



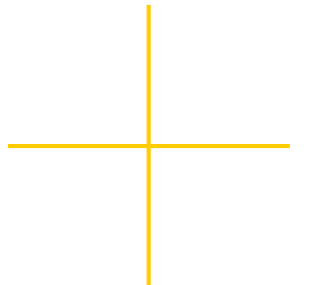
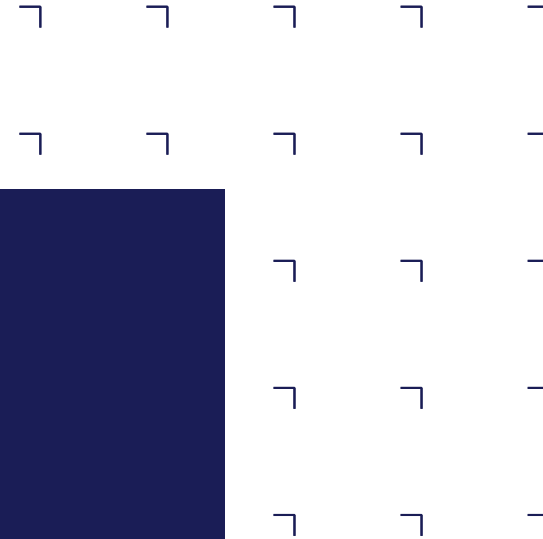
Wasserstoff im Fokus – Brennstoffzellen-Buscluster und Ergebnisse des europäischen Brennstoffzellenbusprojekts JIVE


BMDV Fachkonferenz Klimafreundliche Busse

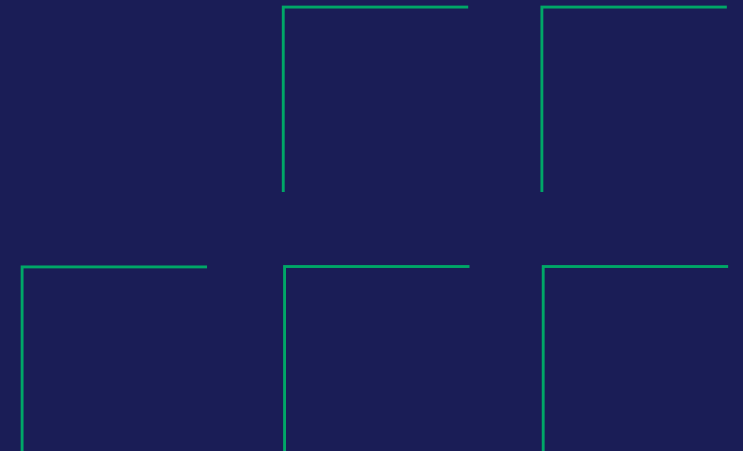
Dr. Frank Koch
Projektleiter EE ENERGY ENGINEERS

Dr. Simon Verleger
Projektleiter hySOLUTIONS

21.11.2024



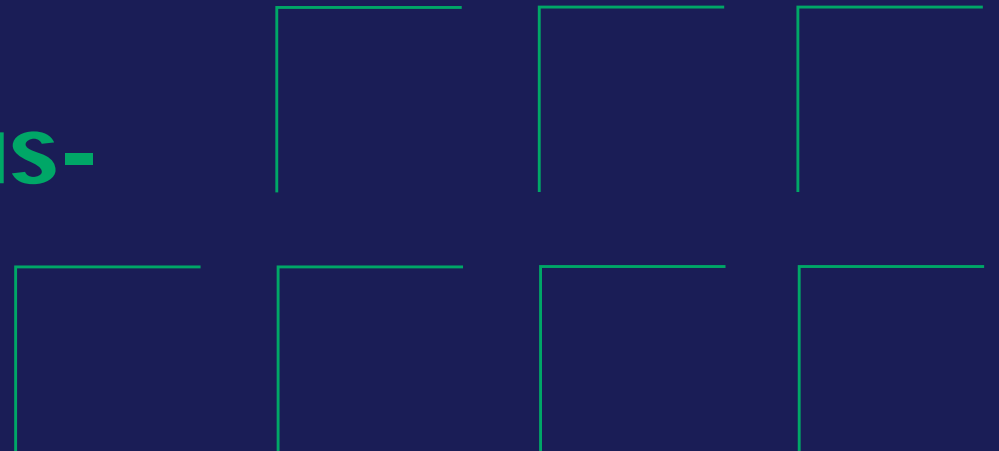
- 
1. Das deutsche Brennstoffzellenbus-Cluster
 2. Ergebnisse aus dem EU Brennstoffzellenbusprojekt JIVE





1

Das deutsche Brennstoffzellenbus- Cluster



Das deutsche Brennstoffzellenbus-Cluster



Ursprung: Initiative des FCH JU zur Gründung von Fuel-Cell-Busclustern 2016

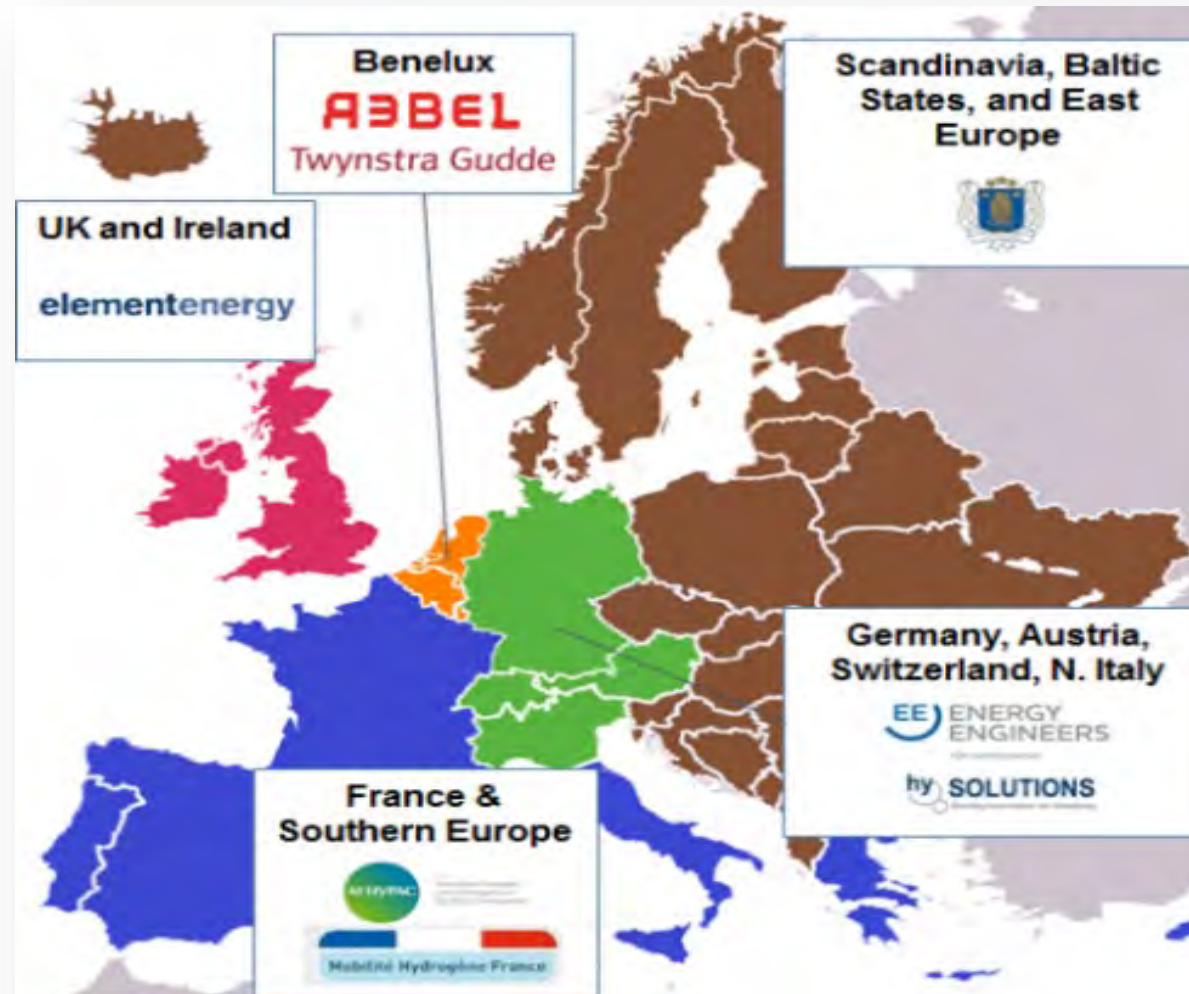
Ziele:

- Aufbau einer Kommunikationsplattform für Nahverkehrsunternehmen und -agenturen zum Thema „Brennstoffzellenbusse“
- Schaffung einer gemeinsamen Wissensbasis über Fahrzeuge und Infrastrukturen
- Gewinnung und Einbindung neuer Akteure
- Koordinierung von Beschaffungsmaßnahmen

Seit 2019 beauftragt durch die NOW – Nationale Organisation Wasserstoff und Brennstoffzellentechnologie GmbH, Berlin



Ursprung: Europäische Bz Bus-Cluster



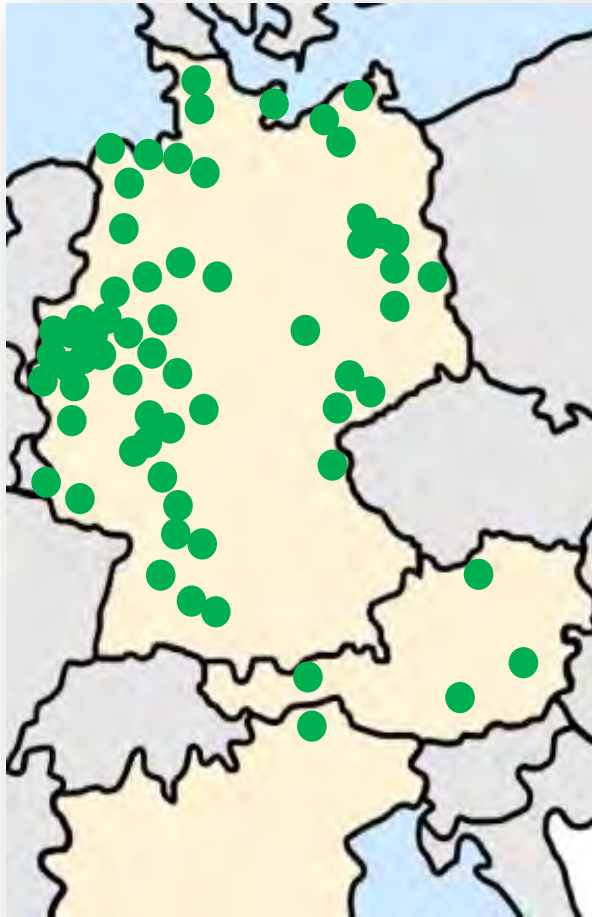
Das deutsche Brennstoffzellenbus-Cluster



Aktivitäten bisher u. a.:

- 22 Clustertreffen bei den Mitgliedern (letztes Treffen im Mai 2024 bei der Rhein-Neckar-Verkehr, Mannheim)
- Zahlreiche Einstiegsberatungen bei den Nahverkehrsunternehmen
- Bildung von Arbeitskreisen
- Unterstützung bei der Antragstellung von EU-Projekten: MEHRLIN, JIVE 1 und 2, New Bus Fuel
- Entwicklung eines Tools zur Berechnung von TCO
- Unterstützung bei der Beschaffung von Fahrzeugen und der Umrüstung von Werkstätten

Das deutsche Brennstoffzellenbus-Cluster

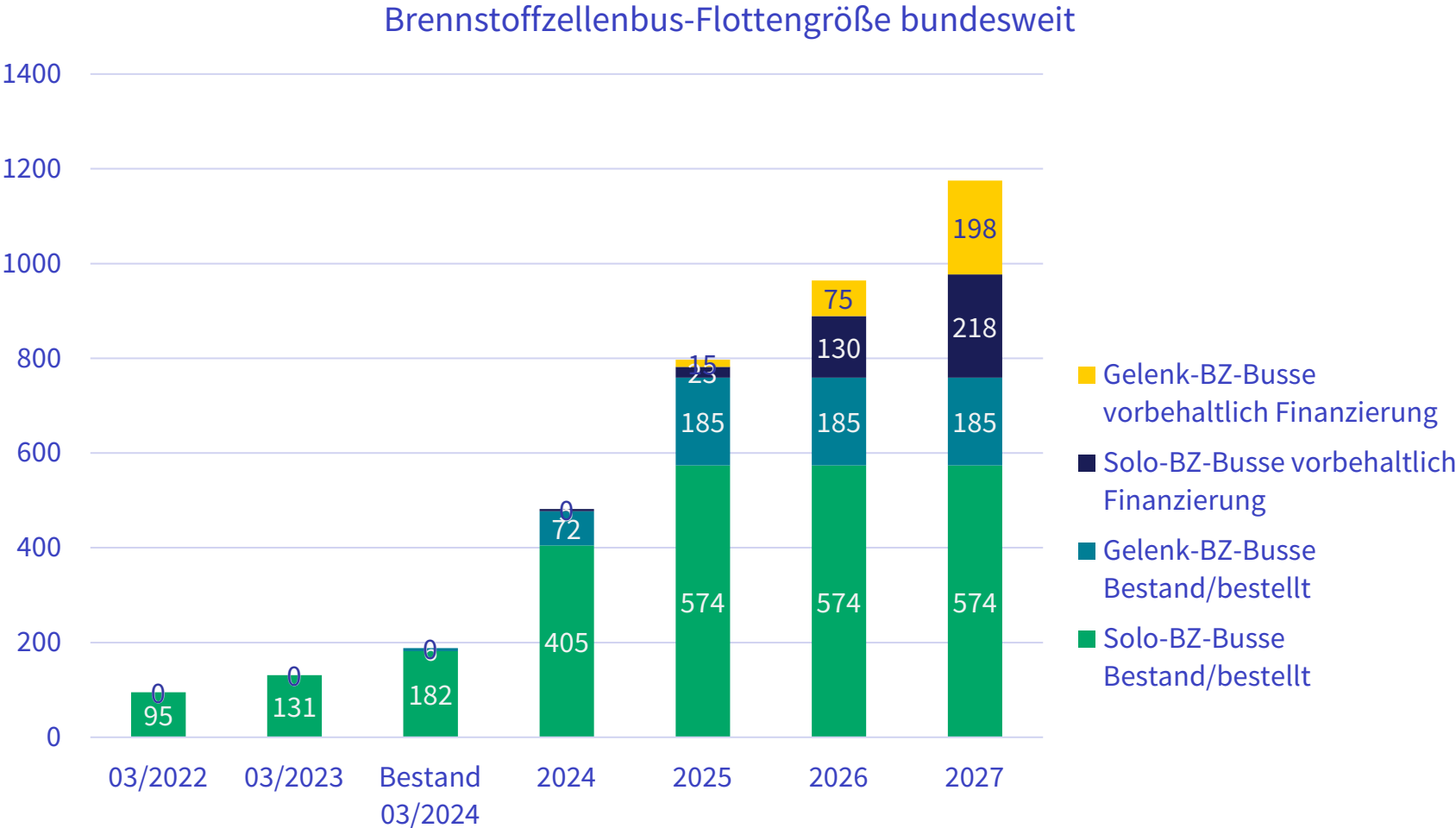


Busse in Betrieb oder bestellt (759)

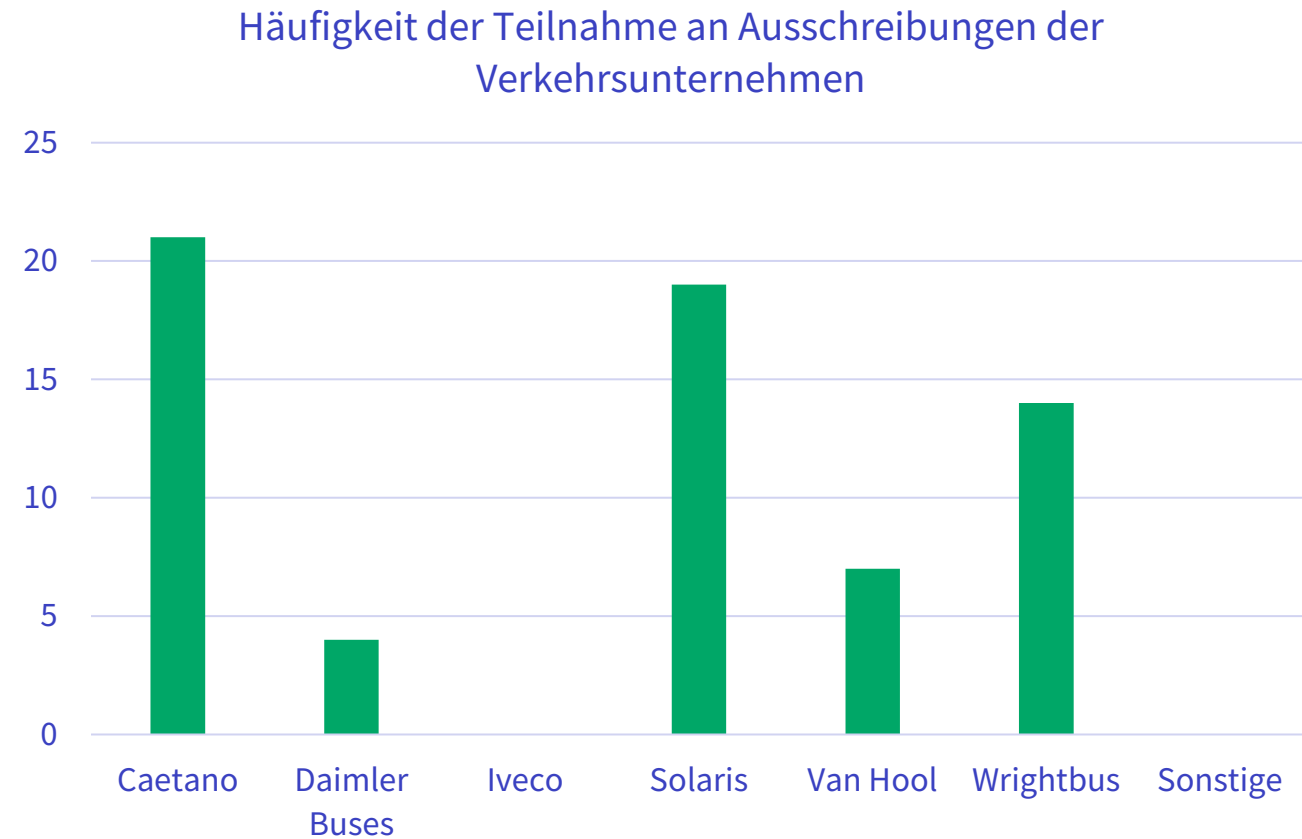
39 Betriebe haben Bz Busse in Betrieb oder planen deren Beschaffung

1. DB Regio Autokraft GmbH
2. Hochbahn Hamburg
3. Flughafen Hamburg
4. Verkehrsbetriebe Kreis Plön
5. Verkehrsbetriebe Bachstein GmbH
6. Kieler Verkehrsgesellschaft
7. Emsländische Eisenbahn GmbH
8. Weser-Ems-Bus
9. Kreisbahn Aurich
10. VWG Oldenburg
11. BremerhavenBus
12. BUSPUNKT GmbH
13. Meyering Verkehrsbetriebe KG
14. Stadtwerke Lingen
15. Regionalverkehr Münsterland
16. Westfälische Verkehrsgesellschaft
17. moBiel Bielefeld (4+25)
18. Verkehrsverbund Rhein-Ruhr
19. Ruhrbahn GmbH, Essen
20. Duisburger Versorgungs- und Verkehrsgesellschaft
21. Stadtwerke Krefeld
22. Vestische Straßenbahnen, Herten
23. Rheinbahn Düsseldorf
24. NIAG Mörs
25. WestVerkehr Geilenkirchen
26. Bahnen der Stadt Monheim
27. Wupsi Leverkusen
28. Wuppertaler Stadtwerke
29. Stadtwerke Hamm
30. KVG Lippe
31. Padersprinter
32. Märkische Verkehrsgesellschaft
33. Oberbergische Verkehrsgesellschaft
34. Ochsenbrücher GmbH
35. Regionalverkehr Köln
36. ASEAG, Aachen
37. Rurtalbus, Düren
38. Rhein-Erft-Verkehrsgesellschaft
39. VVR Stralsund
40. Rebus Rostock
41. Nahverkehr Schwerin
42. Stadt- und Überlandwerke Lübben
43. Berliner Verkehrsgesellschaft
44. Verkehr in Potsdam
45. Barnimer Busgesellschaft
46. Cottbusverkehr
47. Oberhavel Verkehrsgesellschaft
48. Stadtwerke Weimar
49. PVG mbh Weimarer Land
50. VWG Sömmerda
51. OVG mbH Sonneberg
52. Kombus GmbH
53. THÜSAC Personennahverkehrsgesellschaft
54. BKW Bad Wildungen
55. Verbandsgemeinde Kaisersesch
56. Mainzer Verkehrsgesellschaft
57. Stadtwerke Bingen am Rhein
58. ESWE Wiesbaden
59. Main-Taunus-Verkehrsgesellschaft
60. Stadtwerke Rodgau
61. traffiQ Frankfurt
62. Stadtwerke Aschaffenburg
63. Lokale Nahverkehrsgesellschaft mbH Kreis Groß-Gerau
64. Fahrzeugmanagement Region Frankfurt RheinMain GmbH (fahma)
65. LandesEnergieAgentur Hessen
66. Rhein-Neckar-Verkehr
67. Kazenmaier Leasing GmbH
68. Kreis Reutlingen
69. Omnibusverkehr Ruoff GmbH
70. Stuttgarter Straßenbahnen AG
71. Landkreis Wunsiedel
72. Stadtwerke Bayreuth
73. Wies Faszinatour GmbH
74. Busbetriebe Josef Ettenhuber GmbH
75. Bottenschein Reisen GmbH
76. TB Offenburg
77. DB Zug und Bus, Ulm
78. Saarbahn
79. Verband Deutscher Verkehrsunternehmen
80. IVB Innsbruck
81. ÖBB Postbus GmbH
82. Holding Graz
83. Bacher Reisen Radenthein
84. SASA / IIT Bozen
85. Silbernagl Reisen
86. Voyages Emile Weber, Luxemburg

Ergebnisse der Frühjahrsumfrage 2024



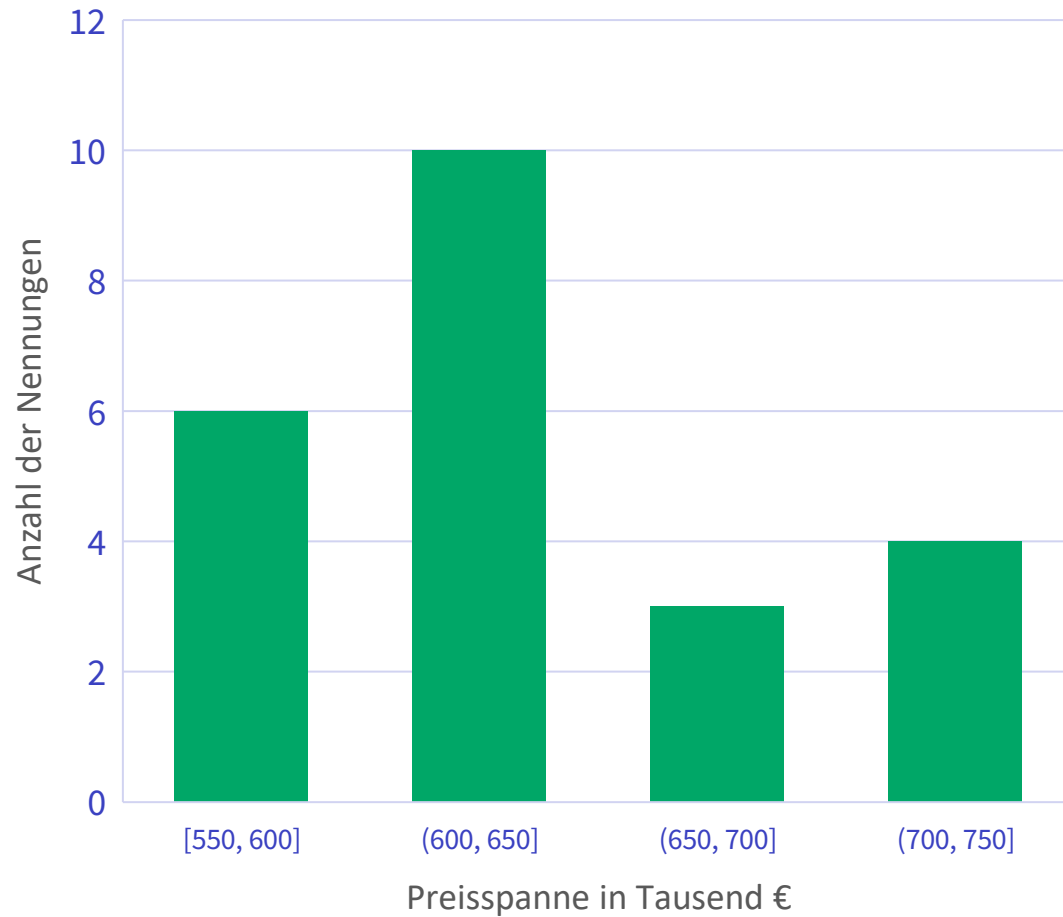
Teilnahme der Fahrzeughersteller an Ausschreibungen



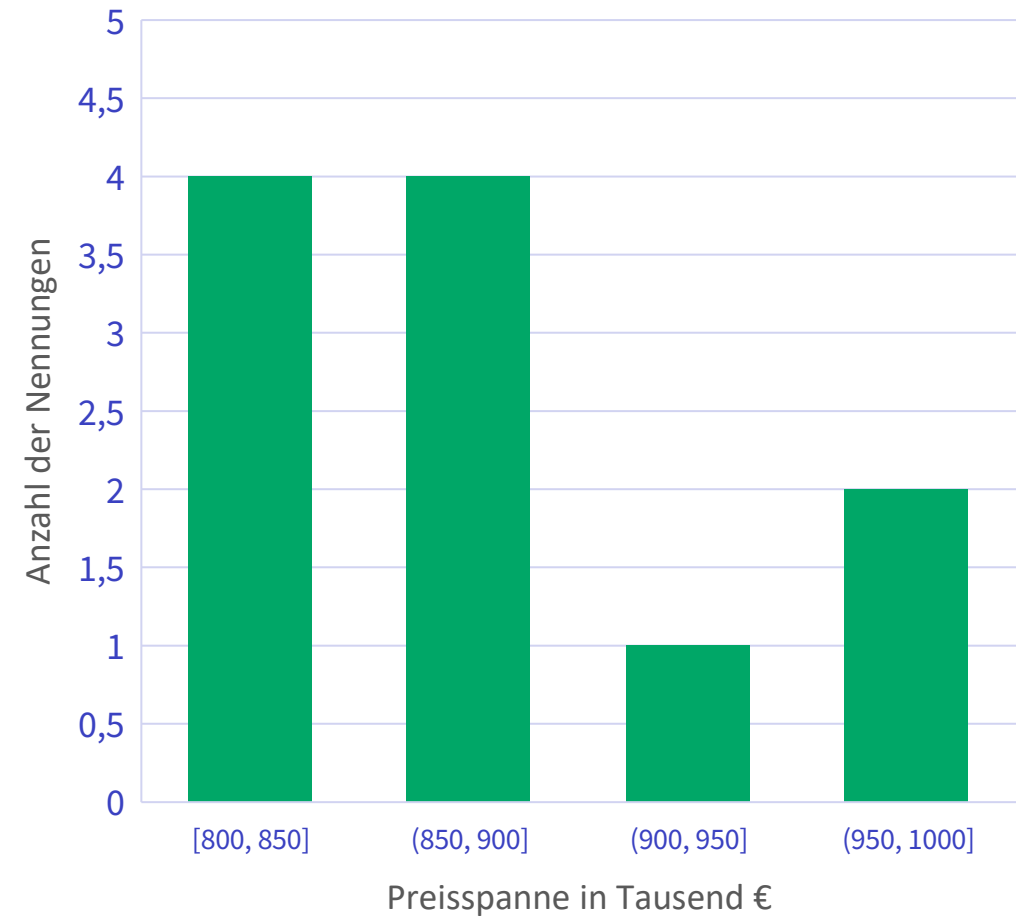
Aktuelle Buspreise gemäß Angeboten der Hersteller



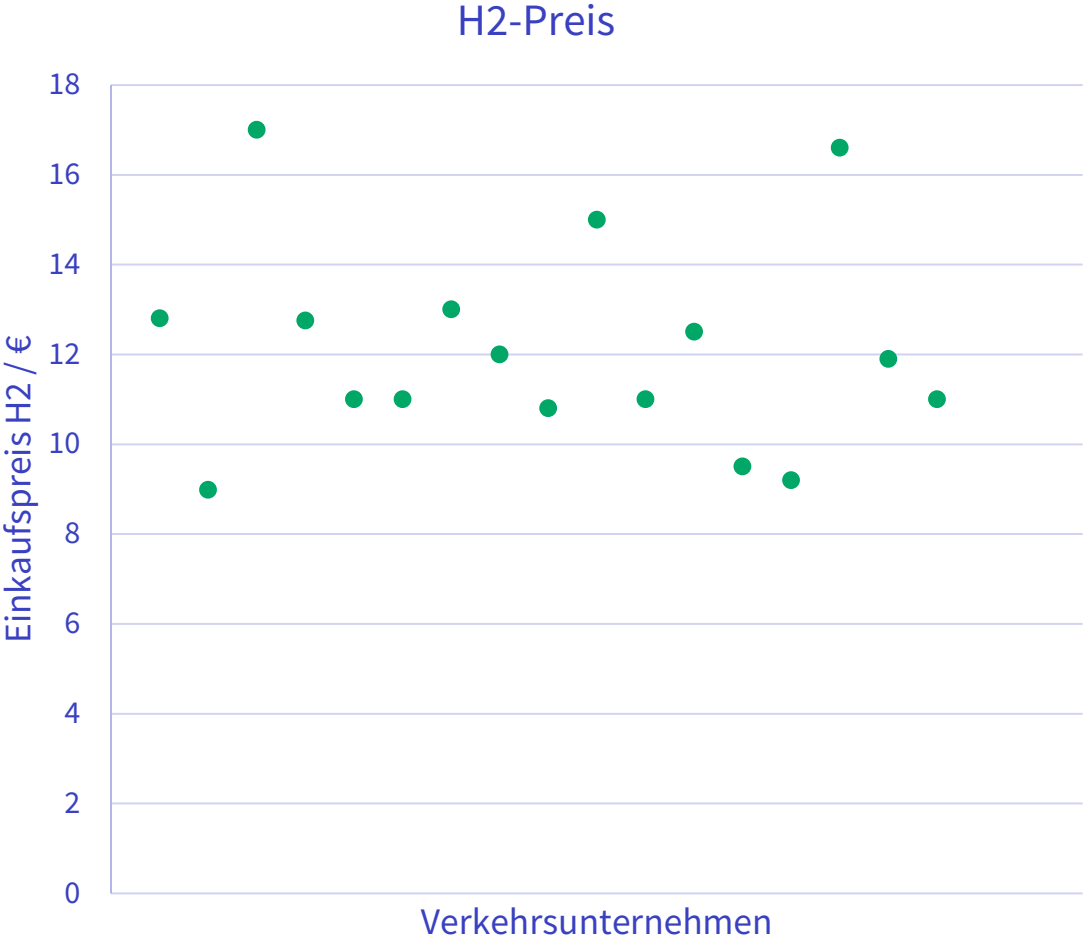
Häufigkeitsverteilung der Solo-BZ-Buspreise



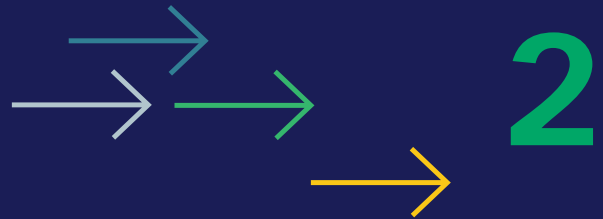
Häufigkeitsverteilung der Gelenk-BZ-Buspreise



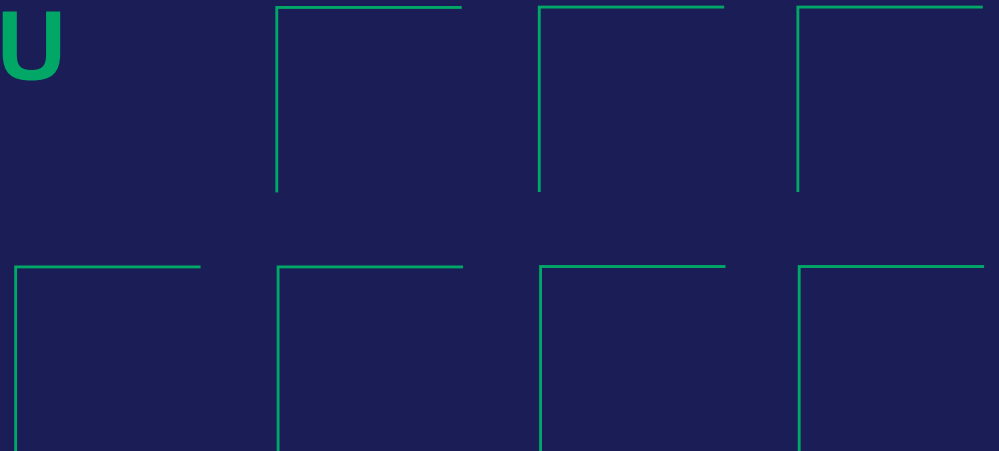
Einkaufspreise für 1 kg Wasserstoff



- Mittelwert 12,10 €
- Die Werte über 17 € beinhalten die Kosten für die Infrastruktur (Miete von Trailern)
- Kommentar eines Mitglieds: Wirtschaftlicher Betrieb erst bei einem Preis kleiner 10 €/kg möglich.



Ergebnisse aus dem EU Brennstoffzellenbus- projekt JIVE



JIVE/JIVE2/MEHRLIN

Towards clean public transportation with fuel cell buses

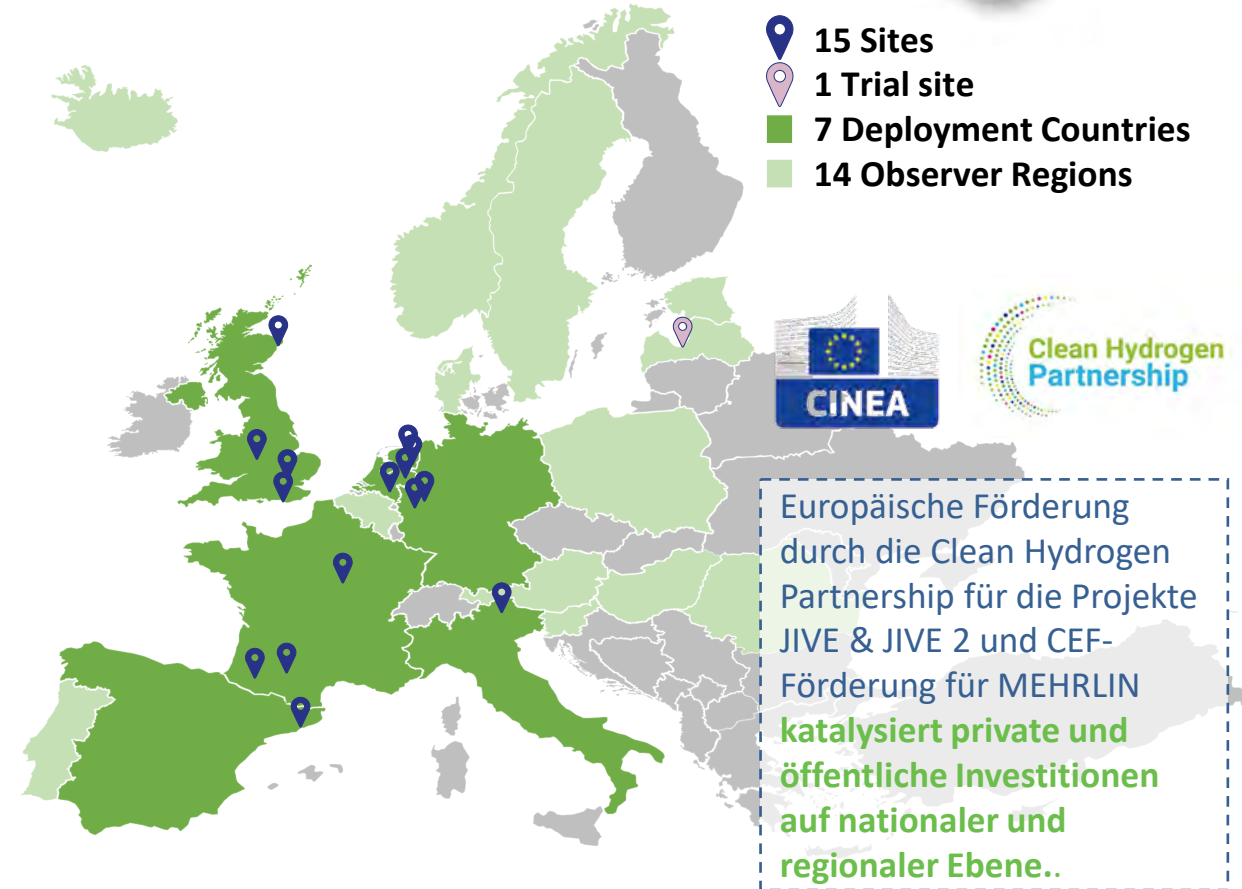


Die Projekte JIVE, JIVE 2 und MEHRLIN sind die Vorzeigeprojekte für Brennstoffzellenbusse in Europa. Ziel ist es, bis 2025 rund 300 Busse und 17 H₂-Tankstellen in Betrieb zu nehmen.



Ziele:

- **290 Busse in 15 europäischen Städten und Regionen in 7 Ländern** einsetzen – die bisher größte Inbetriebsetzung
- **Große Flotten** im Einsatz validieren
- Den Brennstoffzellenmarkt ankurbeln
- Einen Höchstpreis von **650.000 € (JIVE)** und **625.000 € (JIVE 2)** für einen Standard-Brennstoffzellenbus erreichen
- **Gemeinsame Beschaffungsmethoden erproben**, um Skaleneffekte zu erzielen
- **17 Wasserstofftankstellen (HRS)** einrichten
- **Neuen Städten und Regionen die Möglichkeit geben**, Wasserstofftechnologien zu testen
- Wege zu **kostengünstigem erneuerbarem H₂** aufzeigen
- Die technische und wirtschaftliche Leistung von HRS unter realen Bedingungen analysieren



Zeitstrahl der 3 Projekte
(JIVE/JIVE2/MEHRLIN)



Überblick über den aktuellen Stand der Hauptaktivitäten des Projekts: Einsatz von Brennstoffzellenbussen und der dazugehörigen Infrastruktur in ganz Europa



Einsatz von Bussen und Tankstellen

- 83 % der Busse sind bereits im Einsatz (von den 290 JIVE/JIVE 2-Bussen). Bis Ende Juni 2024 wurden insgesamt >20 Mio. km gefahren
- 94 % der Wasserstofftankstellen sind betriebsbereit (16 der 17 JIVE/JIVE2/MEHRLIN-Stationen). Bis Ende Juni 2024 wurden >1.337



- 5 Europäische OEM

SAFRA
Accélérateur de mobilité décarbonée



CaetanoBus

VANHOOL



SOLARIS

- Einzeldecker- (68 % inkl. 2 % 18m) und Doppeldecker- (32%) Busse
- Flottengrößen von 5 bis 50+ Bussen (inkl. Demobusse in Osteuropa)

Im Rahmen des Projekts wurden über den Einsatz von Flotten hinaus weitere Aktivitäten durchgeführt, darunter Roadshows mit Brennstoffzellenbussen in Mittel- und Osteuropa.



Organisation Brennstoffzellenbus Roadshos

- **Drei Wasserstoffbus-Roadshows durch 13 osteuropäische Länder – mit über 47 Veranstaltungen und mehr als 4.135 Teilnehmern.**



1. Roadshow



2. Roadshow

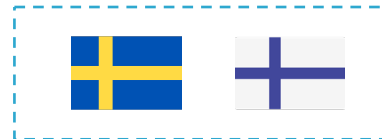


3. Roadshow

- **>90 % der Städte, die die Technologie getestet haben, haben formelles Interesse am Einsatz von FCBs bekundet.**



Demnächst:



4. Roadshow

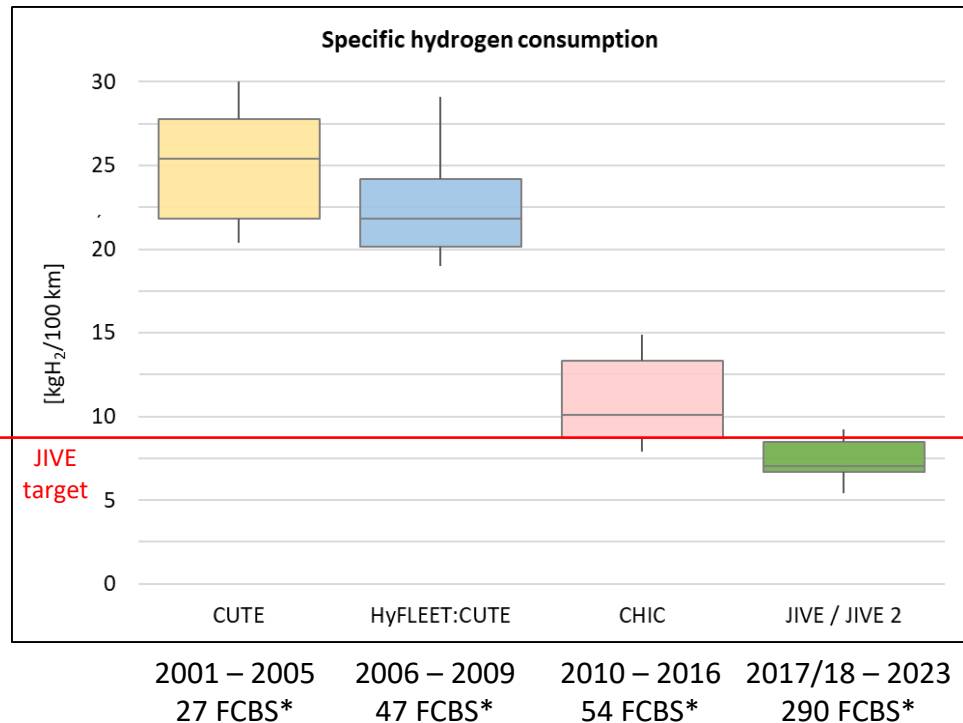
- Die 4. Roadshow wird im März/April 2025 in Städten in Schweden und Finnland Halt machen und neuartige Anwendungen für Wasserstoffmobilität in der nordischen Region demonstrieren.

Busse schneiden besser ab als in früheren Projekten und haben einen deutlich geringeren Kraftstoffverbrauch



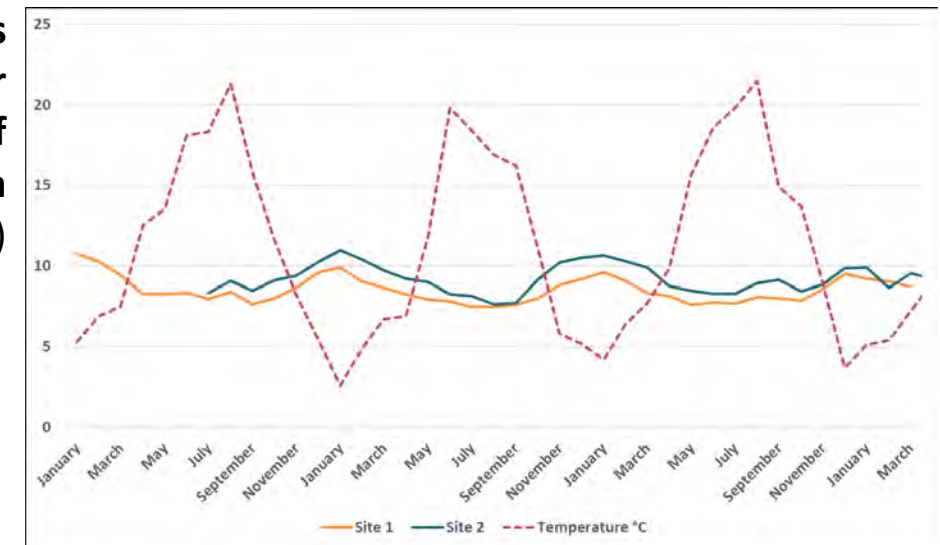
Spezifischer Kraftstoffverbrauch

Ziel: <9 kg/100 km (Solobusse) / <14 kg /100 km (Gelenkbusse)



- Hervorragende Kraftstoffeffizienz mit einem Verbrauch von derzeit **6,3–9 kg/100 km** für 12 m-Busse (entspricht 20 bis 23 Litern Diesel) und **< 9 kg/100 km** für 18 m-Busse (< 30 Liter Diesel).
- **Roadshows:** Durchschnittlicher Verbrauch von **5,7 kg/100 km**, mit einem Rekordverbrauch **von 3,5 kg/100 km** während der 3. Roadshow-Tests in Rumänien

**Einfluss
Umgebungstemperatur
auf
Wasserstoffverbrauch
(± 1 – 2 kg / ± 15 – 20%)**



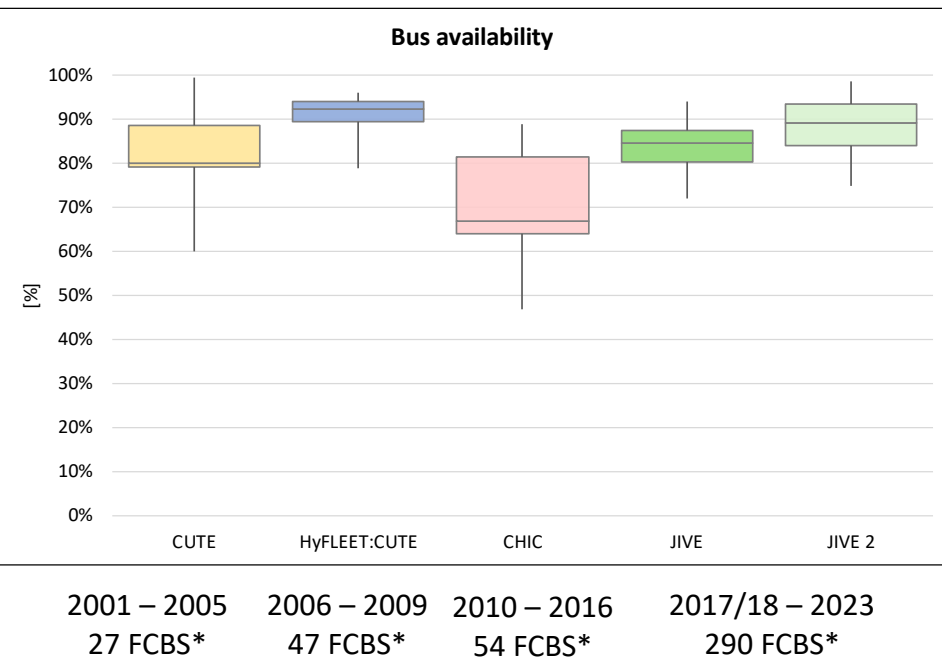
*Gesamtzahl der in den Projekten eingesetzten/einzusetzenden Busse

Busse schneiden besser ab als in früheren Projekten und haben höhere Verfügbarkeit



Verfügbarkeit

Ziel: >90%



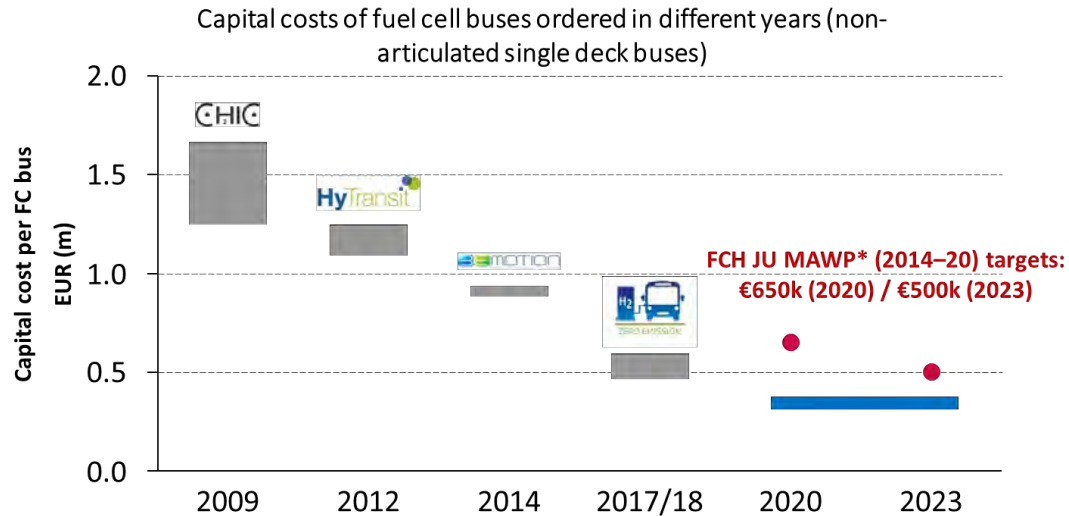
* Gesamtzahl der in den Projekten eingesetzten/einzusetzenden Busse

- Deutliche Leistungsverbesserungen der Busse im Vergleich zum CHIC-Projekt
- Es ist anzumerken, dass die Busse im HyFLEET:CUTE-Projekt deutlich länger und konsequenter gewartet wurden, als es unter normalen Einsatzbedingungen zu erwarten oder akzeptabel wäre, was die relativ hohe Verfügbarkeit der Busse dieses Projekts erklärt.
- Ab Q2 2024 lag die **durchschnittliche Verfügbarkeit nahe am Ziel (85 %)**, wobei mehrere Standorte 99 % erreichten
- Ausfallzeiten wurden meistens nicht durch den Brennstoffzellenantrieb verursacht (z. B. Hochspannungsbatterie, mechanische Probleme, HVAC usw.). Längere Ausfallzeiten wurden auch als Folge externer Faktoren beobachtet, z. B. der Verfügbarkeit der Tankstelle oder von Wasserstoff.
- Obwohl die Erwartungen aus dem Jahr 2018 hinsichtlich der Verfügbarkeit nicht an allen Standorten erfüllt wurden, herrschte nahezu einhellige Zufriedenheit mit den im Jahr 2023 erreichten Verfügbarkeitsraten.

Senkung der Buspreise (CAPEX) im Vergleich zu früheren BzB-Projekten und innerhalb der JIVE-Projekte

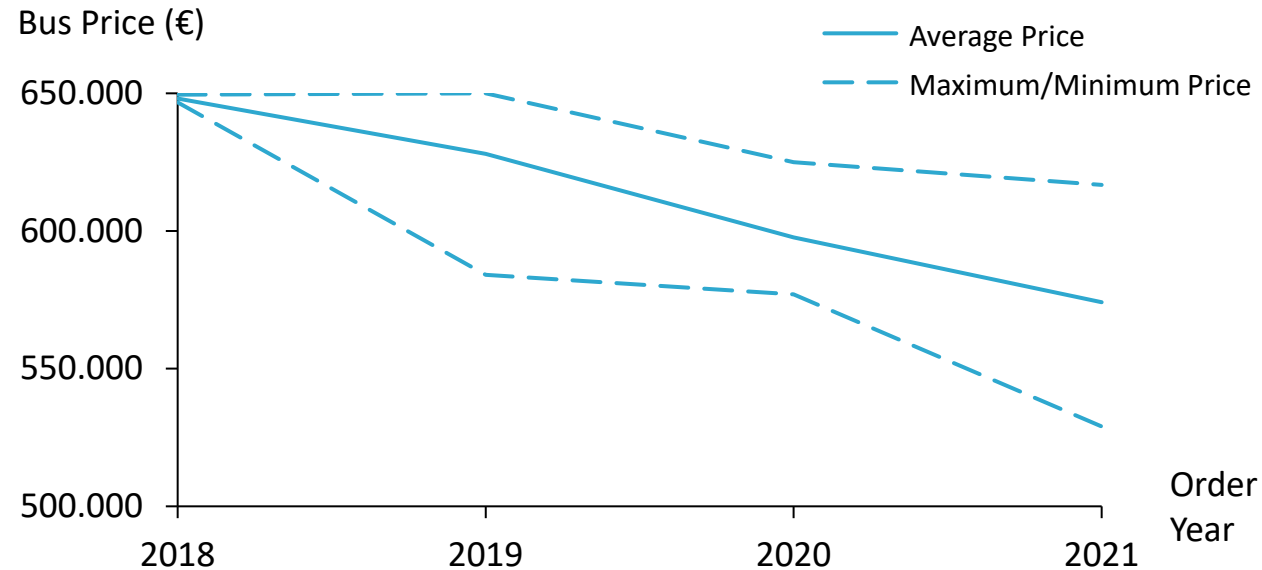


Aktuelle Bus Capex vs. historische Zahlen



- Die Preise sind seit den ersten finanzierten BzB-Projekten deutlich gesunken, ein Erfolg des zunehmenden Umfangs der JIVE-Beschaffungen.
- Die Ziele für JIVE (650.000 €) und JIVE 2 (625.000 €) wurden erreicht. Das Ziel der Clean Hydrogen Partnership 2020 wurde Anfang 2018 erreicht.
- Obwohl die Kosten für Brennstoffzellenbusse deutlich gesunken sind, sind für kommerziell tragfähige Angebote weitere Senkungen erforderlich.

JIVE & JIVE 2 komb. Durchschnittspreise*



- Seit 2018 ist der durchschnittliche Buspreis um 12,9 % gesunken
- Mindestpreise gelten für Fahrzeugbestellungen von >10 Fahrzeugen
- Die Größe einer Bestellung hat Einfluss – Von den niedrigeren Preisen entfielen ca. 80 % auf Bestellungen von min. 15 Bussen.



Haupterfolge (JIVE und JIVE 2)

- 290 Brennstoffzellenbusse in 15 europäischen Städten in 7 Ländern und Regionen im Einsatz
- Senkung des Buspreises im Vergleich zu anderen Projekten seit 2018
- Verbessertes Verständnis der Brennstoffzellentechnologie durch reale Einsätze
- Verständnis und Engagement wichtiger Interessenvertreter des Wasserstoffsektors
- Fortführung und Ausweitung der Einsätze an vielen Projektstandorten

Die wichtigsten Herausforderungen für die weitere Expansion von BzB in Europa

- Anhaltende Zuverlässigkeitsprobleme bei HRS wirken sich auf die Verfügbarkeit und den Business Case von BzB aus
- Hohe Energiepreise wirken sich weiterhin auf die Wasserstoffproduktion aus, was ohne staatliche Unterstützung zu unerschwinglich hohen Preisen für grünen Wasserstoff führt
- Lange Vorlaufzeiten und geringe Ersatzteilbestände stellen den Betrieb von FCBs und HRS vor Herausforderungen

Nächste Schritte

- Nutzung von Skaleneffekten zur Reduzierung der Wasserstoff-, BzB- und Wartungskosten
- Fortführung des JIVE 2-Projekts, einschließlich der 4. Nordic Roadshow, bis Juni 2025, um den zukünftigen Einsatz von FCBs in Europa zu fördern
- Fortführung des Einsatzes der Busse aus dem JIVE-Projekt
- Ausweitung der BzB auf neue Regionen, insbesondere in Nordeuropa sowie Mittel- und Osteuropa



Planung, Finanzierung und Genehmigung

- **Eine strenge Planung** vermeidet oder mildert die meisten der typischen Herausforderungen, die in der Einführungs- und Betriebsphase auftreten.
- **Finanzierungsmodelle:** Es werden neue Finanzierungsmodelle entwickelt, um die Herausforderungen großer Aufträge zu bewältigen, ohne dass die Gesamtkosten vollständig absehbar sind.
- **Interagieren Sie frühzeitig und häufig mit wichtigen Stakeholdern:** Durch die Vernetzung aller Beteiligten (Fahrer, Betreiber, lokale Gruppen, lokale Regierungen) wird sichergestellt, dass sich alle für die erfolgreiche Bereitstellung einer neuen Technologie einsetzen und die Auswirkungen politischer Veränderungen gemildert werden können.



Inbetriebnahme und Betrieb – Bus Erfahrungen

- **Seien Sie „hands-on“ mit den Bussen,** arbeiten Sie mit den OEMs zusammen und haben Sie einen Plan, um sich von den OEM-Technikern zu „entwöhnen“
- **Nutzen Sie die Erfahrung anderer–** innerhalb der Busorganisation und außerhalb mit erfahrenen anderen Standorten
- **Fördern Sie Gespräche zwischen Bus-OEMs und HRS-OEMs**



Beschaffung

HRS, Wasserstoffversorgung und Busse sollten parallel beschafft werden:

Andernfalls besteht das Risiko, dass die Busse ungenutzt herumstehen und Komponenten beschädigt werden.

- **Wasserstoffversorgung:** Die Diversifizierung und Sicherung der Wasserstoffversorgung als Backup ist entscheidend.
- **Führen Sie eine Markterkundung durch:** Bestimmen Sie, welche Hersteller von HRS und BzB bereit und in der Lage sind, zu liefern. Erwägen Sie RFIs, um den Markt zu testen.
- **Verhandeln Sie über Skalierbarkeit:** Stellen Sie sicher, dass die vorgeschlagenen Lösungen Skalierung beinhalten und potenzielle Zuverlässigkeitsprobleme angehen können.
- **Arbeiten Sie mit bestehenden Standorten zusammen:** Personen mit Erfahrung im HRS- und BzB-Betrieb können zu wichtigen Punkten in Bezug auf Zuverlässigkeit/Innovation/Skalierung beraten..



Inbetriebnahme und Betrieb – Betankungserfahrungen

- **Backup-Betankung unerlässlich:** kann in Form von Anhängern, Redundanzen im HRS oder mehreren Stationen erfolgen; per LKW transportierter H2 muss rund um die Uhr verfügbar sein
- **Technischer Support vom OEM in frühen Phasen sollte vor Ort sein und kritische Ersatzteile auf Lager gehalten werden**
- **Frühzeitige und häufige Kommunikation mit OEMs und Sicherheitsbehörden**

Join us at the Zero Emission Bus Conference 2025 @Busworld Europe in Brussels



PARTNERS



MEMBERS OF THE BUSWORLD CONGRESS STEERING COMMITTEE



7. – 9. Oct. 2025: Save the date !



<https://zebconference.eu/>



[@EUZEBConference](https://twitter.com/EUZEBConference)



[@European ZEB Conference](https://www.linkedin.com/company/european-zero-emission-bus-conference/)





Vielen Dank



Dr. Frank Koch und Dr. Simon Verleger

EE ENERGY ENGINEERS GmbH
hySOLUTIONS

koch@energy-engineers.de
simon.verleger@hysolutions-hamburg.de

NOW GmbH

Fasanenstraße 5
10623 Berlin

www.now-gmbh.de



@news_nowgmbh



NOW GmbH



www.think-do-now.de

