



fU12_hydrogen - Przel_fabryk_dodatkowe_28

Regionalbusverkehr im Rhein-Neckar-Kreis

Auszug (Handlungsempfehlungen und Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse) aus der Machbarkeitsstudie zur Einführung von alternativen Antriebsformen

Auftraggeber

Rhein-Neckar-Kreis
Amt für Nahverkehr
Haberstraße 3
69126 Heidelberg

Verkehrsverbund
Rhein-Neckar GmbH
B1, 3-5
68159 Mannheim

Auftragnehmer

EMCEL GmbH
Am Wassermann 28
50829 Köln

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Verkehr

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Dem Rhein-Neckar-Kreis wurde eine Zuwendung aus dem Sondervermögen „Energie und Klimafonds“ für das Vorhaben „Antrieb RNK Studie Landratsamt Rhein-Neckar-Kreis Studie“ gewährt. Das Projekt wurde durch das Bundesministerium für Verkehr gefördert.

Inhaltsverzeichnis

1. Handlungsempfehlungen	4
Zusammenfassung	9
A. Abkürzungsverzeichnis	14

1. Handlungsempfehlungen

Der Umstieg auf alternative Antriebsformen ist ein zentraler Bestandteil der Verkehrswende, um CO₂-Emissionen zu reduzieren und die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen zu verringern. Gerade im Regionalbusbereich werden die ÖPNV-Aufgabenträger bei der Umstellung von Dieselfahrzeugen auf Fahrzeuge mit alternativen Antrieben vor große Herausforderungen gestellt. Im Gegensatz zu städtischen Verkehren erschweren die für den Regionalverkehr typischen Rahmenbedingungen wie z.B. längere Linienwege, differenzierte Topografie oder eine dezentrale Fahrzeugabstellung den Einsatz von Fahrzeugen mit alternativen Antriebsformen. Zudem erfolgt die Vergabe der Verkehre in der Regel im Wettbewerb und damit im Rahmen von europaweiten Ausschreibungen, so dass die diesbezüglichen vergaberechtlichen Bestimmungen beachtet werden müssen. Neben diesen strukturellen Rahmenbedingungen spielt natürlich auch die zum Zeitpunkt der Ausschreibung der Verkehrsleistungen vorhandene Marktsituation eine entscheidende Rolle. Welche Art von Fahrzeugen ist zum Zeitpunkt der Ausschreibung verfügbar, wie hoch sind die Reichweiten der Fahrzeuge, wie steht es mit der Verfügbarkeit der Betriebsstoffe (Wasserstoff, Strom, HVO100)? Gerade beim Umstieg auf alternative Antriebsformen ist der Markt einem ständigen Wandel unterworfen.

Im Rahmen der vorliegenden Machbarkeitsstudie (Stand 30.06.2025) wurden sowohl die Vollumstellung der Verkehrsleistung in ausgewählten Linienbündeln auf alternative Antriebe als auch die Teilumstellung im Sinne der Erfüllung der Mindestvorgaben des Saubere-Fahrzeug-Beschaffungs-Gesetzes (SaubFahrzeugBeschG) unter Einbezug der aktuell auf dem Markt verfügbaren alternativen Antriebstechnologien (Elektroantrieb mit Depotladung und mit Gelegenheitsladung und Brennstoffzellentechnik) untersucht. Ziel der Studie

war es, für den Rhein-Neckar-Kreis ein nachhaltiges Konzept bezüglich der Umstellung der Busverkehrsleistungen in den Linienbündeln des Kreises auf alternative Antriebsformen zu erhalten.

Für die Erstellung der Machbarkeitsstudie hat der Rhein-Neckar-Kreis eine Zuwendung aus dem Sondervermögen „Energie- und Klimafonds“ erhalten. Das Projekt wurde durch das Bundesministerium für Verkehr gefördert.

Aufgrund des jeweils vorhandenen Zuschnittes der untersuchten Linienbündel (z.B. Länge der Fahrzeugumläufe), der räumlichen und strukturellen Gegebenheiten und unter Berücksichtigung der wirtschaftlichen Aspekte hat sich gezeigt, dass sowohl bei einer Vollumstellung als auch bei einer Teilumstellung für die Einführung emissionsfreier Busse im Rhein-Neckar-Kreis in den betrachteten Linienbündeln grundsätzlich sowohl Batterie- als auch Brennstoffzellenantriebe in Betracht kommen.

Eine Festlegung auf eine bestimmte Technologie für die Linienbündel des Rhein-Neckar-Kreises ist zum aktuellen Zeitpunkt dennoch weder notwendig noch sinnvoll. Angesichts der dynamischen Marktentwicklung sollte bei der Ausschreibung der Verkehrsleistungen in den im Zeitraum von 2025 bis 2027 anstehenden wettbewerblichen Vergabeverfahren vielmehr ein technologieoffener Ansatz verfolgt werden, um die größtmögliche Flexibilität und Wirtschaftlichkeit zu gewährleisten. Damit bleibt es dem Verkehrsunternehmen selbst überlassen mit welcher Antriebsart die Verkehrsleistung angeboten wird. Mit dieser Vorgehensweise wird zudem verhindert, dass ein Verkehrsunternehmen bei den Vergabeverfahren bevorzugt wird und die Verkehrsunternehmen sind dadurch in der Lage frei, nur aufgrund der eigenen strukturellen und innerbetrieblichen Gegebenheiten zu entscheiden, welcher Antriebsart im Unternehmen künftig der Vorzug gegeben wird.

Mit einem technologieoffenen Ansatz ist auch gewährleistet, dass auf Veränderungen und technische Entwicklungen in diesem sehr sensiblen Bereich schnell reagiert werden könnte und zudem greift eine technologieoffene Ausschreibung nicht in den Wettbewerb ein. Nach wie vor ist nicht abzusehen, welche Antriebstechnologie sich langfristig am Markt durchsetzen wird. Es gilt das Marktgeschehen weiterhin zu beobachten.

Kurzfristige Perspektive – Umsetzung der CVD-Richtlinie (SaubFahrzeugBeschG) bis 2030

Zur kurzfristigen Erfüllung der Vorgaben der Clean Vehicles Directive (CVD) sowie des SaubFahrzeugBeschG in den beiden Umsetzungsperioden bis 2030 kommen damit grundsätzlich sowohl Batterie (Depotladung)- als auch Brennstoffzellentechnologien in Frage:

- › **Die Brennstoffzellentechnologie** kann genutzt werden, da in der Region bereits eine öffentliche Wasserstofftankinfrastruktur vorhanden ist. Die Nutzung dieser Infrastruktur ermöglicht Verkehrsunternehmen einen schnelleren Einstieg, ohne eigene Betankungskapazitäten aufbauen zu müssen. Voraussetzung hierfür ist jedoch eine frühzeitige Klärung und vertragliche Absicherung mit dem Betreiber der Infrastruktur.
- › **Batterieelektrische Busse mit Depotladung** stellen wie bereits ausgeführt ebenfalls eine geeignete Option dar. Insbesondere bei kleinen Flotten könnte die notwendige Ladeinfrastruktur mit geringem Aufwand durch das Verkehrsunternehmen gegebenenfalls am Betriebshof realisiert werden, wodurch sich diese Lösung kurzfristig und kostengünstig umsetzen lässt.

In jedem Fall sollte das Verkehrsunternehmen selbst entscheiden können, welche alternative Antriebsart es bei einem Ausschreibungsverfahren anbietet und wie im Falle eines Zuschlags die konkrete Umsetzung – etwa auf welchen Linien bzw. Umläufen Fahrzeuge mit alternativen Antrieben eingesetzt werden – bei Erbringung der Verkehrsleistungen tatsächlich erfolgt. Bei der Ausschreibung der Verkehrsleistungen sollten keine technologischen oder betrieblichen Vorgaben gemacht werden, vielmehr sollte nur einen Rahmen vorgeben werden, innerhalb dessen sich die Verkehrsunternehmen wirtschaftlich und betrieblich entsprechend der firmenspezifischen Gegebenheiten optimal positionieren können.

Langfristige Perspektive – über 2030 hinaus

Für die Entwicklung (über 2030 hinaus) und die langfristige Zielsetzung einer vollständigen Umstellung auf emissionsfreie Antriebe ist insbesondere eine umfassende Lade- bzw. Betankungsinfrastruktur erforderlich. Ob künftig eine zentrale Infrastruktur vom Aufgabenträger bereitgestellt werden sollte, oder die Infrastruktur weiterhin durch die Verkehrsunternehmen bereitgestellt werden könnte, hängt maßgeblich von den künftigen Marktentwicklungen, der sich daraus ableitenden Antriebstechnologie und letztendlich auch vom Ergebnis der kommenden Ausschreibungsverfahren ab.

Langfristig könnte eine strategische Festlegung auf eine bestimmte Antriebsform aus wirtschaftlicher Sicht möglicherweise durchaus sinnvoll sein, insbesondere um z.B. Skaleneffekte (Preisnachlässe, Rabatt aufgrund größerer Stückzahlen oder langfristiger Verträge) bei dem Bau der Infrastruktur und bei der Fahrzeugbeschaffung realisieren zu können. Zum heutigen Zeitpunkt ist jedoch keine belastbare Prognose möglich, welche Technologie sich letztendlich am Markt durchsetzen wird.

Rolle des Aufgabenträgers

Aus wirtschaftlichen und strategischen Gesichtspunkten könnte es mittel- bis langfristig demnach sinnvoll sein, dass der Aufgabenträger die Lade- bzw. Betankungsinfrastruktur bereitstellt oder koordiniert, insbesondere bei einem großflächigen Technologiewechsel z.B. über mehrere Linienbündel hinweg oder für das gesamte Kreisgebiet. Damit ließe sich ein stärkerer Einfluss auf Investitionen, Betriebskosten und Standortwahl nehmen. Allerdings ist eine solche Entscheidung natürlich abhängig von der insgesamten wirtschaftlichen Situation und insbesondere von der weiteren Entwicklung dieses dynamischen Marktsegments. Es gilt es den Markt genau zu beobachten und insbesondere die weitere technische Entwicklung sowohl bei den Fahrzeugen als auch bei der Verfügbarkeit der Betriebsstoffe im Blick zu haben. Dies schließt auch den Aufbau einer eigenen Infrastruktur aus Sicht des Rhein-Neckar-Kreises ein.

Jedoch bleibt auch hier die Entscheidung abhängig von den Ergebnissen zukünftiger Vergaben. Daher ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt der Aufbau einer eigenen Infrastruktur aus Sicht des Rhein-Neckar-Kreises nicht vorzusehen.

Zusammenfassung

Im Rahmen der vorliegenden Machbarkeitsstudie wurden alternative Antriebsformen für den Regionalbusverkehr im Rhein-Neckar-Kreis untersucht. Konkret wurden fünf Linienbündel betrachtet, bei denen im Zeitraum von 2025 bis 2027 die Ausschreibung der Verkehrsleistungen ansteht: St. Leon-Rot/Sandhausen, Leimen, Neckargemünd, Wiesloch-Walldorf und Ladenburg-Schriesheim. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Studie kurz zusammengefasst.

Marktübersicht und Regulatorik

- › Heute sind in Deutschland vor allem batteriebetriebene Busse (ca. 87 %) als E-Busse im Einsatz, der Anteil an Brennstoffzellenbussen (heute ca. 10 %) steigt aber durchaus an. Wie die finale Zusammensetzung der Gesamtflotte in Deutschland künftig aussehen wird, ist noch offen und kann zum aktuellen Zeitpunkt nicht vorhergesagt werden.
- › Batterie (Depotladung) - und Brennstoffzellenbusse verursachen unter gleichen Bedingungen (insbesondere: Reichweite ca. 300-350 km, Ausstattung, kommerzielle Anforderungen, usw.) heute annähernd gleich hohe Mehrkosten (inkl. Infrastruktur).
- › Bei der Umstellung von Diesel- auf Elektrobustechneik sind längere Lieferzeiten für Fahrzeuge und Infrastruktur im Vergleich zum heutigen Dieselbetrieb zu beachten. Die Lieferzeiten betragen bei Batterie- und Brennstoffzellenbussen etwa 9–15 Monate, bei Dieselnussen rund 8–12 Monate.

- › Das SaubFahrzeugBeschG eröffnet den Ländern die Möglichkeit, Vereinbarungen mit den Branchenverbänden entweder auf Landesebene oder länderübergreifend zu treffen.
- › Das Land Baden-Württemberg tritt der im Juli 2023 abgeschlossenen Branchenvereinbarung zur Umsetzung des Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungs-Gesetzes im Busbereich bei (§ 6 Abs. 3 LMG). Diese bundesweite Branchenvereinbarung gilt für die Beschaffung sauberer und emissionsfreier Busse im ÖPNV. Mit der Branchenvereinbarung können Gebiete, in denen die CVD-Quote übererfüllt wird, mit anderen Gebieten, in denen die CVD-Quoten nicht erfüllt werden, verrechnet werden.

Analyse einer Vollumstellung auf emissionsfreie Antriebe

- › Eine 100 %-ige Umstellung des ÖPNV im Rhein-Neckar-Kreis ist sowohl auf Batterie- (Depotladung) als auch auf Brennstoffzellentechnik technisch gut möglich. Eine Vollumstellung auf die Brennstoffzellentechnik führt in den untersuchten Linienbündeln nicht zu einer Erhöhung der Fahrzeugflotte, wohingegen beim Einsatz von E-Bussen mit Depotladung je nach Größe des untersuchten Linienbündels bei einer Vollumstellung Zusatzbusse einschließlich des zusätzlichen Fahrpersonals notwendig sind. Die Wirtschaftlichkeitsberechnung zeigt, dass beide Technologien mit ähnlichen Mehrkosten verbunden sind.
- › Eine 100%-ige Umstellung auf Gelegenheitsladung ist aus technischer und wirtschaftlicher Sicht nicht empfehlenswert. Eine Elektrifizierung durch Gelegenheitsladung erfordert zudem den Aufbau von mehr als 40 Ladestationen an Knotenpunkten und Haltestellen des Rhein-Neckar-Kreises und ist daher allein aus wirtschaftlicher Sicht nicht zu empfehlen.

- › Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zeigen, dass Flotten mit höherer Fahrleistung besonders von der Brennstoffzellentechnologie profitieren, da im Vergleich zur Batteriebusstechnologie keine Zusatzbusse benötigt werden. Für Flotten mit geringer Fahrleistung, die ohne oder mit nur wenigen Zusatzbussen auskommen, stellt die Batteriebusstechnologie (Depotlader) hingegen eine wirtschaftlich sinnvolle Lösung dar. Eine 100%-ige Umstellung auf Batterietechnik mit Depotladung erfordert aufgrund der Fahrleistungen und Umläufen in den untersuchten Linienbündel den Einsatz von bis zu 8 Zusatzbussen je Linienbündel und somit auch zusätzliches Personal. Einzig im Linienbündel Ladenburg-Schriesheim könnte auf Grundlage des Status-Quo-Fahrplans eine Umstellung der gesamten Fahrzeugflotte auf Elektroantrieb mit Depotladung ohne zusätzliche Fahrzeuge erfolgen.
- › Die Mehrkosten (incl. Kosten für die Bereitstellung der Infrastruktur) der alternativen Antriebstechnologien im Vergleich zur Dieselsstechnik bewegen sich im Fall einer Vollumstellung (ohne Berücksichtigung von Fördermitteln und bei einer Konzessionsdauer von 10 Jahren) im Bereich von +20 % bis +56 %. Dabei weisen sowohl die Brennstoffzellentechnologie als auch die Depotladung im Durchschnitt über alle Linienbündel geringere Mehrkosten auf als die Gelegenheitsladung. Der Einsatz beider Technologien (Brennstoffzellentechnik und Depotladung) ist mit ähnlichen Mehrkosten verbunden.
- › Brennstoffzellenbusse können bei allen Linienbündeln den Dieselsbetrieb 1-zu-1 ersetzen. Eine öffentliche Wasserstoffinfrastruktur ist zum Teil vorhanden, nach aktuellem Stand allerdings nicht ausreichend für die Betankung der Gesamtflotte.

- › Eine 100 %-ige Umstellung auf Batterietechnik erfordert aufgrund der heutigen Fahrleistungen und Umläufe wie bereits ausgeführt den Einsatz von Zusatzbussen und somit auch von Zusatzpersonal. Die zukünftige Entwicklung der Batterietechnik wird den Bedarf an Zusatzbusse reduzieren, dies ist jedoch für die anstehenden Ausschreibungen in den nächsten Jahren noch nicht zu erwarten.

Analyse Teilumstellung und Einhaltung des SaubFahrzeugBeschG

- › Auch eine Teilumstellung ist sowohl auf Batterie (Depotladung) als auch auf die Brennstoffzellentechnik technisch und wirtschaftlich abbildbar.
- › Der Einsatz von E-Bussen mit Gelegenheitsladung kommt auch bei einer Teilumstellung aus wirtschaftlicher und technischer Sicht im Rhein-Neckar-Kreis nicht in Betracht.
- › Beim Einsatz von Batteriebussen mit Depotladung reduziert sich bei einer Teilumstellung der Flotte unter Einhaltung der CVD-Quoten der Bedarf an zusätzlichen Fahrzeugen.
- › Beim Einsatz von Brennstoffzellenbussen unter Einhaltung der CVD-Quoten werden weiterhin keine Zusatzbusse benötigt.
- › Die Kilometerkosten (inkl. der Kosten für die Infrastruktur) für die Depotladung und die Brennstoffzellentechnologie sind sehr vergleichbar. Insbesondere bei einer Konzessionslaufzeit von 10 Jahren unterscheiden sich die Kosten kaum.
- › Bei einer Konzessionsdauer von 15 Jahren ist allerdings die Brennstoffzellentechnologie aufgrund der höheren

Instandhaltungskosten der Depotladung (häufigerer Batteriewechsel im Vergleich zum Austausch eines Brennstoffzellenmoduls) geringfügig (ca. 1,5 %) günstiger als Depotladung.

- › Da nicht absehbar ist, welche Antriebsart sich tatsächlich am Markt durchsetzen wird, sollte bei künftigen Ausschreibungen, wie bereits dargelegt, in jedem Fall ein technologieoffener Ansatz verfolgt werden.

A. Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	
AT	Aufgabenträger
BEV	Battery Electric Vehicle
BetrSichV	Betriebssicherheitsverordnung
BZ	Brennstoffzelle
BZ-Bus	Brennstoffzellen-Bus
BZ-Solobus	Brennstoffzellen-Solobus
BZ-Technologie	Brennstoffzellen-Technologie
BMDV	Bundesministerium für Digitales und Verkehr
CVD	Clean Vehicles Directive
CNG	Compressed Natural Gas
DL	Depotladung
E-Bus	Elektrobus
E-Bus-Flotte	Elektrobus-Flotte
E-Motor	Elektromotor
EU	Europäische Union
GWB	Gesetz gegen Wettbewerbsbeschränkungen
HVO	Hydrotreated Vegetable Oil
kg	Kilogramm
km	Kilometer
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunden
CO₂	Kohlenstoffdioxid
KBA	Kraftfahrtbundesamt
Kfz	Kraftfahrzeug

Abkürzung	
Lkw	Lastkraftwagen
LB	Linienbündel
LNG	Liquefied natural gas
LPG	Liquefied Petroleum Gas
l	Liter
MVA	Megavoltampere
m	Meter
Mio. €	Millionen Euro
Min.	Minute
O-Busse	Oberleitungsbusse
ÖPNV	Öffentliche Personennahverkehr
ÖPNV-Bussen	Öffentliche Personennahverkehr-Busse
PKW	Personenkraftwagen
RNK	Rhein-Neckar-Kreis
SaubFahrzeugBeschG	Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungs-Gesetz
T€	Tausend Euro
t	Tonne
TCO	Total-Cost-of-Ownership
THG-Quotenhandel	Treibhausgas-Quotenhandel
VU	Verkehrsunternehmen
VRN	Verkehrsverbund Rhein-Neckar
H2	Wasserstoff
H₂-Preis	Wasserstoffpreis
H2-Tankstelle	Wasserstoff-Tankstelle