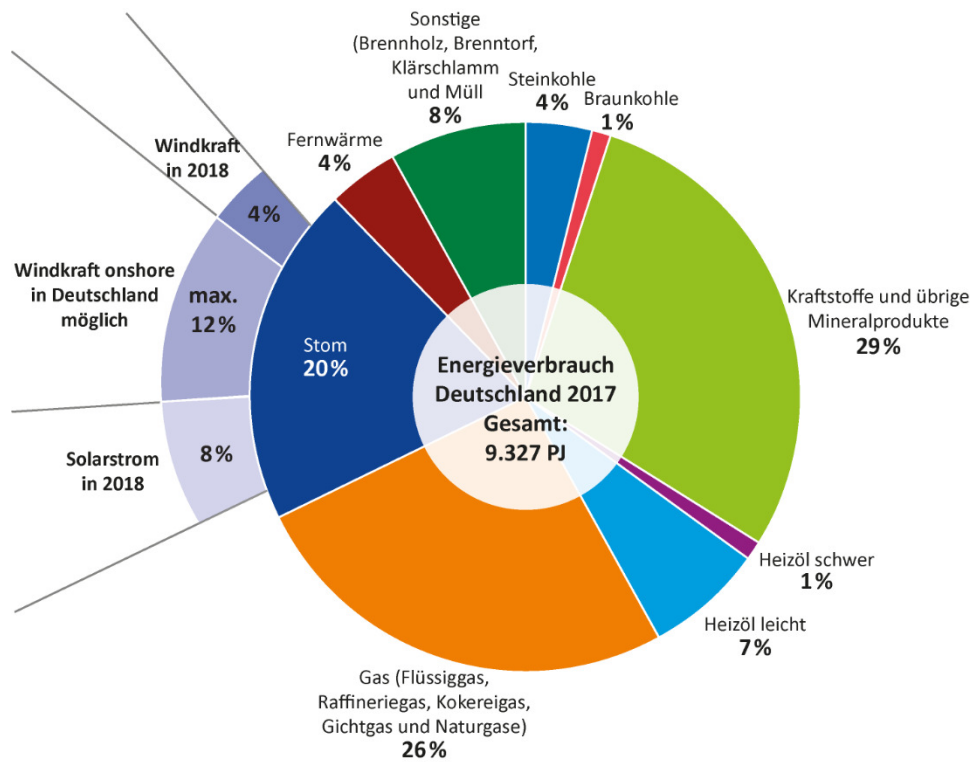


**ÖV spielt eine wichtige Rolle bei umweltschonender Mobilität!
Mehr Mobilität mit weniger CO₂ durch Effizienzerhöhung!**



Quelle: Studie „Ein Strommarkt für die Energiewende Weißbuch – BMWi“; BMVI – BVWP, Ergebnispapier „Strom 2030“ des BMWi

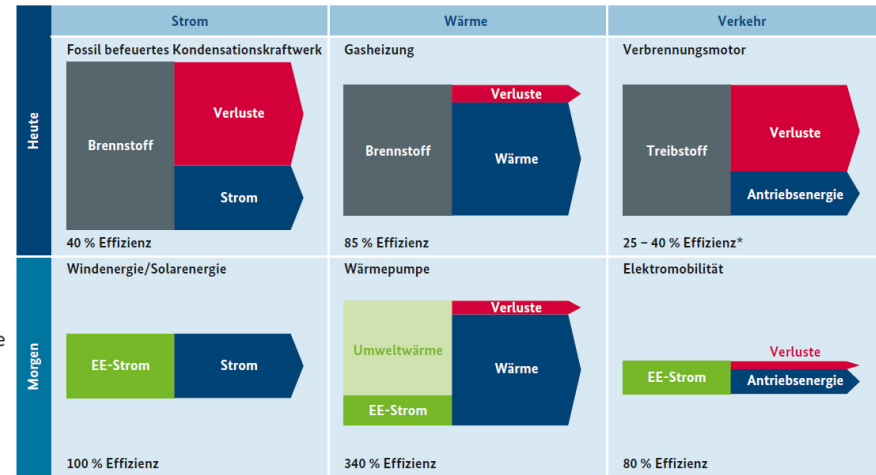
Nachhaltigkeit und Umweltschutz – Energieverbrauch



6 Prozent des Gesamt-Energieverbrauchs wird regenerativ erzeugt!

Quelle: Studie „Ein Strommarkt für die Energiewende Weißbuch – BMVI“; BMVI – BVWP, Ergebnispapier „Strom 2030“ des BMVI | 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.



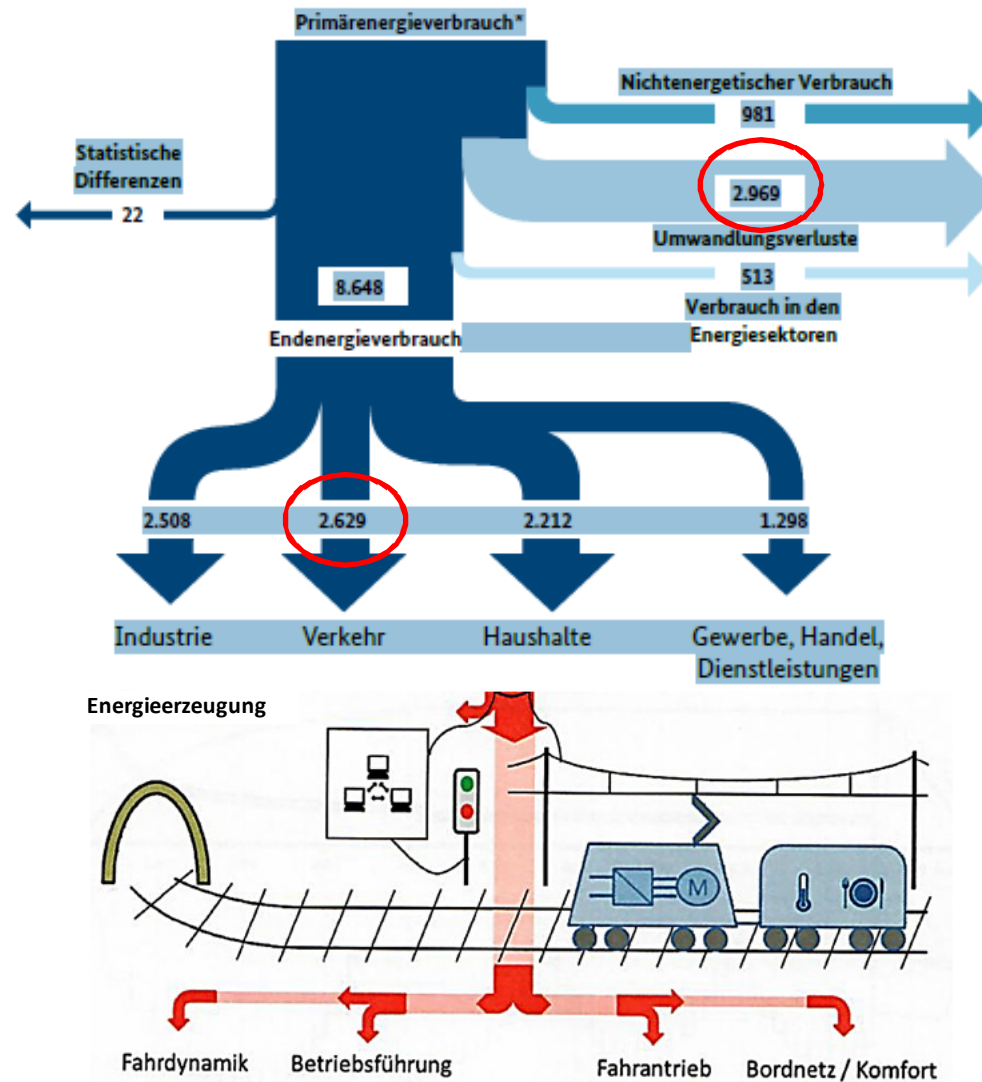
Elektrofahrzeuge, die den Strom aus Wasserstoff gewinnen, benötigen deutlich mehr Strom.



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



Nachhaltigkeit und Umweltschutz – Energieverbrauch



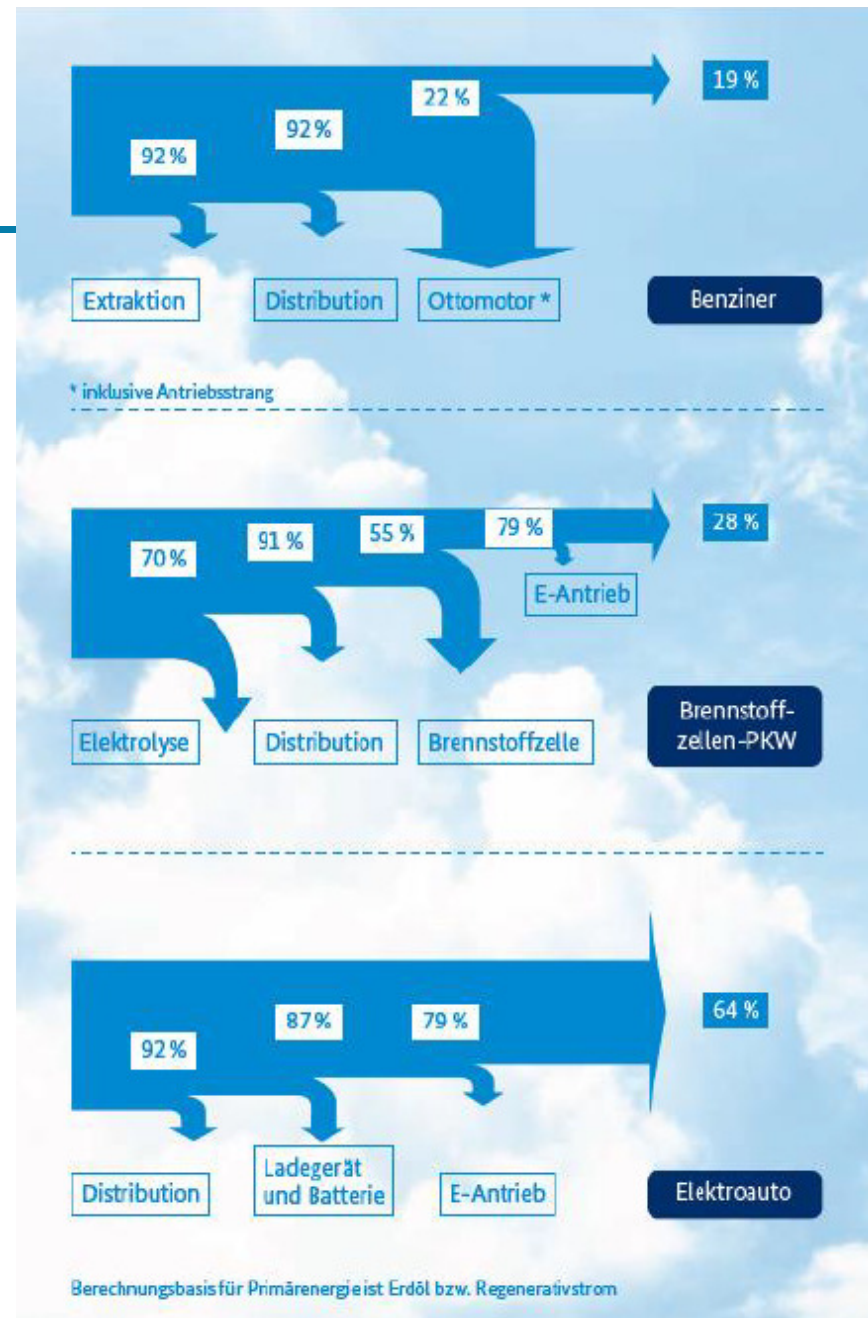
Quellenangaben: VDE Energieoptimierter
Bahnverkehr 2013

Wirkungsgrade

Der Wirkungsgrad zeigt an, welcher Anteil der zugeführten Primärenergie in Bewegung umgesetzt wird. Er beträgt z. B. beim Benzinmotor lediglich 22 Prozent. Werden die Verluste bei der Bereitstellung des Kraftstoffs mitberücksichtigt, so lassen sich schließlich lediglich 19 Prozent der Ausgangsenergie für die eigentliche Fahrzeugbewegung nutzen.

Der Elektroantrieb ist mit etwa 79 Prozent Wirkungsgrad sehr effizient. Beim Einsatz von Wasserstoff zur Strombereitstellung im Fahrzeug wird dieser Vorteil jedoch durch den vorgelagerten Elektrolyseprozess, die Kompression, Distribution und Wiederverstromung des Wasserstoffs erheblich geschmälert. Daher kommen Brennstoffzellenfahrzeuge nur auf einen Gesamtwirkungsgrad von 28 Prozent.

Beim Elektroauto hingegen entstehen in der Energievorkette nur geringe Verluste, sodass 64 Prozent der Primärenergie in Bewegungsenergie überführt werden können.



Quelle: BMU

Wohin geht der Weg?

Brennstoffzellen



Trolley

Hybrid



Batterie

synthetische Kraftstoffe



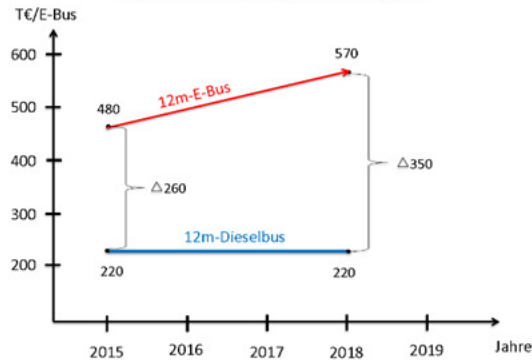
Batterie-Hybrid

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
- teurer Produkte

Regionalkonferenz E-Busse VDV Niedersachsen/Bermer

Seite 35

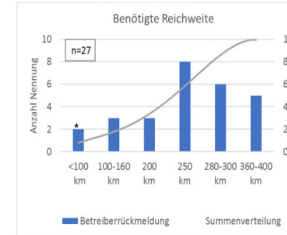
Erste Auswertung Betriebsdaten

Betreiberanforderungen I

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

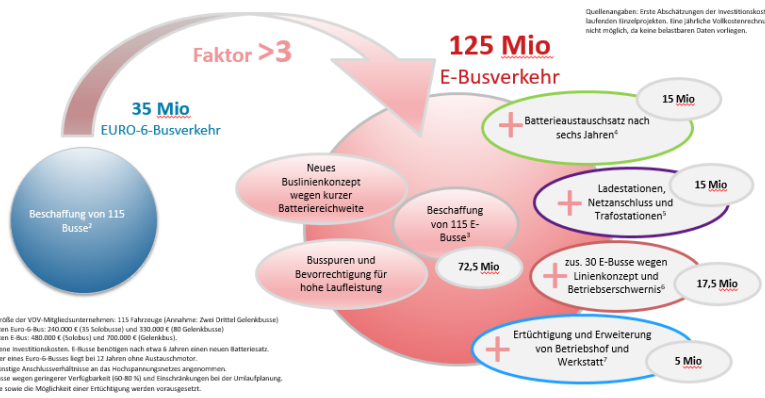
Erste Auswertungen:

- 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)

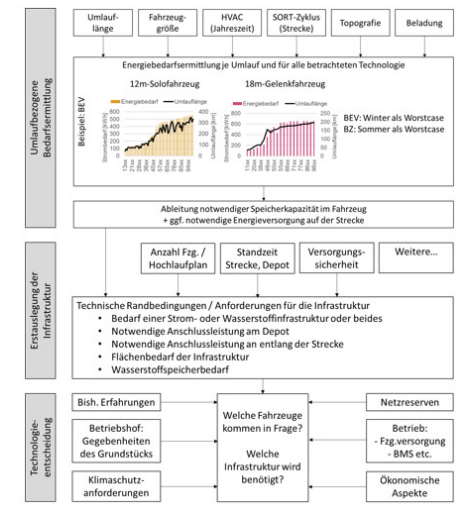
30% 30% 40%



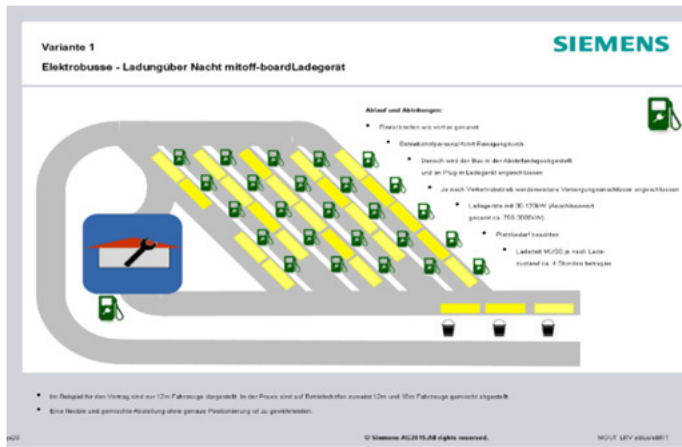
Quellangaben: Erste Abschätzungen der Investitionskosten aus laufenden Investitionskonten. Eine jährliche Vollkostenrechnung ist nicht möglich, da keine belastbaren Daten vorliegen.

¹ Mittlere Flottengröße der VDV-Mitgliedsunternehmen: 115 Fahrzeuge (Annahme: Zwei Drittel Gelenkbusse)
² Beschaffungskosten Euro-6-Bus: 240.000 € (13 Solobusse) und 330.000 € (80 Gelenkbusse)
³ Beschaffungskosten E-Bus: 480.000 € (Solobus) und 790.000 € (Gelenkbus)
⁴ Zusätzlich verschobene Investitionskosten: E-Busse benötigen nach etwa 6 Jahren einen neuen Batterieersatz. 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 (80-85%) und Einschränkungen bei der Umlaufplanung.
⁷ Eine zentrale Lage sowie die Möglichkeit einer Ertüchtigung werden vorausgesetzt.

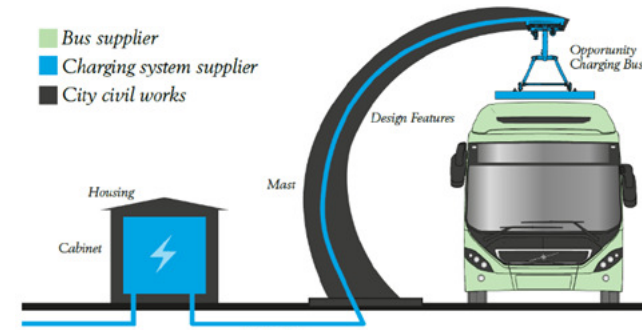
Quelle: : Thinkstep AG, VDV, BSAG



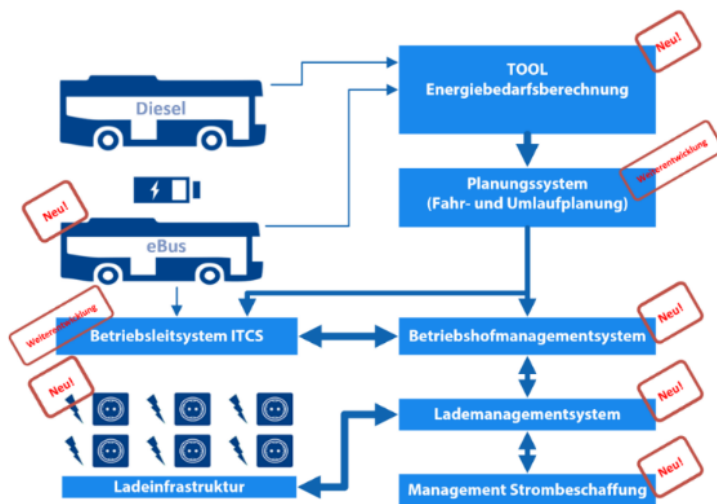
Migrationsprozess vom fossilen auf das postfossile Zeitalter – Anforderungen an den Produktionsprozess



- neue Betriebshofkonzepte
- neue Infrastruktur



- One charging station in each end of the line
 - 12 m Electric Hybrid bus - 150 kW charging station
 - Artic and electric buses - 300 kW charging station
- Standard offer : 400V, 3 phase



- neue Steuerungssoftware
- neue Betriebskonzepte



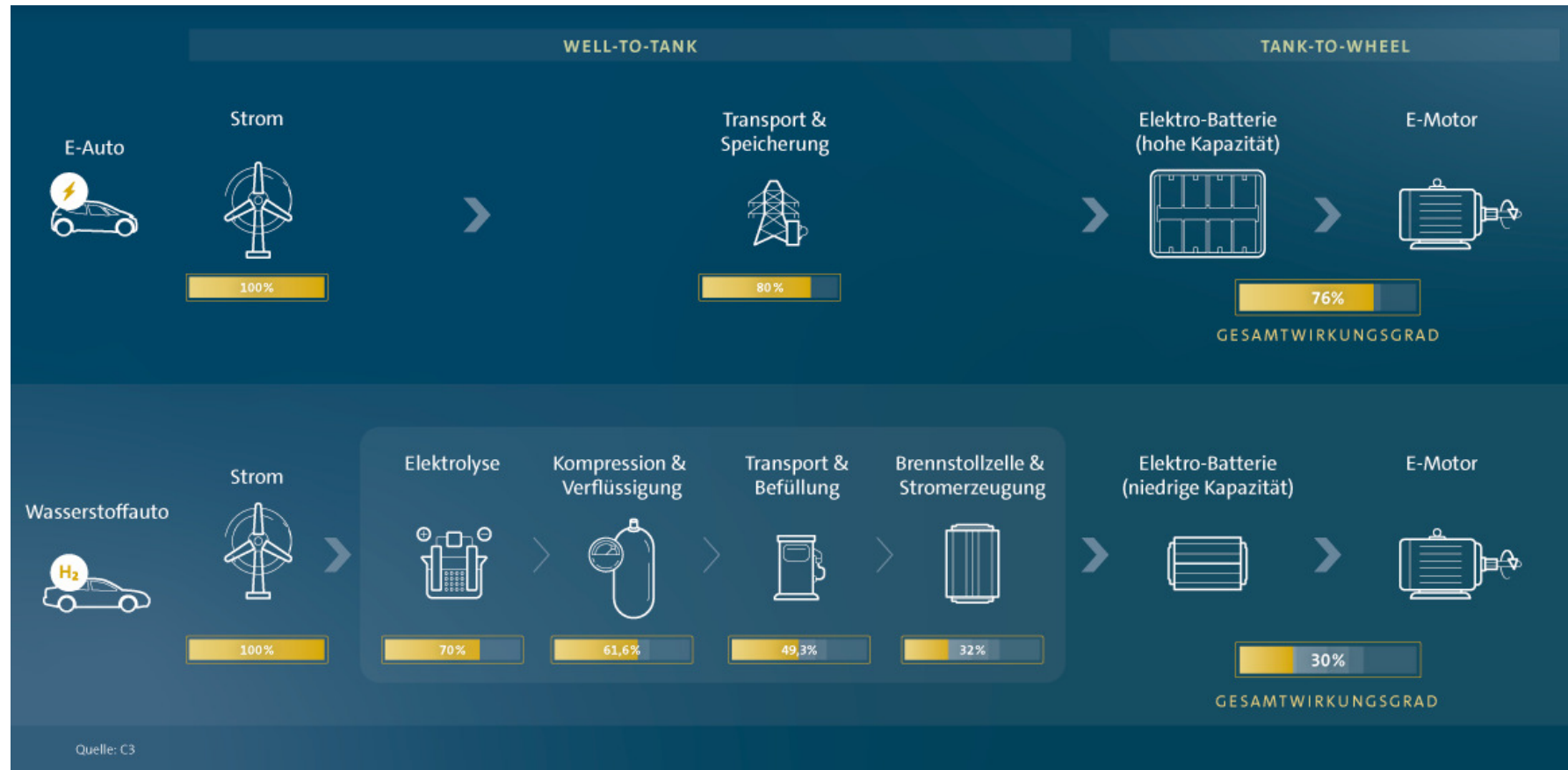
Quelle: Siemens, Volvo, vhh

Effizienz und Verfügbarkeiten

Batterie und Brennstoffzelle

Effizienz- und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Die Wirkungsgrade im Vergleich bei Nutzung von Öko-Strom

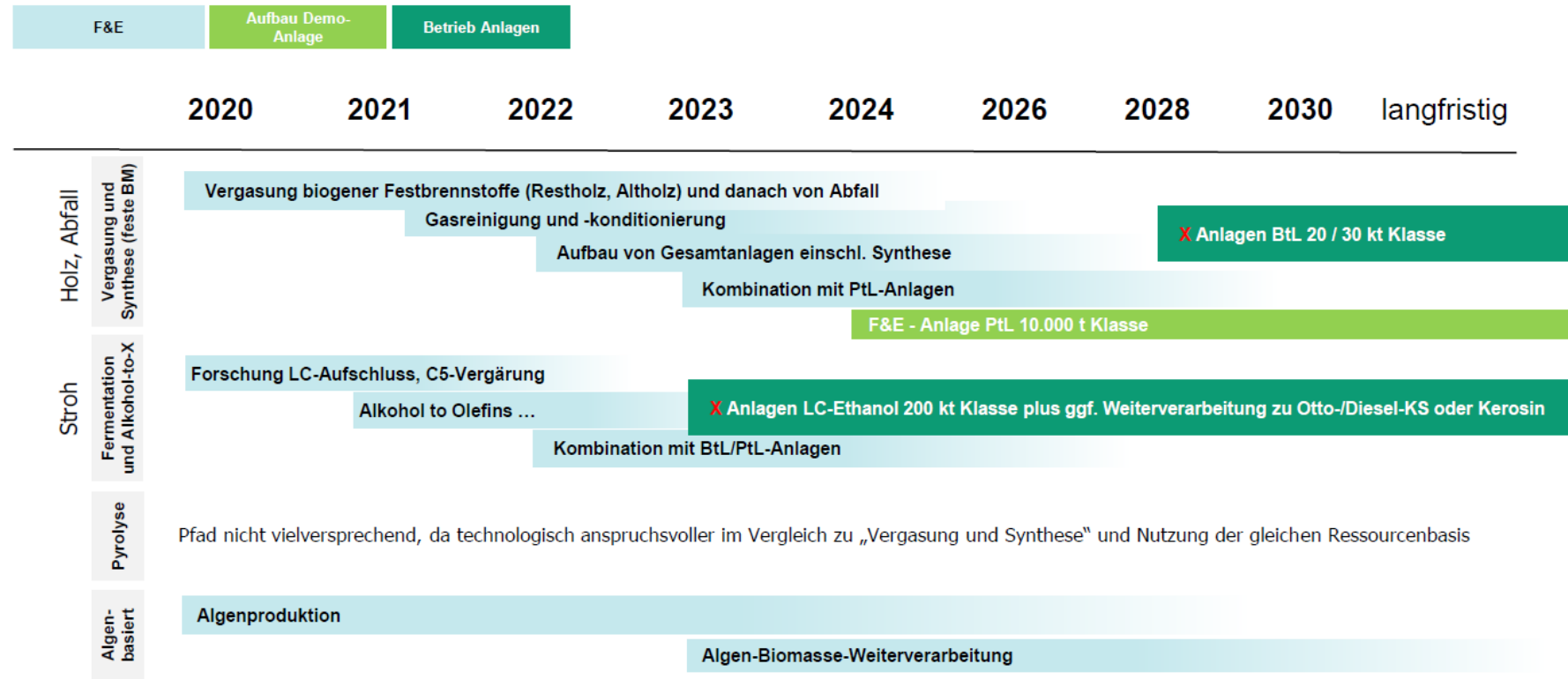


Quelle: www.volkswagenag.com

Technologiepfad flüssige Bio-Kraftstoffe

ENTWURF als Diskussionsgrundlage / nicht mit der AG abgestimmt

Fahrplan fortschrittliche flüssige Biokraftstoffe

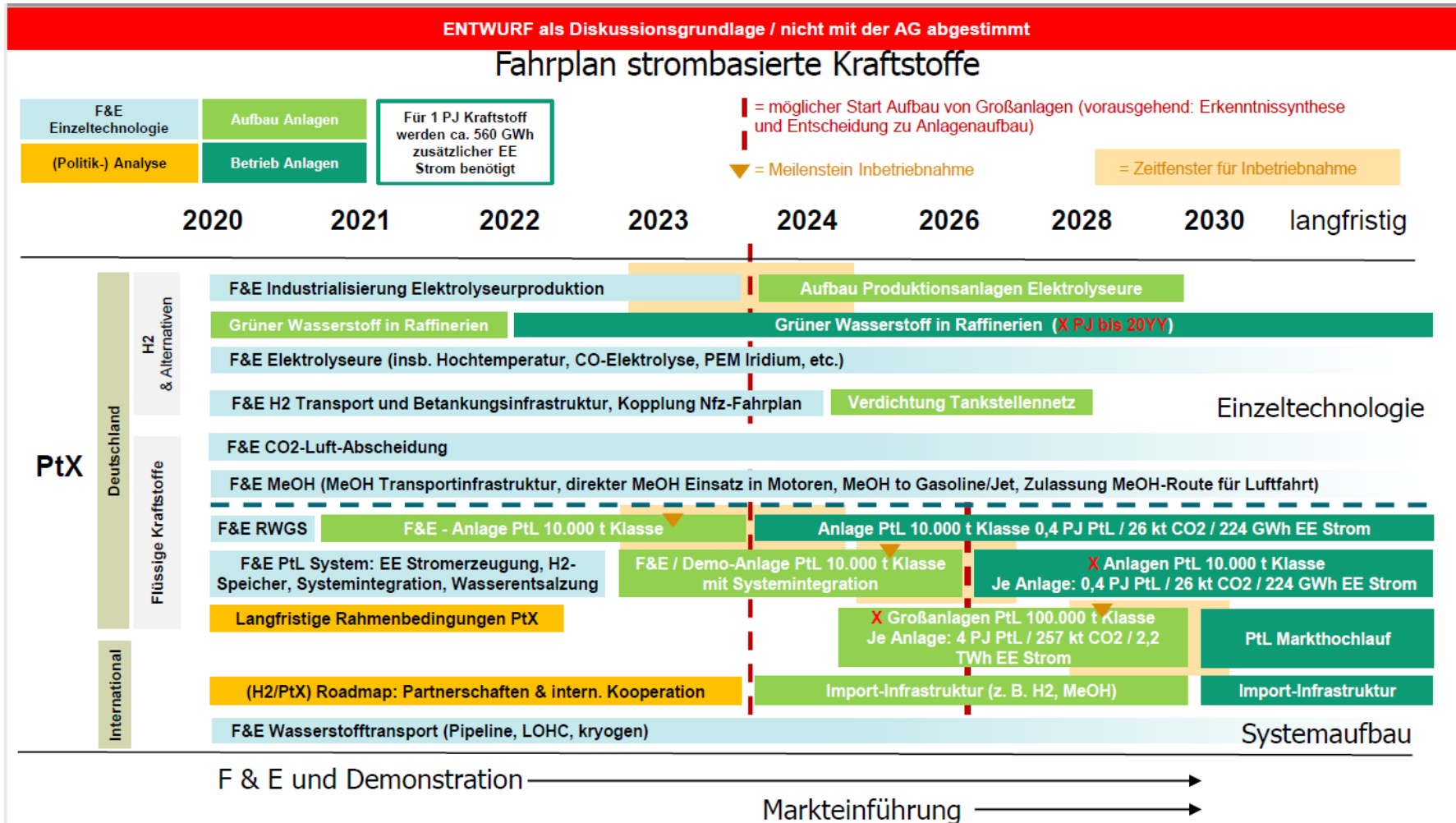


LC = Ligno-Cellulose

zeitliche Umsetzung nur bei baldiger Investition

Quellenangaben: NPM AG1

Technologiepfad strombasierte Kraftstoffe



zeitliche Umsetzung nur bei baldiger Investition

Quellenangaben: NPM AG1

Technologiepfad Elektrifizierter Lkw

TCO IN 2030

- Annuität Anschaffungspreis [€/a]
- Kfz-Steuer [€/a]
- Versicherungskosten [€/a]
- Energiekosten [€/a]
- AdBlue [€/a]
- Wartungs- & Reparaturkosten [€/a]
- Kosten für Ausfalltage [€/a]
- Mautkosten [€/a]

Relative Differenz zu Diesel:

-7%	-17%
-6%	-13%
+9%	+20%

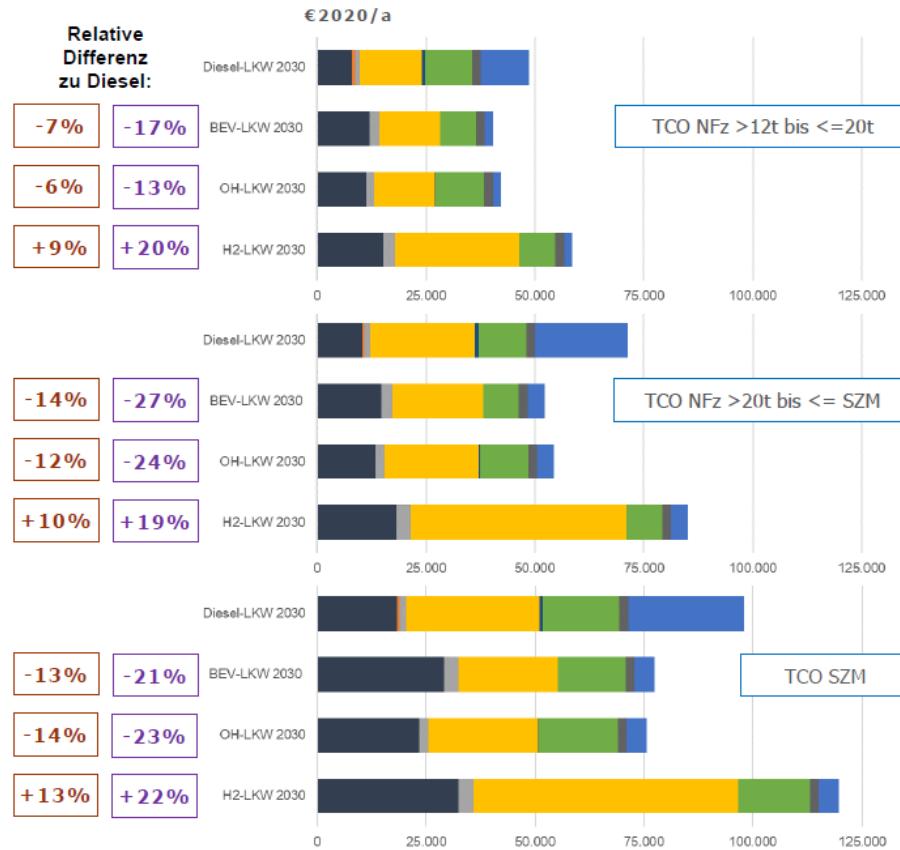
Zentrale Bestandteile für TCO-Unterschiede

- TCO ohne Fahrerkosten
- Anschaffungspreise inklusive Zuschuss auf Investitionsmehrkosten und Sonder-AfA
- Energiekosten (ohne MwSt.)
- Wartungs- & Reparaturkosten
- Mautkosten – mit CO₂-gespreizter Maut

Ableitungen aus der TCO

- BEV und OH-LKW mit geringsten jährlichen Gesamtkosten
- Wettbewerbsfähigkeit vom H2-Lkw von Energiekosten abhängig
- Mautgestaltung ist ein wichtiger Kostenhebel

mit Fahrerkosten und ohne Fahrerkosten auf Grund von Reduzierung der Vorteile von alternativen Antrieben



Quelle: TUHH-VPL, eigene Berechnungen

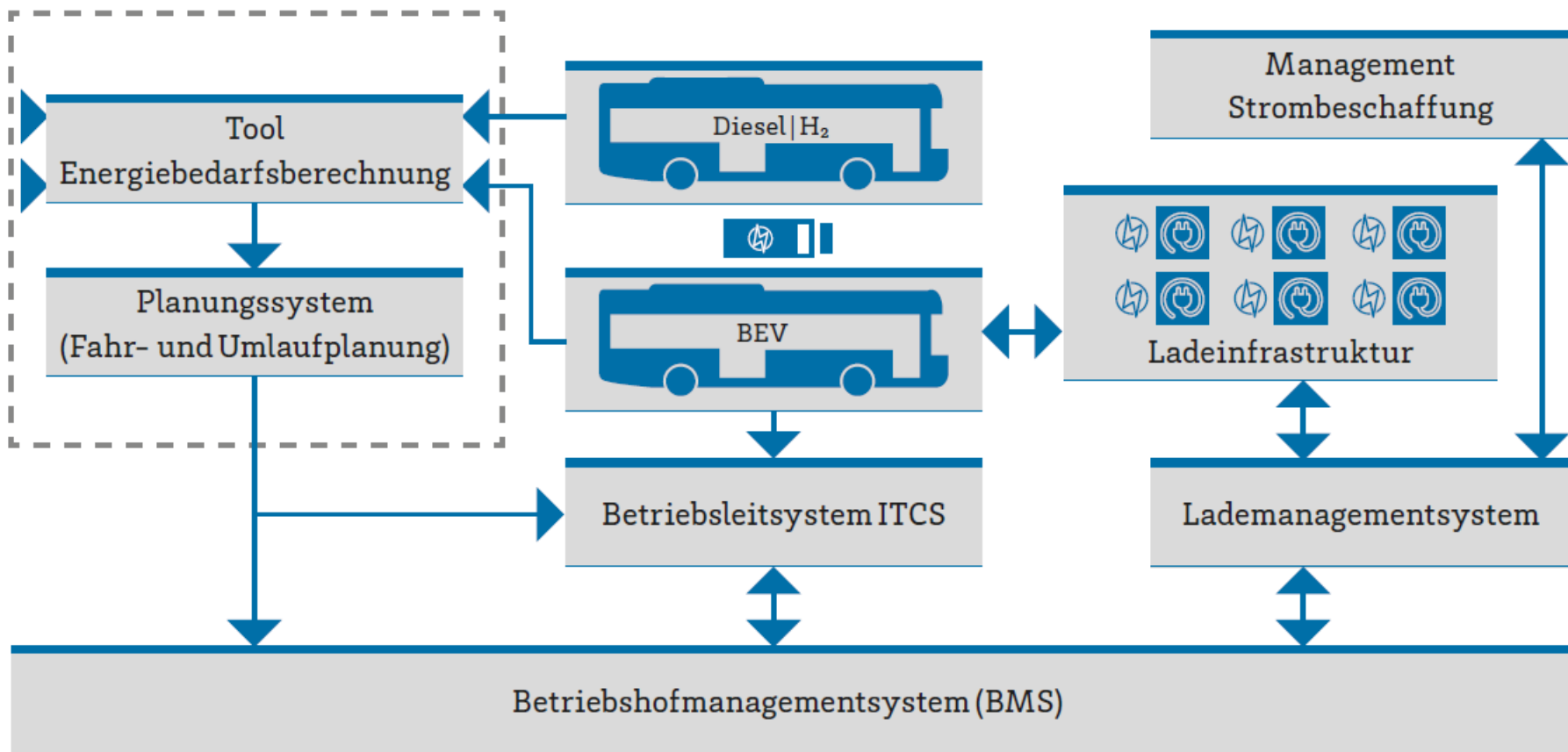
ENTWURF als Diskussionsgrundlage / nicht mit der AG abgestimmt

Quellenangaben: NPM AG1 (nicht abgestimmt)

Stark abhängig von den Energiekosten

Batterieelektrische Fahrzeuge

Energieversorgung und Einsatzplanung

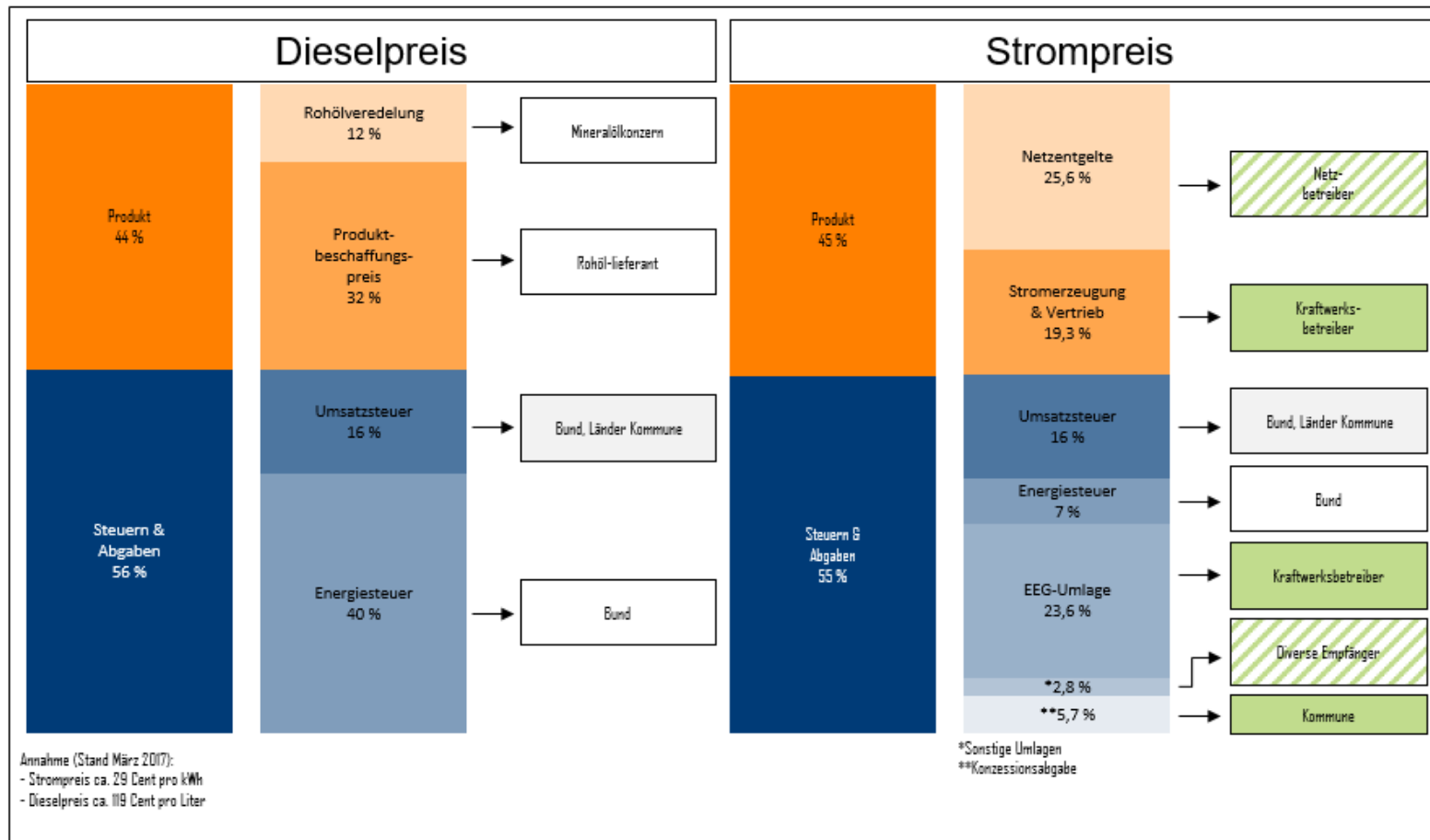


Quelle: Sphera (thinkstep AG) | VDV (aus Broschüre: Emissionsfreie Energie- und Antriebskonzepte für Stadtbusse zur Umsetzung der europäischen Clean Vehicles Directive, Seite 33)

Batterieelektrische Fahrzeuge

Wertschöpfung

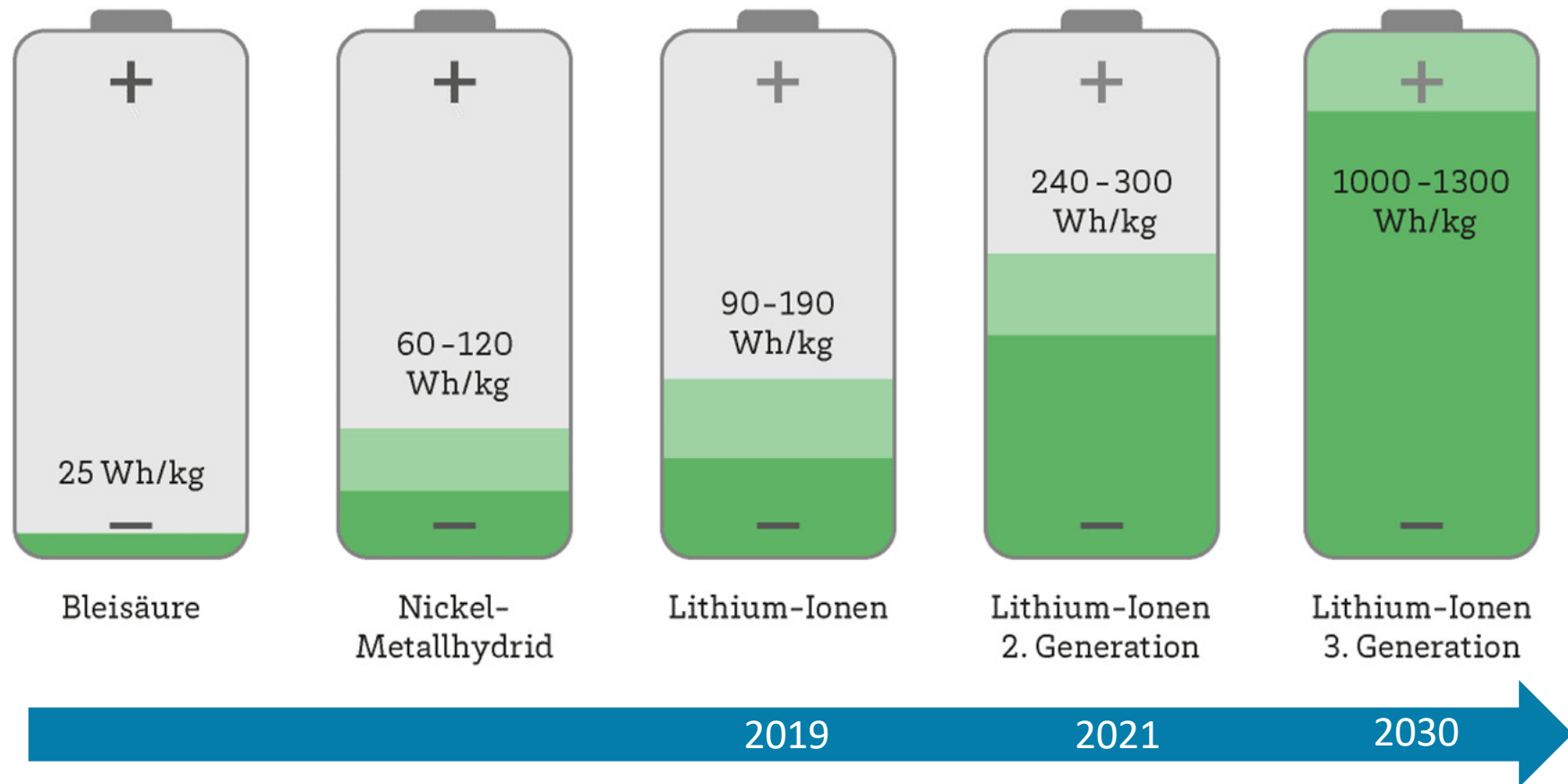
Warum Elektrobusse? Lokale Wertschöpfung!



Quelle: EMCEL

Batterieelektrische Fahrzeuge

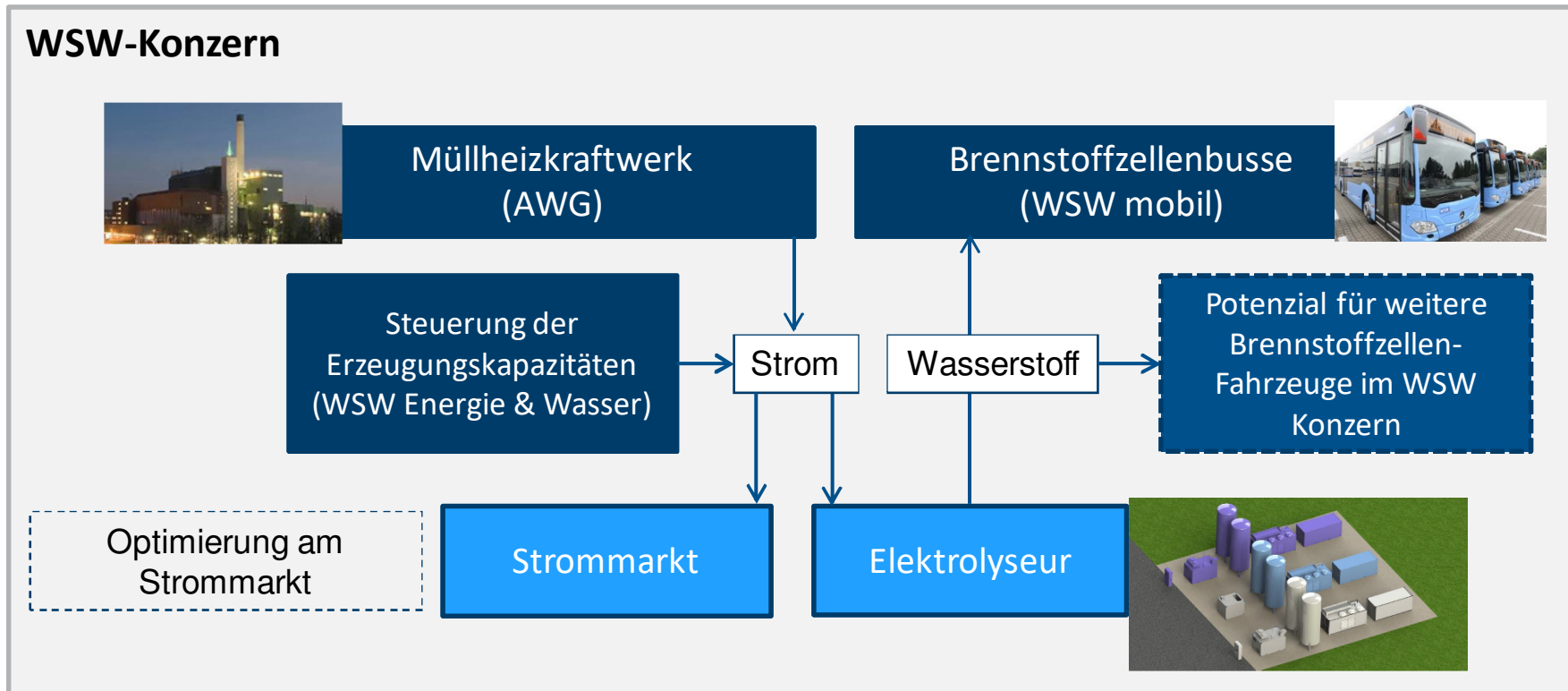
Entwicklung der Energiedichte von Batterien



Quelle: VDV in Anlehnung an Fraunhofer Institut

H₂ elektrische Fahrzeuge

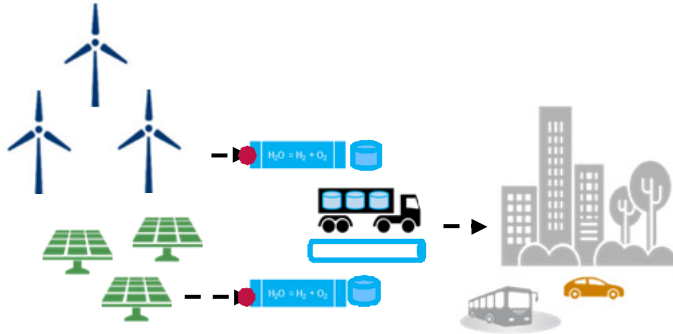
Eigenerzeugung von Wasserstoff im WSW-Konzern stellt Versorgung sicher und schafft Flexibilität



Quelle: WSW

Integration von EE-Strom in die H₂-Mobilität

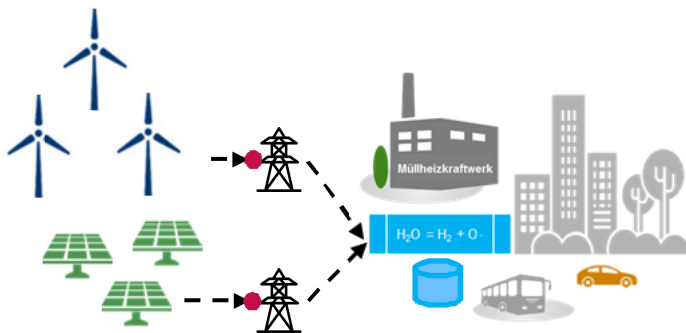
Erzeugungsnaher Umwandlung in H₂ direkt an EE-Anlage – Vermeidung Strombezug aus dem Netz



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

Vorteile
Vermeidung von Stromnetzengpässen bei der Integration von EE
Keine Umlagen und NNE auf Strom aus öffentlichem Netz

Verbrauchsnaher 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

Vorteile
Nah an der Verkehrsenke (kurze Transportwege)
Technische Kapazitäten vorhanden (H ₂ O, Elektrische Leistung, etc.)
Nutzungsmöglichkeit Nebenprodukte (Wärme und O ₂)
Geringere spezifische CAPEX H ₂ -Erzeugung und Verdichtung

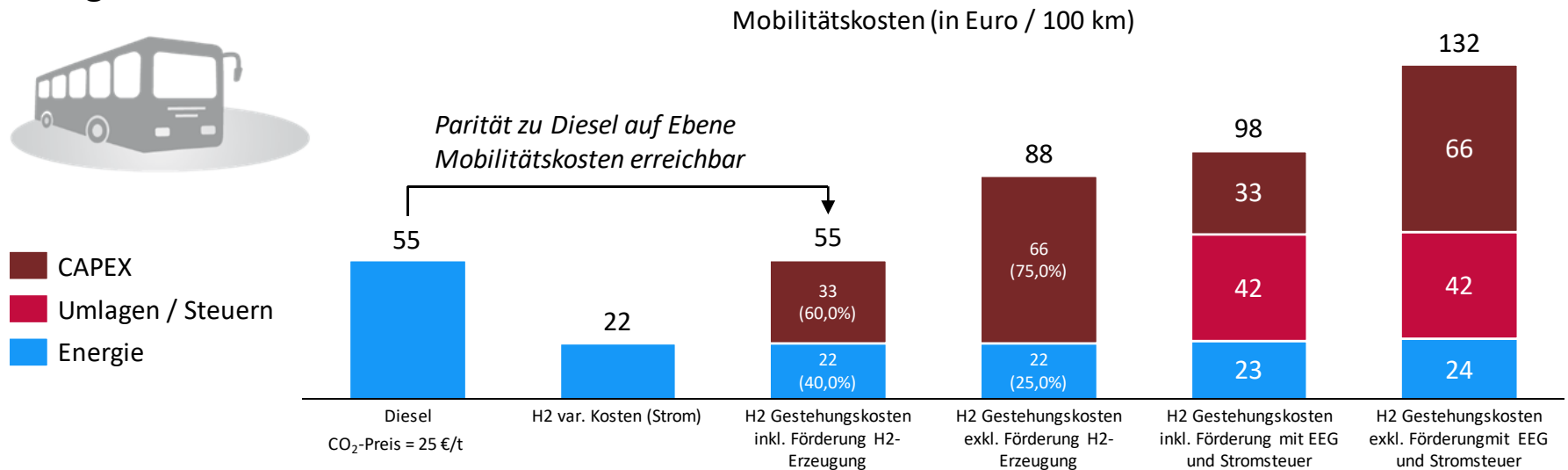
Quelle: WSW

Kostenvergleich Diesel | H₂ unter Voraussetzung einer 55 Prozent Förderquote

Energie und Mobilität



Indikation auf Basis Erfahrungen WSW



Der Vergleich der Mobilitätskosten zwischen Diesel und eigenproduziertem H₂ hängt stark von der zugrundeliegenden Förderung der Infrastruktur sowie den staatlichen Komponenten im Strompreis ab.

Bei den rein variablen Kosten hat die Produktion von Wasserstoffmobilität deutliche Kostenvorteile im Vergleich zum Diesel, allerdings nur ohne staatliche Strompreiskomponenten.

Quelle: WSW

Systemvergleich

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

Quellenangaben

Treibstoffe / Energieträger

Vor- und Nachteile aus betrieblicher Sicht

Diesel	Batterie	H ₂	Synthetische Kraftstoffe
<i>Vorteil:</i>	<i>Vorteil:</i>	<i>Vorteil:</i>	<i>Vorteil:</i>
<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
<i>Nachteil:</i>	<i>Nachteil:</i>	<i>Nachteil:</i>	<i>Nachteil:</i>
<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

Migrationsprozess vom fossilen auf das postfossile Zeitalter – Anforderungen an die Rahmenbedingungen

EEG-Umlage

- Kosten der Systemumstellung tragen die Innovatoren
- Besteuerung der H₂-Herstellung

Steuergesetzgebung

- Übergreifende Nutzung der Infrastruktur nicht möglich

Batteriegesetz

- mehr Ausrichtung auf Traktionsbatterien

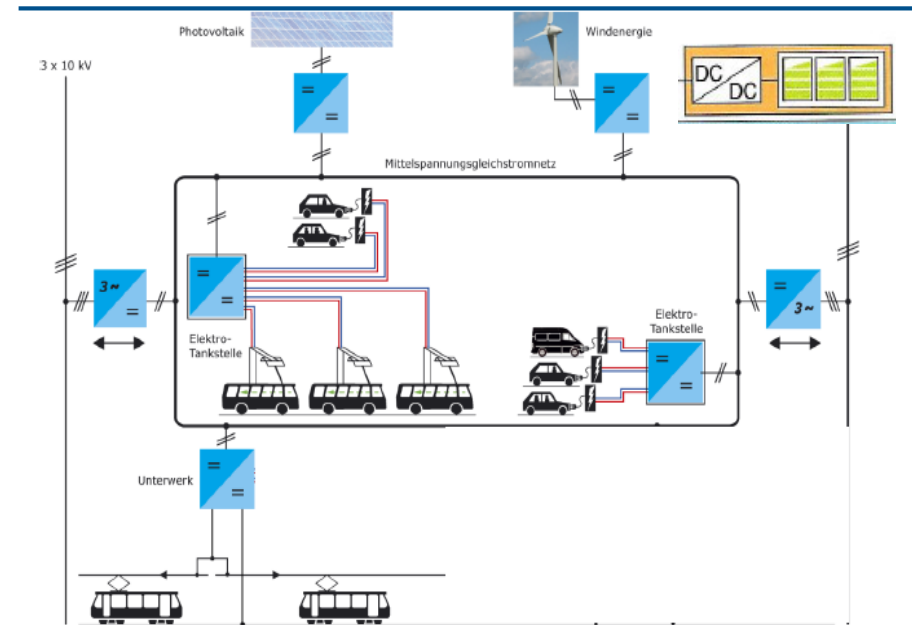
Nahverkehrsplan

- Anforderungen an Wirtschaftlichkeit und Ökologie müssen beschrieben sein

Finanzierung

- Migrationskosten (Infrastruktur, Umbau, Fahrzeuge, Schulungen etc.)

Eine elektromobile Stadt braucht Gleichspannungsleitungen



51

Prof. Dr.-Ing. Adolf Müller-Hellmann ISEA RWTH

Grafik: Prof. Müller-Hellmann

Zusammenfassung

- Für eine Energie- und Antriebswende sind mit Infrastruktur-Investitionen zu beginnen
- Auswahl des neuen Energieträgers erfolgt nach unterschiedlichen Faktoren
 - Energieeffizienz, Kosten, Verfügbarkeiten, betriebliche Aspekte, Entsorgung etc.
- TCO Betrachtungen sind entscheidend
- nur über einen gewissen Standard lassen sich die Investitionskosten abbilden
- Entwicklung der Batteriekapazität (Wh/kg) und Wasserstoffherstellungskosten sind entscheidend.
- Wasserstoff wird ein Energieträger sein! Auch wenn „nur“ zum Energieimport

- Die meisten Anforderungen im ÖV (ÖPNV/SPNV) lassen sich mit zukünftigen Batterien abbilden. Dies ermöglicht einen sofortigen Start in die emissionsfreie Mobilität. Bio- bzw. synthetische Kraftstoffe, Wasserstoff bieten alternative Potentiale.

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 Betriebshofs- und Werkstattkonzepte**
 - **neue Ladeinfrastruktur**
 - **neue IT-Tools**
 - **neue Fahrzeuge**
 - Die Finanzierung muss gesichert werden!
- Der ÖV steht zu den Klimazielen und erarbeitet Lösungen!

6. VDV-Omnibustage

12. VDV-Elektrobuskonferenz

VDV-Omnibustage

- 08. Dezember 2020
- zwischen 09:00 und 16:00 Uhr
- virtuell
- Themen:
 - Assistenzsysteme im Bus
 - Spiegelersatzsysteme
 - Einsatz alternativer Kältemittel
 - Synthetische Kraftstoffe
 - Corona-Maßnahmen im Busbereich
 - etc.

VDV-Elektrobuskonferenz und Fachmesse ElekBu

- 02./03. Februar 2021
- virtuell
- Themen:
 - CVD und Elektrobusförderung
 - Ladekonzepte & Managementsysteme
 - AVAS, VDV-Empfehlungen
 - Fachmesse mit virtuellen Produktvorstellungen
 - Kommunikation und Vernetzung

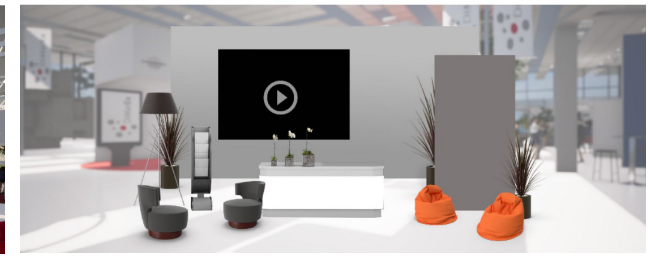
Foyer 1



Konferenzbühne



Messestand 4



Öffentlicher Verkehr steht für nachhaltige, klimafreundliche und ressourcenschonende Mobilität

Martin Schmitz

schmitz@vdv.de | T 0221 57979-123
