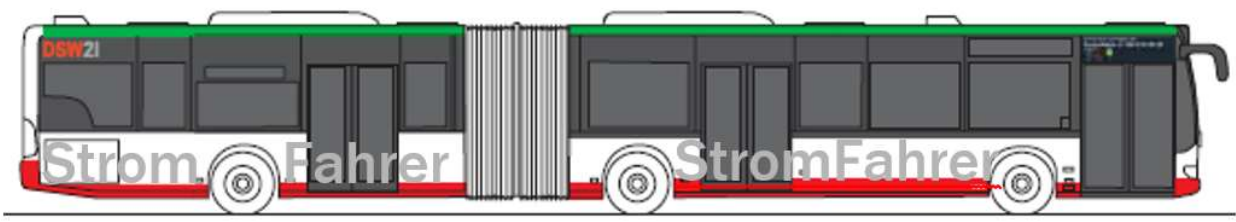




DSW21 Masterplan SAUBERE_LUFT



Masterplan SAUBERE_LUFT

Die Veränderung eines ganzen Systems - der Inhalt ...

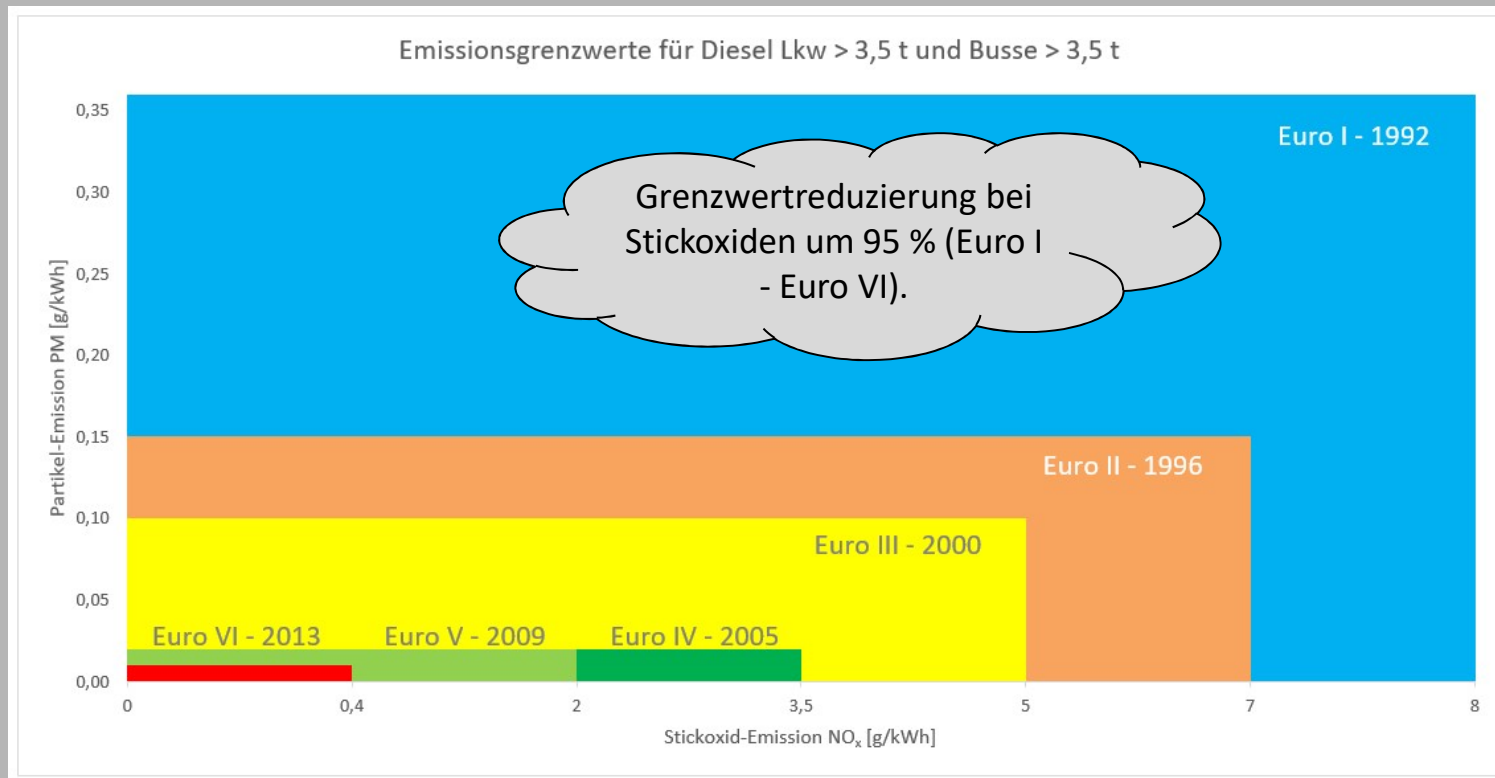
- Vorbemerkungen
- DSW21 im Vergleich
- Zero Emission - Ein grober Systemvergleich
- Alternativen zum Dieselantrieb
- Strategischer Ansatz

Dipl.-Ing. Ralf Habbes

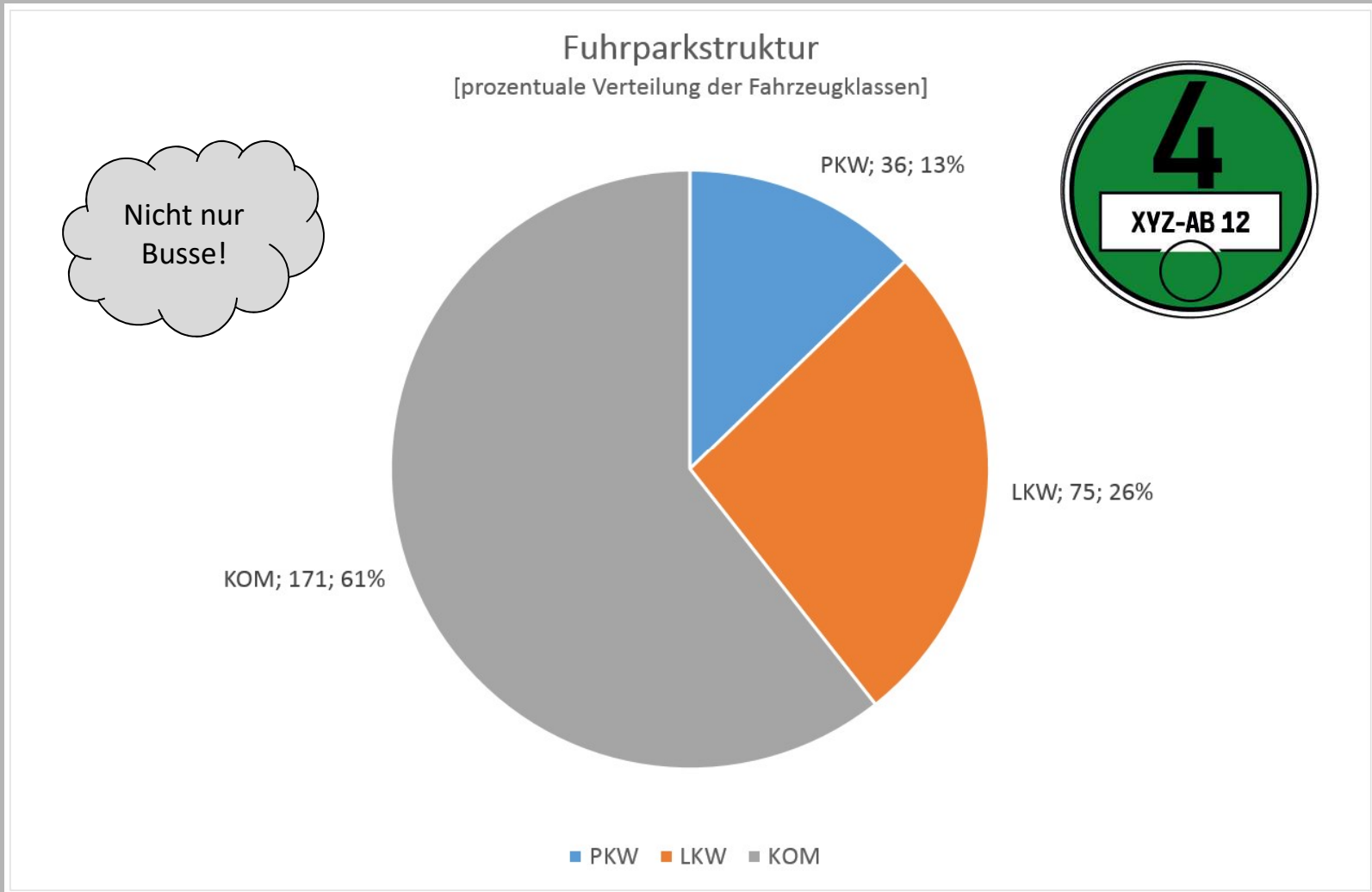
Leiter Technik

Betriebsleiter (BOStrab, BOKraft)

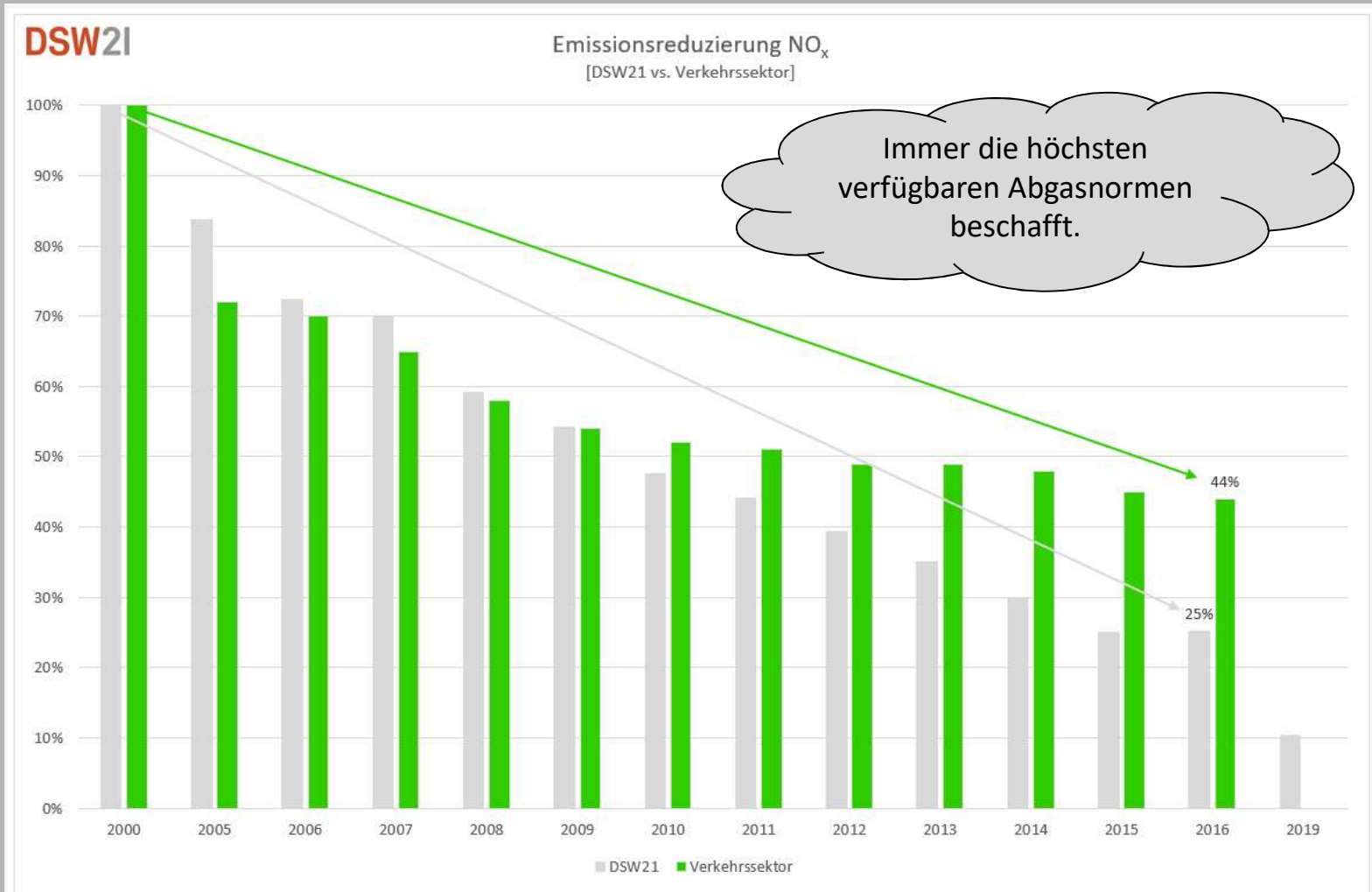
Masterplan SAUBERE_LUFT Vorbemerkungen - Emissionsentwicklung



Masterplan SAUBERE_LUFT Vorbemerkungen - Fuhrparkstruktur



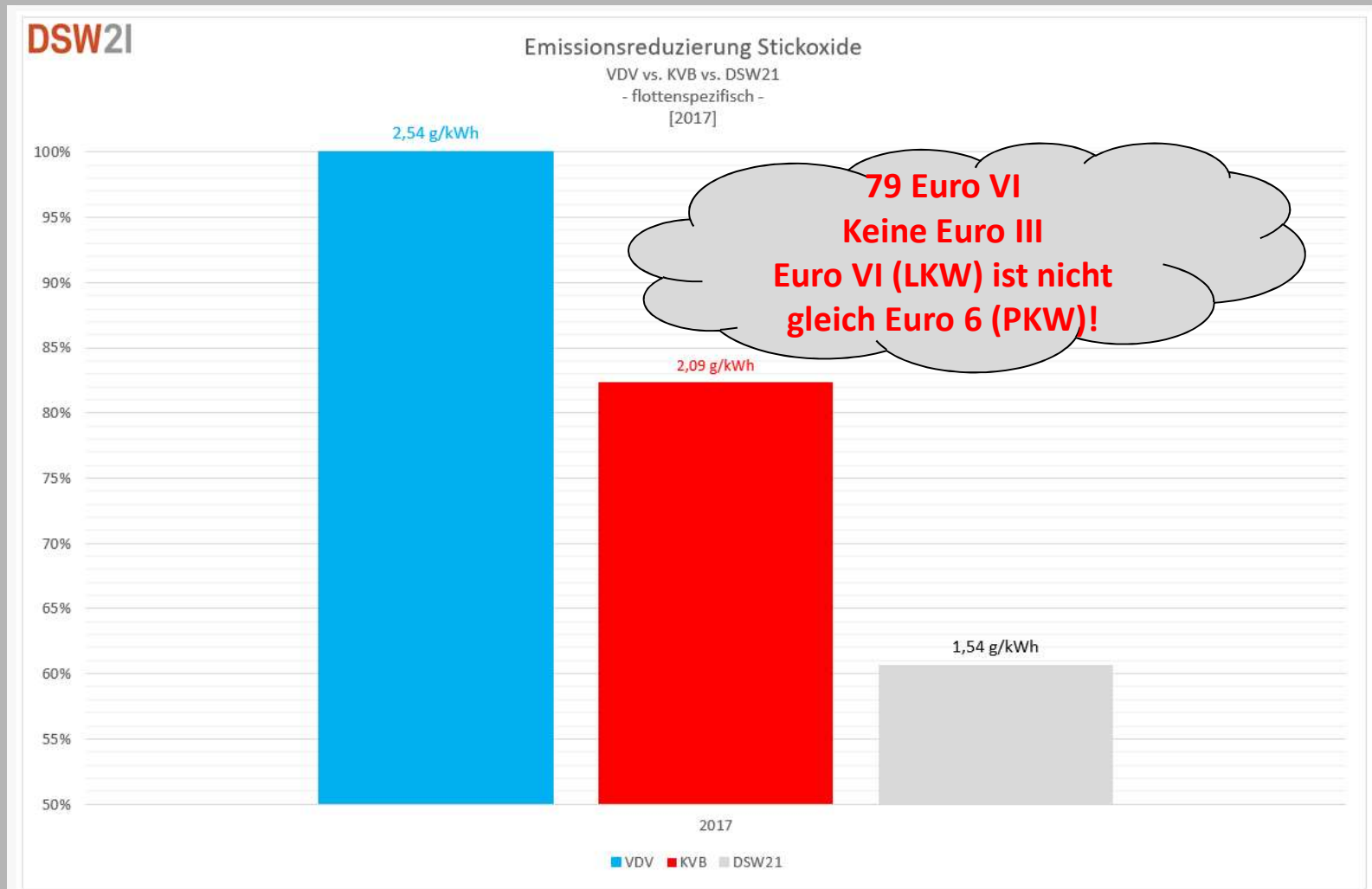
Masterplan SAUBERE_LUFT DSW21 im Vergleich - Verkehrssektor



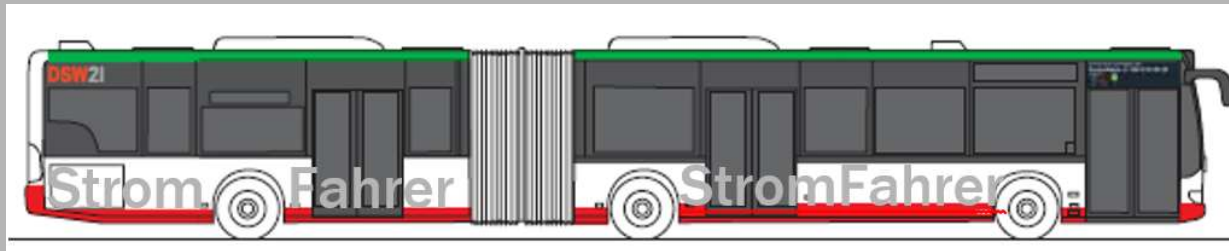
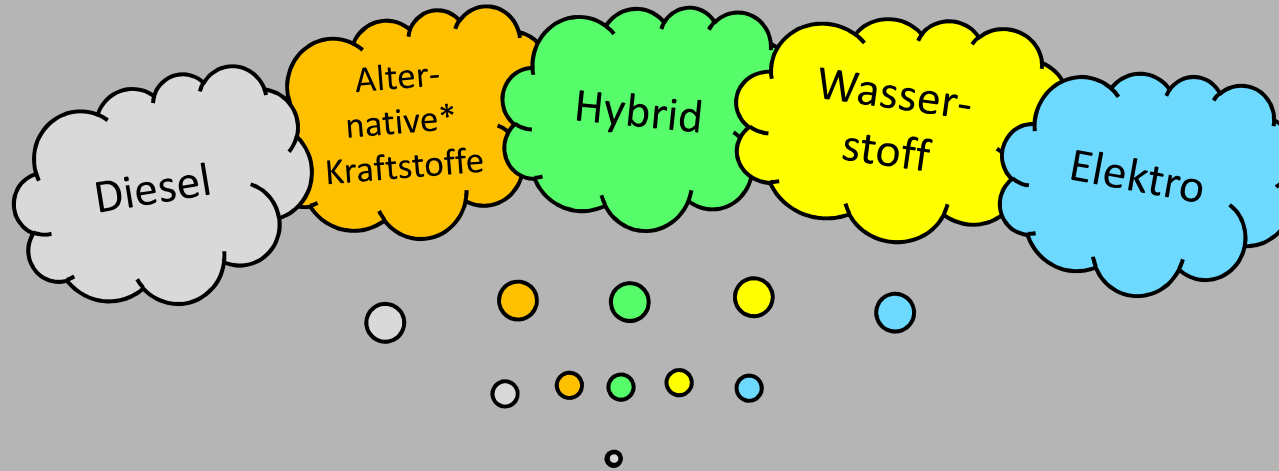
AUSW 15.05.2019

Quelle: Umweltbundesamt, Nationale Trendtabellen, Stand 15.01.2018

Masterplan SAUBERE_LUFT DSW21 im Vergleich - VDV und KVB (Köln)



Masterplan SAUBERE_LUFT Alternativen zum Dieselantrieb



*Biokraftstoffe
synthetische und paraffinhaltige Kraftstoffe
Erdgas (einschl. Biomethan, CNG, LNG oder LPG)

Masterplan SAUBERE_LUFT

Alternativen zum Dieselantrieb

- **Technologien werden durch Massenmarkt (PKW) geprägt.**
- **Diesel:**
Reduzierung Stickoxide um 90 %
nicht zukunftsfähig (CO₂, Geräuschemissionen)
- **Elektro:**
noch nicht serienreif (Zuverlässigkeit, Reichweite)
nicht wirtschaftlich (Haltbarkeit Batterie)
noch keine Standards (Feststoffbatterie, 800 V statt 600 V)
- **Wasserstoff:**
zu unzuverlässig, zu teuer
keine führenden Fahrzeughersteller
Ökobilanz im Hinblick auf Transportwege

Masterplan SAUBERE_LUFT

Was machen andere Verkehrsunternehmen?

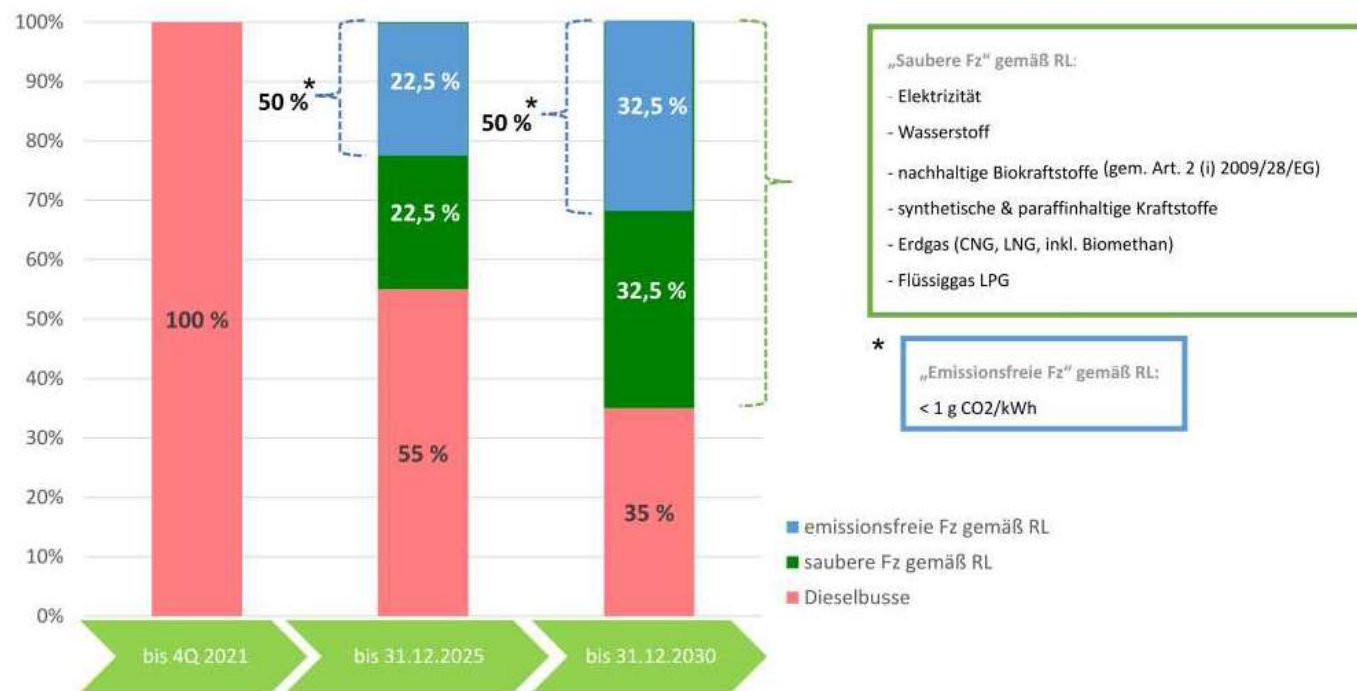
- **Hamburger Hochbahn**
4 Wasserstoffbusse (EvoBus) – Betrieb eingestellt,
„massiv pannen anfällig“, unter 50 % Verfügbarkeit
- **Stuttgarter Straßenbahn**
4 Wasserstoffbusse (EvoBus) – noch in Betrieb
ab 2021 eCitaro mit Wasserstoff-Range Extender
- **Regionalverkehr Köln GmbH**
30 Wasserstoffbusse (van Hool) bestellt, zwei in Betrieb,
Industriestandort, H2 Nebenprodukt
- **Wuppertaler Stadtwerke**
10 Wasserstoffbusse (van Hool) bestellt, ab Mitte 2019 zwei im Einsatz,
Wasserstofftankstelle gebaut

Masterplan SAUBERE_LUFT

Alternativen zum Dieselantrieb - „Clean Vehicle Directive“

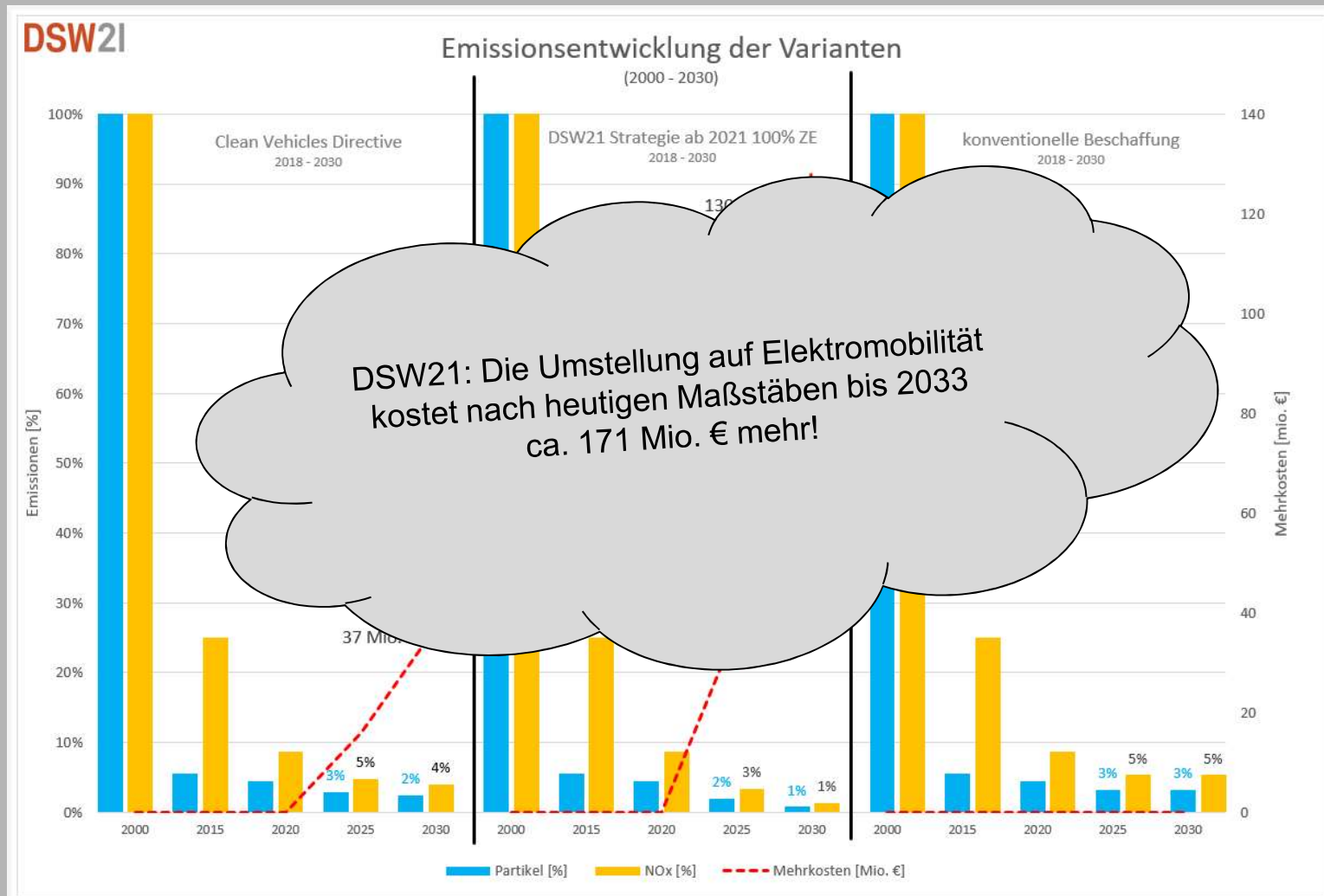
„Clean Vehicles“-Richtlinie: Beschaffungsquoten

Einigung Rat der EU und dem Europäischen Parlament am 11. Februar 2019



Masterplan SAUBERE_LUFT

Alternativen zum Dieselantrieb - Emissions- und Mehrkostenentwicklung



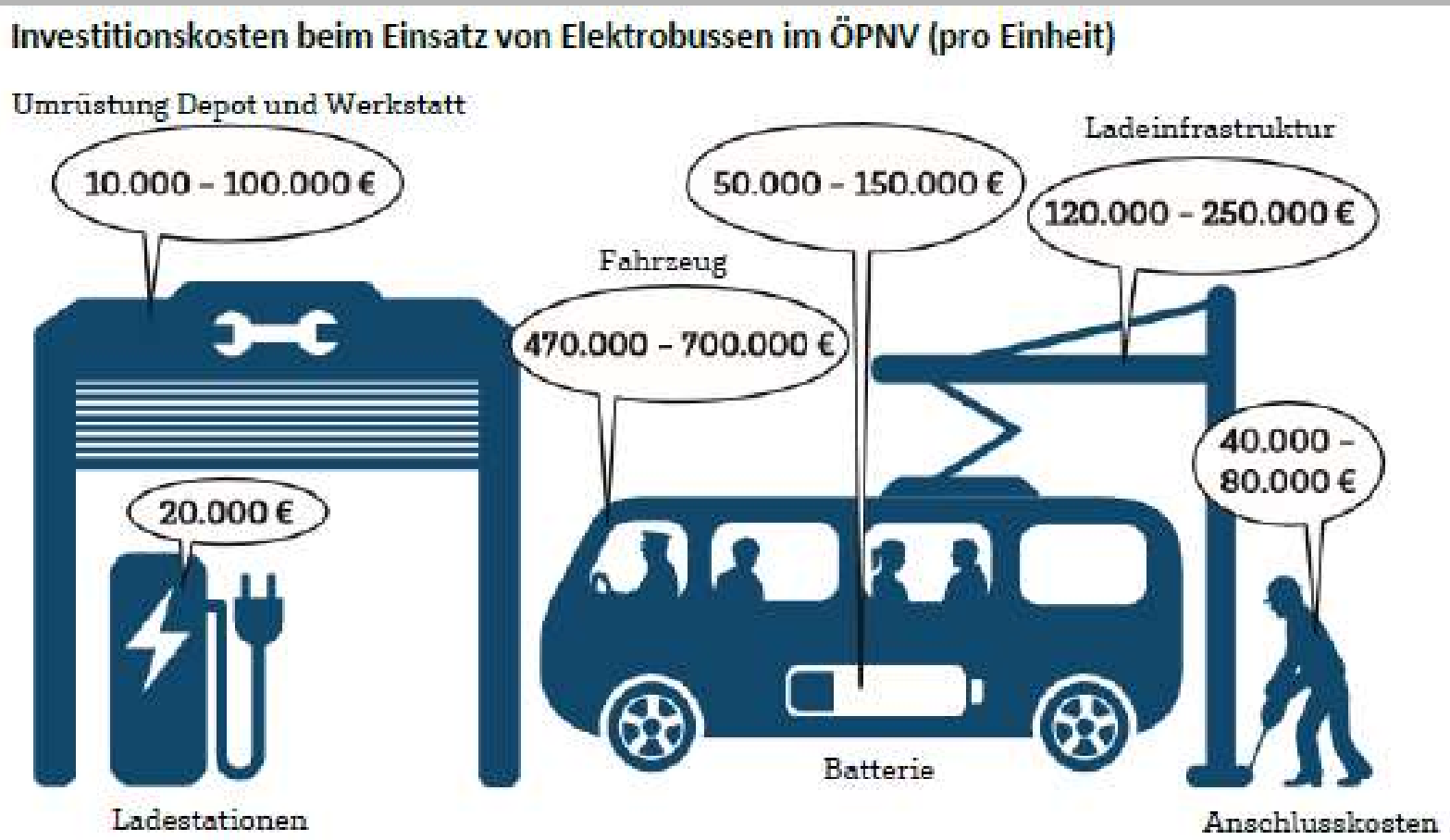
AUSW 15.05.2019

* Bei gleicher Anzahl KOM und auf Basis Elektrobuss

Masterplan SAUBERE_LUFT

Alternativen zum Dieselantrieb - Mehrkosten in den Bereichen

- Mehrkosten = ca. 1 Mio. €/KOM x 171 KOM = 171 Mio. €



Masterplan SAUBERE_LUFT Zero Emission - Ein grober Systemvergleich

Systemvergleich ^{*1)}	Diesel	Batterie	Wasserstoff
Verfügbarkeit von Serien fahrzeugen	☺	☹	☹
Hersteller	>5	>5	<3
Energiebereitstellung	Tanklager Tankstelle	Hausanschluss Ladegerät	Tanklager Tankstelle
Kosten Tanklager bzw. Hausanschluss [T€]	300	2.400	1.200
Kosten Tankstelle bzw. Ladegerät [T€]	15	65	enthalten
Energiebedarf [(l, kWh, kg) Mio. p.a.] für 171 KOM	5,3	31,1	1,4
Anzahl Versorgungsfahrten [p.a.] für 171 KOM	177	-	2.844
Betankungszeit [min]	5	720	10
Reichweite [km]	500	150	250
Fahrgastkapazität [-]	105	90	75
Umrüstung der Werkstatt	☺	☹	☹
Umrüstung der Abstellhallen	☺	☹	☺

*1) alle Angaben, wenn nichts anderes genannt,
für 1 Stück Niederflur-Linienomnibus

kritische Werte

Masterplan SAUBERE_LUFT Zero Emission - Ein grober Systemvergleich

Systemvergleich ^{*1)}	Diesel	Batterie	Wasserstoff
Verfügbarkeit von <u>Serien</u> fahrzeugen	☺	☹	☹
Hersteller	>5	>5	<3
Energiebereitstellung	Tanklager Tankstelle	Hausanschluss Ladegerät	Tanklager Tankstelle
Kosten Tanklager bzw. Hausanschluss [T€]	300	2.400	1.200
Kosten Tankstelle bzw. Ladegerät [T€]	15	65	enthalten
Energiebedarf [(l, kWh, kg) Mio. p.a.] für 171 KOM	5,3	31,1	1,4
Anzahl Versorgungsfahrten [p.a.] für 171 KOM	177	-	2.844
Betankungszeit [min]	5	720	10
Reichweite [km]	500	150	250
Fahrgastkapazität [-]	105	90	75
Umrüstung der Werkstatt	☺	☹	☹
Umrüstung der Abstellhallen	☺	☹	☺

*1) alle Angaben, wenn nichts anderes genannt, für 1 Stück Niederflur-Linienomnibus

kritische Werte

Masterplan SAUBERE_LUFT Zero Emission - Ein grober Systemvergleich

Wirtschaftlichkeit ^{*1)}	Diesel	Batterie	Wasserstoff
Laufleistung [km]	75.000	75.000	75.000
Nutzungsdauer [10 Jahre]	10	10	10
Gesamtleistung [km]	750.000	750.000	750.000
Energieverbrauch [(l, kWh, kg)/100 km]	38	200	10
Energiekosten [€/l, kWh, kg]	1,00	0,15	8,00
Anschaffungskosten [€]	260.000	600.000	800.000
Energiekosten über Nutzungsdauer [€]	285.000	225.000	600.000
Wartungskosten über Nutzungsdauer [€]	350.000	200.000	200.000
Ersatzbatterie [€]	0	250.000	150.000
Gesamtkosten	895.000	1.275.000	1.750.000
Preis [€/km]	1,19	1,70	2,33

*1) alle Angaben, wenn nichts anderes genannt,
für 1 Stück Niederflur-Linienomnibus

kritische Werte

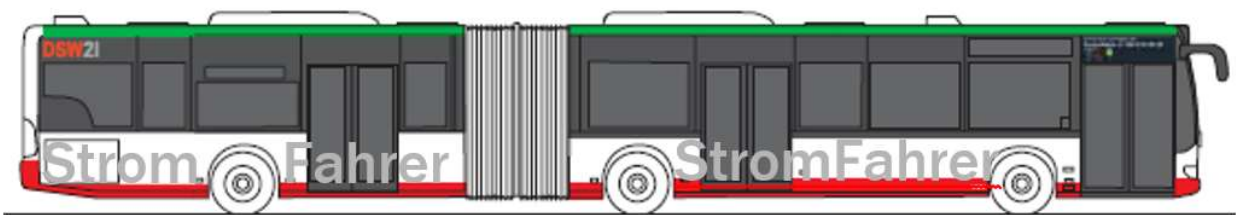
Masterplan SAUBERE_LUFT

Strategischer Ansatz

- Beschaffung E-PKW (Stand 2019: 24 Elektrofahrzeuge)
- Beim Bus Elektromobilität (Batterie) als Antriebstechnologie
 - 1. Schritt Depotladung
- Schaffung neuer Ladeinfrastruktur
 - „Hausanschluss“ Brünninghausen 1,4 Mio. €
- Beschaffung von Elektrobussen ab 2021/2022 (Serienreife)
-
- Förderantrag für Umstellung der Linie 440 (30 KOM)
- Beschaffung eines Betriebshofmanagementsystem
- Beschaffung eines Lastmanagement
- Ausbildung neuer Mitarbeiter (Kfz-Mechatroniker für Hochvoltsysteme)
- Herrichtung der Werkstatt für Hochvoltsysteme

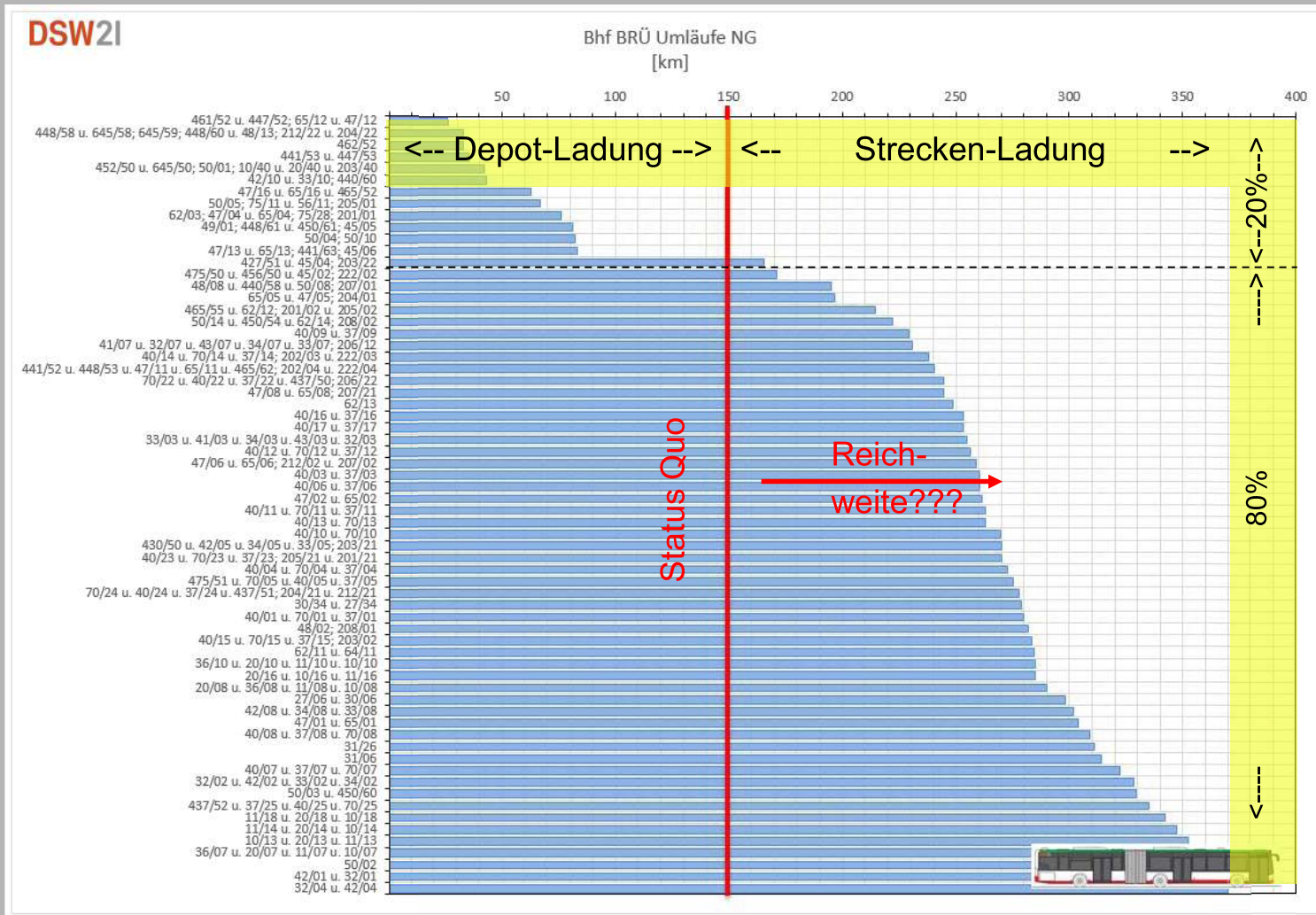


DSW21 Masterplan SAUBERE_LUFT

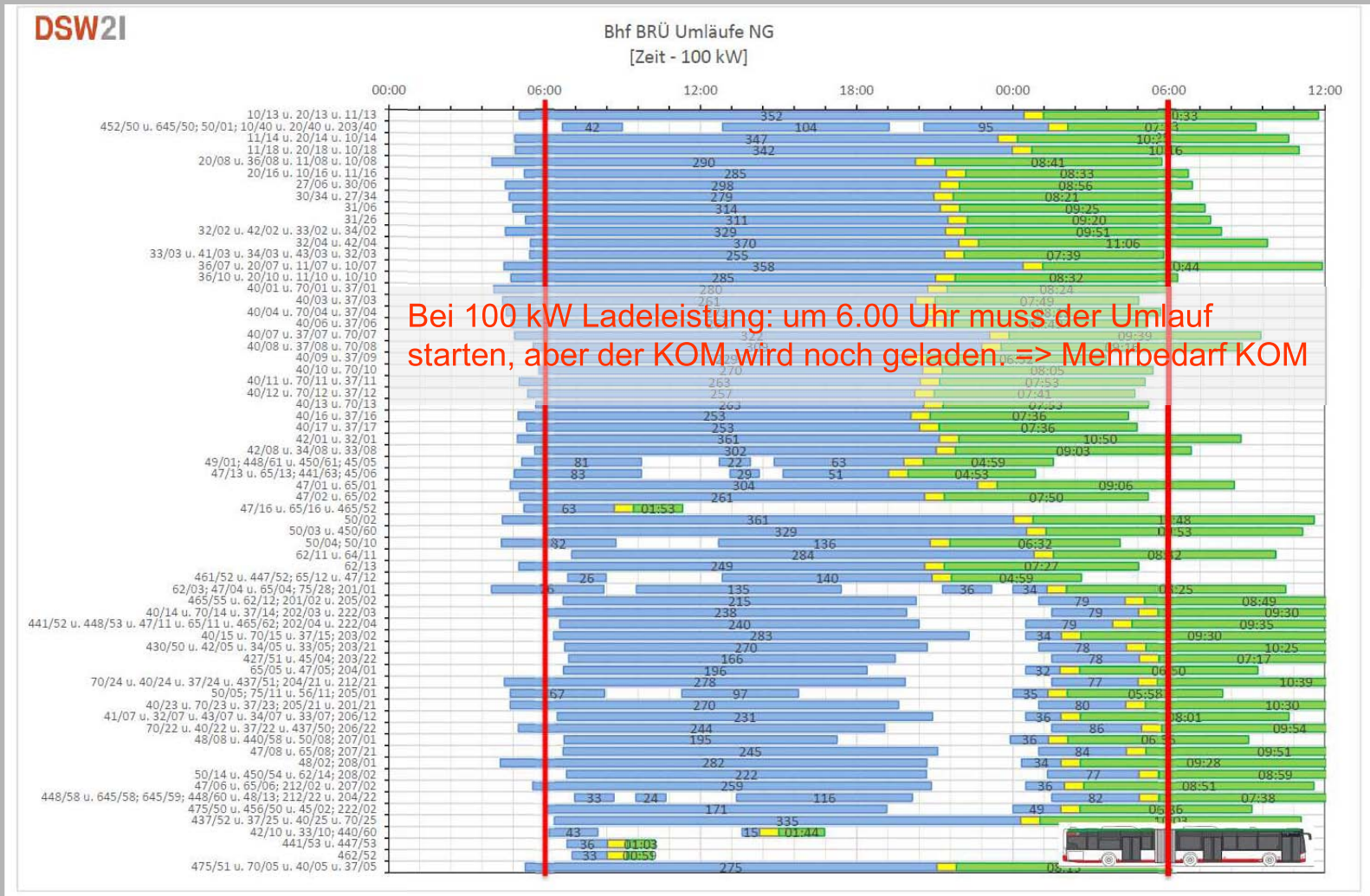


Backup-Folien

Masterplan SAUBERE_LUFT Die geänderten Freiheitsgrade ... Reichweite!

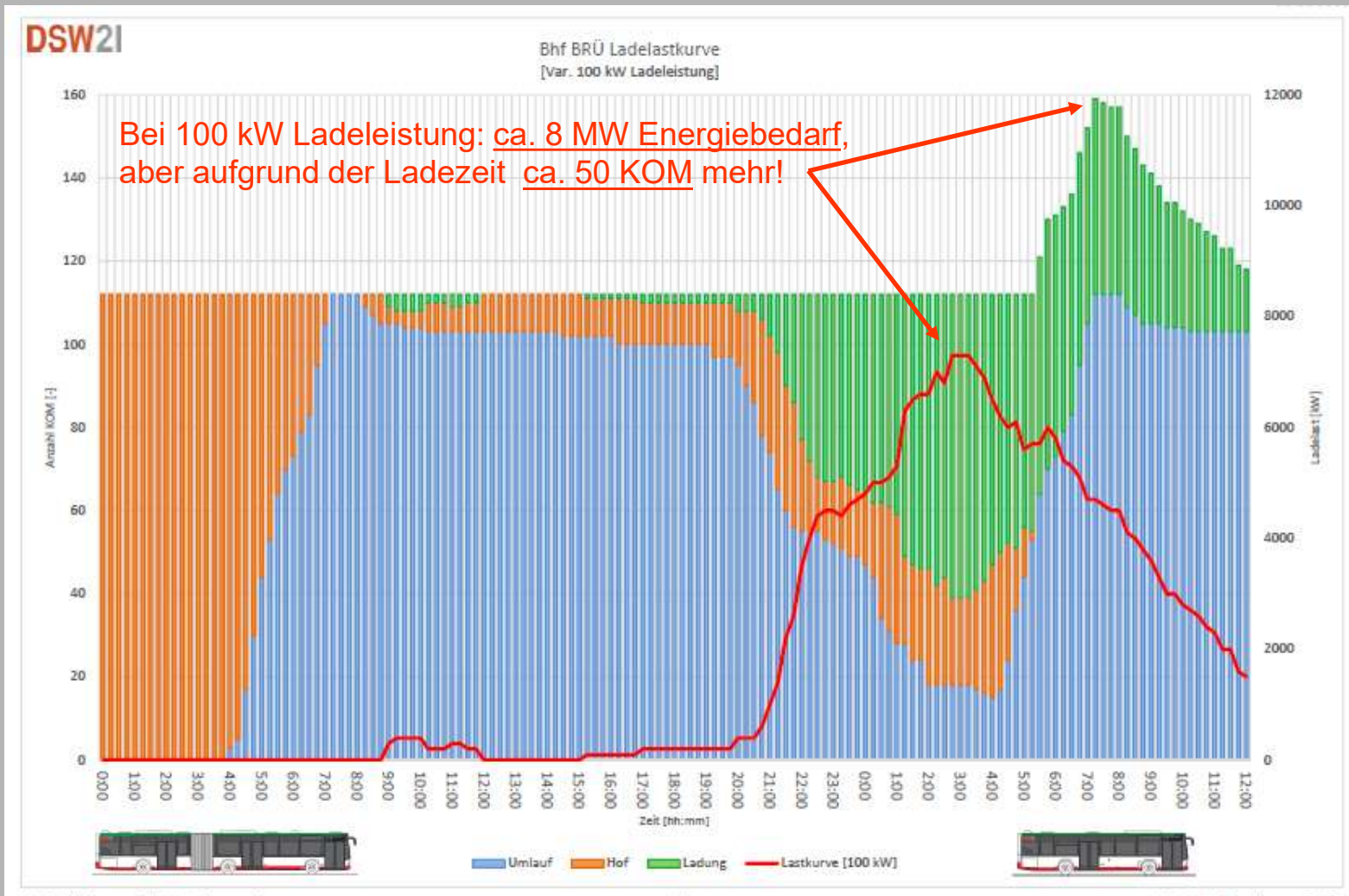


Masterplan SAUBERE_LUFT Die geänderten Freiheitsgrade ... Tankdauer!



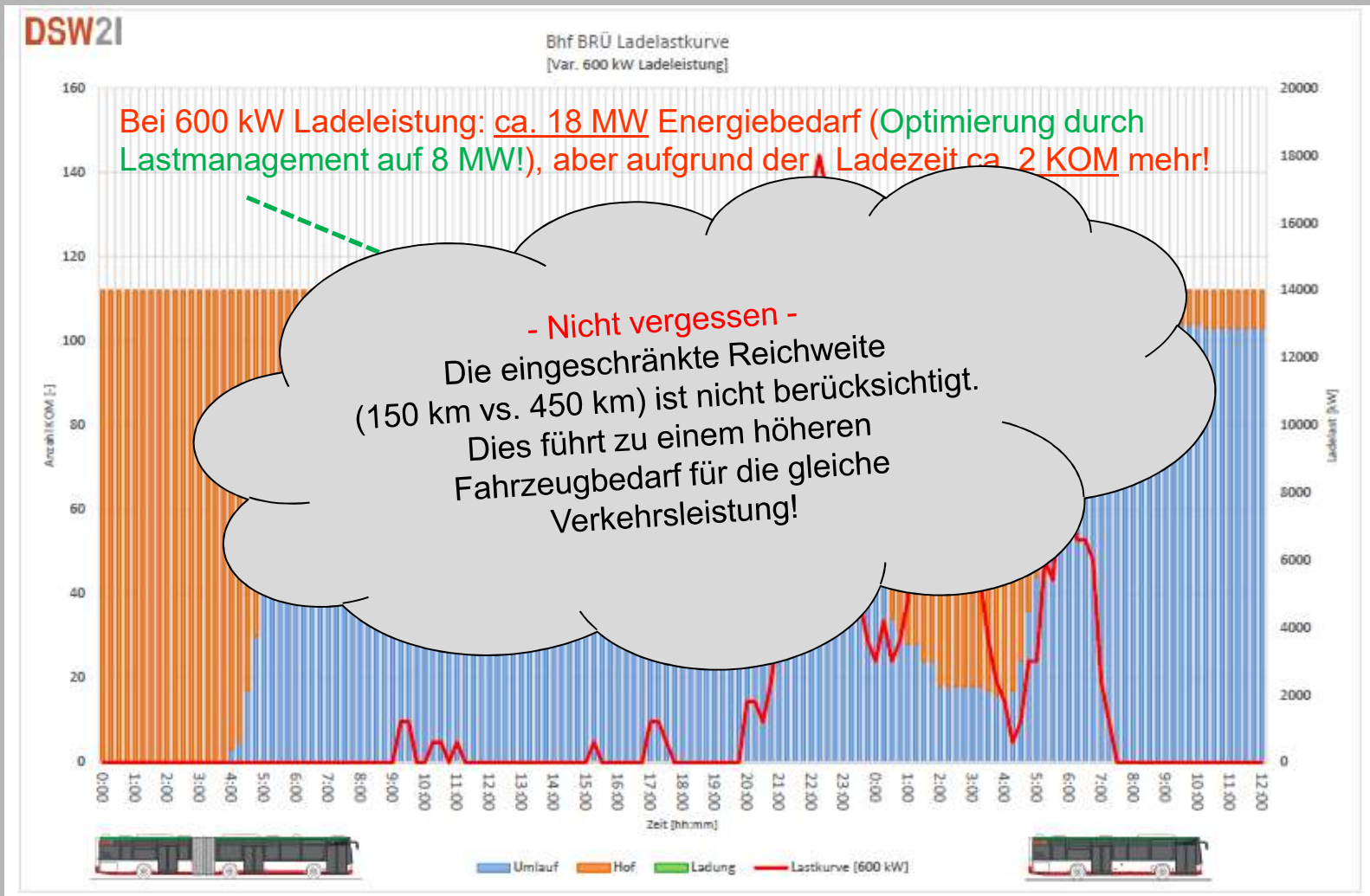
Masterplan SAUBERE_LUFT

Die geänderten Freiheitsgrade ... Auswirkungen!



Masterplan SAUBERE_LUFT

Die geänderten Freiheitsgrade ... Energiebedarf!



Masterplan SAUBERE_LUFT

Batterieentwicklung - Wohin ...?

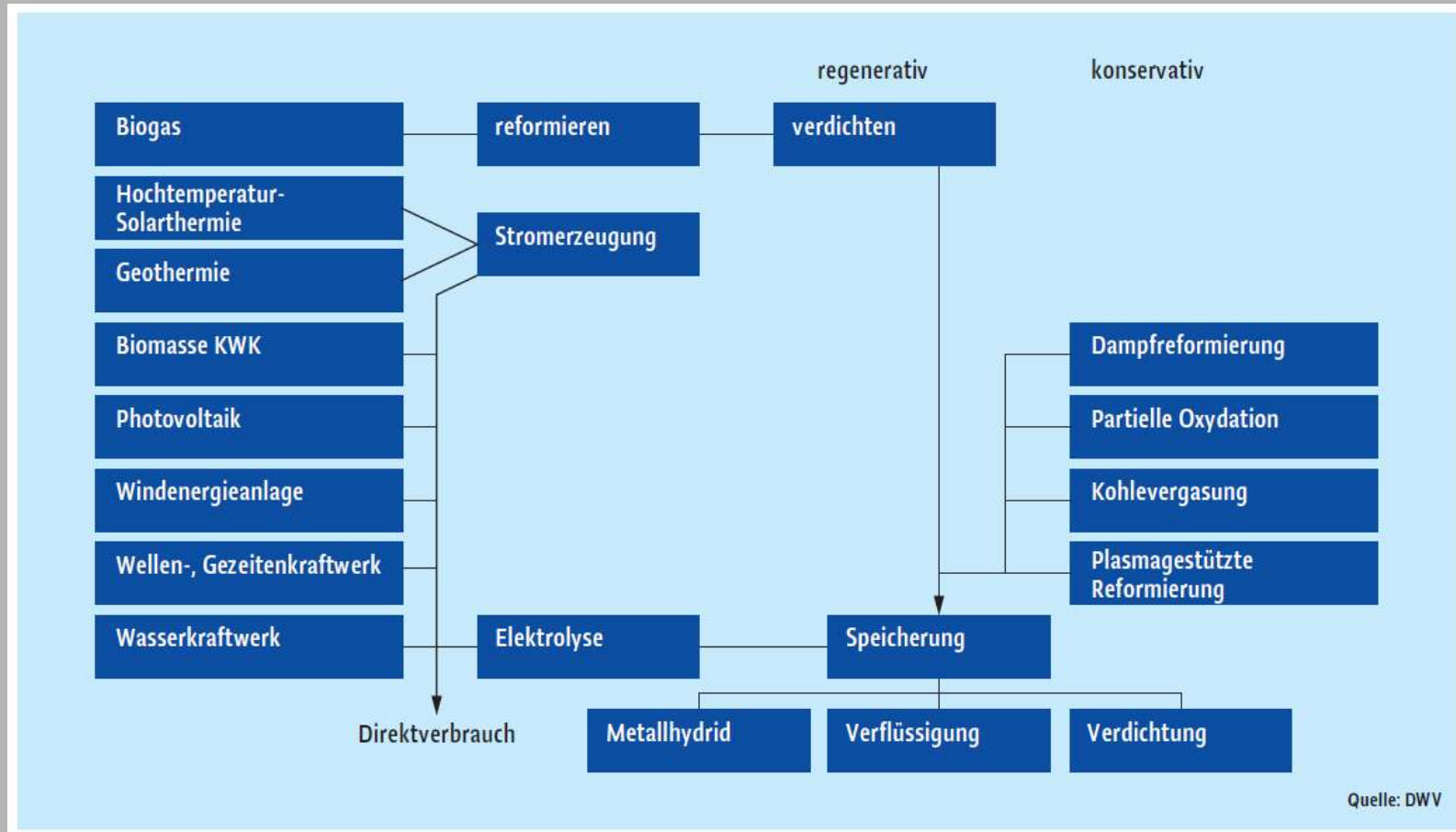
- Lithium-Ionen-Technologie ist aufgrund der hohen Energie- und Leistungsdichte aktuell Stand der Technik
- Forschung und Weiterentwicklung noch nicht abgeschlossen, u.a. Lithium-Schwefel- und Lithium-Luft-Batterien
- Autohersteller arbeiten mit Hochdruck an neuen Energiespeichern in Form von Feststoffbatterien
- Vorteil u.a. höhere Energiedichte, mehr Reichweite und bessere Schnellladefähigkeit und zehnmal höhere Lade- und Entladeströme
- Ladungsspannung steigt absehbar (von 400 V auf 800 V => Reinvest in Ladeinfrastruktur notwendig, weil Technik nicht rückwärts kompatibel)

Masterplan SAUBERE_LUFT

Wasserstoff?

- Lokale Emissionsfreiheit
- Unbeschränkte Verfügbarkeit
- Erzeugung durch regenerative Energie möglich
- Nutzung in Brennstoffzelle
- Infrastruktur muss aufgebaut werden
- Sicherer Umgang muss geschult werden
- höchste Energiedichte bezogen auf die Masse: 33 kWh/kg
- Geringste Energiedichte bezogen auf das Volumen: 3 kWh/Nm³
- Muss verdichtet oder verflüssigt werden!
- < 3.000 kg Betriebserlaubnis nach §18 BetrSichV
- > 3.000 kg Genehmigung nach Bundes-Immissionsschutzgesetz

Masterplan SAUBERE_LUFT Wasserstoff-Herstellungspfade



Masterplan SAUBERE_LUFT

Mengenschwellen für die Lagerung von Kraftstoffen an der Tankstelle 96/82/EG

Kraftstoffart	Mengenschwelle für die Anwendung von Art. 6 und 7: Mitteilungspflicht und Sicherheitskonzept	Mengenschwelle für die Anwendung von Art. 9: Sicherheitsbericht und Notfallplan
Wasserstoff	≥ 5 Tonnen (entspricht ca. 18.333 Litern Benzinäquivalent)	≥ 50 Tonnen (entspricht ca. 183.330 Litern Benzinäquivalent)
Benzin / Diesel	≥ 2500 Tonnen (2500 Tonnen Benzin entsprechen ca. 3.350.000 Litern Benzin)	≥ 25.000 Tonnen (25.000 Tonnen Benzin entsprechen ca. 33.500.000 Litern Benzin)

Quelle: EG

Masterplan SAUBERE_LUFT

Was machen die Hersteller - PKW?

- Hersteller investieren Milliardenbeträge in Entwicklung E-Autos
- Reine Brennstoffzellenautos sind zz. nicht im Fokus der Entwicklung
- Perspektivisch Brennstoffzelle als RangeExtender für E-PKW und E-LKW mit hohen Reichweiten angedacht!

Masterplan SAUBERE_LUFT

Was machen andere Verkehrsunternehmen?

- Hamburger Hochbahn
4 Wasserstoffbusse (EvoBus) – Betrieb eingestellt
- Stuttgarter Straßenbahn
4 Wasserstoffbusse (EvoBus) – in Betrieb
Mercedes: ab 2021 eCitaro mit Wasserstoff-RangeExtender (ca. 300 km)
Bau einer Wasserstofftankstelle für 8-10 KOM geplant, Versorgung Trailer
- Regionalverkehr Köln GmbH
2 Wasserstoffbusse (van Hool) – in Betrieb
30 Wasserstoffbusse (van Hool) bestellt, ab Mitte 2019 Einsatz geplant
Wasserstofftankstelle am Industriestandort, weil H2 Nebenprodukt
- Wuppertaler Stadtwerke
30 Wasserstoffbusse (van Hool) bestellt, ab Mitte 2019 Einsatz geplant
Wasserstofftankstelle gebaut

Masterplan SAUBERE_LUFT

Begleitende Maßnahmen

- Einsatz von Euro-VI-KOM im Innenstadtbereich
- Optimierung der Fahrzeuggrößen (=> Emissionen)
- Förderantrag Beschaffung von Elektrobussen
- Förderantrag Nachrüstung Stickoxidminderungssystem
- Umstellung der PKW/LKW-Flotte auf Elektromobilität

