EMCEL

**Ingenieurbüro für Brennstoffzelle,
Wasserstofftechnologie und Elektromobilität**

Beckinger
Reisedienst GmbH
Omnibusunternehmen

Christian Winzenhöler, c.winzenhoeler@winzenhoeler-reisen.de

www.beckinger-reisedienst.com

www.emcel.com CC-BY-SA

Erstellung einer Machbarkeitsstudie

Einsatzmöglichkeit von Bussen mit alternativen Antrieben

Ergebnispräsentation

Marius Schneider

Rehlingen-Siersburg | 27. Juni 2024

Inhalt

1. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

2. Auslegung Wasserstoffinfrastruktur

3. Potentialabschätzung einer öffentlichen Tankstelle

4. Potentialabschätzung Infrastruktur Elektrolyseur

5. Beschreibung der technischen Ausrüstung der Werkstätten – Werkstattkonzept

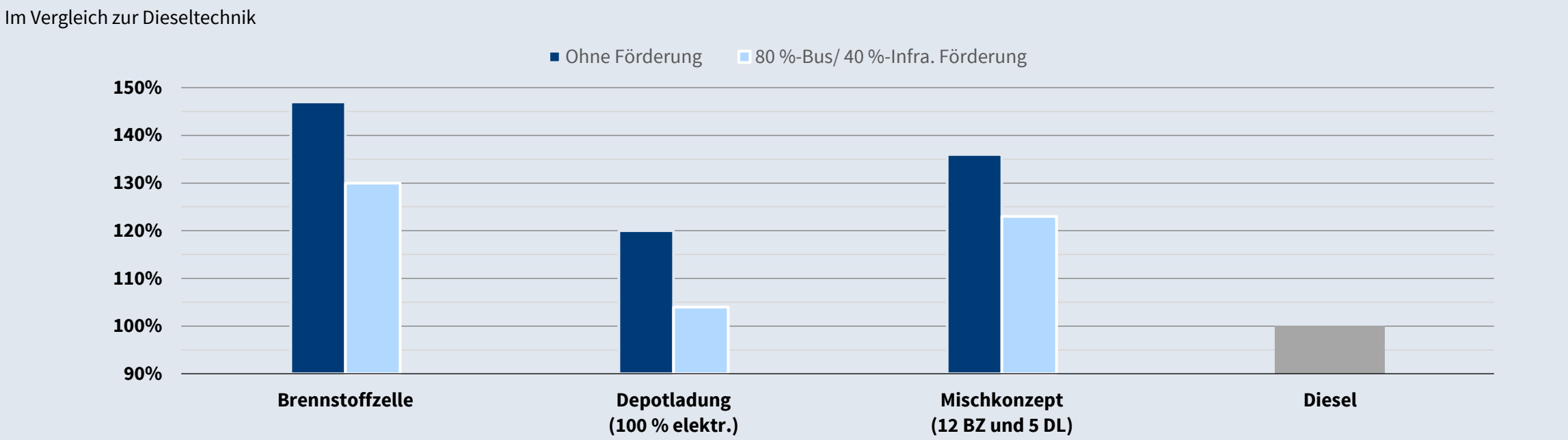
6. Fazit und Handlungsempfehlung

1. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

1. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung | Hoher H_2-Preis

Jährliche Mehrkosten im Vergleich zur Dieseltechnik

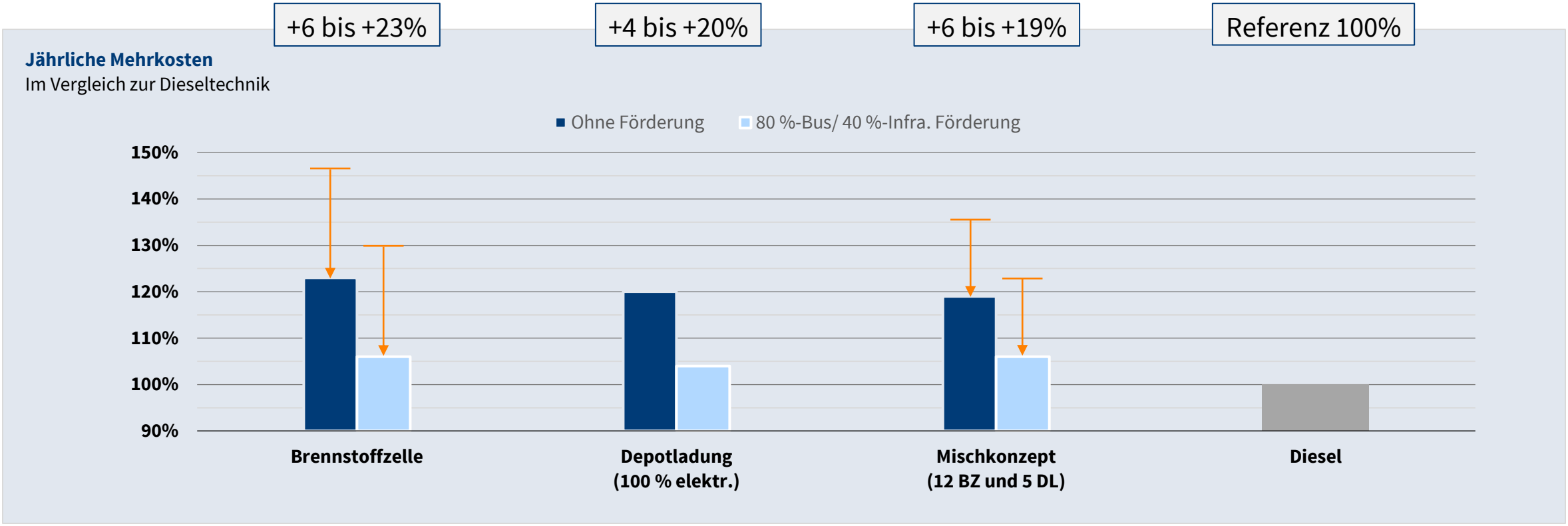
+30 bis +47% | +4 bis +20% | +23 bis +36% | Referenz 100%



→ Bei einem Wasserstoffpreis von 15 €/kg_{H2} (Anlieferung, konservativ) ist kein wirtschaftlicher Vorteil gegeben.

1. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung | Niedrig H_2-Preis

Jährliche Mehrkosten im Vergleich zur Dieseltechnik



→ **Ab einem Zielwert von 6 €/kg_{H2} (Eigenerzeugung) ist ein wirtschaftlicher Vorteil der Mischflotte möglich.**

1. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung | Zwischenfazit

- Die zu erwartenden jährlichen Mehrkosten gegenüber der Dieselreferenz sind von viele Parametern abhängig
- Einen großen Einfluss haben u.a. die zukünftigen Energiekosten (Diesel-/Stom-/H_2-Preise)
- Eine Reduktion der Wasserstoffkosten z.B. durch Eigenerzeugung kann die Konkurrenzfähigkeit der BZ-Busse deutlich verbessern
  - Zielwert ist ein H_2-Preis von ca. 6 €/kg_{H2} (ohne öffentlichen Absatz)
  - Aktuell hohe Investitionskosten für H_2-Infrastruktur bei relativ geringem Absatz

- Zusatzerlöse z.B. durch öffentlichen Absatz von Wasserstoff kann Wirtschaftlichkeit positiv beeinflussen

2. Auslegung Wasserstoffinfrastruktur

2. Auslegung Wasserstoffinfrastruktur | Anforderungen

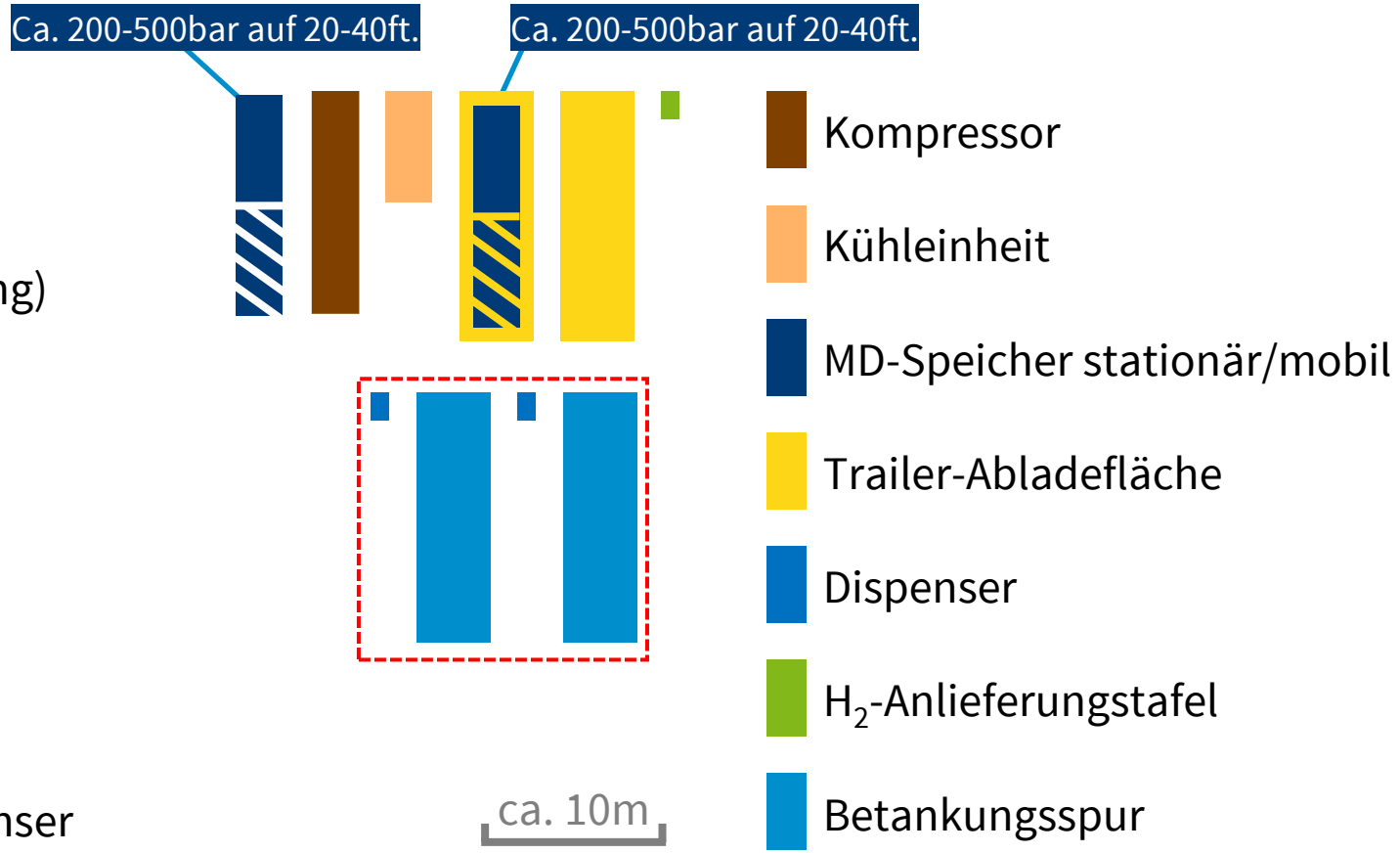
Allgemeine Anforderungen

- Betrachtung von zwei Szenarien (Mischflotte und 100% Brennstoffzelle)
- H_2-Tankstelle skalierbar für bis zu 17 BZ-Busse (100% Brennstoffzelle)
- Durchschnittliche tägliche Betankungsmenge in Abhängigkeit der durchschnittlichen Fahrleistung
- Betankungszeiten von ca. 10 bis 15 Minuten pro Bus typisch

2. Auslegung Wasserstoffinfrastruktur | Mischflotte

Beispielhafte Auslegung

- Auslegung auf **ca. 12 Busse**
- H_2-Bedarf: bis zu ca. 250 kg/d (Traileranlieferung)
- Speicherkapazität: ca. 750 kg
  - Je 250 kg ortsfest und 500 kg mobil (Trailer)
- Sicherheitsabstände:
  - 5 m um Speicher
  - 3 m um Kompressor, Kühleinheit, etc.
- Abstand Technikgelände/Kühleinheit zu Dispenser möglichst < 50m

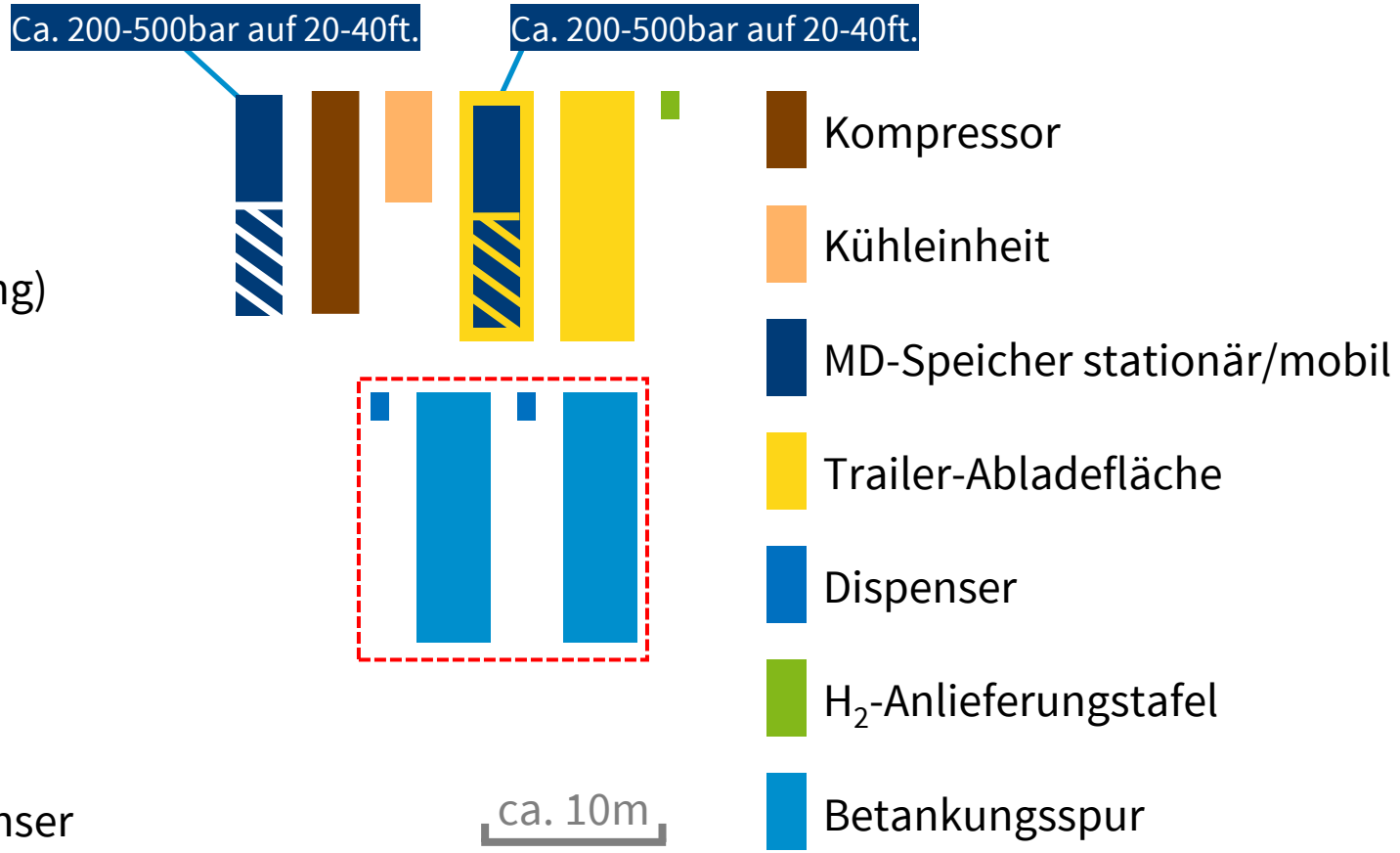


Keine Aufstellskizze; Das Flächenlayout einer H2-Tankstelle ist individuell anpassbar – ggf. mit Einschränkung des Marktes
(Effizientes Layout, wie z.B. Brandschutzwände zur Reduzierung von Schutz- und Sicherheitsabständen, Stapelung von Container-Komponenten, etc.)

2. Auslegung Wasserstoffinfrastruktur | 100% Brennstoffzelle

Beispielhafte Auslegung

- Auslegung auf **ca. 17 Busse**
- H_2-Bedarf: bis zu ca. 350 kg/d (Traileranlieferung)
- Speicherkapazität: ca. 1 t
  - Je 500 kg ortsfest und 500 kg mobil (Trailer)
- Sicherheitsabstände:
  - 5 m um Speicher
  - 3 m um Kompressor, Kühleinheit, etc.
- Abstand Technikgelände/Kühleinheit zu Dispenser möglichst < 50m



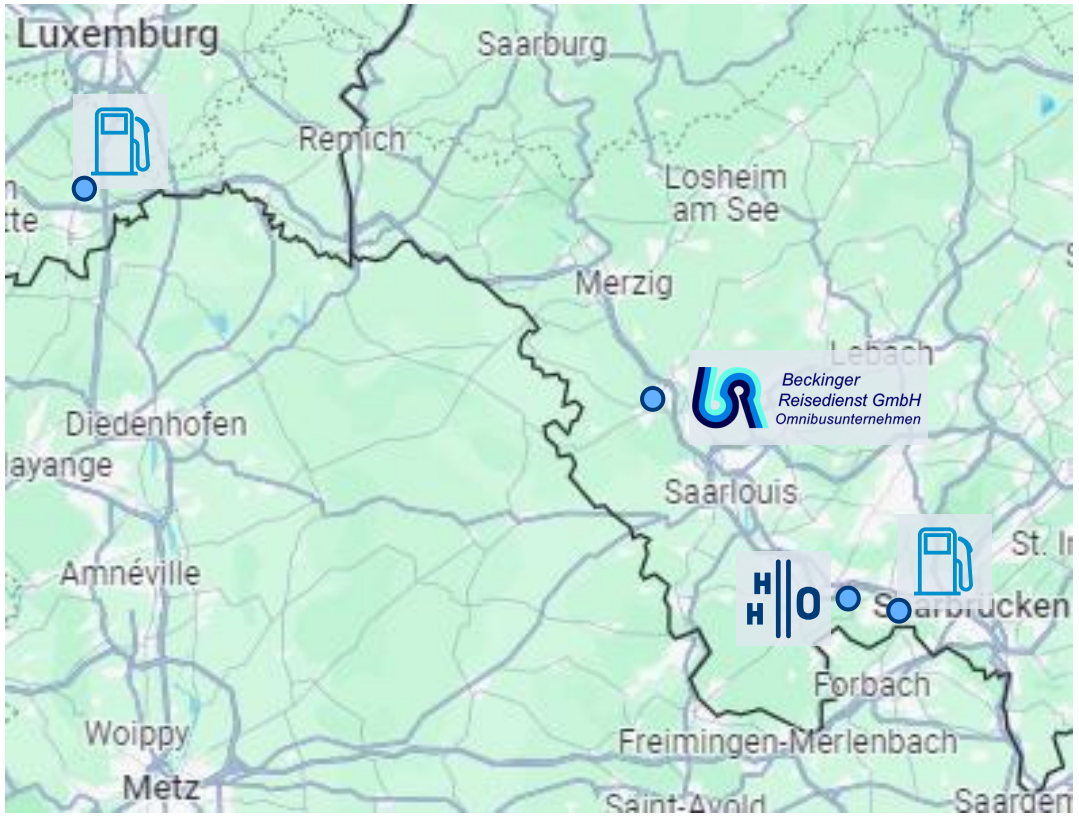
Keine Aufstellskizze; Das Flächenlayout einer H2-Tankstelle ist individuell anpassbar – ggf. mit Einschränkung des Marktes
(Effizientes Layout, wie z.B. Brandschutzwände zur Reduzierung von Schutz- und Sicherheitsabständen, Stapelung von Container-Komponenten, etc.)

3. Potentialabschätzung einer öffentlichen Tankstelle

3. Potentialabschätzung einer öffentlichen Tankstelle

Rahmenbedingungen

- Errichtung der HRS in Rehlingen-Siersburg
  → nächste HRS ca. 30km südlich oder über 200km Richtung Nordosten
- HRS der Öffentlichkeit zugänglich machen
  - Zusätzliche Auslastung und Erlöse durch Öffentlichkeit
  - Grundlast durch eigene Busflotte
- 350bar und/oder 700bar Betankung möglich
- Kombination mit Eigenerzeugung (z.B. Elektrolyseur) möglich



3. Potentialabschätzung einer öffentlichen Tankstelle

Potentialanalyse

Gemeldete Fahrzeuge	Im Kreis Saarlouis	Im Kreis Dillingen/ Saar (Stand 2024)
PKW	135.263	12.372
LKW	8.195	1.026
Zugmaschinen	4.130	180

Durchfahrtsverkehr	Messstelle Dillingen Mitte: Richtung Saarlouis	Messstelle Dillingen Mitte: Richtung Luxemburg (Stand 2022)
KFZ/ 24h	22.531	22.691
SV-KFZ/ 24h	1.984	2.214

- **Grobe Abschätzung:** Öffentliches Potential im Jahre 2030 von **ca. 850kg/d***
- Zusätzliche Potentiale durch vorbeifahrende Fahrzeuge und/oder Kooperationen mit weiteren öffentlichen Wasserstoffabnehmern (z.B. Speditionen, ÖPNV) möglich

* berechnet anhand der im Kreis Saarlouis zugelassenen Fahrzeuge

3. Potentialabschätzung einer öffentlichen Tankstelle

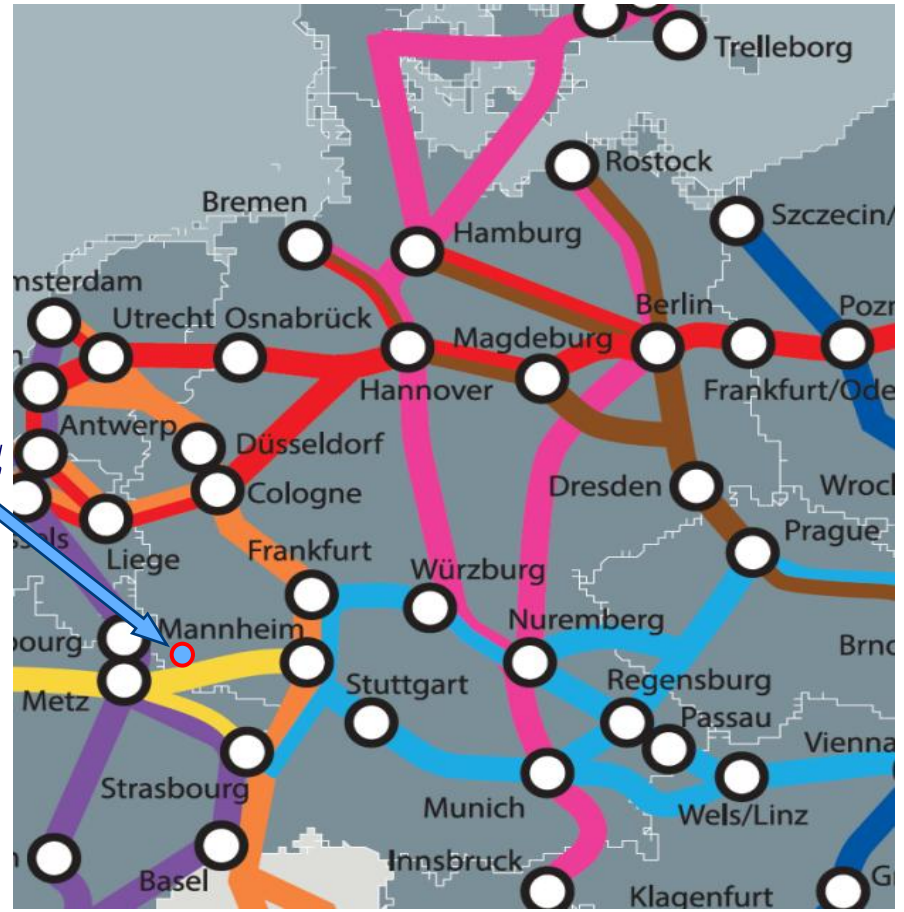
Prüfung von Fördermöglichkeiten

Transeuropäisches Transportnetz (TEN-V) :

› Beckinger Reisedienst befindet sich außerhalb eines 10 km Radius der nächsten Ausfahrt im geplanten Korridor

→ keine Möglichkeit einer öffentlichen Förderung

› Mögliche alternative Förderung:
Nationales Innovationsprogramms Wasserstoff- & Brennstofftechnologie (NIP)



4. Potentialabschätzung Infrastruktur Elektrolyseur

4. Potentialabschätzung Infrastruktur Elektrolyseur

Rahmenbedingungen

- Eigenerzeugung (z.B. per Elektrolyse) schafft Redundanz zur Anlieferung
  - \+ Reduzierung der benötigten Lagermenge
  - \+ Verringerung der Abhängigkeit von Lieferanten
  - – Erhöhter Planungsaufwand, Platzbedarf, Kosten
- Verhältnis zwischen Eigenerzeugung und Anlieferung kann variieren

Beispielhafte Darstellung eines 1 MW Elektrolyseur

4. Potentialabschätzung Infrastruktur Elektrolyseur

Beispielhafte Auslegung der Elektrolyse

- Abschätzung der Elektrolyseleistung zu decken des Eigenverbrauchs (Busflotte – 100% Brennstoffzelle):
  - Abschätzung Wasserstoffbedarf: ca. 350 kg/d
  - Abschätzung Elektrolyseleistung: **ca. 1 - 2 MW**

- Abschätzung der Elektrolyseleistung zur Versorgung der Öffentlichkeit (2030):
  - Abschätzung Wasserstoffbedarf: ca. 850 kg/d*
  - Abschätzung Elektrolyseleistung: **ca. 4-5 MW**

https://www.h-tec.com/referenzen-detail/energie-steiermark/

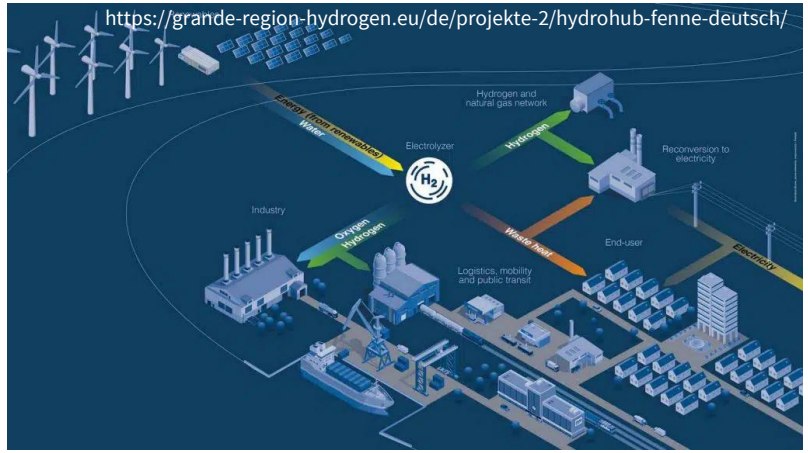
Beispielhafte Darstellung eines 1 MW Elektrolyseur

→ Zusätzliche Potentiale durch vorbeifahrende Fahrzeuge und/oder Kooperationen mit weiteren öffentlichen Wasserstoffabnehmern (z.B. Speditionen, ÖPNV) möglich.

* berechnet anhand der im Kreis Saarlouis zugelassenen Fahrzeuge

4. Potentialabschätzung Infrastruktur Elektrolyseur

Was machen andere in der Umgebung? | HydroHub Fenne



- **Wo?** Im Energie- und Industriestandort Völklingen in Fenne (ca. 25km von Beckinger entfernt)
- **Was?** Anlage zur Erzeugung von grünem, klimaneutralem Wasserstoff
- **Wofür?** Geplanter Anschluss an eine bereits bestehende Pipeline-Infrastruktur
- **Wieso?** Bereits heute ein wichtiger Energieknotenpunkt für das Saarland
- **Wer?** STEAG und Siemens
- **Kenndaten** für die geplante Inbetriebnahme im Jahre 2027:
  - Leistung von ca. 53 Megawatt (MW)
  - Erzeugung von 8.200 Tonnen Wasserstoff im Jahr

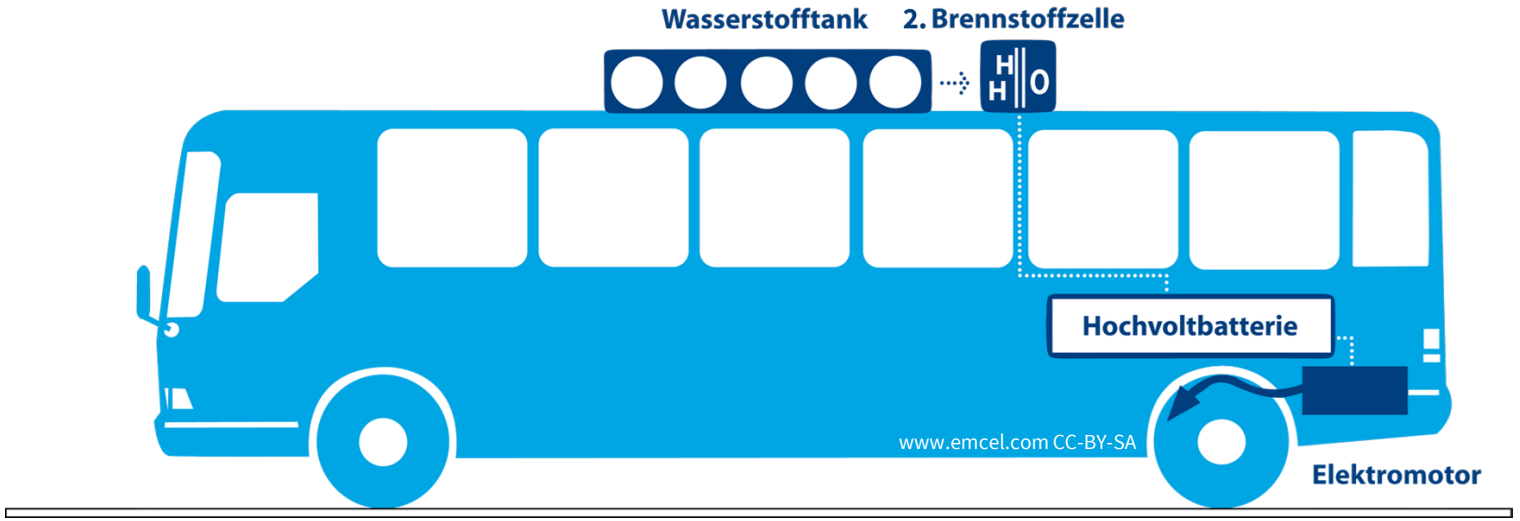
Mehr Infos unter:
https://grande-region-hydrogen.eu/de/projekte-2/hydrohub-fenne-deutsch/

5. Beschreibung der technischen Ausrüstung der Werkstätten – Werkstattkonzept

Wasserstoff als Kraftstoff

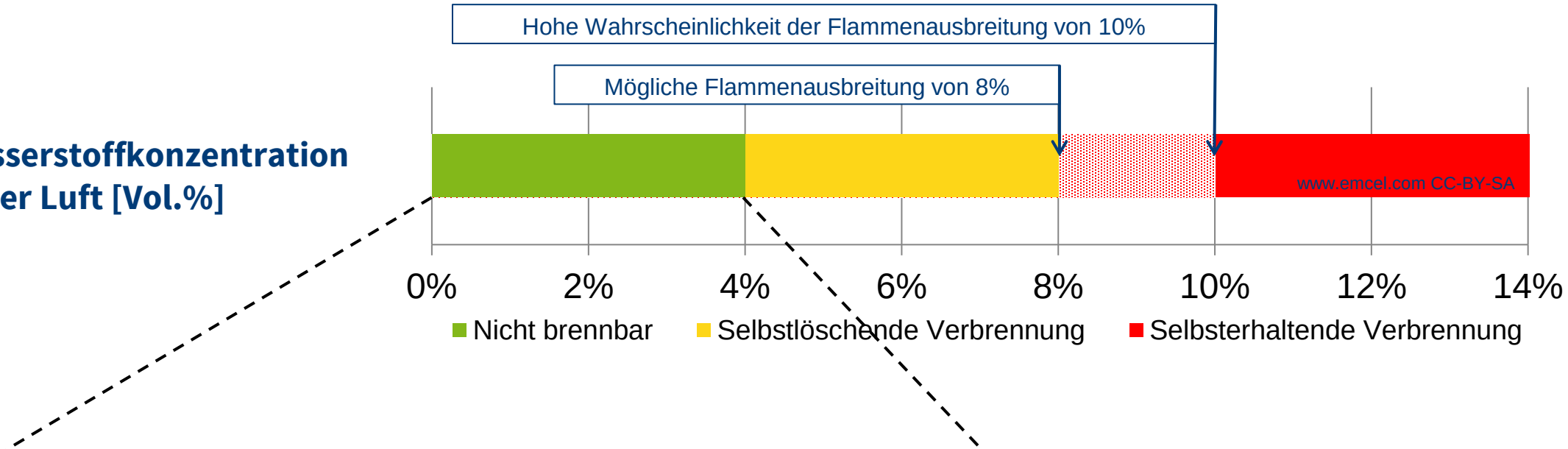
- Untere und obere Konzentrationsgrenze für eine Zündung: **4 % - 74 %** in Luft
- Zündungstemperatur: **560 °C**
- Minimale Zündenergie: **0,02 mJ**
- Dichte: **0,089 kg/m³** (Luft: 1,225 kg/m³)

- Ähnlichkeiten zu Erdgas (etablierter Kraftstoff)
- Schnelle Verflüchtigung in Luft als Vorteil im Umgang



Zündgrenzen von Wasserstoff – Bildung eines explosionsfähigen Gemisches

Wasserstoffkonzentration in der Luft [Vol.%]



Grundvoraussetzung für das sichere Arbeiten an H_2-Fahrzeugen im Innenbereich

Vermeidung der Entstehung einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre

Vermeidung der Entstehung einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre

Voraussetzung: Technische Dichtheit des H_2-Fahrzeuges

- Zulassung der Fahrzeuge nach europäischen bzw. internationalen Richtlinien → Bestätigung durch den Hersteller
- Für Arbeiten an Prototypen- oder Entwicklungsfahrzeugen sind zusätzliche Maßnahmen zu treffen

Allgemeine Vorgehensweise

- Besteht der Anlass die technische Dichtheit anzuzweifeln (z.B. Kollision / Feuer / Manipulation /Betriebsstörung / Fehlermeldung /etc.) darf das Fahrzeug nicht in die Werkstatt eingefahren werden

  → Prüfung der technischen Dichtheit und Berücksichtigung der Herstellerangaben
- Ist die bestehende technische Dichtheit des BZ-Fahrzeuges nicht anzuzweifeln ist keine weitere Prüfung durchzuführen. In Abhängigkeit der auszuführenden Tätigkeit, darf das BZ-Fahrzeug anschließend in die entsprechenden Werkstattbereiche

Einteilung der Arbeiten: Welche Arbeiten sollen an den Fahrzeugen durchgeführt werden?

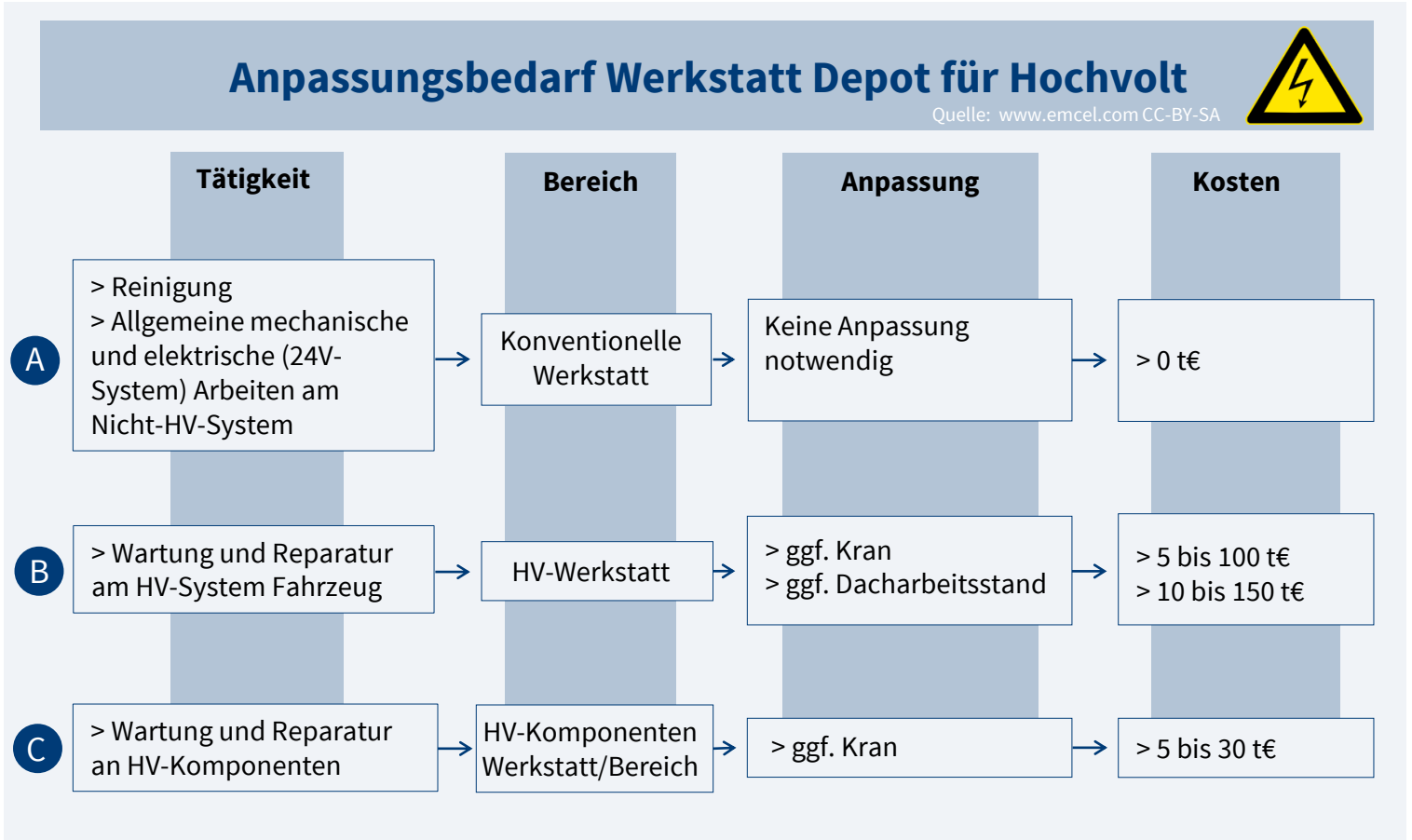
Konventionelle Arbeiten	Arbeiten am Brennstoffzellensystem und/oder am Wasserstofftanksystem	Betrieb des BZ-Systems in der Werkstatt
› Arbeiten unabhängig der Antriebsart, wie Service- und Routinearbeiten (z.B. Reinigung, Reifenwechsel, Karosseriearbeite, etc.) und Arbeiten am Bordnetz (12 V- oder 24 V-System)	› Arbeiten am gasführenden Komponenten, wie z.B. Rohrleitungen und Ventile › inklusive Mittel- und Hochdruckleitungen › Ggf. konventionellen Arbeiten (z.B. Schweißarbeiten) in der Nähe von Wasserstoff führenden Komponenten	› typischerweise Arbeiten zu Testzwecken, bei denen das BZ-System über einen längeren Zeitraum betrieben werden muss › **Nicht gemeint** ist die **Ein- und Ausfahrt des Fahrzeugs** in die Halle
↓	↓	↓
Keine Maßnahmen / spezieller Werkstattbereich erforderlich	**Wasserstoff-Werkstatt(-Bereich) mit entsprechenden Maßnahmen erforderlich**	

Werkstatt

- Ertüchtigung für Hochvolt
- Spezial-, Diagnosewerkzeug (ggf. Fahrzeughersteller)
- Dacharbeitsstände, Deckenkran, Hebebühne, etc.

Betriebshof

- Havarieplatz / Quarantäneplatz



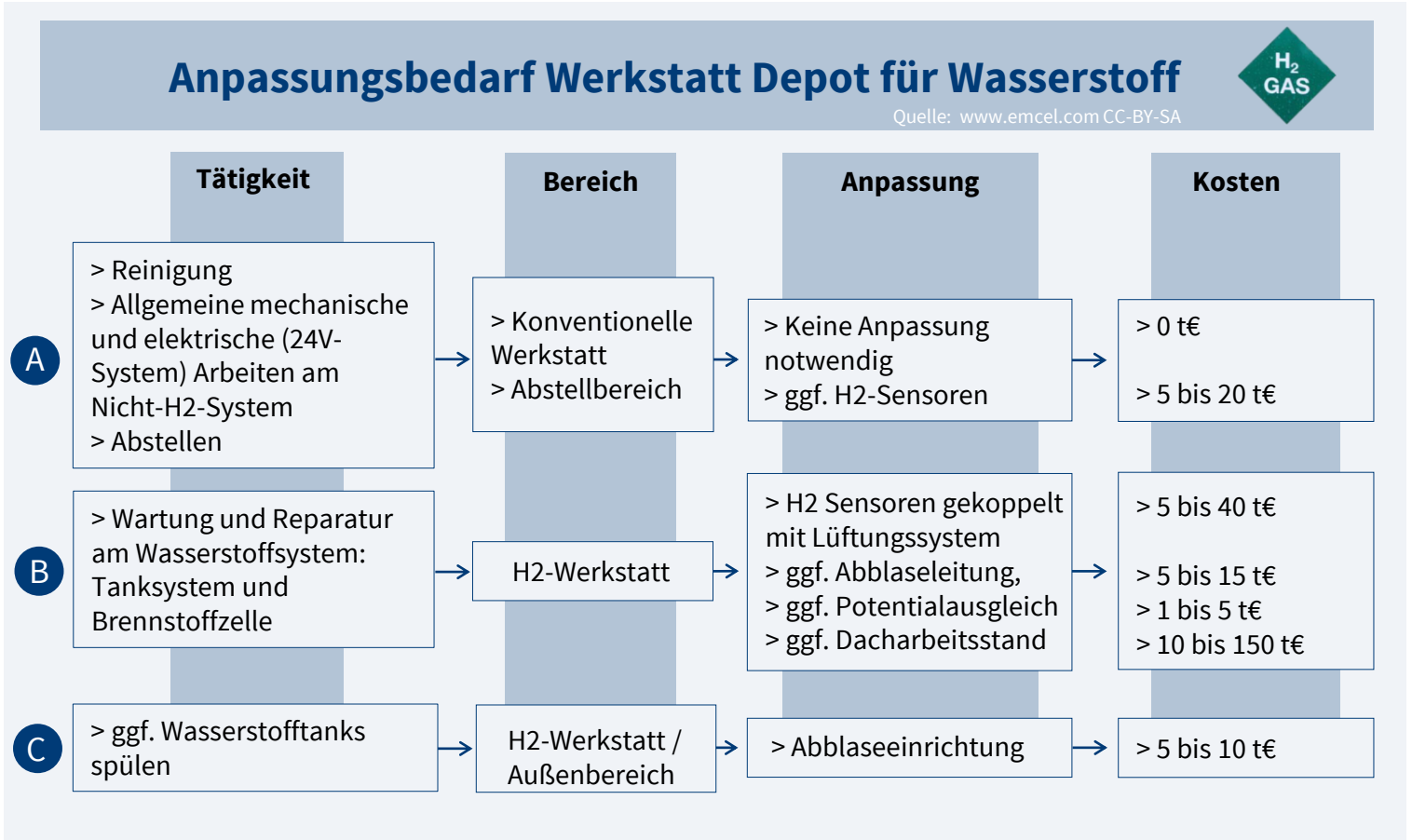
5. Werkstattkonzept | Ertüchtigungsmaßnahmen Wasserstoff

Werkstatt

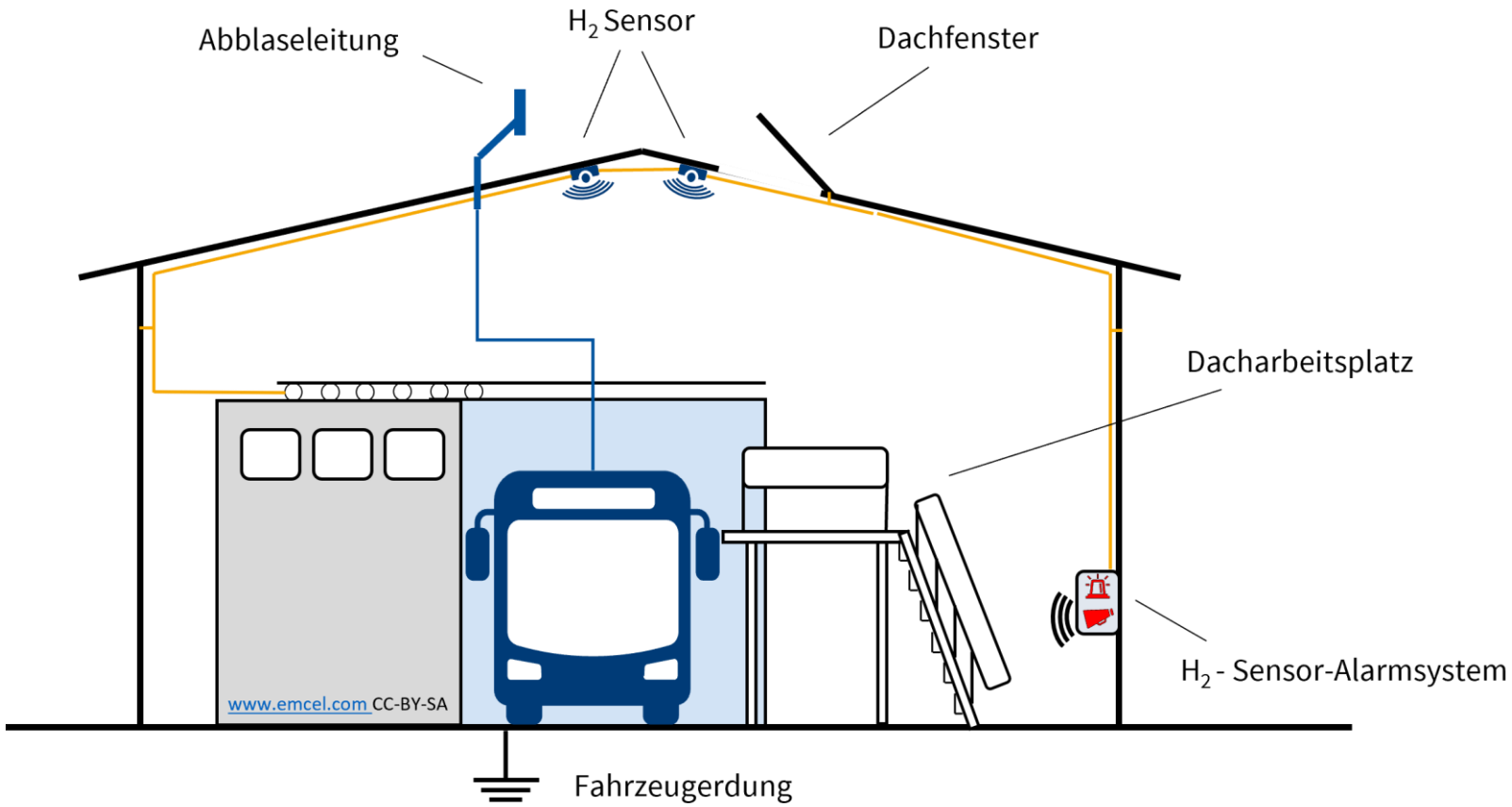
- Ertüchtigung für Wasserstoff
- Spezial-, Diagnosewerkzeug (ggf. Fahrzeughersteller)
- Dacharbeitsstände, Deckenkran, Hebebühne, etc.

Betriebshof

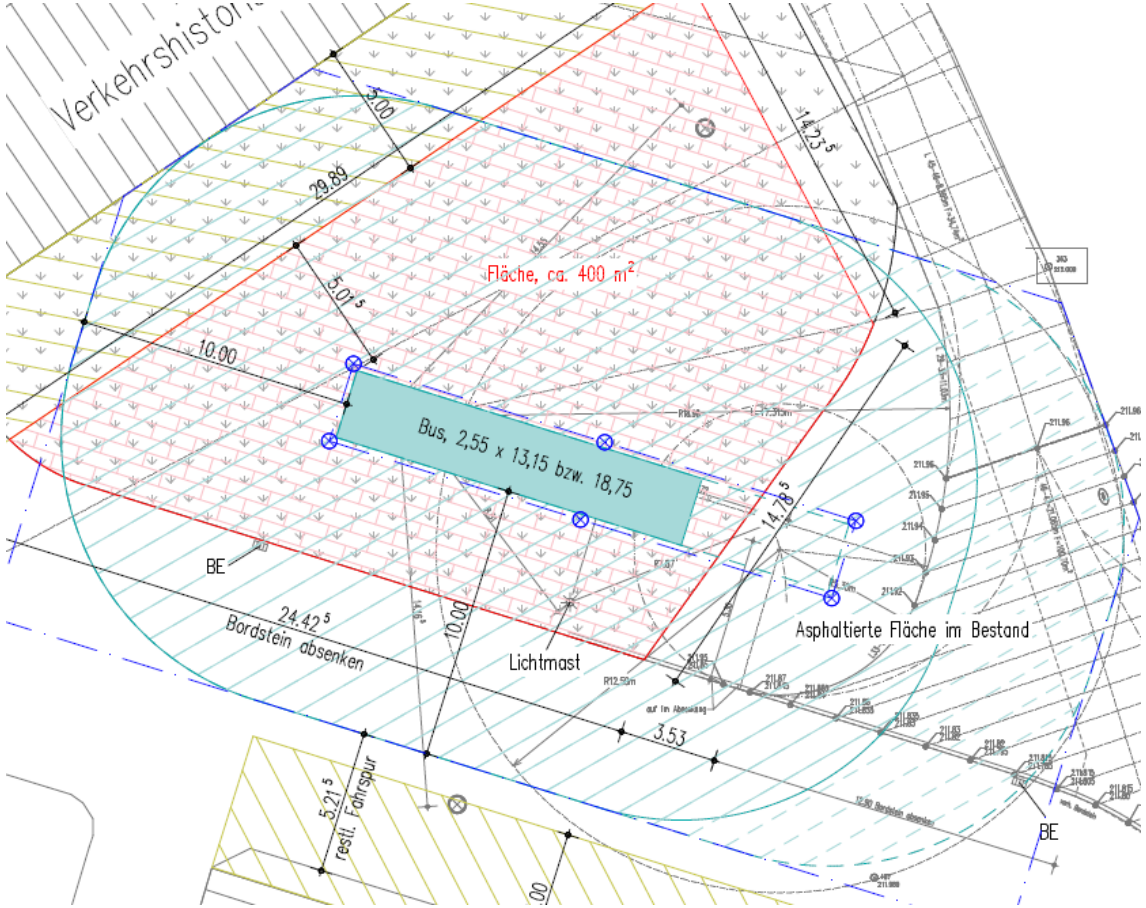
- Abblaseeinrichtung
- Quarantäneplatz



Typische technische Ertüchtigungsmaßnahmen – Wasserstoff-Werkstatt(-Bereich)



5. Werkstattkonzept | Havarieplatz



Quelle: WSW-Wuppertal Vorplanung-Quarantäneplatz

Abstellen auf dem Havarieplatz

- Ein sicherer Abstellplatz ist einzurichten, für Fahrzeuge mit unklaren Fahrzeugzustand (z.B. nicht techn. dicht, defekte HV-Batterie)
- Fahrzeuge werden an einem voraus festgelegten Platz abgestellt und ein Radius von 5 m wird mit einem Absperrband abgesteckt
  (Platz muss im Bedarfsfall verfügbar sein)
- An diesem Punkt kann auch ggf. mit entsprechender Abblasevorrichtung der Wasserstoff abgelassen werden.
  →Hier müssen die genauen Abstände in einer Gefährdungsbeurteilung bzw. Ex-Schutzdokument definiert werden.

6. Fazit und Handlungsempfehlung

6. Fazit und Handlungsempfehlung

- Umstellung auf Mischflotte (BZ und Depotladung) bietet aus technisch-betrieblicher Sicht hohes Potential
  - Reduzierung der Anzahl an Mehrfahrzeugen möglich
  - Synergien im Energiemanagement möglich
  - Flexibilität, um auf Marktentwicklung zu reagieren
- Wirtschaftliche Rahmenbedingungen haben großen Einfluss auf die zu erwartenden Mehrkosten
  - Reduktion der Wasserstoffkosten sollte angestrebt werden (Zielwert von ca. 6 €/kg_{H2})

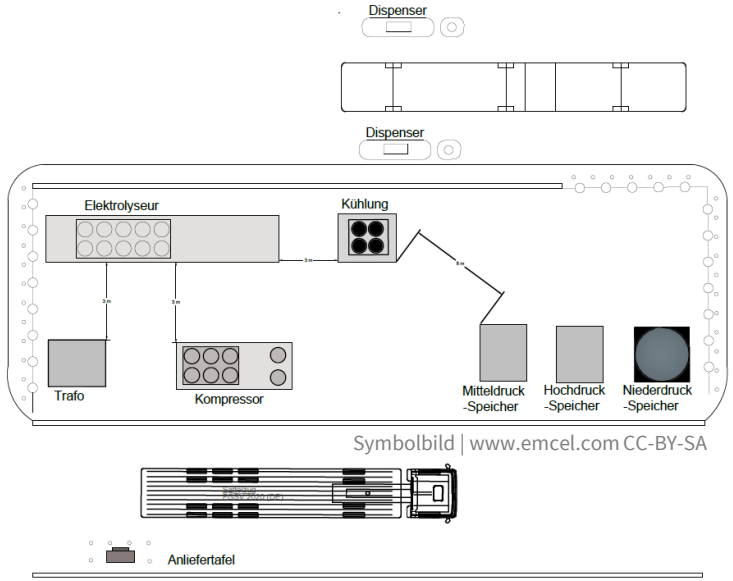
- **Handlungsempfehlung:**
  - Kontinuierliche Umstellung der Flotte über die nächsten Jahre
  - Orientierung an Bedarf, Beschaffungsplanung und Gegebenheiten am Fahrzeugmarkt
  - Entsprechender stufenweiser Ausbau der Betankungs- und Ladeinfrastruktur
  - Prüfung der Möglichkeiten einer H_2-Eigenerzeugung und Kalkulation der zu erwartenden H_2-Gestehungskosten

6. Mögliche nächste Schritte

- Festlegung des Umsetzungspfads der nächsten Jahre

- Erstellung eines Infrastrukturkonzepts für Betankungs- und Ladeinfrastruktur:
  - Herstellerunabhängige Vorplanung, Markterkundung, Konzeptionierung, Erste Dimensionierung, Flächenbedarfsschätzung, Ermittlung Genehmigungsfähigkeit, Kostenschätzung
  - Prüfung der Möglichkeiten einer H_2-Eigenerzeugung und Kalkulation der zu erwartenden H_2-Gestehungskosten

- Erstellung/Anpassung der Leistungsbeschreibung für die Fahrzeugbeschaffung (inkl. Markterkundung)



Symbolbild | www.emcel.com CC-BY-SA

EMCEL

**Ingenieurbüro für Brennstoffzelle,
Wasserstofftechnologie und Elektromobilität**

Beckinger
Reisedienst GmbH
Omnibusunternehmen

VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERSAMKEIT

… damit Ihre Energiewende gelingt!

Marius Schneider
Fon +49 (0)221 29 26 95–230
Fax +49 (0)221 29 26 95–229
marius.schneider@emcel.com

EMCEL GmbH
Am Wassermann 28a
50829 Köln
www.emcel.com

Ihr Ansprechpartner

Marius Schneider
Projektingenieur

Kontakt
Tel +49(0) 221.29 26 95-230
Fax +49(0) 221.29 26 95-229
marius.schneider@emcel.com

EMCEL GmbH
Ingenieurbüro für Brennstoffzelle
Wasserstofftechnologie und Elektromobilität

Am Wassermann 28a | 50829 Köln
www.emcel.com

Copyright

EMCEL GmbH
Am Wassermann 28a
50829 Köln

Die in dieser Präsentation aufgeführten Gedanken, Ideen und Aktionen sind in ihrer Gesamtheit, sowie einzeln und in jeder daraus abgeleiteten Form geistiges Eigentum der EMCEL GmbH und unterliegen den geltenden Urhebergesetzen.

Die Verwirklichung von Ideen und Ideenansätzen ist nur mit vorheriger vertraglicher Vereinbarung mit dem Rechteinhaber möglich.

Die ganze oder teilweise Vervielfältigung sowie jede Weitergabe an Dritte ist nicht gestattet. Der Empfänger dieser Unterlagen haftet bei unberechtigter Verwendung oder Weitergabe an Dritte für daraus entstehenden Schaden.

Dem Empfänger werden durch die Überlassung der Unterlagen keine Nutzungsrechte eingeräumt. EMCEL GmbH widerspricht durch die Überlassung der Unterlagen ausdrücklich einer wirtschaftlichen Verwertung durch den Empfänger. EMCEL GmbH behält sich in jedem Fall der Zuwiderhandlung die Geltendmachung von Schadensersatzansprüchen vor.

Der Empfänger dieser Unterlagen bestätigt durch Entgegennahme der Unterlagen absolute Vertraulichkeit und absolutes Stillschweigen über die darin genannten Ideen und Vorschläge zu wahren.

Disclaimer

Alle angegebenen Preise sind als Richtpreise zu verstehen. Die Preise sind derzeit am Markt üblich. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass den angegeben Preisen keine spezifischen Angebote mit einem detaillierten Lastenheft zugrunde liegen. (Stand Juni 2024)