

DER NAHVERKEHR

Öffentlicher Personenverkehr in Stadt und Region

**Jetzt 25%
Messerabatt
sichern!**

eurailpress.de/railway-forum21

Betrieb & Infrastruktur

Einsatz von E-Fahrzeugen
in On-Demand-Verkehren

Verkehrsplanung & Organisation

Eine Steigerung des
öV-Anteils ist machbar

Technik & Umwelt

Stadtbusse einfach
sauber machen

Finanzen & Recht

Klimaschutz im
neuen PBefG

Kunden & Marketing

Gutes Angebot gegen
den Fahrgastrückgang

Klimaschutz

Emissionen senken und vermeiden



Komplettservice in bewährter Qualität

Maschinenbetreiber legen Wert auf höchste Verfügbarkeit ihrer Maschinen, um sie so wirtschaftlich wie möglich einzusetzen. Mit dem Komplettangebot unseres Instandhaltungswerks können wir die Betreiber dabei tatkräftig unterstützen. Die Palette reicht von Wartungen, Reparaturen, Revisionen und Überholungen bis zu Nachrüstungen, Umbauten und Modernisierungen kompletter Maschinen oder einzelner Bauteile. Dies alles mit direktem Zugang zum Hersteller, so dass wir unsere Dienstleistungen in Herstellerqualität ausführen können.

Und sollte bei Ihnen einmal der Platz zu eng werden, sprechen Sie uns an: wir finden eine Lösung!

INSTANDHALTUNGSWERK LEVERKUSEN-OPLADEN

Tel.: +49 2171 394 933-0

E-Mail: info@deutsche-plasser.de

Klimaschutz im neuen PBefG



Wir – wenn ich die ÖPNV-Branche mal so zusammenfassen darf – bieten Bürgern Umstiegsmöglichkeiten zu einer Mobilität, die deutlich klimafreundlicher und nachhaltiger ist als andere motorisierte Verkehrsformen. Im Personenbeförderungsgesetz war davon nie etwas zu lesen. Lediglich bei der Planfeststellung von Straßenbahnen spielt die Umweltverträglichkeit eine Rolle. Ab 2013 sollte der Aufgabenträger immerhin auch die *Umweltqualität* des Verkehrsangebots im Nahverkehrsplan regeln.

Mit der PBefG-Novelle 2021 ist jetzt ganz vorn mit dem neuen § 1a ein neuer Leitsatz eingeführt worden: *Bei Anwendung dieses Gesetzes sind die Ziele des Klimaschutzes und der Nachhaltigkeit zu berücksichtigen.* Diese Neuregelung klingt erst einmal einfach, aber auch sehr abstrakt. Doch was folgt daraus?

Das Gesetz erwähnt die beiden Begriffe an mehreren weiteren Stellen und nennt konkretere Pflichten: Der Auftrag an die Aufgabenträger wurde erweitert. Die *ausreichende Verkehrsbedien*ung, in früheren Zeiten ein heiß umstrittener Begriff, soll nunmehr den Grundsätzen des Klimaschutzes und der Nachhaltigkeit entsprechen. Auch die Genehmigungsbehörde muss Klimaschutz und Nachhaltigkeit berücksichtigen, wenn sie zum Beispiel das öffentliche Verkehrsinteresse beurteilt oder Ermessensentscheidungen trifft. Überraschend ist übrigens, dass die Genehmigungsbehörde zusätzlich noch die Gleichwertigkeit der Lebensverhältnisse zu berücksichtigen hat; wie Letzteres imungsverfahren über eine einzelne Liniengenehmigung oder auch ein Linienbündel funktionieren soll, erscheint nicht so ganz klar.

Für die Verkehrsunternehmen bedeutet all das auch weiterhin eine doppelte Aufgabe. Sie müssen erstens durch ihr umfassendes Angebot dafür sorgen, dass die Bürger Möglichkeiten haben, auf das eigene Auto zu verzichten. Zweitens

muss auch das Verkehrsangebot im ÖPNV selbst möglichst klimafreundlich und nachhaltig erbracht werden. Beide – in Teilen widerstreitende – Anforderungen müssen in der Praxis im Rahmen der tatsächlichen wirtschaftlichen Möglichkeiten erreicht werden.

Kern der PBefG-Novelle war die Neuregelung zum On-Demand-Verkehr. Dort tauchen Klimaschutz und Nachhaltigkeit erstaunlicherweise zunächst beim Monitoring auf, mit dem der Aufgabenträger die Auswirkungen des gebündelten Bedarfsverkehrs untersuchen muss. Der Begriff der Verkehrseffizienz, der neu ins Gesetz gekommen ist, muss aber sicherlich auch im Lichte der beiden Aspekte ausgelegt werden. Auf den Linienbedarfsverkehr wirken die beiden Begriffe über den bereits erwähnten Auftrag an den Aufgabenträger.

Die Neuregelung im PBefG hat sicherlich keine so revolutionäre Wirkung wie das viel diskutierte Urteil des Bundesverfassungsgerichts zum Klimaschutz vom März 2021. Sie ist aber mehr als nur eine bloße Bestätigung, dass ÖPNV Teil des Klimaschutzes ist. Aus der verkehrsplanerischen Erkenntnis ist eine gesetzliche Forderung geworden.

Welche praktischen Folgen die Rechtsänderung mittelfristig haben wird, könnte uns auch die Bundesregierung beantworten, denn sie hat 2026 einen Bericht abzuliefern: *zu den mit der Einführung der neuen Verkehrsformen verfolgten Zielen und deren Auswirkungen auf Klimaschutz und Nachhaltigkeit.*

Martin Schäfer

RA Martin Schäfer ist Fachbereichsleiter Personenbeförderungsrecht des Verbands Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV)

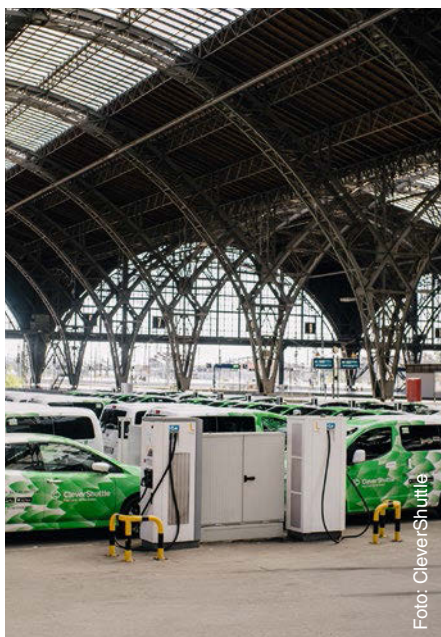


Foto: CleverShuttle



Foto: Stadler Deutschland GmbH



Foto: HJS

BETRIEB & INFRASTRUKTUR

- 20 Einsatz von E-Fahrzeugen in On-Demand-Verkehren**
Bedarfsgerechte Konzeption von Ladeinfrastruktur und effizientes Lademanagement von Elektro-Flotten
Konstantin Lehrmann
- 47 Entwicklung der Schienenfahrzeuge: Ideen, Hersteller, Vielfalt**
Der Markt für Stadt-, Straßen- und Regionalbahnfahrzeuge ist in Bewegung
Achim Uhlenhut
- 61 Mobilität heute gestalten: digital, 3D und partizipativ**
Digitale Beteiligung in 3D: Ein Verkehrsunternehmen setzt die neue Beteiligungsplattform U_Code im Planungsprozess zum Ausbau einer bestehenden Stadtbahnlinie ein
Henning Schulze

VERKEHRSPLANUNG & ORGANISATION

- 6 Dekarbonisierung des SPNV in Schleswig-Holstein**
Technologieoffene Vergabe von Triebzügen mit klimaneutralen Antrieben
Norbert Klein
Ruth Niehaus
Harald Schiller
Burkhard Schulze
- 40 Werkstattorganisation der Zukunft ist effizient**
Planung von Personal und Instandhaltungsaufgaben dank digitaler Assistenten
Gritt Hannusch
- 54 Eine Steigerung des öV-Anteils ist machbar**
Eine Studie des Verbandes öffentlicher Verkehr (VöV) der Schweiz zeigt auf, wie der öV-Anteil am Gesamtverkehr gesteigert werden kann
Ueli Stückelberger
Philipp Gasser

Sie finden DER NAHVERKEHR mit bibliographischem Archiv und aktuellen Terminen unter:
<http://www.busundbahn.de/archiv/der-nahverkehr.html>

TECHNIK & UMWELT

- 13 Stadtbusse einfach sauber machen**
Diesel-Nachrüstung ermöglicht sauberere Luft sofort
Axel Middendorf
- 17 Thermomanagement für die nächste Generation E-Bus**
Feldtests belegen, wie hochwirksam alternative Kältemittel sein können
Stefan Faust | René Schmerer
- 25 Ökologische Bewertung von E-Bussen in Deutschland**
Ergebnisse aus der Begleitforschung Innovative Antriebe im straßengebundenen ÖPNV
Michael Faltenbacher
Alexander Stoffregen
- 33 E-Mobilität ist nur mit effektiver Kühlung möglich**
Kühlösungen sichern Leistungsfähigkeit und Langlebigkeit von E-Fahrzeugen
Bastian Thiel
- 43 Digitalisierung in der Instandhaltung durch die Fahrwerksdiagnose**
Instandhaltungskosten reduzieren und Sicherheitsniveau beibehalten durch intelligentes Fahrwerksdiagnose-System
Martin Rosenberger
Thomas Moshhammer



EDITORIAL

Liebe Leserinnen und Leser,

der Klimaschutz ist eins der wichtigsten Themen unserer Zeit. Damit die Klimaziele erreicht werden können, müssen alle an einem Strang ziehen. In der PBefG-Novelle ist an vorderster Stelle ein neuer Leitsatz zum Klimaschutz eingeführt worden. Dieser wird kommentiert von Rechtsanwalt Martin Schäfer vom Verband Deutscher Verkehrsunternehmen und zeigt die Dringlichkeit dieses Themas.

Über viele Wege kann eine Reduzierung beziehungsweise Vermeidung von Emissionen geschehen: Wie Dieselbusse mit einer einfachen und schnellen Lösung „sauber gemacht“ werden können, zeigt Axel Middendorf auf und in einem weiteren Beitrag schildern Norbert Klein, Ruth Niehaus, Harald Schiller sowie Burkhard Schulze, wie Schleswig-Holsteins SPNV mittels Akkutriebzügen statt Diesel-Triebzügen dekarbonisiert wird.

Weitere Themenschwerpunkte dieses Heftes sind die Wartung und Instandhaltung sowie die Schienenfahrzeugentwicklung. Martin Rosenberger und Thomas Moshhammer wenden sich der Digitalisierung in der Instandhaltung durch die Fahrwerksdiagnose zu. Hierdurch können Kosten reduziert und das Sicherheitsniveau gehalten werden. Achim Uhlenhut fasst zusammen, was sich auf dem Markt der Schienenfahrzeuge tut. Hier geht es auch wieder um den Klimaschutz: Batterie- und Brennstoffzellenzüge sind im Kommen.

Ein weiteres wichtiges Thema wird von Ueli Stükelberger und Philipp Gasser beleuchtet. Es handelt sich um eine Studie des Verbandes öffentlicher Verkehr (VöV) der Schweiz, in der veranschaulicht wird, wie der Anteil des öffentlichen Verkehrs am Gesamtverkehr in der Schweiz gesteigert werden kann.

Ihnen wünsche ich eine anregende Lektüre – und bleiben Sie gesund.

Ihre

K. Rohloff
Kirsten Rohloff



FINANZEN & RECHT

- 3 Klimaschutz im neuen PBefG**
Martin Schäfer

- 36 Asset Management bei der KVG**
Grundlage für erfolgreiches Wirtschaften
Michael Maxelon
Oliver Andreas Erdmann
Matthias Niederprüm

MARKTPLATZ

- 64 Fahrgäste schnell und präzise informieren mit NetroCMS**

KUNDEN & MARKETING

- 58 Gutes Angebot gegen den Fahrgastrückgang**
Kann die Rückkehr der Fahrgäste gelingen?
Horst Schauerte

STANDARDS

- 65 Termine + Veranstaltungen Vorschau**
66 Impressum Fachbeirat Inserenten

DER NAHVERKEHR ist offizielles Organ des

VDV Die Verkehrsunternehmen

Titelbild:

Straßenbahnprojekt in Qatar:
E-Straßenbahnen ohne Oberleitung tragen ihren Teil zum Klimaschutz bei.

Foto: technotrans



Abb. 1: Grafik-Design-Entwurf Stadler Flirt3Akku im NAH.SH-Design.

Abb.: Stadler Deutschland GmbH

Dekarbonisierung des SPNV in Schleswig-Holstein

Technologieoffene Vergabe von Triebzügen mit klimaneutralen Antrieben

Dipl.-Ing. Norbert Klein, Hildesheim; Dipl.-Ing. (FH) Ruth Niehaus, Kiel;
Dipl.-Ing. Harald Schiller, Berlin; Dipl.-Ing. Burkhard Schulze, Kiel

Mit der Vergabe von Verkehrsleistungen im Akkunetz Schleswig-Holstein hat im Juli 2021 ein langjähriger Prozess seinen vorläufigen Abschluss gefunden, der die Dekarbonisierung des Schienenpersonennahverkehrs (SPNV) im nördlichsten Bundesland einen entscheidenden Schritt voranbringen wird. Die Vergabe hat richtungsweisende Erkenntnisse zur Einsetzbarkeit und Wirtschaftlichkeit von Triebzügen mit alternativen Antrieben erbracht.

Bereits 2015 hatte die NAH.SH erste Überlegungen zum Abschied vom herkömmlichen Fahrzeugmaterial angestellt, um den SPNV noch umweltfreundlicher zu machen. Als Ergebnis eines komplexen, technologieoffenen Verfahrens

wurden 2019 schließlich 55 Flirt3Akku bei Stadler Pankow [1] bestellt, die derzeit gebaut und ab 2022 schrittweise in Schleswig-Holstein und Niedersachsen in Betrieb gehen. Der Artikel beschreibt den Weg dorthin und dabei insbesondere den Ansatz einer technologieoffenen Ausschreibung zur Fahrzeugbeschaffung mit alternativen Antrieben. Als Fazit wird eine Einschätzung geliefert, welche Konsequenzen sich aus dieser Vergabe für die Umstellung auf alternative Antriebe im SPNV ergeben.

Das Land Schleswig-Holstein hat am 1. Juli 2019 nach einer technologieoffenen Ausschreibung Stadler den Zuschlag über den Kauf von 55 batterieelektrischen Triebzügen (Battery Electric Multiple Unit – BEMU) erteilt. Die Lieferung ist schrittwei-

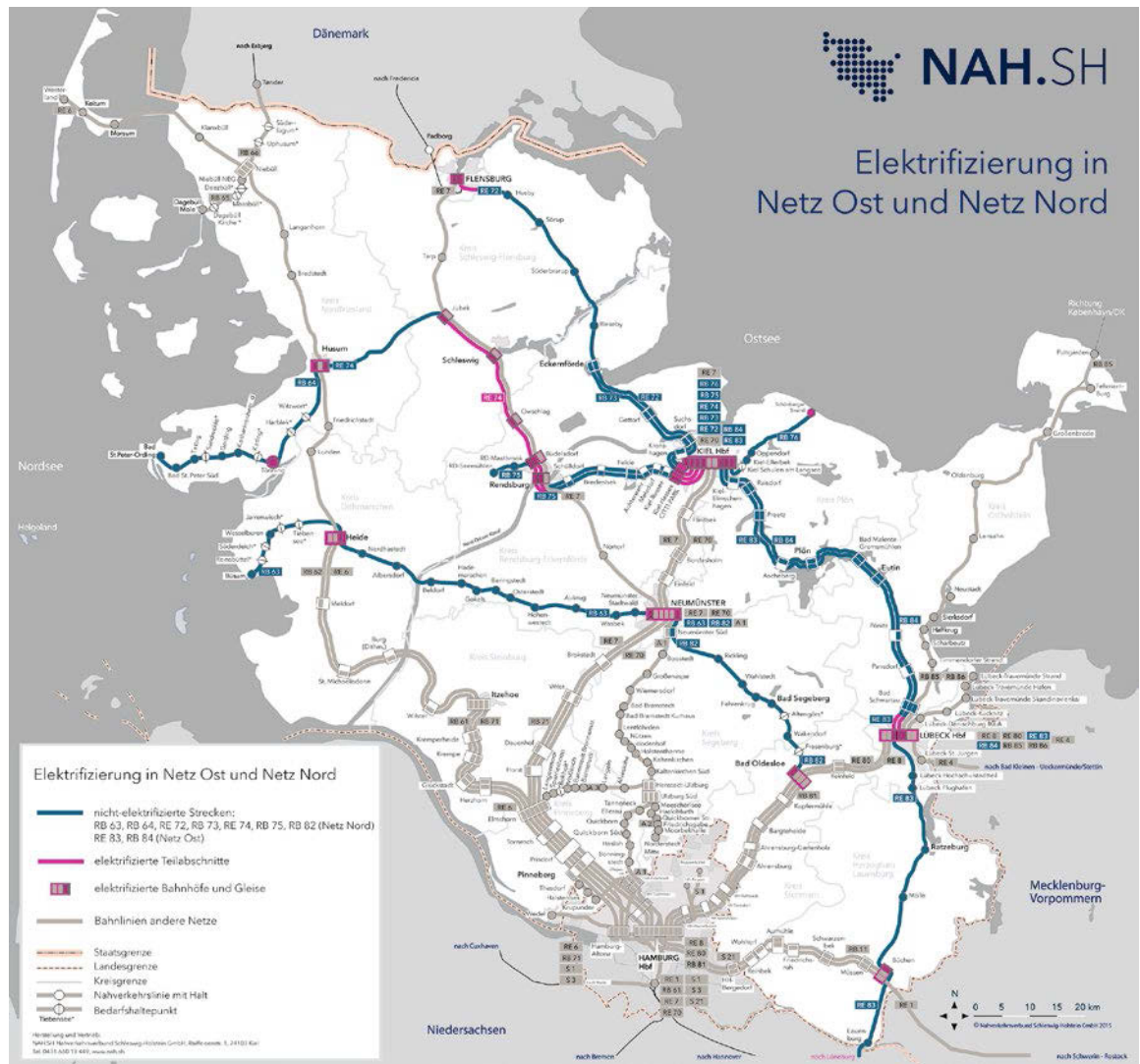
se ab November 2022 vereinbart. Zugleich wurde Stadler mit der Instandhaltung der Triebzüge bis zum Jahr 2052 sowie der Errichtung und dem Betrieb von Ladestationen für die Triebzüge beauftragt.

Die Triebzüge ersetzen die bisherigen Diesel-Triebzüge in mehreren Netzen in Schleswig-Holstein und auf einer nach Niedersachsen führenden Strecke (Abb. 2). Unter Einsatz von elektrischer Energie aus erneuerbaren Energien (Ökostrom) ermöglichen sie einen klimaneutralen SPNV.

Die Vergabe lief unter dem Titel XMU. MU stand dabei für Multiple Unit – also einen Triebzug. Das X davor sollte symbolisieren, dass die Antriebsform nicht festgelegt ist und es sich um eine technologieoffene Vergabe handelt.

Abb. 2: Streckennetz-
karte mit vorhan-
denen und neuen
Elektrifizierungen.

Grafik: NAH.SH GmbH



Die Durchführung des Vergabeverfahrens erfolgte im Auftrag des Landes durch die NAH.SH. Diese wurde von Brock Müller Ziegenbein Rechtsanwälte Partnerschaft mbB, KCW GmbH und Team Zugpool (Dr. Bitterberg & Partner – Beratende Ingenieure PartG mbB) beraten.

Fahrzeugbeschaffung durch den Aufgabenträger

Die ersten Überlegungen für die Vergabe erfolgten im Jahr 2015. Für die Neuausschreibung der SPNV-Leistungen auf den sogenannten Netzen Ost und Nord des Landes Schleswig-Holstein sollten neue Triebzüge eingesetzt werden. Ein wichtiges Ziel der Beschaffung neuer Triebzüge war die Senkung der Klimagasemissionen gegenüber den bisher eingesetzten Dieseltriebzügen. Dies schien mit Blick auf die erwartete Einsatzdauer der Fahrzeuge in Schleswig-Holstein von etwa 30 Jahren und die geltenden Klimaziele dringend geboten.

Triebzüge mit alternativen, klimafreundlicheren Antrieben waren zum damaligen Zeitpunkt am Markt nicht verfügbar. Alstom entwickelte zu diesem Zeitpunkt gerade mit dem iLint einen mit Wasserstoff betriebenen Brennstoffzellen-Triebzug. Es zeichnete sich zudem ab, dass weitere Hersteller andere Technologien anbieten würden. Bei frühzeitiger Festlegung auf eine Technologie hätte es möglicherweise nur einen Anbieter für die Ausschreibung und damit keinen Wettbewerb gegeben.

Durch eine gebündelte Beschaffung der Triebzüge über mehrere Netze wurde mit circa 50 Triebzügen eine Stückzahl erreicht, die den Aufwand der Hersteller für eine erforderliche Neuentwicklung rechtfertigte. Gleichzeitig sollte mit der Ausschreibung einer solch großen Fahrzeuganzahl eine hohe Wettbewerbsintensität sowie günstige Preise für das Land erreicht werden.

Da das Land aus Wettbewerbsgründen die Zusammenfassung der Netze zu einer SPNV-Vergabe vermeiden wollte, kam für die gebündelte Fahrzeugbeschaffung nur eine Vergabe durch das Land in Frage. Hierfür sprach zudem, dass eine Beschaffung von neuen innovativen Triebzügen im Rahmen einer „klassischen“ SPNV-Vergabe im Verhältnis Aufgabenträger/Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) praktisch kaum umsetzbar gewesen wäre, da dann die Anforderungen mit den Herstellern hätten verhandelt werden müssen.

In gesonderten Vergaben wurde, die Finanzierung der Triebzüge und die Bereitstellung von gebrauchten Diesel-Triebzügen während der Auslieferungsphase der Akku-Triebzüge (der sogenannten Transferflotte) erfolgreich ausgeschrieben.

Vergabegegenstand

Die Triebzüge konnten entweder mit mindes-



Zum Autor

Dipl.-Ing. Norbert Klein ist Partner bei Dr. Bitterberg & Partner – Beratende Ingenieure PartG mbB – und berät Aufgabenträger insbesondere zu technischen Belangen bei der Beschaffung von Schienenfahrzeugen. Für die Bochumer Verein Verkehrstechnik GmbH war er acht Jahre als Geschäftsführer tätig und hat davor zwölf Jahre in verschiedenen Positionen bei Alstom in der Fahrzeugentwicklung gearbeitet.



Zur Autorin

Dipl.-Ing. (FH) Ruth Niehaus arbeitet als Projektleiterin bei der NAH.SH GmbH im Bereich Verkehrswirtschaft und betreut in ihrer Funktion als Projektleiterin insbesondere die Beschaffung und den Einsatz der Akku-Triebzüge. Für die Binz Hoch3 GmbH hat sie viele Jahre innovative Projekte im Bereich der Produktentwicklung geleitet.



Zum Autor

Dipl.-Ing. Harald Schiller berät seit 17 Jahren ÖPNV-Aufgabenträger, in den letzten Jahren mit dem Schwerpunkt SPNV-Vergaben. Für das Projekt zur Dekarbonisierung des SPNV in Schleswig-Holstein konnte er auf seine Kenntnisse aus seinen Forschungsvorhaben am IFEU-Institut Heidelberg zurückgreifen. Er war zudem vier Jahre bei der NASA GmbH und ebenso lange als Referatsleiter im Verkehrsministerium Sachsen-Anhalts tätig. Schiller ist freiberuflich, im XMU-Projekt im Unterauftrag der KCW GmbH Berlin, tätig.



Zum Autor

Dipl.-Ing. Burkhard Schulze arbeitet seit 2002 bei der NAH.SH (beziehungsweise der früheren LVS). Seit 2010 leitet er den Bereich Verkehrswirtschaft mit den Arbeitsschwerpunkten Vergabe von SPNV-Leistungen sowie Vertrags- und Qualitätsmanagement. Er war zuvor zwei Jahre bei der NASA GmbH in Magdeburg tätig, bei der er sich mit Ausbau und Erneuerung von Bahnstationen befasste.

tens 115 oder mit mindestens 150 Sitzplätzen angeboten werden. Bei den kleineren Fahrzeugen waren mindestens 52 Triebzüge zu liefern, bei den größeren mindestens 47 Triebzüge. Die Werte ergaben sich aus dem angestrebten Fahrplan und den Soll-Kapazitäten für die einzelnen Fahrten. Einkalkuliert waren zudem Triebzüge als Betriebs- und Werkstattreserven. Soweit die Bieter ihre Instandhaltungsprogramme oder für die Bepankung beziehungsweise Nachladung von elektrischer Energie zusätzliche Fahrzeuge benötigten, hatten diese entsprechend mehr Fahrzeuge zu liefern [2].

Mit den Triebzügen waren von den Bietern zugleich auch deren Instandhaltung sowie der Bau und Betrieb bezüglich erforderlicher Ladeinfrastruktur, zum Beispiel Aufbau von Wasserstofftankstellen oder

Ergänzungen von Oberleitungen, über 30 Jahre anzubieten. Hinsichtlich der Klimaziele wurde gefordert, dass mindestens 50 Prozent der Endenergie aus erneuerbarer elektrischer Energie stammt. Zudem mussten die Fahrzeuge energiesparender und emissionsärmer als herkömmliche Diesel-Triebzüge sein und über einen elektrischen Antriebsstrang zur Rekuperation der Bremsenergie verfügen.

Technologisch wurden auf Seiten der Bieter – soweit bekannt – folgende Konzepte erwogen:

- Brennstoffzellen-Triebzüge mit Wasserstoff als Energieträger und mit elektrischem Speicher,
- Akku-Triebzüge mit verschiedenen Varianten der Energiezuführung,

- Diesel-Triebzüge mit Verwendung von synthetischem Diesel (Power-to-Liquid – PTL) und elektrischem Speicher sowie
- Hybrid-Varianten (zum Beispiel Diesel-Triebzug mit Akkus und Nachladung über Oberleitung).

Obgleich ein solches Konzept zulässig gewesen wäre, wurden in den Verhandlungen keine Lösungen mit kleineren ergänzenden Verbrennungsaggregaten vorgeschlagen. Denkbar gewesen wäre zum Beispiel ein Akku-Triebzug mit einem kraftstoffbetriebenen Zusatzaggregat, welches die Energiebedarfsspitzen der Heizungs- und der Klimaanlage übernimmt.

Wertung bei der technologieoffenen Vergabe

Wertung im Überblick

Da die NAH.SH die Leistungsfähigkeit bestimmter Technologien, zum Beispiel hinsichtlich Reichweite und Antriebsleistung der Triebzüge, sowie die Kosten der verschiedenen Konzepte nicht einschätzen konnte, erfolgte eine technologieoffene Vergabe.

Die Herausforderung bestand darin, inhaltlich sehr unterschiedliche Angebote vergleichbar zu bewerten. Für die XMU-Vergabe wurden entsprechend den Vorgaben der Vergabeverordnung die Lebenszykluskosten bewertet. Dabei erfolgte eine Betrachtung der Kosten, die dem Land voraussichtlich entstehen können. Etwaige Förderungen und Subventionen, beispielsweise über das Energiewirtschaftsgesetz, konnten die Bieter einkalkulieren. Hinzu kam eine Wertung etwaiger Emissionen sowie von Qualitätsunterschieden.

Bei den Lebenszykluskosten wurden insbesondere folgende Bereiche betrachtet:

- Kaufpreis der Triebzüge,
- Finanzierungskosten für den Kaufpreis,
- Instandhaltungskosten,
- Energiekosten und
- Aufwand zur Überführung der Triebzüge zur Werkstatt im laufenden Betrieb.

Der Kaufpreis der Triebzüge ergab sich schlicht aus dem Angebot. Die Finanzierungskosten waren recht einfach über eine Schätzung des Finanzierungszinses und der Finanzierungsnebenkosten abbildbar.

Bei den Instandhaltungskosten war zunächst abzugrenzen, welche Instandhaltungsleistungen der Hersteller zu erbringen

gen hat und welche das EVU. Die NAH.SH hat sich – grob vereinfacht – entschieden, anders als etwa der Verkehrsverbund Rhein-Ruhr (VRR) beim RRX-Modell, das EVU für Schäden aus dem Bahnbetrieb und Vandalismus wirtschaftlich verantwortlich zu machen und den Hersteller für alle übrigen Instandhaltungsarbeiten. Der Hersteller hatte in seinem Angebot neben dem Preis für die eigenen Instandhaltungsarbeiten Preise für die Beseitigung der vom EVU zu tragenden Schäden anzugeben. Diese Preise gingen in die Wertung ein.

Als Herausforderung erwies sich die Wertung der Energiekosten. Daher soll hierauf näher eingegangen werden. Als Energieträger wurden im SPNV (neben Kohle auf touristischen Strecken) bislang ausschließlich Diesel und auf Strecken mit Fahrleistungen elektrische Energie eingesetzt. Die Infrastrukturen hierfür sind vorhanden, die Kosten sind – mit allen Unwägbarkeiten – grundsätzlich kalkulierbar.

Innovative Antriebskonzepte können dagegen auf neue Energieträger (wie etwa Wasserstoff, PTL) zurückgreifen und neue oder zusätzliche Energieversorgungssysteme benötigen (zum Beispiel Wasserstofftankstellen, Wasserstofftransportsysteme, Elektrolyseanlagen zur Erzeugung von Wasserstoff oder PTL, zusätzliche Fahrstromversorgungsanlagen zum Nachladen von Akkus). Die Bieter waren in der Wahl des Energieträgers frei. Somit konnten der Vergabestelle die Eigenschaften und Kosten für die neuartigen Energieträger sowie die Art und Bedarf an zusätzlichen Energieversorgungssystemen der Vergabestelle nicht bekannt sein. Dieses galt auch für Wasserstoff, dessen Preis zum einen von der benötigten Reinheit abhängt, maßgeblich aber auch von der Herstellungsmethode, dem Herstellungsort und – aufgrund des hohen Transportaufwandes bei Wasserstoff – von der Entfernung zwischen Herstellungsort und Tankstelle.

Daher wurden bei Einsatz der bestehenden – grundsätzlich kalkulierbaren – Energieträger Bahnstrom und Diesel die Energiekosten mit einem im Preisblatt vom Auftraggeber festgelegten Kostensatz gewertet. Soweit die Bieter jedoch andere Energieträger und/oder Energieversorgungssysteme für ihr Konzept vorsehen, waren sie verpflichtet, diese für 30 Jahre mit anzubieten.

Von diesem Grundsatz wurde dann aufgrund der Verhandlungen in zwei Aspekten abgewichen:

- Da die DB Netz AG nicht bereit war, den Bietern die Errichtung von Oberleitungen über Gleisen der DB Netz AG zu gestatten, hat die Vergabestelle bei den Bietern abgefragt, welche zusätzlichen Oberleitungen im Streckennetz der DB Netz AG für ihre Konzepte erforderlich wären und für diese Anlagen bei der DB Netz AG und der DB Energie GmbH eine Kostenschätzung eingeholt [3]. Die Beauftragung erfolgte dann bei Bedarf durch das Land. Die Bieter mussten im Preisblatt aus einer Liste von Anlagen auswählen, welche sie für ihr Konzept benötigten. Die Bieter erhielten für die ausgewählten Anlagen einen Wertungsaufschlag, der die Kosten der Anlagen sowie die vom Land übernommenen Risiken berücksichtigte.
- Bei Wasserstoff wurde im Vertrag eine beiderseitige Option eingebaut, die Versorgung nach 20 Jahren zu kündigen. Hierdurch sollten die Preisentwicklungsriskien der Herstellung von Wasserstoff für die Bieter reduziert werden. Nach dem Energiewirtschaftsgesetz ist die für die Elektrolyse verwendete elektrische Energie für 20 Jahre von den Netzentgelten befreit.

Wertung Energiekosten

Für die Wertung des Energiebedarfs hatten die Bieter anzugeben, welchen oder welche Endenergieträger für den Betrieb der Triebzüge eingesetzt werden. Bei mehreren Endenergieträgern (zum Beispiel elektrische Energie und Diesel) waren die Anteile zu benennen. Entsprechend der von den Bietern in den Vorgesprächen benannten Technologien standen im Preisblatt elektrische Energie, Diesel und Wasserstoff zur Auswahl.

Die Bieter hatten für jede Linie den Energiebedarf bei verschiedenen definierten Fahrzyklen anzugeben. Über das geplante Leistungsvolumen wurde aus diesen Angaben der mit dem Konzept verbundene Endenergiebedarf ermittelt.

Für die Endenergieträger elektrische Energie und Diesel wurde der Endenergiebedarf mit vom Aufgabenträger erwarteten Energiepreisen bewertet. Bei Wahl des Endenergieträgers Wasserstoff hatten die Bieter einen verbindlichen Preis für den Wasserstoff anzugeben; mit diesem wurde der Endenergiebedarf für die Wertung multipliziert.

Wertung Emissionen

Wie oben dargestellt, war vorgegeben, dass mindestens 50 Prozent der Endenergie aus

elektrischer Energie aus erneuerbaren Quellen stammen müssen. Soweit teilweise Energie aus anderen Quellen eingesetzt werden sollte, erhielt das Angebot einen Wertungsaufschlag. Bei Einsatz von herkömmlichem Diesel wurde unterstellt, dass der gesamte Kohlenstoffgehalt des Diesels zu CO_2 oxidiert und die Triebzüge genau die nach EU-Richtlinie 2004/26/EG maximal zulässigen Schadstoffmengen emittieren. Bei Einsatz von Wasserstoff konnten die Bieter wählen, welcher Anteil des Wasserstoffs oberhalb der Mindestvorgabe von 50 Prozent aus elektrischer Energie aus erneuerbaren Quellen stammt. Für den verbleibenden Anteil wurden die CO_2 -Emissionen unterstellt, die sich bei Erzeugung per Erdgasraffination ergeben. Als Datengrundlage fanden die GEMIS-Faktoren [4] Verwendung.

Die Wertungsaufschläge für die Emissionen erfolgten in Anlehnung an die Regelungen der Vergabeverordnung für Emissionskosten im Straßenverkehr. In Summe wurden die Emissionen bei Einsatz von herkömmlichem Diesel mit 0,32 Euro/l Diesel und bei Wasserstoff, der nicht aus erneuerbaren Energien stammt, mit rund 0,66 Euro/kg grauem Wasserstoff bewertet.

Wertung Ladeinfrastruktur

Soweit das Konzept der Bieter Errichtung und Betrieb von Ladeinfrastruktur beinhaltete (zum Beispiel Wasserstofftankstellen, Nachlademöglichkeiten für elektrische Energie), hatten die Bieter hierfür die Preise zu benennen. Dieser konnte sich aus einem Fixpreis und einem energiemengenabhängigen Preis zusammensetzen. Der energiemengenabhängige Preis wurde mit dem sich aus dem Angebot ergebenden Energiebedarf des Konzeptes multipliziert und ging zusammen mit dem Fixpreis für die Ladeinfrastruktur in den Wertungspreis ein.

Wertung Qualität

Die Bieter konnten im Rahmen der Mindestvorgaben bei mehr als 40 Qualitätskriterien Wertungsvorteile sammeln. Hier bestand beispielsweise die Möglichkeit, mehr Sitzplätze, größeren Sitzkomfort, über die Technischen Spezifikationen für die Interoperabilität (TSI) und die bereits hohen Mindestanforderungen hinausgehende Barrierefreiheit oder Fahrzeuge mit besseren fahrdynamischen Eigenschaften anzubieten. Bei der Werkstatt wurden bestimmte Ausstattungsmerkmale honoriert, die nach Einschätzung der Vergabestelle eine qualitativ hochwertige und

fristgerechte Instandhaltung unterstützen. Hiermit sollte eine hohe Fahrzeugverfügbarkeit und damit eine gute SPNV-Angebotsqualität erreicht werden.

Vorgehen im Verfahren

Um herauszufinden, welche technischen Möglichkeiten für klimaschonende Triebzüge bestehen, wurden nach einer entsprechenden Bekanntmachung in mehreren Runden Markterkundungsgespräche mit interessierten Herstellern sowie mit EVU geführt.

Die Vergabe erfolgte in der Verfahrensart einer Innovationspartnerschaft. Die Verfahrensregelungen entsprechen dabei im Kern dem Verhandlungsverfahren mit Teilnahmewettbewerb. Im Teilnahmewettbewerb hatten sich sechs Unternehmen beworben. Alle wurden zugelassen. Nach Abschluss des Teilnahmewettbewerbs wurden Vorgespräche mit den Bewerbern geführt und darin die Ausgestaltungsideen der Bewerber zur Umsetzung des Beschaffungsvorhabens sowie die Zeitplanung für die Beschaffung erörtert. Diese Vorgespräche waren erforderlich, um zu klären, welche Technologien für die Aufgabenstellung von den Bewerbern in Betracht gezogen werden. Erst auf dieser Basis erfolgte der Entwurf der Vergabeunterlagen und des Preisblatts. Anschließend wurden die Bewerber zu indikativen Angeboten aufgefordert. Vier Bewerber haben indikative Angebote abgegeben, die übrigen Bewerber zogen sich aus dem Vergabeverfahren zurück.

Im Rahmen ihrer indikativen Angebote hatten die Bieter die Möglichkeit, Änderungsvorschläge zu den Vergabeunterlagen zu unterbreiten, die mit Einsparpotenzialen verbunden sind. Mit Ausnahme der anfangs den Bietern bekannt gemachten Mindestanforderungen und Wertungskriterien waren Änderungsvorschläge zu allen Anforderungen möglich. Über die Änderungsvorschläge wurde sodann in mehreren Runden mit allen Bietern verhandelt. Zahlreiche Detailanforderungen wurden so angepasst, dass der vom Aufgabenträger angestrebte Zweck weiterhin erreicht wird, zugleich aber den Bewerbern überhaupt ein Angebot oder ein wirtschaftlicheres Angebot ermöglicht. Zwischen den Verhandlungsrunden informierte die Vergabestelle die Bieter, welche Schlussfolgerungen sie aus den bisherigen Verhandlungen gezogen hatte. Abschließend wurden die Bieter auf Basis der von der Vergabestelle überarbeiteten Vergabeunterlagen zu verbindlichen Angeboten aufgefordert [5].

Die Vergabestelle erhielt bei ihren Schlussfolgerungen aus den Vorgesprächen sowie aus den indikativen Angeboten und der ersten Verhandlungsrunde Unterstützung von einer Expertenkommission. Diese bestand aus

- Hendrik Axelsen, Lehrstuhl für Elektrochemische Energiewandlung und Speichersystemtechnik der RWTH Aachen;
- Prof. Dr.-Ing. Joachim Berg, Institut für Elektrische Maschinen und Antriebe, Hochschule Flensburg;
- Kai Daubertshäuser, Prokurist und Geschäftsbereichsleiter Vergabe-, Qualitäts- und Infrastrukturmanagement beim Rhein-Main-Verkehrsverbund;
- Heinrich Klingenberg, Geschäftsführer hySOLUTIONS GmbH Hamburg und
- Lars Mönch, Umweltbundesamt.

Des Weiteren wurden Anforderungen an die Barrierefreiheit der Züge in zwei Terminen mit Interessenvertretern diskutiert.

Der Aufwand für die Vorgespräche und die Verhandlungen war enorm. So fanden mit jedem der sechs Bewerber fünf etwa vier- bis sechsstündige Vorgespräche statt und mit jedem der vier Unternehmen, die ein indikatives Angebot eingereicht hatten, weitere fünf etwa ebenso lange Verhandlungstermine. Hinzu kamen die Termine der Expertenkommission. Der Aufwand wurde aber von allen Teilnehmern als erforderlich und äußerst hilfreich angesehen, um für die am Markt bislang nicht verfügbaren Triebzüge zu einem wirtschaftlichen Ergebnis zu gelangen. Drei Bieter haben letztverbindliche Angebote abgegeben.

Ein Unternehmen, welches kein letztverbindliches Angebot abgegeben hatte, rügte die beabsichtigte Zuschlagserteilung an Stadler und leitete ein Nachprüfungsverfahren ein. Dieses blieb bei der Vergabekammer ohne Erfolg. Ebenso wurde die hiergegen eingereichte sofortige Beschwerde vom Oberlandesgericht Schleswig zurückgewiesen.

Zeitlicher Ablauf des Verfahrens zur Beschaffung der Triebzüge und deren Instandhaltung:

- ab 09/2015 Markterkundungsgespräche mit Fahrzeugherstellern,
- 06.08.2016 Auftragsbekanntmachung im Amtsblatt der EU,
- 23.09.2016 Frist zum Eingang der Teilnahmeanträge,
- 02.10.2017 Frist zum Eingang der indikativen Angebote,

- 14.01.2019 Angebotsfrist,
- 01.07.2019 Zuschlag.

Das eigentliche Vergabeverfahren dauerte – einschließlich des Nachprüfungsverfahrens – knapp drei Jahre. Hinzu kam etwa ein Jahr Vorbereitungszeit. Parallel zum Vergabeverfahren erfolgten Informationsgespräche mit den zuständigen Landtagsausschüssen und der Fachöffentlichkeit.

Vergabeergebnis

Das Angebot von Stadler war das wirtschaftlichste Angebot. Das Konzept von Stadler sieht einen zweiteiligen batterieelektrischen Triebzug (BEMU) mit 123 Sitzplätzen vor. Die Traktionsbatterien der Triebzüge können mit Bahnstrom (15 kV, 16,7 Hz) und mit 1000-V-Elektrotranten geladen werden. Neben dem bestehenden Bahnstromnetz und ohnehin geplanten Ergänzungen (zum Beispiel Elektrifizierung aller Bahnsteiggleise in Kiel Hbf) sieht das Konzept Oberleitungsinvestitionen in Heide, Husum und Tönning, eine 1000-V-Stromeinspeisung in Schönberger Strand sowie einzelne Verlängerungen bestehender Oberleitungen vor.

Auch die übrigen beiden eingegangenen Angebote sahen batterieelektrische Triebzüge (BEMU) vor. Alle Angebotspreise lagen unterhalb des Erwartungswertes. Erwartet worden war, dass die LCC-Kosten für Züge mit alternativen Antrieben etwas höher als die von Diesel-Triebzügen (DMU) sind. Beim wirtschaftlichsten Angebot von Stadler lagen die LCC-Kosten jedoch sogar geringfügig unterhalb der für DMU geschätzten Kosten. Dabei wurden auch die LCC-Kosten der erforderlichen zusätzlichen Ladeinfrastrukturen berücksichtigt. Die deutlich geringeren Energiekosten der BEMU gleichen die übrigen Mehrkosten gegenüber Diesel-Triebzügen somit aus.

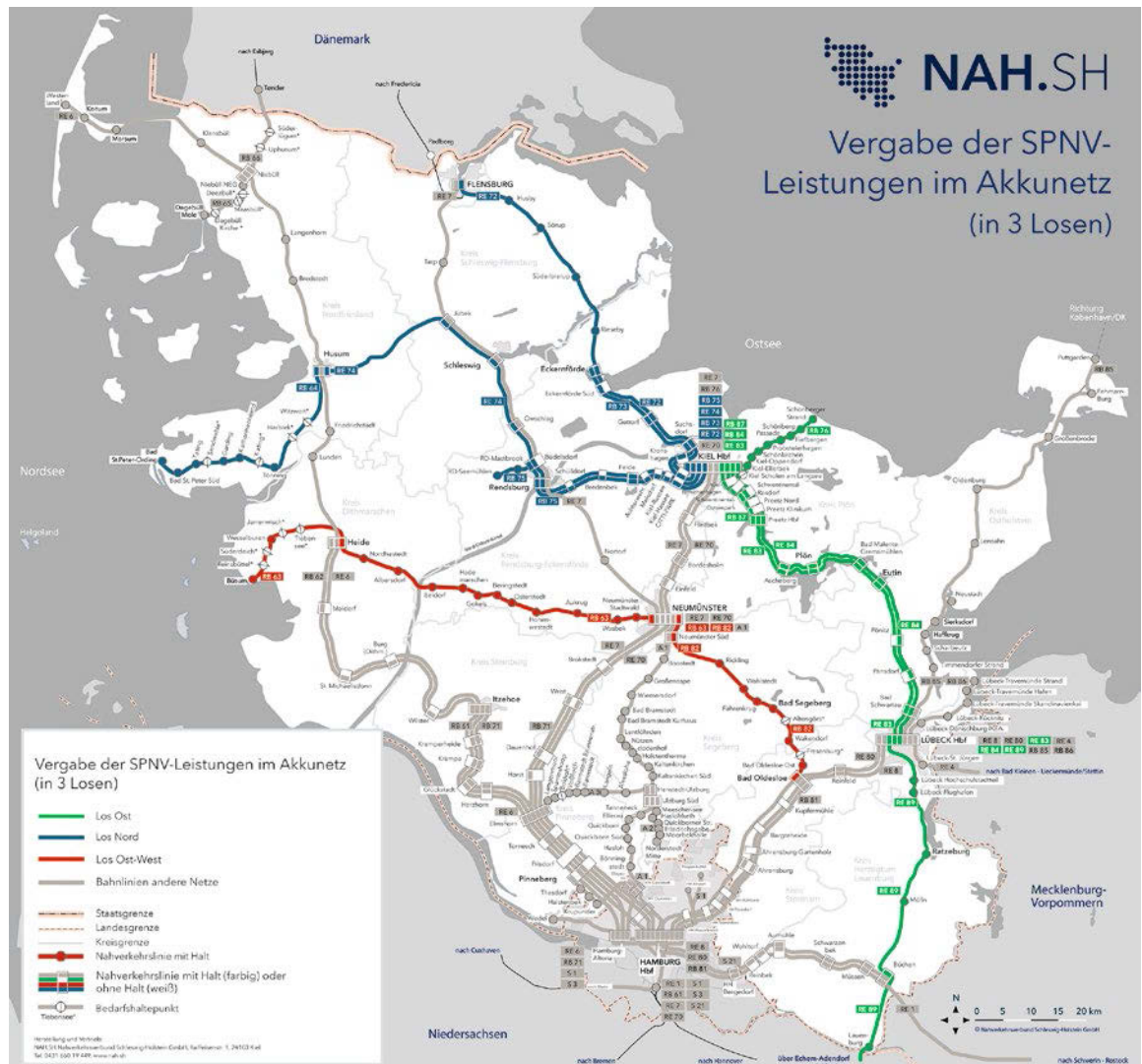
Vergabe der Verkehrsleistung

Abschließend erfolgte die Vergabe über die Erbringung der Verkehrsleistungen. Hierzu wurde das Netz in die drei Lose Nord, Ost-West und Ost (im Akkumetz) aufgeteilt. Die Betriebsaufnahmen erfolgen im Dezember 2022 (Los Ost) beziehungsweise 2023 (Los Nord und Ost-West). Die Verkehrsverträge haben eine Laufzeit bis Dezember 2035.

Die EVU setzen für die Verkehrsleistung die vom Aufgabenträger beschafften und von Stadler instandzuhaltenden Akku-Triebzüge

Abb. 3: Streckennetz-
karte mit den drei
Losen.

Grafik: NAH.SH GmbH



ge ein. Im jeweiligen ersten Vertragsjahr können sie zudem die Diesel-Triebzüge der Transferflotte einsetzen. Die EVU müssen elektrische Energie aus erneuerbaren Energien einsetzen.

Auch dieses Vergabeverfahren hatte mit fünf Bietern eine hohe Wettbewerbsintensität. Diese wurde vermutlich durch die Bereitstellung der Fahrzeuge, die Übernahme des Erlösrisikos durch den Aufgabenträger (Brutto-Verträge) sowie durch eine Loslimitierung unterstützt.

Im Los Ost hat sich die Osthannoversche Eisenbahnen Aktiengesellschaft durchgesetzt, das Los Ost-West hat die NBE nordbahn Eisenbahngesellschaft mbH & Co. KG gewonnen. Im Los Nord, welches an die RDC AUTOZUG Sylt GmbH vergeben werden soll, ist aufgrund eines Nachprüfungsverfahrens bis Redaktionsschluss noch kein Zuschlag erteilt worden.

Fazit

In Schleswig-Holstein ist der Umstieg auf einen klimaneutralen SPNV eingeläutet. Durch die Umstellung von Diesel- auf Elektroantrieb werden jährlich circa 26.000 t CO₂-Emissionen vermieden. In den nächsten 15 Jahren wird die seit Mitte der 1990er Jahre bundesweit beschaffte Generation von Diesel-Triebwagen ersetzt werden müssen. Das Ergebnis der XMU-Vergabe in Schleswig-Holstein lässt es möglich erscheinen, dass diese folgende Fahrzeuggeneration weitgehend ohne Dieselantrieb auskommen kann.

Die Gestaltung der Vergabeverfahren von der Fahrzeugbeschaffung bis zur Verkehrsleistung war zudem wettbewerbsförderlich, so dass die Kosten insgesamt minimiert werden konnten. Die Umstellung der Antriebstechnologie erfolgt in Schleswig-Holstein ohne Mehrkosten für den Aufgabenträger. Die BEMU-Antriebstechnik ist

technologisch und wirtschaftlich marktreif. Das Vergabeverfahren hat zu drei Angeboten mit vergleichbaren Fahrzeugkonzepten und Kostenniveaus geführt. Dabei waren die Bieter bereit, die Instandhaltung über 30 Jahre zu kalkulieren und verbindlich anzubieten. Hilfreich war hierbei möglicherweise, dass auf Technologien zurückgegriffen werden konnte, die seit langem bei der Eisenbahn eingesetzt werden und „lediglich“ moderne Batteriesysteme in die Fahrzeugkonzepte neu integriert werden mussten.

Ob das wirtschaftliche Ergebnis der Vergabe auf andere Netze übertragbar ist, hängt unter anderem von folgenden Aspekten ab:

- Die Verhältnisse vor Ort sind zu berücksichtigen. Schleswig-Holsteins relativ flache Topographie ist für BEMU günstig, da keine Energie für lange und starke Steigungen mitgeführt werden muss. Andererseits sind nur wenige Bahnstrecken im Land bisher elektrifiziert, so

dass hier zahlreiche zusätzliche Ladeanlagen für den Einsatz von BEMU erforderlich sind.

■ Die Vergabe basiert auf der Kosten- und Rechtslage des Jahres 2018. Insbesondere Veränderungen der Energiepreise und der Preise für Akkumulatoren haben einen erheblichen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit. Das mittlerweile verabschiedete Brennstoffemissionshandelsgesetz erhöht zukünftig den Preis für Dieselkraftstoff. Bei Akkumulatoren werden allgemein fallende Preise erwartet. Beide Entwicklungen erhöhen die Wirtschaftlichkeit von BEMU gegenüber DMU.

■ Beim BEMU-Konzept sind die Anfangsinvestitionen für Fahrzeuge und Ladeinfrastruktur höher als bei DMU. Der Ausgleich durch die geringeren Energiekosten erfolgt erst nach und nach über 30 Jahre. Bei der XMU-Vergabe in Schleswig-Holstein wurde dieser Effekt mit Blick auf die Fahrzeuge allerdings nivelliert, indem in einer weiteren Vergabe ein Fahrzeugvorhalter gesucht wurde, der die Fahrzeuge finanziert und über 30 Jahre zu gleichbleibenden Mietraten an die vom Land ausgewählten EVU vermietet. Diese Vergabe ist mittlerweile erfolgreich abgeschlossen. Auch aufgrund einer Absicherung der Mietraten durch eine Kapitaldienstgarantie des Landes und des aktuell niedrigen Zinsniveaus konnte hier ein sehr günstiges Ergebnis erzielt werden. Steigende Finanzierungskosten würden hingegen Konzepte mit geringen Anfangsinvestitionen begünstigen.

■ Die gesamte Beschaffung einschließlich der Ladeinfrastruktur wurde ohne Förderungen des Bundes kalkuliert. Das vom Bund seit längerem angekündigte Förderprogramm für Schienenfahrzeuge mit alternativen Antrieben und deren Ladeinfrastruktur kann die Wirtschaftlichkeit weiter erhöhen. Allerdings müssen Förderprogramme eher skeptisch

bewertet werden. Die Erwartung zukünftiger Förderungen führt bei vielen Auftraggebern dazu, dass sie selbst dann, wenn eine Beschaffung bereits jetzt wirtschaftlich wäre, das Förderprogramm abwarten, um diesen Vorteil mitzunehmen. Zudem verkompliziert die Berücksichtigung der Förderbedingungen die Vergabe und verzögern die Antrags- und Bewilligungsfristen der Förderprogramme leicht den Verfahrensablauf. Wesentlich hilfreicher wäre es, wenn der Bund den Eisenbahninfrastrukturunternehmen die finanziellen Mittel zur Errichtung der benötigten Ladeinfrastruktur bereitstellte.

Die Beschaffung erfolgte erstmalig im Rahmen einer Innovationspartnerschaft mit einem technologieoffenen Ansatz. Dieser Ansatz war erforderlich, um Herstellern und Vergabestelle ein möglichst klares Bild über die Einsetzbarkeit, den Entwicklungsstand und die Kosten verschiedener Technologien zu geben. Die technologieoffene Vergabe ermöglichte einen Wettbewerb der besten Konzepte der Hersteller. Diese konnten sich mit ihrem gesamten technisch-ökonomischen Know-how einbringen und die Lösung anbieten, die aus ihrer Sicht die höchste Wertung erreicht. Die Bieter mussten insbesondere zwischen den Herstellungskosten der Triebzüge, den Instandhaltungskosten, den Energiekosten und den Kosten der Ladeinfrastruktur optimieren. Im Detail gab es dann zahlreiche weitere Optimierungsmöglichkeiten, wie etwa hinsichtlich der Lage des Werkstattstandortes und diverser Qualitätskriterien.

Eine technologieoffene Vergabe ist ausgesprochen komplex, da über verschiedene Technologien verhandelt werden muss und diese im Wertungsschema abzubilden sind. Sie macht nur dann Sinn, wenn die Mindestanforderungen tatsächlich auch verschiedene Technologien zulassen. Dieses führt dazu, dass die Mindestanforde-

rungen entsprechenden Spielraum zulassen sollten. Im vorliegenden Fall wurden beispielsweise die fahrdynamischen Anforderungen so gewählt, dass sie auch von bekannten Brennstoffzellen-Triebzügen erreicht werden konnten. Dieses kann dazu führen, dass Lösungen angeboten (und bezuschlagt) werden, die am Rande dessen liegen, was der Aufgabenträger für geeignet hält. Mit dem mittlerweile vorliegenden Know-how sollte bei zukünftigen Vergaben im SPNV im Vorfeld der Vergabe die Eignung verschiedener Antriebstechnologien geprüft und die Technologie dann vorgegeben werden können.

Literatur/Anmerkungen

- [1] Heute Stadler Deutschland GmbH, im Folgenden als Stadler bezeichnet.
- [2] Im Ergebnis war dieses im erfolgreichen Angebot von Stadler nicht erforderlich. Die Bestellung von 55 Triebzügen erfolgte seitens des Landes, um Angebotsausweitungen vornehmen zu können. Hierfür wurde eine entsprechende vertragliche Option gezogen.
- [3] Etwaig benötigte Ladeanlagen auf der AKN-Strecke Kiel – Schönberger Strand oder in der Werkstatt mussten die Bieter hingegen selbst verantworten.
- [4] <http://inas.org/ueber-gemis.html>
- [5] Nur am Rande sei angemerkt, dass die von der Vergabeverordnung aufgrund EU-rechtlicher Vorgaben vorgesehene Reihenfolge, dass zunächst indikative Angebote einzureichen sind und erst über diese verhandelt werden darf, sich zumindest für dieses Vergabeverfahren als nicht praxistauglich erwiesen hat. Innovationspartnerschaft und Verhandlungsverfahren mit Teilnahmewettbewerb werden als Verfahrensarten gewählt, wenn die Vergabestelle die Leistung anfangs nicht eindeutig und erschöpfend beschreiben kann. Die Verhandlungen dienen der Klärung, wie die Anforderungen an die Leistung gestaltet werden müssen, um ein optimales Preis-Leistungsverhältnis zu erhalten. Die Anforderungen können daher erst nach den Verhandlungen letztendlich festgelegt werden. Ebenso ist es nicht möglich, ein Preisblatt für indikative Angebote zu erstellen, wenn nicht bekannt ist, welche technischen Lösungen dieses abdecken muss. Das Vergaberecht sollte daher dahingehend geändert werden, dass in Verhandlungsverfahren keine indikativen Angebote verlangt werden müssen und wenn diese verlangt werden, auch vorher schon Verhandlungen geführt werden dürfen.

Zusammenfassung/Summary

Dekarbonisierung des SPNV in Schleswig-Holstein

In Schleswig-Holstein wurden in einer technologieoffenen Vergabe 55 Akku-Triebzüge beschafft. Durch Einsatz von elektrischer Energie aus erneuerbaren Quellen wird der SPNV klimagasneutral. Die Lebenszykluskosten der Akku-Triebzüge liegen dabei einschließlich aller Kosten für Oberleitungsergänzungen nicht höher als die Kosten von Diesel-Triebzügen. Der Beitrag beschreibt, wie die Herausforderungen einer technologieoffenen Vergabe für Triebzüge und deren Instandhaltung gelöst wurden.

Decarbonization of local rail passenger transport in Schleswig-Holstein

In a technology-open tender, 55 battery-powered trains were procured in Schleswig-Holstein. By using electrical energy from renewables, regional passenger transport becomes climate-neutral. The life-cycle costs of battery-powered multiple units, including all costs for overhead line supplements, are not higher than the costs of diesel multiple units. The article describes how the challenges of a technology-open tender for multiple-units and their maintenance were solved.

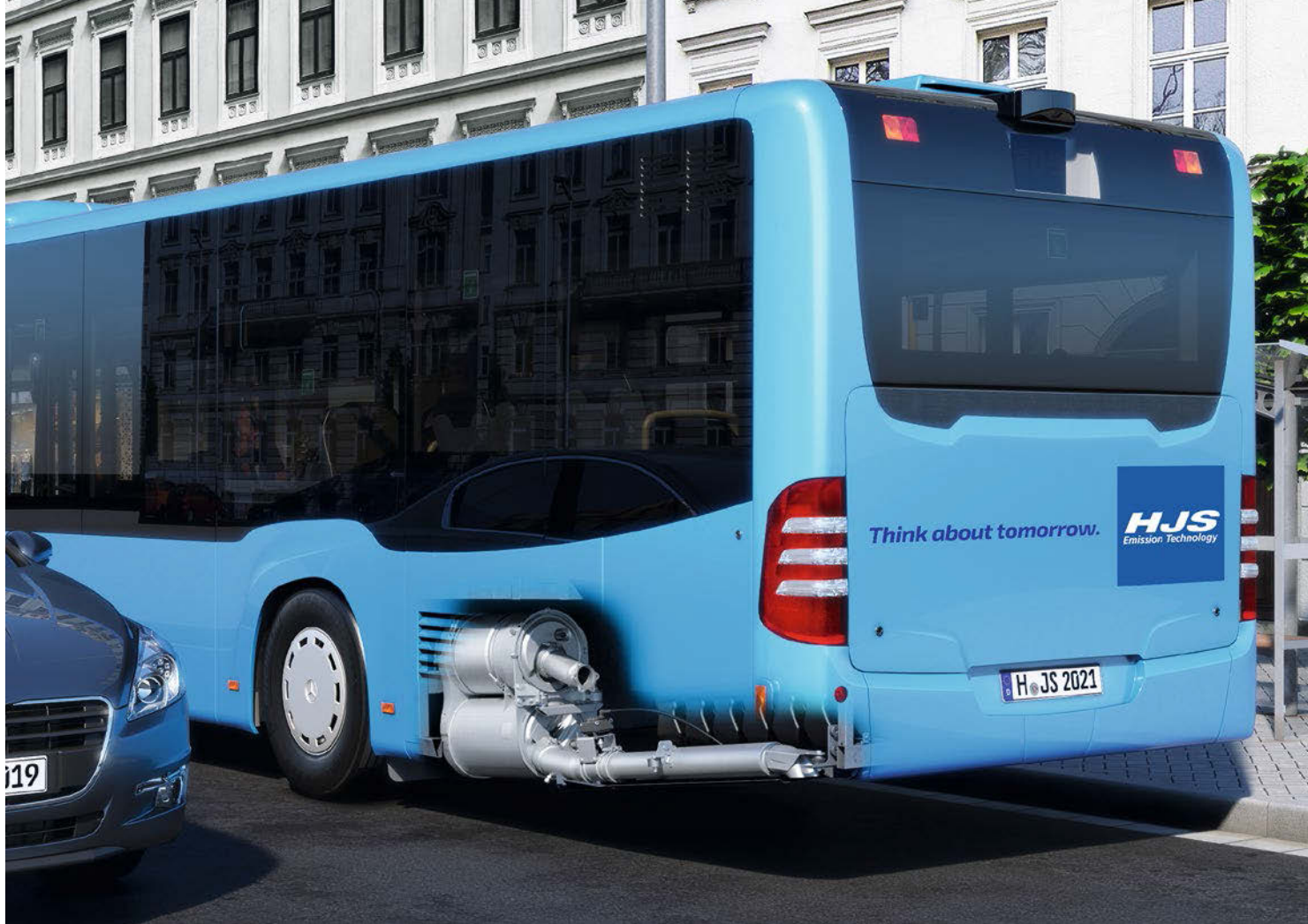


Abb. 1: SCRT®-System eingebaut in einem Evobus Citaro.

Foto: HJS

Stadtbusse einfach sauber machen

Diesel-Nachrüstung ermöglicht sauberere Luft sofort

Axel Middendorf, Menden

Die Umstellung bestehender Busflotten im ÖPNV auf elektrische Antriebe ist ein langfristig sinnvoller Weg, um die Abgas- und CO₂-Emissionen in deutschen Städten zu senken. Doch die Umstellung kostet Zeit und Geld. Nachrüstsysteme können auf dem Weg dorthin sofort einen wichtigen Beitrag leisten – zu überschaubaren Kosten.

Im vergangenen Jahr wurden mit dem Husqvarna Urban Green Space Index (HUGSI) die grünsten Städte der Welt ermittelt. Dabei fanden acht deutsche Großstädte den Einzug in die Top 20, was ein

herausragendes Ergebnis für die Bundesrepublik darstellt. Stehen Grünflächen doch für Erholung und saubere Luft, Grundbedürfnisse der Menschen, die in vielen Städten vom immer zunehmenden Straßenverkehr überschattet werden. Die in Folge dessen angestiegenen Belastungen durch Stickstoffdioxide und Feinstaub waren Gegenstand zahlreicher medialer, aber auch gerichtlicher Auseinandersetzungen der letzten Jahre. In Konsequenz sahen sich viele Fahrzeugeigner mit plötzlich drohenden Fahrverboten ihrer Bestandsfahrzeuge konfrontiert. So auch die Betreiber im öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV). Zwar ist die Luftqualität in Deutschland

besser geworden, aber die drohende Verschärfung der Richtwerte zur Luftqualität der WHO (Weltgesundheitsorganisation) sowie mögliche Folgen von Urteilen zur Luftreinhaltung des Europäischen Gerichtshofes (EuGH) machen weitere Maßnahmen notwendig. Täglich fahren tausende Dieselbusse durch deutsche Städte, die in der Regel noch nicht mit bestmöglicher Abgastechnik ausgestattet sind. Um auch hier einen Wandel hervorzubringen, fördern die Länder Verkehrsunternehmen bei der Neuanschaffung von Elektrobussen. Doch wie ist der Stand heute und gibt es weitere Maßnahmen, die nicht unberücksichtigt bleiben dürfen?



Zum Autor

Dipl. Ing. Axel Middendorf, Ansprechpartner bei HJS für den Bereich Business Unit Retrofit, ist seit 1990 im Vertrieb des Unternehmens tätig. Er ist bei HJS zuständig für das Thema Nachrüstung bei Bussen.

Elektrobusse für eine saubere Innenstadt

Im Jahr 2015 wurde der erste batteriebetriebene Elektrobus im ÖPNV getestet. Seitdem steigen die jährlichen Neuanschaffungen von Elektrobussen kontinuierlich.

In den vergangenen zwei Jahren haben sich die Neuanschaffungen laut der Beratungsfirma PricewaterhouseCoopers (PwC) jährlich sogar mehr als verdoppelt. So verstärkten 2019 insgesamt 104 neue Elektrobusse und 357 neue Diesel-Fahrzeuge in 2020 die bestehenden ÖPNV-Busflotten. Dies deckt

sich auch mit den Zahlen vom Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV), bei denen für das Jahr 2019 insgesamt 192 E-Busse auf deutschen Straßen fahren und bis heute gut 1000 Fahrzeuge geschätzt werden. Von den derzeit circa 50.000 Bussen, die im ÖPNV-Betrieb eingesetzt werden, sind somit gerade einmal 2 Prozent elektrisch unterwegs. Zahlen, die für den reinen Statistiker ernüchternd klingen.

Ein Grund, warum Verkehrsbetriebe ihre Fuhrparks nicht schneller umstellen, sind die langen Lieferzeiten eines neuen E-Busses sowie die erheblichen Kosten, die damit verbunden sind. Der Neuanschaffungswert eines E-Busses liegt bei circa 550.000 Euro und ist damit mehr als doppelt so hoch wie bei einem Standardbus der Euro-Norm VI mit circa 220.000 Euro. Zudem

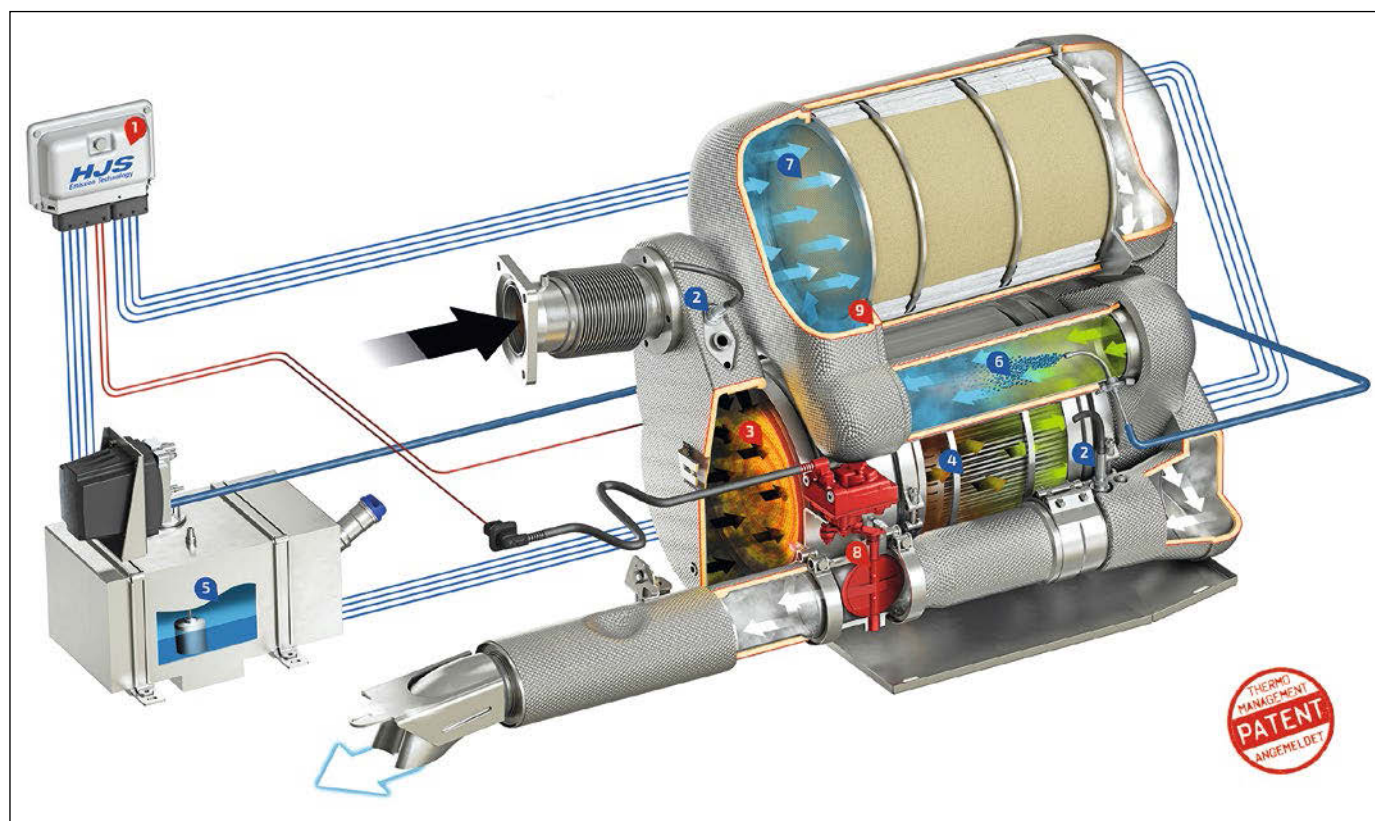


Abb. 2: HJS-Abgas-System mit aktivem Thermo-Management.

Grafik: HJS



Abb. 3: Legende für das HJS-Abgas-System mit aktivem Thermo-Management.

Grafik: HJS

kommen massive Investitionen durch die Einrichtung der Lade-Infrastruktur auf Betriebe und Kommunen zu. Nicht außer Betracht gelassen werden darf dabei auch, dass ein durchschnittlicher Linienbus einen Lebenszyklus von etwa 1.000.000 km hat. Vor diesem Hintergrund macht ein Austausch vieler Bestandsfahrzeuge aus Nachhaltigkeitsaspekten keinen Sinn, weil diese häufig noch nicht ihre Lebensdauer erreicht haben. Eine schnellere und kostengünstigere Alternative verspricht da die Nachrüstung von Bestandsdieseln mit moderner Abgastechnik auf dem Niveau von Euro VI.

Nachrüstsysteme versprechen einen schnellen Erfolg

Wenn berücksichtigt wird, dass die Summe der ÖPNV-Busse in Deutschland jährlich mehr Kilometer fahren als alle anderen Verkehrsteilnehmer zusammen, besteht hier ein großes Potenzial, die innerstädtischen Schadstoffbelastungen weiter deutlich zu reduzieren. Laut Messungen haben Euro V und selbst die Busse der schärfe-

ren Norm EEV, vier Mal höhere NOx-Werte als ein vergleichbarer Euro VI-Bus. Durch mangelnde Abgastemperaturen im Realbetrieb wird zu wenig AdBlue® eingedüst. Dies führt zu erhöhten NOx-Emissionen. Hier setzt beispielsweise die Lösung des Mendener Unternehmens HJS an. Durch aktives, zweistufiges Thermomanagement wird die Funktion gerade bei niedrigen Abgastemperaturen deutlich verbessert. Der kombinierte Einsatz dieser verbesserten SCR-Technik mit einem Partikelfilter bietet so ein Höchstmaß an Abgasreinigung. Das Nachrüsten eines Euro V-Bus mit dem so genannten SCRTTM-System reduziert dabei den Ausstoß im Schnitt um mehr als 85 Prozent, zum Teil um bis über 92 Prozent je nach Fahrzeugtyp. Damit kommen nachgerüstete Dieselbusse bezüglich ihrer Emissionen im Realbetrieb einem Euro VI-Fahrzeug gleich. Auch neutrale Gutachter erkannten die Effizienz dieser Technologie. So bestätigte der ADAC beispielsweise die Reduktion der NOx-Emissionen in einem Gutachten für das Verkehrsministerium in Baden-Württemberg und bewertete dieses Ergebnis als „eindrucks-

voll“. Im Realbetrieb auf der Buslinie erweise sich die Nachrüstung als zuverlässig und hocheffizient.

Bewährte Technik auf Erstausrüstungsniveau für eine saubere Luft

Bereits 2018 hat das Kraftfahrtbundesamt (KBA) dem Unternehmen HJS Emission Technology GmbH & Co KG die Allgemeine Betriebserlaubnis (ABE) für die Nachrüstung von Euro V/EEV MAN, EvoBus, Solaris und weiteren Linienbusse erteilt. Das zum Patent angemeldete Nachrüstsystem vereint die bewährte SCRT[®]-Architektur (Kombination aus SCR+DPF) mit aktivem Thermomanagement zur HJS-SCRTTM-Technologie. Basierend auf der bekannten AdBlue[®]-Technologie sorgt dieses System bei Bussen im Stadtbetrieb über elektronisch gesteuerte, unterschiedlich aktive Aktuatoren für eine bestmögliche Senkung der Stickoxid-Emissionen selbst bei niedrigen Abgastemperaturen, die im Haltestellen- und Stadtverkehr zwangsläufig auftreten. Zum Einsatz

ANZEIGE

Die Zukunft von DMU-Antriebssystemen mit ZF-EcoWorld

Das neue 6-Gang-Lastschaltgetriebe ist besonders wirtschaftlich: Im Vergleich zu hydrodynamischen Getrieben erzielt es bis zu 20% Kraftstoffeinsparung. Das Getriebe erzielt einen hohen Wirkungsgrad und verfügt über einen effizienten Drehmomentwandler sowie eine integrierte Wendefunktion. Es ermöglicht eine uneingeschränkte Schlepp- und Segelfunktion, durch welche, je nach Fahrstrecke, Motorisierung und Beladungszustand zusätzlich bis zu 5% Kraftstoff eingespart werden können.

Ein neues Radsatzgetriebe mit Durchtrieb erlaubt es, EcoWorld mit verschiedenen Achsübersetzungen zu kombinieren und öffnet so weitere Anwendungsfelder.

Es eignet sich auch perfekt für Repowering in bestehenden Zügen, wo es die Lebensdauer des Fahrzeugs verlängert und die Betriebskosten senkt.



Besuchen Sie www.zf.com/bahn



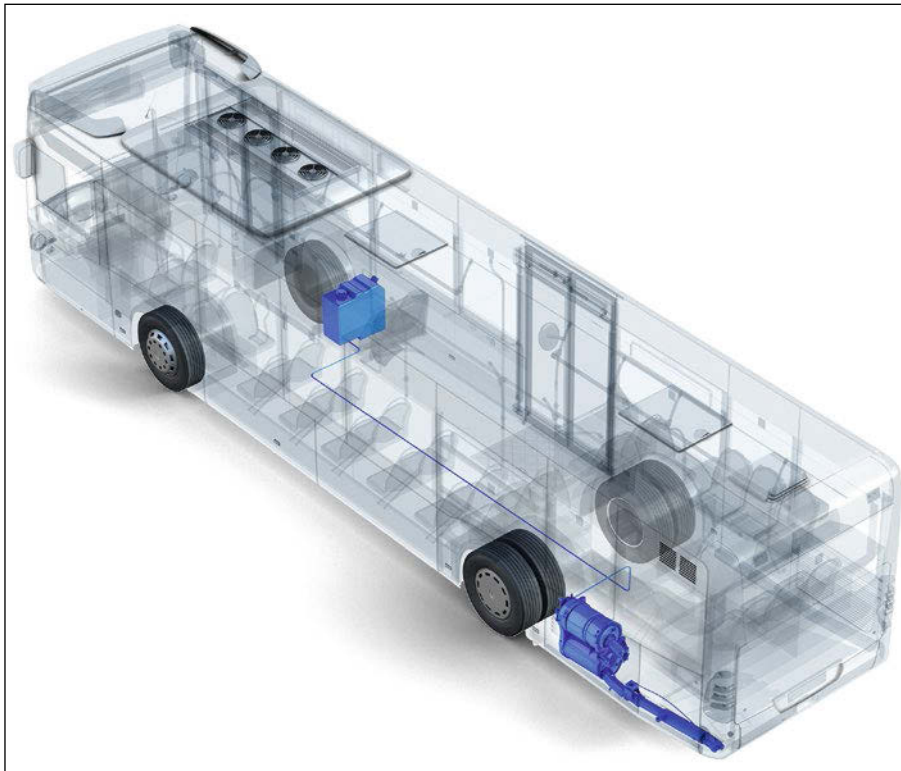


Abb. 4: Darstellung eines Nachrüstsystems innerhalb eines Busses.

Grafik: HJS

kommen neben modernster Katalysator-technologie, hocheffizienter-AdBlue®-Gemischaufbereitung auch Strömungsregler und vor allem aktive Heizelemente, wie sie auch bei OE-Herstellern in der Stufe Euro VI verwendet werden. Hierdurch wird sichergestellt, dass die Systeme nicht nur in offiziellen Prüfzyklen, sondern zu jedem Betriebszeitpunkt bestmöglich sauber sind. Dabei liegen die Systeme in einem attraktiven Preisrahmen vor dem Hintergrund des Restwertes der Busse. Die verwendeten Komponenten wie SCR-Katalysatoren und Rußpartikelfilter bieten dennoch eine Lebensdauer von

circa 500.000 km. Dies entspricht in der Regel einer Laufzeit im ÖPNV von etwa 7 bis 8 Jahren. Die Wartung der Systeme erfordert eine jährliche Inspektion sowie je nach Fahrzeugtyp eine Reinigung des Partikelfilters alle 2 Jahre, dies entspricht den Umfängen von OEM-Originalsystemen der Generation Euro VI. Dies sind Daten, die aufzeigen, dass eine Nachrüstung von Euro V-Bussen eine sinnvolle Alternative darstellt. Hinzu kommt, dass bei Linienvergaben vielfach Euro VI-Busse vorgeschrieben sind, aber auch nachgerüstete Euro V-Busse akzeptiert werden. Ein weiterer Grund für die Nachrüstung,

Schnelles Nachrüsten vor Ort

Während die Lieferzeiten eines E-Busses bestenfalls Monate in Anspruch nehmen können, ist die Nachrüstung der Fahrzeuge mit SCRT®-TM gerade einmal in wenigen Wochen möglich. Die Umrüstung eines Busses dauert dabei in der Regeln maximal 1 bis 2 Tage. Hierfür werden die Techniker der jeweiligen Betriebe in den Betriebswerkstätten seitens HJS geschult, damit weitere Nachrüstungen vor Ort abgeschlossen werden können. Dies spart aufwendige Überführungsfahrten der Fahrzeuge und kommt Eignern von größeren Flotten zu Gute. Sollte jedoch eine externe Nachrüstung gewünscht werden, bietet das Unternehmen diesen Service in der haus-eigenen Werkstatt an.

Fazit: Diesel-Nachrüstsysteme als Alternative

Um weitere Emissions-Senkungen in deutschen Städten zu erreichen, ist eine Umstellung der bisherigen Busflotten im ÖPNV-Bereich auf elektrisch betriebene Fahrzeuge ein wesentlicher Weg. Jedoch ist die Umstellung der E-Mobilität teuer und zeitaufwendig. Daher sind bis zum Erreichen dieses Zieles alternative Brückentechnologien wie das Nachrüsten bestehender Diesel-Busse unabdingbar, wenn man schnell und nachhaltig eine Verbesserung der Luftqualität erreichen will. Es kann nicht darauf gewartet werden, bis der letzte Euro V-Bus seinen Lebenszyklus überschritten hat. Aus ökonomischer und ökologischer Sicht ist die Nachrüstung für Verkehrsbetriebe daher eine mehr als sinnvolle Option, die bestehende Flotte zu modernisieren und dem Grundbedürfnis nach sauberer Luft gerecht zu werden.

Zusammenfassung/Summary

Stadtbusse einfach sauber machen

Um den wachsenden Anforderungen im Klimaschutz gerecht zu werden, setzen viele Verkehrsbetriebe im ÖPNV auf die Umstellung ihrer Busflotten auf Elektromobilität. Auf lange Sicht ein richtiger Weg, um die bereits angesprochenen Anforderungen zu erfüllen, doch kurzfristig bleibt so eine Lücke, in der „schmutzige“ Busse nach EURO V eingesetzt werden, die mithilfe von Nachrüstsystemen gelöst werden kann. Denn Nachrüsten auf EURO VI ist ein Baustein, um den Fuhrpark der Verkehrsbetriebe schnell und kostengünstig auf sauberste Abgasstandards umzusetzen, um die Ökobilanz der Städte und Kommunen kurzfristig zu verbessern.

Simply make city buses clean

In order to meet the growing requirements for climate protection, many public transport operators are focusing on shifting their bus fleets to e-mobility. For the long-term, this is the right way to fulfill the already mentioned requirements, but in the short-term, a gap remains where „dirty“ buses are used in accordance with EURO V which can be solved by retrofit systems. As retrofitting to EURO VI, is a module for shifting the companies' fleet quickly and efficient to the cleanest exhaust emission standards in order to improve the eco balance of cities and communities in the short-term.

Thermomanagement für die nächste Generation E-Bus

Feldtests belegen, wie hochwirksam alternative Kältemittel sein können

Stefan Faust, René Schmerer; Schwalmstadt

Die Anforderungen an die Klimatisierungskomponenten für Elektrobusse werden stetig weiterentwickelt. Heute sprechen wir nicht mehr von Heizung oder Klimatisierung in einem E-Bus, sondern von einem sogenannten Thermomanagement, denn der gesamte E-Bus ist ein großes Klimanetzwerk. Die grundlegende Herausforderung ist, dass ein Elektroantrieb keine Abwärme erzeugt, die zum Beheizen des Businnen-

raumes genutzt werden kann. Auch müssen zum Beispiel die Batterien parallel klimatisiert werden, damit sie möglichst lange und effizient arbeiten.

Perspektiven der Klima- und Heiztechnik für E-Mobilität

In dem vom BMWi geförderten Projekt hyPowerRange wurde ein neuartiges hybrides Batteriekonzept entwickelt und er-

probt. Das Ziel des Forschungsprojekts ist es, die Faktoren Reichweite, Kosten, Kühl-, Heizbedarf und Leistung von Elektrofahrzeugen zu verbessern.

Viele Energiespeicher – Batterien – sind entweder auf Energie oder auf Leistung ausgelegt, doch optimal wäre es, beide Stärken zu verbinden. So benötigt man zum Beispiel für einen Elektrobus eine große Energiemenge für eine höhere Reichweite

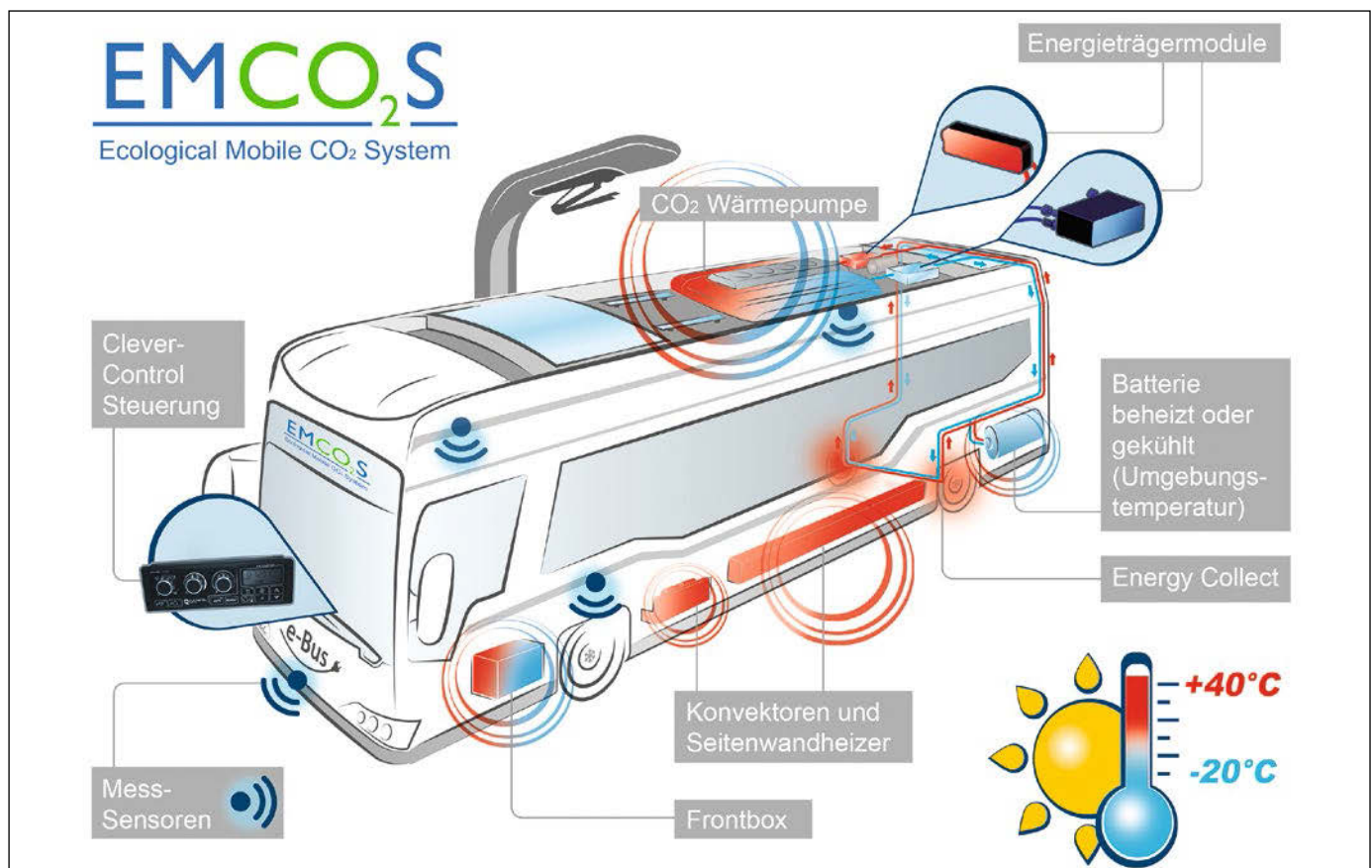


Abb. 1: EmCO₂S – Ecological Mobile CO₂-System: neues Heiz- und Klimasystem.

Grafik: Konvekta AG



Zum Autor

Stefan Faust (40) ist seit 2007 im Vertrieb Außendienst für den Geschäftsbereich Bus bei der Konvekta AG in Schwalmstadt tätig. Er verantwortet die Gebiete Deutschland, Österreich sowie Schweiz und betreut in seinem Zuständigkeitsbereich die Busbetriebe.



Zum Autor

René Schmerer (29) ist seit 2017 Mitarbeiter in der Abteilung Forschung und Entwicklung bei der Konvekta AG in Schwalmstadt. Zu seinen Tätigkeiten gehört die Entwicklung von Heiz- und Klimatisierungskonzepten für Elektrofahrzeuge, wobei Projekte im Bereich der Verwendung von CO₂ als Kältemittel den Schwerpunkt bilden. Er ist Ingenieur für Maschinenbau und Mechatronik (M.Eng.).

und eine hohe Leistung für eine bessere Beschleunigung. Des Weiteren wurden im Projekt zusätzliche reichweitenverlängernde Maßnahmen integriert.

Die Herausforderungen

Das Forschungsteam der Konvekta AG war für die Planung, Entwicklung und die Umsetzung des gesamten Thermomanagements verantwortlich. Dies umfasste zusätzlich zur Temperierung des Fahrzeuginnenraumes auch die Temperierung der Fahrzeugbatterie sowie die Klimatisierung weiterer elektrischer Komponenten wie Ladegerät, Motor und Umrichter. Als Fahrzeug entschied man sich für einen Pkw, der von einem Verbrennungsmotor auf Elektroantrieb umgebaut wurde. Eine besondere Herausforderung stellte hierbei der geringe Bauraum für das System in Kombination mit Spitzenlasten von bis zu 20 kW bei der Batteriekühlung dar. Auch musste ein neuer Weg für die Kühlung des Fahrzeuginnenraumes gefunden werden, da der im Fahrzeug vorhandene Klimakondensator nicht für den Einsatz in einer CO₂-Wärmepumpe geeignet war.

CO₂-Wärmepumpe und Heat2Go kombiniert

Gerade in der Automobilindustrie setzt man noch oft auf elektrische Heizgeräte, um den Innenraum im Winter mit warmer Luft zu versorgen. Diese Form der Heizung schlägt sich massiv auf die Reichweite sowie den Energieverbrauch eines

E-Fahrzeugs nieder, da diese Heizgeräte den Strom direkt aus der Fahrzeugbatterie beziehen. Anders ist das bei einer CO₂-Wärmepumpe. Durch unterschiedliche Aggregatzustände sowie Druckzustände des Kältemittels wird die Wärme aus der Umgebungsluft und aus wärmeerzeugenden Komponenten des Fahrzeugs (etwa den Achsen) gesammelt, vervielfacht und zur Beheizung genutzt. Auf Basis der Erfahrungen der letzten Jahre wurde eine neue Form der CO₂-Wärmepumpen entwickelt, mit dem Schwerpunkt einer reichweitenoptimierten Batterie- und Fahrzeugtemperierung mit thermischer Vorkonditionierung aus dem elektrischen Netz.

Des Weiteren wurde eine Weiterentwicklung des thermischen Speichers aus dem Projekt Heat2Go integriert. Heat2Go ist ein schnellladefähiger, modularer Wärmespeicher für elektrische Stadtbusse. Dieser Wärmespeicher nimmt in einem geringen Zeitfenster zugeführte thermische Energie durch einen Wechsel des Aggregatzustandes von fest zu flüssig auf. Die nunmehr gespeicherte Wärmeenergie wird während der weiteren Fahrt kontinuierlich an den Innenraum sowie an temperaturbedürftige Nebenverbraucher abgegeben. Hierfür benötigt das System keine Energie aus den Bordbatterien. Die verschiedenen Einzelkomponenten wurden durch eine intelligente Steuerungseinheit aus der Serie Clever Control zu einem effizienten und reibungslos funktionierenden Thermosystem verbunden.

Klimatechnik von morgen: hyPowerRange

Durch das Projekt hyPowerRange konnten Erfahrungen und Erkenntnisse gewonnen werden, die mittelfristig in den nächsten Generationen der CO₂-Wärmepumpen für E-Busse zum Einsatz kommen. So brachte das Projekt neuen Input im Bereich Regelung des Temperaturmanagements. In der Anwendung bedeutet dies eine Steigerung der Effizienz und die Vermeidung von Energieverlusten.

Durch den Einsatz und die Weiterentwicklung der thermischen Speicher (Heat2Go) konnte eine konstante Temperierung erreicht werden, die bei der direkten Verschaltung von Hochleistungs- und Hochenergiezellen einen Betrieb aller Zellen innerhalb des „Komfortbereichs“ gewährleistet. Dadurch wird ein sicherer Betrieb, konstante Leistung und eine hohe Lebensdauer der Batterie garantiert. Weiterhin wird durch das Abfedern von Leistungsspitzen und das Verlängern der Stillstandszeit des Verdichters zusätzlich Energie eingespart und der Verdichter geschont.

Der kompakte Bauraum erforderte eine Neukonzeption des außen sitzenden Wärmetauschers, der als CO₂-Gaskühler und Verdampfer fungiert. Das Ergebnis ist eine Gewichtsersparnis von bis zum einem Drittel bei gleicher Leistung.

Thermomanagement heute

Durch Optimierung und Weiterentwicklung ist in 2020 die Baureihe *EmCO₂S – Ecological Mobile CO₂-System* entstanden. Dieses Serien-System bewährt sich auf der Straße in kontinuierlich steigender Zahl. Doch was das System wirklich kann, zeigt der umfangreiche Feldtest: In den Wintermonaten 2020/21 bei einer durchschnittlich vorherrschenden Tagestemperatur von –10°C mit verschiedenen 12-m-Stadtbussen in Deutschland, zeigt sich, wie sparsam und zuverlässig dieses System funktioniert. Die Fahrzeuge waren circa 14 Stunden im Einsatz und legten ungefähr 140 km zurück. Die Erfassung der Messdaten erfolgte über das komplette Fahrzeugsystem – vom Antrieb, über die Nebenverbraucher bis hin zu den Klimakomponenten. Die Auswertungen zeigten, dass nach einer kurzen Aufwärmphase am Morgen und nach der Pause die Anlage gleichmäßig lief, die Innenraumsolltemperatur von 20°C wurde problemlos über den ganzen Tag erreicht und gehalten. Die Fahrzeuge mit einem

EmCO₂S-System, als Gesamtsystem mit optimal abgestimmten Komponenten, benötigten nur 1,58 kWh/km. Ein System mit rein elektrischer Heizung benötigt unter gleichen Bedingungen 2,15 kWh/km. Bei diesen niedrigen Temperaturen konnten somit die Elektrobusse mit einem EmCO₂S-System circa 27 Prozent Energie einsparen oder die Reichweite um 27 Prozent erhöhen.

Die benötigte Energie gewinnt EmCO₂S durch eine CO₂-Wärmepumpe. Diese bezieht bis zu 75 Prozent der benötigten Wärme oder Kälte nicht aus fossilem Brennstoff oder Strom, sondern aus der Natur – aus der Umgebungsluft. Des Weiteren sammelt das EmCO₂S-System die nicht benötigte Wärme im Bus und speichert diese in zwei Energieträgermodu-

len. Bei Bedarf wird die Wärme zurück in das System geführt, direkt an die Stellen im Businnenraum, an denen sie gerade benötigt wird. Das kann zum Beispiel die Abwärme der Achsen oder die der Batterie sein, welche das System aufnimmt und zwischenspeichert, um später den Fahrzeuginnenraum damit zu heizen.

Zusammenfassung/Summary

Thermomanagement für die nächste Generation E-Bus

Die Anforderungen an die Klimatisierungskomponenten für Elektrobusse sind noch keine Konstante, sondern unterliegen einer stetigen Weiterentwicklung. Gut dran ist, wer vor vielen Jahren schon innovativ in die Zukunft geschaut und entsprechend investiert hat – denn die Elektromobilität hat uns vor viele neue Herausforderungen gestellt und tut es weiterhin. Feldtests belegen, wie effizient alternative Kältemittel sein können und wie wichtig stetige Forschung und Weiterentwicklung auch in dem Bereich Thermomanagement sind.

Thermal management for the next generation of electric buses

The demands on climate control components for electric buses are not yet an absolute term but are subject to a continuous development. The one who was already thinking innovatively years ago and invested accordingly is now in a good position – because electric mobility faces us with upcoming challenges. Field tests show how efficient alternative refrigerants may be and how important continuous research and development are in this field.

ANZEIGE

18. Internationale Schienenfahrzeugtagung



22.-24. September 2021



**JETZT
FÜR DEN
LIVESTREAM
ANMELDEN!**

mit **48 internationalen
Fachvorträgen** in
vier parallelen
Tagungssektionen

Programm und Anmeldung unter:

www.dvvmedia-webinar.com/rad-schiene

Veranstalter:



Offizielle Medienpartner:





Abb. 1: Ladepark von CleverShuttle in Leipzig (Hauptbahnhof).

Foto: CleverShuttle

Einsatz von E-Fahrzeugen in On-Demand-Verkehren

Bedarfsgerechte Konzeption von Ladeinfrastruktur und effizientes Lademanagement von Elektro-Flotten

Konstantin Lehrmann, M.Sc.; Berlin

Der Einsatz und Betrieb von E-Fahrzeugflotten ist die Zukunft des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV). Noch sind Elektrofahrzeuge im ÖPNV in deutschen Städten vergleichsweise selten. Doch in den letzten Jahren wächst ihr Anteil aufgrund von öffentlichen Förderungen und der Dringlichkeit, die Klimaschutzziele zu erreichen, stark. Auch On-Demand-Verkehre, die von Verkehrsunternehmen immer öfter als neue, flexible und attraktive Angebotsform im ÖPNV eingesetzt werden und als wichtiger Hoffnungsträger für die Mobilitätswende gelten, können ihr klimaschonendes Potenzial erst dann voll erfüllen, wenn sie elektrisch betrieben werden. Für

die erfolgreiche Umsetzung von vollelektrischen On-Demand-Verkehren im ÖPNV stellt sich, wie auch im Pkw-Markt, die Frage nach der Ladeinfrastruktur und dem Lademanagement. Dieser Beitrag zeigt die wichtigsten Aspekte auf, die beim Aufbau einer gut ausgestatteten Ladeinfrastruktur sowie beim effizienten Lademanagement für On-Demand-Verkehre zu beachten sind.

Ladeinfrastruktur für On-Demand-Verkehre

Der Ladepark eines elektrisch betriebenen On-Demand-Verkehrs ist der zentrale Ort, an dem die E-Flotten geladen werden und stellt damit die essenzielle Grundlage für

den operativen Betrieb des Verkehrs dar. Damit ein On-Demand-Verkehr zuverlässig und kontinuierlich die entsprechende Nachfrage der Fahrgäste bedienen kann, muss der Ladepark über eine entsprechende Ladeinfrastruktur verfügen.

Der Ladepark sollte so konzipiert sein, dass die elektrische Leistung und die Anzahl der Ladepunkte die Anforderungen des Verkehrs abdecken. Nur so kann garantiert werden, dass alle Fahrzeuge jederzeit ausreichend geladen für den Einsatz zur Verfügung stehen und schnelles Zwischenladen in den Schichtübergabephase sowie in den Pausen der Fahrer möglich ist. Hier ist der Zeit- und der Kos-

tenaspekt maßgeblich: Schnellladesäulen (DC-Ladepunkte) tragen zwar dazu bei, E-Flotten zeitsparend am Laufen zu halten, sind aber in der Anschaffung und Haltung kostenintensiv. Ein Ladepark, der ausschließlich aus Normalladesäulen (AC-Ladepunkte) besteht, kann hingegen nicht garantieren, dass Fahrzeuge auch nach nur kurzen Ladezeiten ihre Schichten pünktlich und ausreichend geladen antreten können. Während kurze Steh- und Ladezeiten die Anzahl der benötigten Fahrzeuge reduzieren können, können lange Ladezeiten wiederum dazu führen, dass mehr Fahrzeuge benötigt werden, um den Betrieb aufrechtzuhalten. Maßgeblicher Ausgangspunkt für den Ladepark ist also eine bedarfsgerechte Mischung aus Schnell- und Normalladepunkten.

Konzeption eines Ladeparks

Bei der Gestaltung eines Ladeparks für On-Demand-Verkehre sollten darüber hinaus folgende Faktoren berücksichtigt werden:

- Bedienung der Nachfrage und respektive Umsetzung der Schichtplanung,
- Übereinstimmung mit den technischen Voraussetzungen der E-Fahrzeuge,
- optimale Nutzung der vorhandenen Stromkapazität der Immobilie und
- Einhaltung des Budgets oder der maximal bereitstehenden Investitionssumme.



Zum Autor

Konstantin Lehmann ist seit Sommer 2018 Senior Operations Project Manager bei CleverShuttle und in dieser Rolle verantwortlich für den Aufbau und die operative Optimierung von CleverShuttle-Verkehren und -Betriebsstellen. Ein Schwerpunkt seiner Arbeit liegt in der Errichtung bedarfsgerechter Ladeinfrastruktur und deren Nutzung im späteren Fahrbetrieb. Er studierte International Business Management in Berlin sowie New York (Auslandssemester) und arbeitete vor dem Wechsel in die Mobilitätsbranche in den Bereichen Business Development und Supply Chain Management.

Um diese Kriterien zu erfüllen, müssen detaillierte Vorhersagen von Bedarf und Kosten durchgeführt werden. Zunächst wird eine Nachfrageprognose erstellt, um die notwendigen Kapazitäten des Ladeparks zu bestimmen, damit alle eingesetzten Shuttles geladen in ihre Schicht starten und die Fahrtanfragen bedienen können. Dazu werden unterschiedliche Szenarien der Nachfrageentwicklung skizziert, mit deren Hilfe die Ladebedarfe entsprechend bestimmt werden. So können unterschiedliche Nachfragesituationen unter zum Beispiel konservativen, moderaten und progressiven Wachstumsprognosen vorhergesagt werden.

Anschließend wird für jedes Wachstums-szenario ein Schichtplan erstellt. Anhand der nun absehbaren jeweiligen Dauer der Schichtübergabephasen und der notwendigen Ladezeit der Fahrzeuge an markttypischen Ladepunkten gemäß ihrer Bat-

teriekapazitäten, kann bestimmt werden, ob ein Fahrzeug schnell oder normal laden muss.

Aus der Menge der parallelen Schichtübergabephasen ergibt sich die Anzahl der notwendigen Ladepunkte unterteilt nach Normal- und Schnellladepunkten (Abb. 2 und 3). Die resultierende Übersicht stellt die Kapazitätsanforderungen an den Ladepark vollständig dar.

Die Ergebnisse der Analyse werden im nächsten Schritt so ausgewertet, dass eine Entscheidungsgrundlage für die notwendige Anzahl an benötigten AC- und DC-Ladepunkten getroffen werden kann. Gegebenenfalls kann zu diesem Zeitpunkt schon der geplante Umfang des Ladepark-Setups mit der vorhandenen Stromkapazität der Immobilie, auf der er errichtet werden soll, abgeglichen werden.

ANZEIGE

Mehr Infos unter:
www.vdv-akademie.de

Wir leben Lernen.

VDV Akademie

» Marketing- und Vertriebsoffensive:
Bausteine für eine Mobilitätswende
22.-23. September 2021 - Digital

» 11. Internationaler BME/VDV-Eisenbahnkongress
06.-07. Oktober 2021 in Essen

» 10. VDV-Personalkongress
26.-28. Oktober 2021 in Köln

VDV-Akademie · Kamekestraße 37-39 · 50672 Köln
0221 57979-173 · akademie@vdv.de · www.vdv-akademie.de

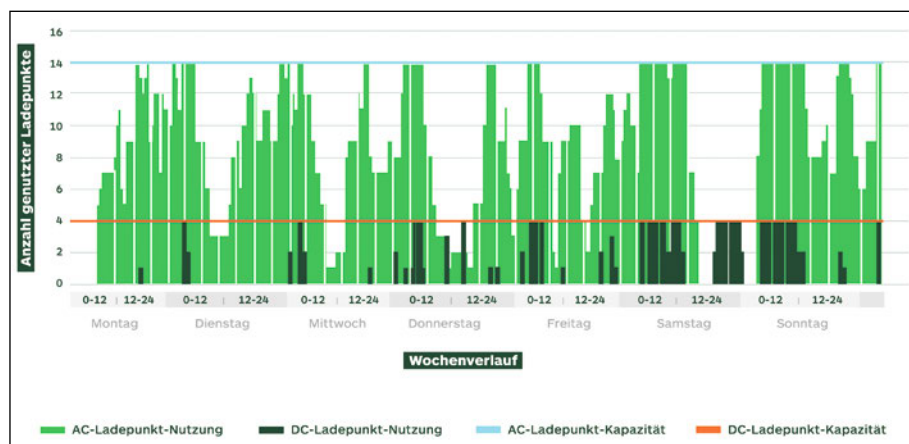


Abb. 2: Auslastung Ladeinfrastruktur im Wochenverlauf.

Grafik: CleverShuttle

Als letztes sollten stets möglichst akkurate Kostenvoranschläge eingeholt und mit den entsprechenden Posten der Budgetvorgaben abgeglichen werden, um beim Aufbau eines neuen Ladeparks im vorgegebenen Budgetrahmen zu bleiben. Dabei sollte sichergestellt werden, dass alle notwendigen Vorarbeiten, wie beispielsweise Elektrovorarbeiten, bedacht und in die Gesamtkostenanalyse integriert werden.

Auswahl und Einrichtung des Betriebssitzes

Insofern der Ort für den Betriebssitz noch nicht feststeht, kann im Anschluss an die Umfangsplanung der Ladeinfrastruktur die Suche nach einer geeigneten Immobilie beginnen. Als Kriterien zur Entscheidung für oder gegen einen Betriebssitz sollten, neben den Ergebnissen aus den vorher durchgeführten Analysen zu den Anforderungen der geplanten Ladeinfrastruktur, auch individuelle Aspekte berücksichtigt werden. So sollten beispielsweise operative Faktoren, wie das geplante Betriebs-

gebiet und die geplanten Einsatzszenarien des On-Demand-Verkehrs, aber auch strategische Aspekte, wie das verfügbare Budget einbezogen werden. Auf Basis dieser Informationen kann dann ein Anforderungskatalog entwickelt werden, der als Benchmark für die Evaluierung einer Immobilie verwendet werden kann. Im nächsten Schritt wird der Betriebssitz, den Vorgaben aus dem Anforderungskatalog entsprechend, eingerichtet.

Inbetriebnahme der Ladeinfrastruktur

Hierbei steht der Aufbau der Ladeinfrastruktur im Fokus der Projektplanung und -umsetzung. Zuletzt erfolgt die Inbetriebnahme der Ladeinfrastruktur sowie der Betriebsstart zum festgelegten Termin.

Folgende Schritte werden in dieser Projektphase durchgeführt:

- Planung und Verhandlung
 - Finalisierung der Verträge für Stellplätze und Büroräumlichkeiten und

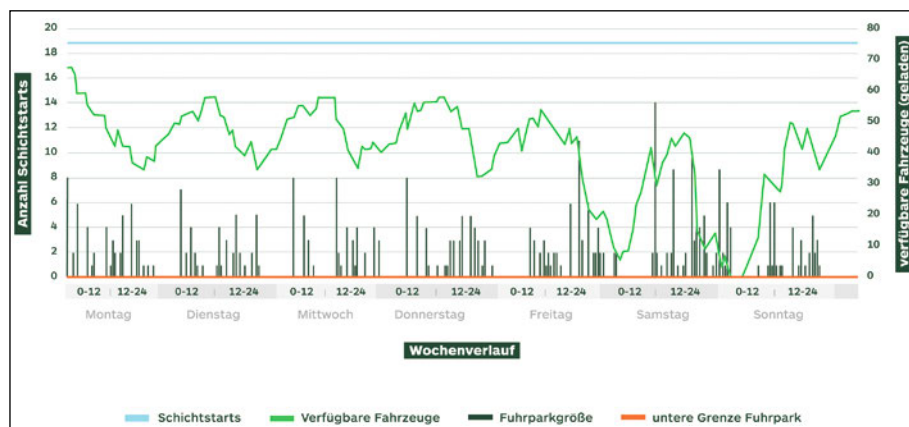


Abb. 3: Verfügbarkeit geladener Fahrzeuge im Wochenverlauf.

Grafik: CleverShuttle

- Abschluss der Planung der Baumaßnahmen für das Ladeinfrastruktur-Setup.

- Lieferphase der Ladeinfrastruktur
 - Bestellung und Lieferung der Ladeinfrastruktur.
- Vorbereitende Baumaßnahmen
 - Durchführung der Elektrovorarbeiten zur Installation der Ladeinfrastruktur.
- Inbetriebnahme der Ladeinfrastruktur
 - Installation der Ladeinfrastruktur (AC- und DC-Ladepunkte),
 - hardware- und softwareseitige Inbetriebnahme der Ladeinfrastruktur und
 - Test der Funktionsweise der Ladeinfrastruktur sowie gegebenenfalls des Lastmanagements mit Fahrzeugen aus eigener Flotte.
- Aufnahme des Fahrbetriebs
 - Verlegung aller betrieblichen Aktivitäten zum neuen Betriebssitz (zum Beispiel Fuhrpark, Fahrzeugpflege und -wartung, Bürotätigkeit),
 - systemseitiger Umzug (Ridepooling-Betriebssystem).

Lademanagement für On-Demand-Verkehre

Ist die Ladeinfrastruktur für einen On-Demand-Verkehr erstmal in Betrieb genommen, muss als nächstes die Bedienqualität des Verkehrs sichergestellt und das Fahr- und Dispositionspersonal ressourcenoptimiert eingesetzt werden. Um das zu gewährleisten, müssen die eingesetzten E-Fahrzeuge immer ausreichend geladen zur Verfügung stehen und Ladezeiten während der Arbeitszeit vermieden werden. Entscheidend dafür ist ein effizientes Lademanagement, bei dem private und öffentliche Ladeinfrastruktur ausgeschöpft wird.

Effizientes Lademanagement beruht auf einem System (Abb. 4) bestehend aus operativen Prozessen und dem gezielten Einsatz von Daten-Monitoring. Untermauert und getragen werden diese zwei Aspekte durch technische Hilfsmittel (Software). Nur durch die Koordinierung aller Abläufe durch diese technischen Hilfsmittel kann das maximale Potenzial des Lademanagements ausgeschöpft werden.

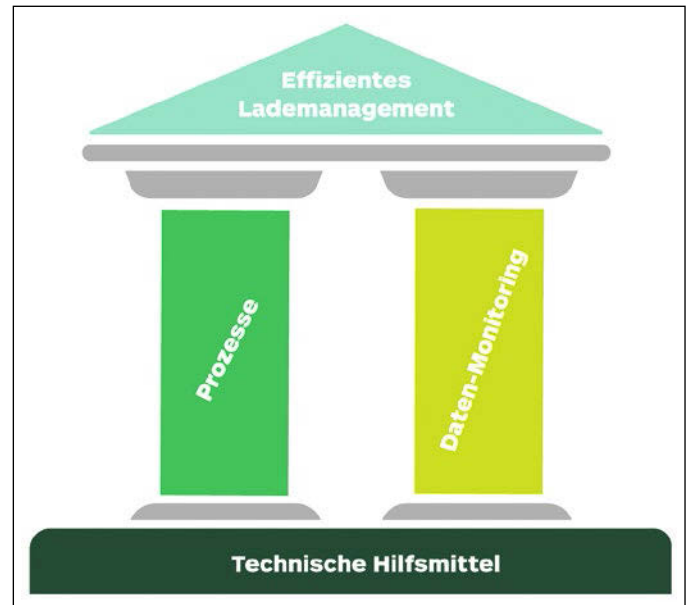
Softwaregestützte Optimierung der operativen Prozesse

Die erste Säule zielt darauf ab, die operativen Prozesse so zu gestalten, dass alle Fahrzeuge stets geladen ihre Schicht be-

ginnen. Hierzu sollte zunächst ein Minimalladestand als Zielladestand bestimmt werden, den jedes Auto vor Beginn einer Schicht aufweisen muss. Er sollte so bestimmt sein, dass das Fahrzeug für die Dauer der durchschnittlichen Schichtlänge inklusive Puffer, beispielsweise aufgrund von jahreszeitenbedingten Temperaturunterschieden, einsetzbar ist, ohne zwischenzuladen. Im nächsten Schritt wird eine entsprechende Ladesäule gewählt. Dazu müssen der vorliegende Ladestand des Fahrzeugs, die benötigte Ladedauer und die Schichtübergabephase berücksichtigt werden. Beim Einsatz älterer Fahrzeugtypen kann die Komplexität des Vorgangs zusätzlich dadurch gesteigert werden, dass die Art an Steckertypen pro Fahrzeug verschieden ausfallen können, sodass nicht jedes Fahrzeug mit jeder Ladesäule kompatibel ist.

Abb. 4: Säulen und Fundament für ein effizientes Lademanagement.

Grafik: CleverShuttle



Entscheidend in der Koordination von unterschiedlichen Schichtübergabephase, Ladeständen und der jeweils benötigten Ladedauer, ist die Einbindung von Softwarelösungen, so etwa das Operations-Tool OpsControl des On-Demand-Betreibers CleverShuttle. Mit diesem Tool ist unter anderem eine aktuelle Ladeliste für die sich im Einsatz befindenden Fahrzeuge jederzeit einsehbar. Diese gibt priorisiert an, welches Fahrzeug an welcher Ladesäule zu laden ist, um zeitoptimiert den Minimalladestand zu erreichen. Durch dieses technische Hilfsmittel wird gewährleistet, dass der Prozess des Ladens strukturiert, planbar sowie ressourcenoptimiert verläuft und die eingeplanten Fahrzeuge zum Schichtstart geladen sind.

Sicherheitsmechanismen zur Absicherung des Systems

Weiterhin müssen Sicherheitsmechanismen etabliert werden, die dem Unterschreiten eines kritischen Ladestands vorbeugen. Zusätzlich zum regulären Ladeplan sollte dazu eine Methode zum Zwischenladen der Fahrzeuge etabliert werden. Es bietet sich beispielsweise an, die Fahrzeuge, während der gesetzlich vorgegebenen Ruhepausen der Fahrer an Schnellladesäulen zu laden. Technische Hilfsmittel zur Unterstützung des Lademanagements sollten daher so konzipiert sein, dass sie auch diesen Ablauf grundlegend koordinieren können. So erkennt das CleverShuttle-eigene Software-Tool auch die jeweils aktuellen Ladestände beziehungsweise die Reichweite der Fahrzeuge

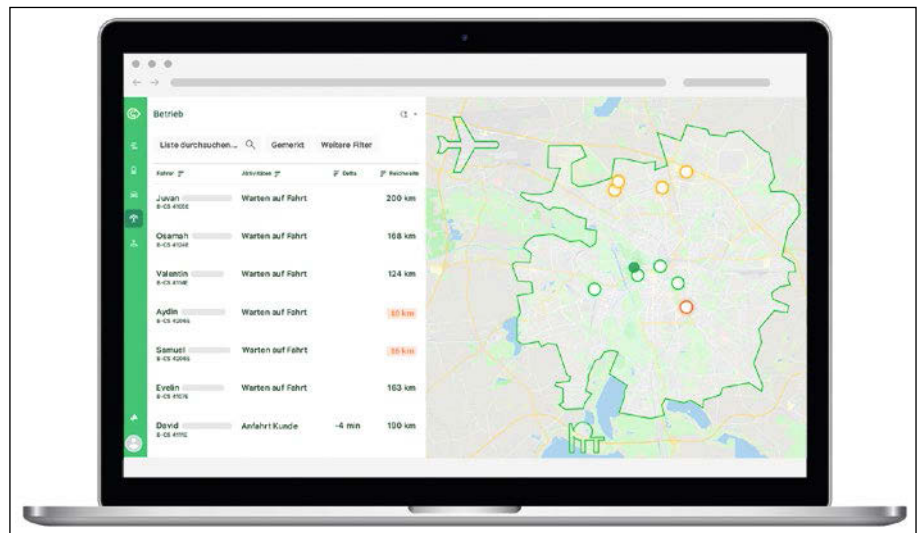


Abb. 5: Anzeige aktueller Ladestände/Reichweiten von Fahrzeugen im Livebetrieb im CleverShuttle-eigenen Software-Tool OpsControl.

Screenshot: CleverShuttle

ANZEIGE

KONVEKTA
The Innovation Company.

Die CO₂-Wärmepumpe für E-Busse

eco value

Nur weil etwas unvorstellbar ist, bedeutet es nicht, dass es nicht doch möglich ist.

www.konvekta.com

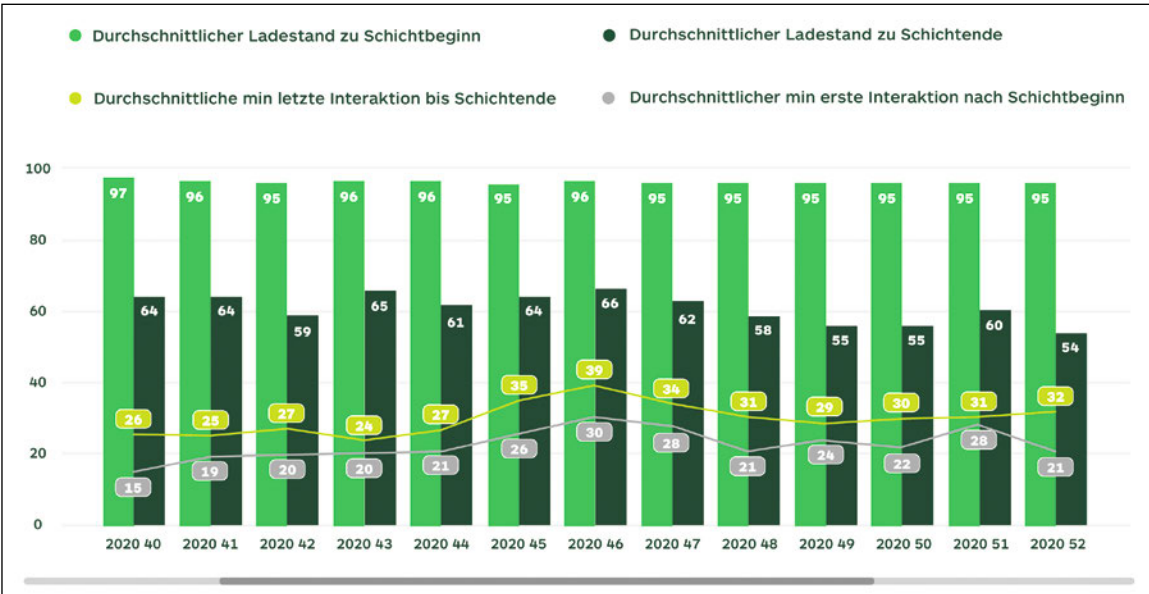


Abb. 6: Trendentwicklung Ladestände.

Grafik: CleverShuttle

im Livebetrieb (Abb. 5). Auf Basis dieser Anzeige entscheiden Disponenten und Fahrerbelegschaft, ob ein Zwischenladen notwendig ist.

Beim Zwischenladen ist der Ort des Ladens relevant. Wenn es die rechtlichen Vorgaben zulassen, muss ein Zwischenladen nicht am eigenen Ladepark stattfinden, sondern kann über öffentliche Ladeinfrastruktur erfolgen. So können eine Entlastung der eigenen Ladeinfrastruktur erzielt und energieverbrauchende Anfahrtswege vermieden werden.

Zusätzlich können die eingesetzten Fahrzeuge so räumlich verteilt werden, dass sie die erwartete Nachfrage optimal abdecken. Dadurch werden kürzere Wartezeiten für Endkunden und somit die Bedienqualität gesichert.

Daten-Monitoring für Verbesserung des Lademanagement

Die zweite Säule des Lademanagements bildet das Daten-Monitoring. Ein solches Monitoring ermöglicht eine konstante Messung und Prüfung des Lademanagements – in Form von sogenannten Lademanagement-Reports (Abb. 6). Dadurch kann das Erreichen von Zielgrößen auch nachträglich betrachtet werden und operative Prozesse sowie die technische Umsetzung optimiert werden. Auch Maßnahmen zur weiteren technischen sowie operativen Optimierung können daraus abgeleitet werden.

Fazit

Um den langfristigen effizienten Betrieb von vollelektrischen On-Demand-Verkehr-

ren zu garantieren, ist die zuverlässige Stromversorgung der gesamten Flotte maßgeblich. Das Lademanagement kann erst dann optimiert umgesetzt werden, wenn die Ladeinfrastruktur den Anforderungen des geplanten Verkehrs gerecht wird. Der Ladepark und die dazugehörige Ladeinfrastruktur sollten deshalb auf Basis von detaillierten Prognosen zu Nachfrage und Wachstum des Verkehrs konzipiert werden.

Für einen reibungslosen Ablauf aller Prozesse im Betrieb, eine hohe Servicequalität und einen effizienten Personaleinsatz ist letztendlich ein optimiertes Lademanagement ausschlaggebend. Dazu müssen die Säulen der Prozessoptimierung und des Daten-Monitorings ineinandergreifen. Hierbei ist die Einbindung softwaretechnischer Tools unabdingbar.

Zusammenfassung/Summary

Einsatz von E-Fahrzeugen in On-Demand-Verkehren

Für den erfolgreichen Einsatz von klimafreundlichen Elektrofahrzeugen in On-Demand-Verkehren sind eine bedarfsgerechte Ladeinfrastruktur und ein effizientes Lademanagement unabdingbar. Im ersten Schritt müssen detaillierte Nachfrageprognosen und -simulationen durchgeführt werden, um eine Ladeinfrastruktur aufzubauen, welche die aufkommende Nachfrage bedienen kann, auf die jeweilige Schichtplanung abgestimmt ist, mit den technischen Voraussetzungen der E-Fahrzeuge übereinstimmt sowie vorhandene Stromkapazitäten optimal nutzt. Erst im Anschluss daran kann die Suche nach einer geeigneten Immobilie (Betriebssitz) beginnen und die Ladeinfrastruktur in Betrieb genommen werden. Im zweiten Schritt muss ein effizientes Lademanagement gewährleisten, dass die eingesetzten E-Fahrzeuge immer ausreichend geladen zur Verfügung stehen und Ladepausen während der Arbeitszeit vermieden werden. Dafür kommen dezidierte Software-Tools zur Koordinierung aller operativen Abläufe, zur Absicherung des gesamten Lademanagement-Systems und für ein kontinuierliches Daten- und Statusmonitoring zum Einsatz.

Use of electric vehicles in demand responsive transport (DRT)

Adaptable charging infrastructure and efficient charge-management are essential prerequisites to successfully operating on-demand services with electric fleets. As a first step, detailed trip-demand forecasts and simulations must be carried out. Based on these forecasts, a charging infrastructure can be designed to meet emerging demand, adapt to alternating shift plans, correspond to technical requirements of the vehicles in the fleet, and to make optimal use of any existing power supply. Once an appropriate charging infrastructure has been designed, it is time to select a suitable location (charging park) where it can be installed and put it into operation. In the second step, an efficient charge-management system must be set up to ensure that the vehicles in the fleet are sufficiently charged at all times, and that charging breaks during shifts are avoided. Dedicated software tools are crucial for coordinating the operational processes involved, ensuring that necessary fallback systems are in place, and for continuous data monitoring.

Ökologische Bewertung von E-Bussen in Deutschland

Ergebnisse aus der Begleitforschung Innovative Antriebe im straßengebundenen ÖPNV

Dr. Michael Faltenbacher, Leinfelden-Echterdingen; Alexander Stoffregen, Berlin

War der Einsatz von Elektrobusen für den straßengebundenen Öffentlichen Personen-Nahverkehr (ÖPNV) vor einigen Jahren meist nur vereinzelt im Testbetrieb zu beobachten, fahren mittlerweile eine steigende Zahl von Elektrobusen (E-Busse: batterieelektrische Busse, Brennstoffzellenbusse und O-Busse) im Regelbetrieb, laut KBA waren es im April 2021 knapp 900 E-Busse [1]. Wesentlicher Treiber für das gestiegene Interesse und den Einsatz von Elektrobusen beziehungsweise sogenannter Nullemissionsfahrzeuge im ÖPNV sind die steigenden Anforderungen hinsichtlich der Luftqualität und der Lärminderung in den Innenstädten sowie die Anstrengungen, den Ausstoß an Treibhausgasen zum Schutze des Klimas, wie im Übereinkommen von Paris [2] geregelt, zu reduzieren, um die globale Erwärmung unter 2° C gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen. Die Umsetzung der europäischen Clean Vehicle Directive (CVD) [3] über das Gesetz zur Beschaffung sauberer Straßenfahrzeuge (Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungs-Gesetz – SaubFahrzeugBeschG) [4] zum 2. August 2021 gibt verbindliche Quoten für die Neubeschaffung von „sauberen und emissionsfreien“ Bussen für den ÖPNV vor und wird die Verbreitung von Elektrobusen zur Erfüllung der Quote für emissionsfreie Busse im ÖPNV weiter beschleunigen. Mit Blick auf den ÖPNV schreibt die CVD beziehungsweise das SaubFahrzeug-BeschG vor, dass in Deutschland zunächst ab dem 2. August 2021 bis zum 31. Dezember 2025 mindestens 45 Prozent der neu zu beschaffenden Busse beziehungsweise im Rahmen neu vergebener Dienstleistungsaufträge zur Personenbeförderung eingesetzte Fahrzeuge alternative Antriebs-

konzepte zu verwenden haben, die Hälfte davon wiederum emissionsfrei. Während für die Erfüllung der Quote zu den „sauberen“ Fahrzeugen alternative Kraftstoffe wie GtL, CNG, LNG und Biokraftstoffe beziehungsweise Diesel-Plug-In-Hybride eingesetzt werden können, sind für mindestens 22,5 Prozent der neu zu beschaffenden beziehungsweise im Rahmen neu vergebener Linienverkehre eingesetzten Busse emissionsfreie, also Batterie- oder BZ-Busse einzusetzen. Dies entspricht laut NOW GmbH circa 1000 Busse [5] pro Jahr. Ab dem 1. Januar 2026 erhöht sich die Quote an sauberen Bussen auf mindestens 65 Prozent, so dass dann bereits mindestens 32,5 Prozent der neuen Busse emissionsfrei sein müssen. Im Rahmen seiner Förderprogramme für die Beschaffung von elektrisch angetriebenen Bussen, hat das Bundesverkehrsministerium

(BMVI) ein Konsortium [6] unter der Leitung von Sphera mit der Begleitforschung Innovative Antriebe im straßengebundenen ÖPNV beauftragt. Die Koordination auf programmatischer Ebene für das BMVI wird von der NOW GmbH wahrgenommen. Ziel dieser Begleitforschung ist zum einen die detaillierte Analyse und Bewertung der im Einsatz befindlichen und geförderten Busse mit alternativen Antrieben sowie die Bereitstellung von Informationen und Hilfestellungen, zum Beispiel in Form von Werkzeugen zur Unterstützung der Entscheidungsfindung bei den Verkehrsunternehmen, welche Antriebstechnologie unter Berücksichtigung der jeweils individuellen Einsatzbedingungen vor Ort geeignet ist und zum Einsatz kommen soll. Die Ergebnisse werden den Stakeholdern unter anderem im Rahmen der Arbeitsgruppe Innovative Antriebe Bus (kurz AG

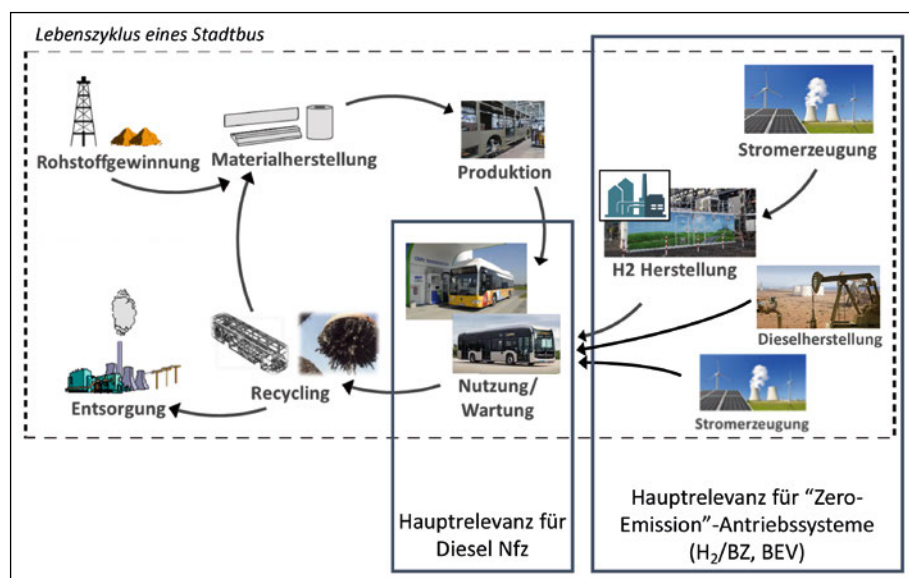


Abb. 1: Übersicht Lebenszyklus eines Stadtbusses.

Grafiken: Darstellung der Autoren

Tab. 1: Untersuchungsrahmen der Bewertung

Thema	Festlegung
Produkt	12-m- und 18-m-Stadtbusse für den ÖPNV mit unterschiedlichen Antriebskonzepten. Konfigurationen basieren auf aktuellen Produkten europäischer Produzenten. Siehe Tabelle 2 für die betrachteten Busspezifikationen.
Funktionelle Einheit	12-m- und 18-m-Stadtbuss, 12 Jahre Lebensdauer, jährliche Laufleistung 60.000 km. Aufgrund der aktuell geringeren Reichweiten der Batteriebusse (siehe angenommene Batteriekapazität, Tab. 2) sowie betrieblicher Aspekte (zum Beispiel sind beim Gelegenheitslader bei kurzen fahrplanbedingten Wendezeiten zum Teil überschlagene Wendungen erforderlich) wird zur Realisierung der Tagesumläufe gegenüber den Diesel- oder Wasserstoffbussen ein Mehrbedarf an Bussen von 35 Prozent für Depotlader und 10 Prozent für Gelegenheitslader berücksichtigt.
Systemgrenzen	Die Bewertung umfasst den gesamten Lebenszyklus inklusive Buserstellung, Nutzung, Wartung und Entsorgung. Reparatur und allgemeine Aufwendungen für Werkstatt/Depot oder Betriebssteuerung sowie die Herstellung und Wartung der Ladeinfrastruktur für die Batteriebusse sind nicht berücksichtigt. Für die Strom- und Wasserstoffherzeugung (inklusive Transport und Betankung/Ladung) ist die Infrastruktur (Anlagen, Leitungen, Trailer et cetera) berücksichtigt, einzige Ausnahme ist die Anlage zur Dampfpreformierung von Erdgas. Gutschriften für in der Entsorgung zurückgewonnene Materialien oder Energie bei der Busverwertung am Lebensende wurden, analog gängigem Vorgehen bei Ökobilanzen in der Automobilindustrie, nicht berücksichtigt.
Zeitliche / geografische / technische Referenz	Verwendete Ökobilanzdatensätze aus GaBi Datenbanksystem für Energie- und Materialbereitstellung beziehen sich auf 2017, die Strom- und H ₂ -Bereitstellungsdatensätze beziehen sich auf 2020. Aktuelle Buskonfigurationen europäischer Hersteller wurden verwendet. Einsatzort ist Deutschland. Die verwendeten Verbrauchsdaten der Busse sind mit Messdaten aus der Betriebsdatenerfassung der Bus-Begleitforschung für den Zeitraum Jan 2019 – Jan 2021 abgeglichen. Die Verbrauchs- und Emissionsdaten für den Dieselbus wurden dem Handbuch Emissionsfaktoren entnommen. Die E-Busse werden im Sinne eines vollständig emissionsfreien Betriebes rein elektrisch beheizt beziehungsweise klimatisiert.
Umweltkategorien	Klimawandel (nach Environmental Footprint 3.0 [8]) ausgedrückt in CO ₂ -Äquivalenten, zusätzlich werden die Stickoxidemissionen stellvertretend als Indikator für die Auswirkung auf die Luftqualität im urbanen Raum betrachtet.
Ökobilanzdatenbank	Sachbilanzinventare (Emissionen und Ressourcenentnahmen) für die Bereitstellung von Material und Energie wurden der aktuellen Datenbank der Ökobilanzsoftware GaBi 10 [9] entnommen.

Bus) zur Verfügung gestellt. Die AG Bus wurde gemeinsam vom Bundesverkehrs- und Bundesumweltministerium in 2011 initiiert und dient als Plattform für den Informations- und Erfahrungsaustausch zwischen Verkehrsunternehmen, Herstellern, Forschungsinstitutionen und den fördernden Bundesministerien.

In der Ausgabe November 2019 dieser Zeitschrift wurde bereits aus der Begleitforschung Innovative Antriebe im straßengebundenen ÖPNV des BMVI berichtet. Der Schwerpunkt lag damals auf den ersten Erfahrungen bezüglich Nachladesystem, Reichweitenanforderungen, Verfügbarkeit und Energieverbräuche in der Praxis sowie den allgemeinen Betriebserfahrungen mit Elektrobussen. Thema dieses Beitrags ist die ökologische Bewertung der Elektrobusse gegenüber konventionellen Dieselnissen unter Berücksichtigung des gesamten Lebenszyklus.

Für die ökologische Bewertung von Batterie- und BZ-Bussen wurde eine Methodik in Anlehnung an die Ökobilanz nach EN ISO Norm 14040/44 [7] verwendet. Die Ökobilanz betrachtet den gesamten Lebenszyklus eines Produktes oder einer Dienstleistung. Dabei wird die benötigte Extraktion

von Rohstoffen, die Herstellung von Halbleitern, die Herstellung und Nutzungsphase der Busse als auch die Entsorgung betrachtet (Abb. 1).

Für die Ökobilanz werden die Ressourcenverbräuche und Emissionen entlang des Lebenszyklus der einzelnen Busse erfasst, addiert und in der Wirkungsabschätzung als Umweltindikatoren (zum Beispiel Klimawandel beziehungsweise Treibhausgas) ausgedrückt. Ziel der Bewertung ist es, ökologische Unterschiede über den Lebenszyklus, die sich aus der Verwendung der innovativen Antriebssysteme für die Busse gegenüber konventionellen Dieselnissen ergeben, aufzuzeigen.

Untersuchungsrahmen

Tabelle 1 fasst den Untersuchungsrahmen der Bewertung zusammen.

Als Batteriebusse wurden jeweils für 12-m-Solobusse und 18-m-Gelenkbusse eine Konfiguration als Depotlader und eine als Gelegenheitslader, für BZ-Busse jeweils eine Konfiguration als reiner BZ-Bus mit kleiner HV-Batterie als Puffer und eine als BZ-Rangeextender (BZ-REX) berücksichtigt. Die in Tabelle 2 darge-

stellten Spezifikationen der ausgewählten Antriebskonzepte basieren im Wesentlichen auf aktuellen Produktkatalogen europäischer Hersteller und Zulieferer sowie Annahmen der Begleitforschung Innovative Antriebe im straßengebundenen ÖPNV. Die Leergewichte wurden auf Basis von Angaben einzelner Hersteller sowie basierend auf Gewichten spezifischer Komponenten (Lithiumionenbatterie, Brennstoffzelle, Wasserstoffdruckspeicher et cetera) für die jeweiligen Batterien (BZ/BZ-REX) Konfigurationen berechnet und sollen eine möglichst repräsentative Fahrzeugkonfiguration darstellen. Daten einzelner Modelle werden hiervon naturgemäß abweichen. Für alle betrachteten Lithiumionenbatterien (NMC – Kathode: Lithiumnickelmangancobaltoxid oder LTO – Anode: Lithiumtitanatoxid) wurde eine Lebensdauer von sechs Jahren und somit ein Austausch während des Lebenszyklus des Busses angenommen. Für die Brennstoffzelle wurde ebenfalls ein Austausch des Stacks nach sechs Jahren festgelegt. Diese Annahmen bezüglich Komponentenlebensdauer stellen bewusst eher konservative Annahmen dar.

Die verwendeten Verbrauchswerte sämtlicher Busse sowie die berücksichtigten

Tab. 2: Bus-spezifikationen für ökologische Bewertung

	Länge	Ladeinfrastruktur	Leergewicht [t]	Batterie		Brennstoffzelle	H ₂ -Speicher	Anzahl Antriebsachse (mit zwei Radnaben E-Motoren à 125 kW max.)
				Typ	Kapazität [kWh]	Leistung [kW]	[kg] / Anzahl Flaschen	
Batterie	12 m	Depot-lader	14,2	NMC	396			1
	12 m	Gelegenheitslader	12,7	LTO	110			
	18 m	Depot-lader	20,4	NMC	495			2
	18 m	Gelegenheitslader	18,7	LTO	150			
BZ	12 m		12,7	LTO	36	70	38 / 5	1
	18 m		18,9	LTO	54	100	46 / 6	2
BZREX	12 m	Depot-lader	13,8	NMC	252	45	19 / 4	1
	18 m	Depot-lader	19,8	NMC	300	60	28 / 6	2
Diesel Euro VI	12 m	nicht erforderlich	11,1	nicht vorhanden				
	18 m		16,1					

Verbrennungsemissionen der Dieselsebusse sind in Tabelle 3 dokumentiert. Für den Diesel ergibt sich nach DIN EN 16258 bei einer Beimischung von 5,8 Vol. % Biokraftstoffen ein Emissionsfaktor von 2,52 kg CO₂-Äq./l Diesel gegenüber 2,67 kg CO₂/l bei rein fossilem Diesel. Die Stromverbräuche für die Batteriebusse sowie den BZ-REX sind fahrzeugseitig angegeben. Die Verbräuche der Elektrobusse beinhalten den Verbrauch der elektrisch betriebenen Heizung beziehungsweise Klimatisierung im Sinne eines mittlere-

ren Jahresverbrauchs, gemittelt über alle Jahreszeiten. Zur Abschätzung des effektiven Stromverbrauchs wird für die Ladeinfrastruktur (Anschluss Mittelspannung, Wandlung Wechsel- auf Gleichstrom, Laden und Entladen der Batterie) eine Effizienz von insgesamt circa 88 Prozent angenommen. Zusätzlich wird angenommen, dass sich für Batteriebalancing und Fahrzeugvorkonditionierung ein zusätzlicher Strombedarf von circa 10 Prozent ergibt. Aus dem Stromverbrauch von 160 kWh/100 km für den 12-m-Gelegen-

heitslader ergibt sich so netzanschlussseitig ein effektiver (und auch zu bezahlen-der) Energiebedarf von 201 kWh/100 km, für den 18-m-Gelegenheitslader ergeben sich 251 kWh/100 km.

Energiebereitstellung

Abbildung 2 zeigt zunächst den deutschen Strom-Mix nach Energiequellen für 2020 sowie die Entwicklung zwischen 2010 und 2020. Bei den erneuerbaren Energien zeigt sich ein kontinuierlicher Anstieg des An-

ANZEIGE



Saubere Busse
Saubere Städte

Busflotte analog EURO VI
durch Nachrüstung

- >> Maximale NOx Reduktion im realen Linienbetrieb
- >> Funktionssicher auch bei Minusgraden
- >> Für alle gängigen Bustypen verfügbar

Exklusiv nur von HJS

www.hjs.com

HJS
Emission Technology

Tab. 3: Verbrauchs- und Emissionswerte der Busse (SORT 2, mittlere Topographie)

		Diesel		Batterie				BZ		BZ-REX	
		12m	18m	Depot		Gelegenheits-lader		12m	18m	12m	18m
				12m	18m	12m	18m				
Energiebedarf	Diesel [l/100 km] [10]	43,7	57,2								
	Wasserstoff [kg/100 km]							8,5	11,3	5,7	8
	Strom [kWh/100 km] (fahrzeugseitig)			160	200	150	190			47	62
	Strom [kWh/100 km] (netzseitig)			201	251	189	239			59	78
Emissionen [10]	NOx [g/km]	0,874	0,734	Lokal emissionsfreier Betrieb							
	PM2.5 [g/km]	0,0068	0,0077								
	CO ₂ [g/km]	1.100	1.440								

teils am Strom-Mix, der im Wesentlichen von wachsender Stromerzeugung aus Windkraft und Photovoltaik geprägt ist. Die Anteile von Strom aus Biomasse und Wasserkraft stagnieren weitestgehend aufgrund der derzeitigen Rahmenbedingungen beziehungsweise weil die Ausbaupotentialen weitgehend erschöpft sind. Für die direkte Verwendung von Strom in Batteriebussen, als auch für die Wasserstoffproduktion via Elektrolyse wird als Basisszenario ein erneuerbarer Strom-Mix aus Windkraft und Photovoltaik mit den aktuellen Verhältnissen (2020: 72 Prozent Wind/28 Prozent PV) festgelegt. Im weite-

ren Verlauf der Analyse werden Sensitivitäten dargestellt, beispielsweise mit dem aktuellen deutschen Strom-Mix beziehungsweise Wasserstoff via Dampfreformierung von Erdgas.

Abbildung 3 und 4 verdeutlichen, dass die eingesetzten Energieträger für die Erzeugung von Strom und Wasserstoff einen entscheidenden Einfluss auf die Treibhausgasemissionen (THG) der Energiebereitstellung haben. Die gezeigten Treibhausgasemissionen für die Strom- und Wasserstoffbereitstellung enthalten die Bereitstellung genutzter Energieträger, de-

ren Konversion sowie weitestgehend die Infrastruktur. Annahmen für die Bereitstellung der einzelnen Energieträger (Strom, Wasserstoff und Diesel) werden nachfolgend erörtert.

Abbildung 3 gibt einen Überblick zur Treibhausgasintensität der Stromerzeugung aus verschiedenen fossilen und erneuerbaren Energieträgern. Referenzfall ist der deutsche Strom-Mix 2020 mit 426 g CO₂-Äq./kWh Strom. Darin sind die Vorketten für die Energieträgerbereitstellung sowie die Aufwendungen für die Stromerzeugungsanlagen und Netzverluste berücksichtigt. Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Ressourcen in Deutschland führt zu THG-Einsparungen von mindestens 90 Prozent.

Die in Abbildung 4 gezeigten Treibhausgasemissionen für spezifische Wasserstoffpfade beinhalten neben der eigentlichen Produktion auch einen Transport von 50 km, mittels 200 bar Transporttrailer, die Komprimierung sowie Lagerung an der Tankstelle und die Betankung selbst. Die Dampfreformierung beinhaltet die Treibhausgasemissionen aus der Reformierung von Erdgas zu Wasserstoff sowie das aus der Bereitstellung der benötigten Wärme und Dampf entstehende Kohlendioxid. Die Treibhausgase, die sich aus der Bereitstellung des Erdgases für die Dampfreformierung ergeben, sind extra ausgewiesen. Für die Dampfreformierung als auch für die Chlor-Alkali-Elektrolyse wurden für Komprimierung und Betankung jeweils der aktuelle Strom-Mix verwendet. Bei der Elektrolyse wurden für Komprimierung und Betankung jeweils die gleiche Stromversorgung wie bei der Elektrolyse angenommen. Würde für Dampfreformierung oder die Chlor-Alkali-Elektrolyse

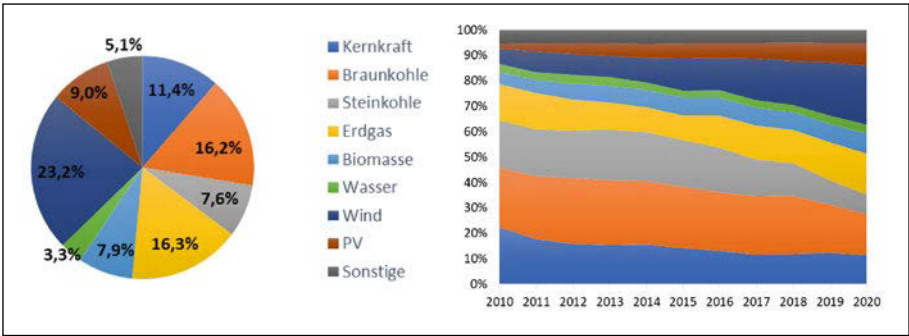


Abb. 2: Strom-Mix Deutschland 2020 und 2010-2020 [11].

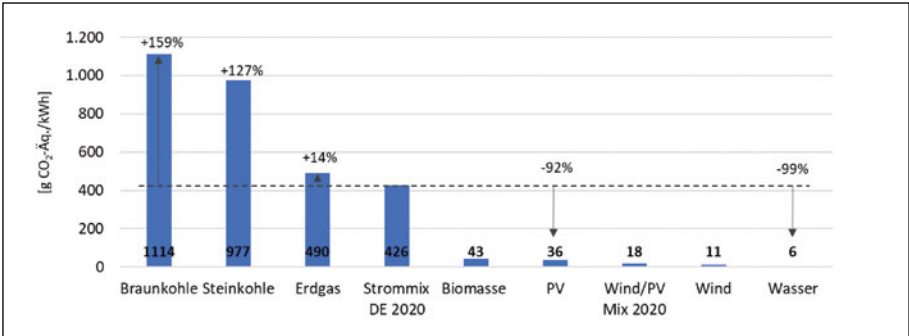


Abb. 3: Treibhausgasintensitäten der Strombereitstellung in Deutschland.

zum Beispiel Windstrom für Komprimierung und Betankung eingesetzt, ließen sich circa 1,4 kg CO₂-Äq./kg H₂ einsparen.

Für die konventionellen Dieselbusse wurde Diesel mit einer aktuellen Beimischung von 5,8 Vol. % Biokraftstoffen für die Bewertung berücksichtigt. Die mit der Bereitstellung von Diesel in Deutschland verbundenen Treibhausgasemission liegen bei 473 g CO₂-Äq./l Diesel.

Exemplarische Ergebnisse

Treibhausgase

Abbildung 5 zeigt die Ergebnisse unter Verwendung des Basisszenarios, nachfolgend werden in der Sensitivitätsanalyse Ergebnisse unter Verwendung des Strom-Mix für den Depotlader beziehungsweise unterschiedliche Herstellungsrouten für Wasserstoff für den BZ-Bus dargestellt.

Die Ergebnisse der Treibhausgasemissionen in Kohlendioxidäquivalenten (CO₂-Äq.) zeigen deutlich höhere Werte für die Fertigung der Busse mit innovativen Antrieben. Für die Herstellung eines 12-m-Diesel-Solobusses wurden 46 t CO₂-Äq. (18 m: 66 t CO₂-Äq.) ermittelt, während die betrachteten Batterie- und BZ-Busse zwischen 70 und 86 t CO₂-Äq. (18 m: 98–118 t CO₂-Äq.) verursachen. Hinzu kommen die Aufwendungen für den Tausch der Lithiumionenbatterie (LIB) oder des BZ-Stacks. Insbesondere die Herstellung der LIB trägt in Abhängigkeit ihrer Energiekapazität zu den Mehrmissionen bei (38 t CO₂-Äq. für 396 kWh NMC/24 t CO₂-Äq. für 110 kWh LTO). Für die Batteriebusse besteht aktuell zur Realisierung der Tagesumläufe gegenüber den Diesel- oder BZ-Bussen aufgrund der geringeren Reichweite ein Mehrbedarf an Bussen. Dieser wird mit 35 Prozent für Depotlader und 10 Prozent für Gelegenheitslader angenommen. Die für die Herstellung dieses Mehrbedarfes resultierenden Treibhausgasemissionen in Abbildung 5 sind inklusive dem Austausch der LIB und den Aufwendungen für die Entsorgung angegeben. Bei den BZ-Bussen tragen neben den LIB vor allem die Wasserstoffdruckspeicher mit hohen Kohlefaseranteilen und die Brennstoffzelle wurde eine Platinbeladung von <1 g/kW angenommen. Gleichzeitig zeigt die ökologische Lebenszyklusbetrachtung, dass die höheren Treibhausgasemissionen aus der Herstellung der E-Busse bei der direkten Verwendung von erneuerbarem Strom aus Wind

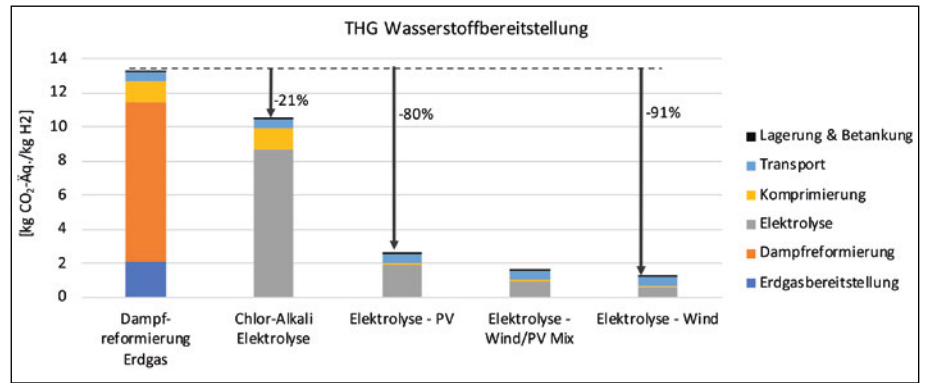


Abb. 4: Treibhausgasintensitäten der Wasserstoffbereitstellung in Deutschland [12].

und Photovoltaik im Batteriebus/BZ-REX oder zur Elektrolyse von Wasser zu Wasserstoff mit anschließender Verwendung im BZ-Bus gegenüber den Dieseln deutlich kompensiert werden. Der Batteriebus (12 m) mit großer NMC-Batterie und Depotladung kann gegenüber Diesel 78 Prozent der Treibhausgasemissionen über den Lebenszyklus einsparen. Beim Gelegenheitslader ergeben sich aufgrund der klei-

neren Batterie und des niedrigeren Stromverbrauchs in der Nutzungsphase, der sich aus dem geringeren Fahrzeuggewicht ergibt, 85 Prozent Einsparung. Bei den Wasserstoffbussen (BZ und BZ-REX 12 m) werden die höheren Konversionsverluste bei Elektrolyse und Brennstoffzelle gegenüber den Batteriebusen aufgrund des nicht benötigten Mehrbedarfs an Buskapazität kompensiert, sodass die Einsparungen mit

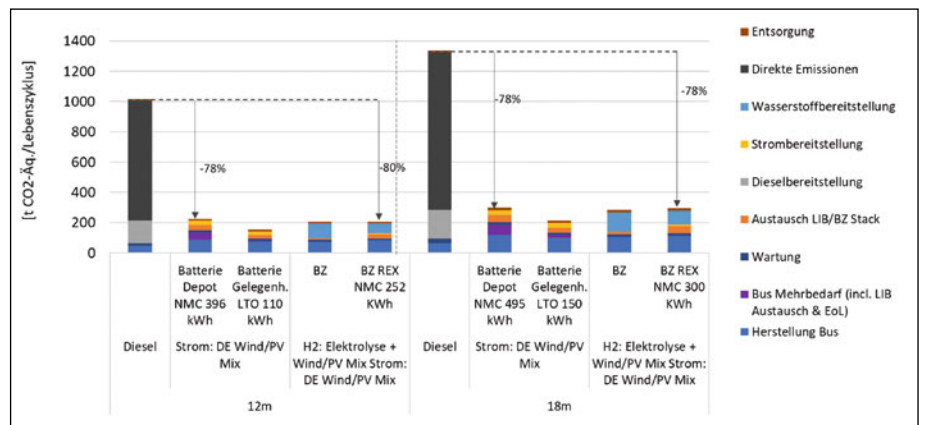


Abb. 5: Treibhausgasemissionen Lebenszyklus 12-m- und 18-m-Busse.

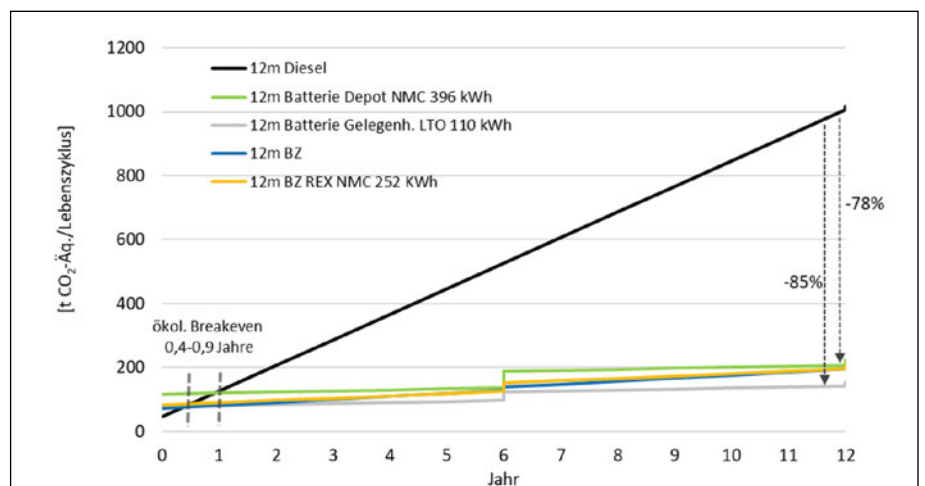


Abb. 6: Breakeven der Treibhausgasemissionen, Lebenszyklus bei 12 m.



Zum Autor

Dr. Michael Faltenbacher (48) ist seit 2006 bei Sphera Solutions GmbH (vormals thinkstep AG) und als Teamleiter verantwortlich für den Bereich Transport und Mobilität. Mit mehr als 20 Jahren Erfahrung auf dem Gebiet der ökologischen und ökonomischen Bewertung von Transport- und Energiesystemen verfügt er über umfassendes Know-how zu alternativen Kraftstoff- und Antriebstechnologien für Kraftfahrzeuge. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf lebenszyklusbasierten Umwelt- und Kostenbetrachtungen von E-Fahrzeugen, angetrieben mit Batterie und/oder Brennstoffzelle. Im Busbereich koordiniert er seit 2010 im Auftrag des Bundesverkehrsministeriums (BMVI) die Begleitforschung Innovative Antriebe Bus.



Zum Autor

Alexander Stoffregen (44) ist seit 2005 bei Sphera (vormals thinkstep) tätig und beschäftigt sich seit über 15 Jahren mit der ökologischen und ökonomischen Bewertung von alternativen Kraftstoffen und Antriebssystemen. Sein besonderes Interesse liegt in der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien, Biokraftstoffen und Wasserstoff sowie der Fertigung von Lithiumionenbatterien und Brennstoffzellen für den Fahrzeugbereich. Durch die Mitarbeit in einer Vielzahl von internationalen Forschungs- und Industrieprojekten im Automobil- und Energiesektor verfügt er über fundierte Erfahrungen im Bereich der lebenszyklusbasierten Umwelt- und Kostenbetrachtungen von konventionellen und alternativen Fahrzeugkonzepten.

80 Prozent gegenüber dem Dieselbus vergleichbar sind. Die Einsparungen für die 18-m-Batterie- und BZ-Busse fallen gegenüber den 18-m-Dieselbussen in etwa gleich aus. Bezogen auf den gefahrenen Kilometer ergeben sich für einen 12-m-Dieselbus 1412 g CO₂-Äq./km, für Depotlader und den BZ-Hybridbus liegen die THG-Emissionen bei 311 beziehungsweise 285 g CO₂-Äq./km

bei Einsatz von Strom entsprechend des aktuellen Wind/PV-Mix im deutschen Strom-Mix.

Abbildung 6 illustriert die ökologischen Amortisierungszeiten oder den Breakeven, ab wann beziehungsweise ab welcher Laufleistung die höheren Treibhausgasemissionen für die Herstellung der Busse (12 m)

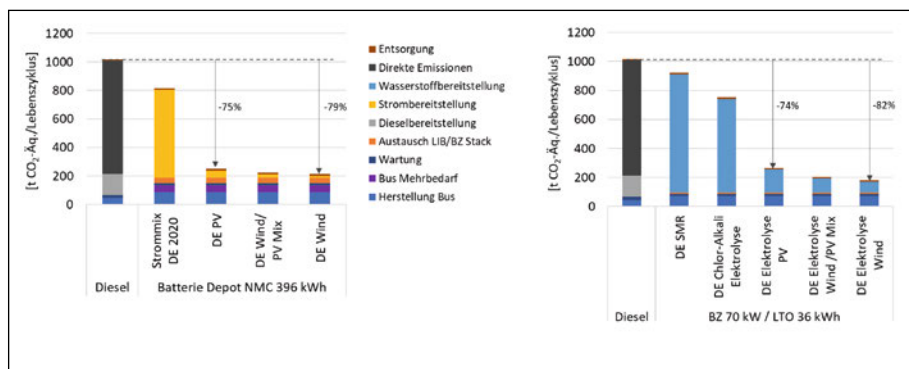


Abb. 7: Einfluss Strom- und Wasserstoffbereitstellung auf THG-Lebenszyklus 12 m.

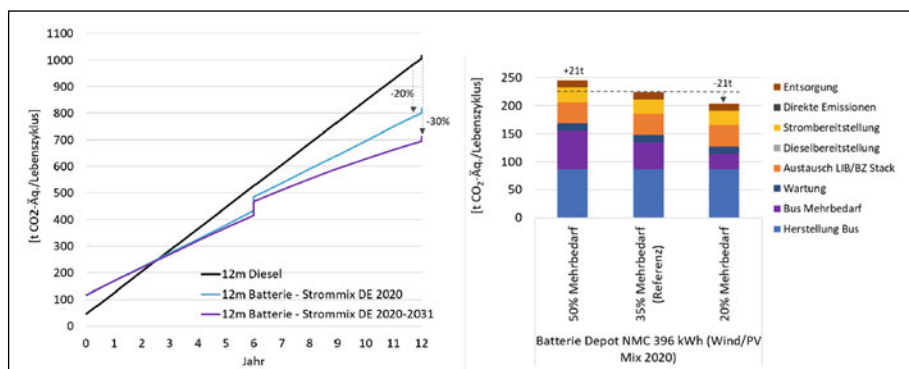


Abb. 8: Einfluss Entwicklung THG-Strom-Mix und Mehrbedarf für Depotlader 12 m.

mit innovativem Antriebskonzept kompensiert sind. Wie bereits in Abbildung 5 wurde für den Gelegenheitslader ein Mehrbedarf an Buskapazität von 35 Prozent und für den Depotlader 10 Prozent berücksichtigt. Unter Verwendung des Wind/PV-Mix für die direkte Nutzung beziehungsweise für die Elektrolyse sind die höheren Aufwendungen für Batterie- und BZ-Busse nach 0,4–0,9 Jahren beziehungsweise circa 25.000–55.000 km Fahrleistung bereits kompensiert. Ab diesem Zeitpunkt ergeben sich „Netto“-THG-Einsparungen, die über den gesamten Lebenszyklus bei 78–85 Prozent beziehungsweise circa 800–850 t CO₂-Äq. liegen.

Sensitivitätsanalyse

Nachfolgend wird in Abbildung 7 am Beispiel des Depotladers (12-m-Solobus, 396 kWh NMC-Batterie) der Einfluss der Strombereitstellung für die Nutzungsphase dargestellt. Beim Batteriebus führt bereits die Verwendung des Strom-Mix von 2020 zu einer Treibhausgaseinsparung von ~20 Prozent (Breakeven nach circa 2,6 Jahren). Bei der Verwendung von PV-Strom können gegenüber dem Dieselbus 75 Prozent der Treibhausgase eingespart werden, bei reinem Windstrom sind es 79 Prozent. Analog wird in Abbildung 7 im rechten Diagramm der Einfluss der Wasserstoffbereitstellungsrouten auf den Lebenszyklus des BZ-Hybridbusses (12-m-Solobus, 36 kWh LTO) dargestellt. Beim BZ-Hybridbus würde eine Versorgung mit Wasserstoff mittels Erdgasreformierung (SMR) zu circa 9 Prozent geringeren Treibhausgasen gegenüber der Verwendung eines Dieselbusses führen. Bei Verwendung von Wasserstoff aus der Chlor-Alkali-Elektrolyse ergibt sich unter Verwendung des (vorläufigen) Allokationsansatzes nach CertifHy [13] zur Verteilung der Treibhausgase auf die drei Koppelprodukte eine Reduktion von 26 Prozent für den Dieselbus. Bei der Wasserstoffversorgung mittels Elektrolyse mit einem Wirkungsgrad von 65 Prozent (bezogen auf den Heizwert) ergibt sich für PV-Strom eine Reduktion von 74 Prozent, bei Windstrom von 82 Prozent, gegenüber Diesel. Die Verwendung des Strom-Mix zur Erzeugung von Wasserstoff führt aktuell aufgrund der Konversionsverluste zu deutlich höheren Treibhausgasen als beim Dieselbus (im Diagramm nicht dargestellt), erst bei einer Treibhausgasintensität von circa 260 g CO₂-Äq./kWh Strom (etwa 40 Prozent THG-Reduktion gegenüber aktuellem deutschen Strom-Mix) würde die Nutzung von Wasserstoff aus Elektrolyse

mit durchschnittlichem Netzstrom die gleichen Treibhausgase wie die Verwendung von Diesel erzeugen.

Für die in Abbildung 7 dargestellten Treibhausgasemissionen des Batteriebusses (Depotlader), unter der Verwendung des deutschen Strom-Mix in 2020, ist vereinfacht angenommen worden, dass der Strom-Mix 2020 für die gesamte Lebensdauer von 12 Jahren (2020–2031) verwendet wird.

Abgeleitet von den Reduktionszielen Deutschlands, die im Klimaschutzplan 2050 und Klimaschutzprogramm 2030 formuliert sind, wurden von verschiedenen Institutionen mögliche Szenarien zur Entwicklung der Stromproduktion bis 2050 unter der Prämisse erarbeitet, die Reduktionsziele einhalten zu können. Das linke Diagramm in Abbildung 8 stellt das zusätzliche Reduktionspotential dar, wenn die Entwicklung der Stromerzeugung nach Berechnungen der Netzbetreiber [14] in Deutschland im Zeitraum 2020–2031 berücksichtigt wird. Spart der 12-m-Batteriebus (Depotlader) gegenüber Diesel circa 20 Prozent THG ein, wenn für die gesamte Lebenszeit mit dem Strom-Mix 2020 gerechnet wird, sind es bereits 30 Prozent, wenn man eine mögliche Entwicklung des Strom-Mix, abgeleitet von den Minderungszielen, annimmt. Dieses Ergebnis muss als Projektion verstanden werden, zeigt aber das Potential, dass sich aus der Entwicklung des Energieträgermix für die Stromerzeugung während der Nutzungsphase des Busses ergeben kann. Das rechte Diagramm in Abbildung 8 zeigt den Einfluss des angenommenen Mehrbedarfs an Batteriebussen für den Depotlader, der sich aus der geringeren Reichweite ergibt. Als Referenzfall wurde ein Mehrbedarf von 35 Prozent für den Depotlader angenommen, eine Erhöhung oder Reduktion um jeweils 15 Prozentpunkte führt zu circa 21 t höheren beziehungsweise niedrigeren Treibhausgasemissionen über den Lebenszyklus. Bezogen auf einen Depotlader, der mit einem Strom-Mix aus Wind/PV betrieben wird, ergeben sich etwa 9 Prozent höhere beziehungsweise geringere Treibhausgasemissionen.

Stickoxide

In Bezug auf Stickoxidemissionen als Beispiel für gesundheitsschädliche Emissionen des motorisierten Verkehrs ist für die weiteren Betrachtungen zu berücksichtigen, dass diese lokal wirken. Das heißt, dass im Gegensatz zum global wirkenden

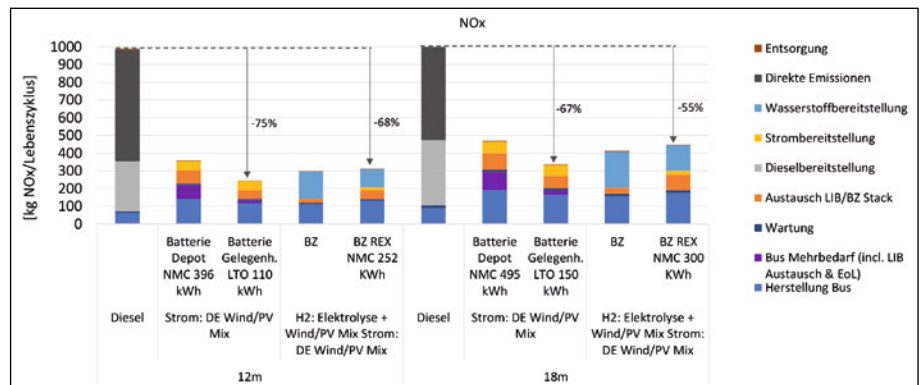


Abb. 9: NO_x-Emissionen Lebenszyklus 12-m- und 18-m-Busse.

CO₂ und den weiteren Triebhausgasen, der Ort der Emission für die Umweltwirkung relevant ist. Entsprechend sind im Fall des Dieselmotors als Vertreter der verbrennungsmotorisch angetriebenen Busse insbesondere die NO_x-Emissionen der Nutzungsphase, sprich seines Betriebes, von Relevanz, da diese üblicherweise in urbanen Gebieten mit hoher Bevölkerungsdichte und in niedriger Höhe im Straßenraum emittiert werden, während NO_x-Emissionen beim Rohstoffabbau, bei der Materialfertigung (Busherstellung, aber auch Infrastruktur für die Stromerzeugung wie Windkraftanlagen und Photovoltaikmodule) oder bei der Verbrennung von Kohle und Gas in Kraftwerken meist außerhalb von Städten, das heißt in Gebieten mit deutlich niedrigerer Bevölkerungsdichte, und über Kamine in höheren Luftschichten freigesetzt werden. Dementsprechend spielen die E-Busse ihre Vorteile im täglichen Linienbetrieb in Städten und Gemeinden, das heißt Siedlungsräumen mit hohen Bevölkerungsdichten, aus, da sie eben mit ihrem E-Antrieb lokal emissionsfrei fahren und damit die direkten Abgasemissionen an NO_x, aber auch Feinstaub, Kohlenmonoxid et cetera vollständig vermieden werden. Während im Betrieb entlang der Buslinie also eine 100-Prozent-Einsparung an NO_x-Emissionen erzielt wird, ergeben sich über den Lebenszyklus die in Abbildung 9 dargestellten Mengen an NO_x-Emissionen. Ähnlich wie bei den Triebhausgasen, führt die Herstellung der Batterie- und BZ-Busse (111–143 kg NO_x für 12 m) gegenüber Dieselmotoren (63 kg NO_x für 12 m) zu deutlich höheren Emissionen. Zusätzlich ergeben sich für den Mehrbedarf an Buskapazitäten bei den Batteriebussen 50 kg NO_x für den Depotlader und 12 kg NO_x für den Gelegenheitslader (jeweils für den 12-m-Bus).

In Summe reduzieren die Batteriebusse die Stickoxidemissionen über den gesamten

Lebenszyklus gegenüber Diesel um circa 50–75 Prozent (Depot- beziehungsweise Gelegenheitslader), für die BZ-Busse liegen die Einsparungen bei etwa 55–70 Prozent. Zu beachten ist weiterhin, dass die Stickoxidemissionen beim 18-m-Gelenkbus etwas geringer sind als beim 12-m-Solobus (Tab. 3), deshalb ergeben sich für die 18-m-Gelenkbusse geringere Einsparungen gegenüber Diesel, im Vergleich zu den 12-m-Solobussen.

Bei Verwendung eines erneuerbaren Strom-Mix aus Wind und PV werden die Mehr-emissionen aus der Herstellung der Batteriebusse nach circa 1,0–2,4 Jahren Nutzung aufgrund der Verbrennungsemissionen des Dieseldusses sowie den Emissionen bei der Dieseldbereitstellung kompensiert.

Wird für die Strombereitstellung für Batteriebusse deutscher Strom-Mix eingesetzt, ergibt sich zumindest noch eine leichte Einsparung von 3 Prozent. Wird im Falle des BZ-Hybrid-Busses der eingesetzte Wasserstoff aus der Dampfreformierung von Erdgas gewonnen, liegt die Einsparung bei 35 Prozent gegenüber Diesel über die Lebensdauer des Busses. Wird deutscher Strom-Mix für die elektrolytische Erzeugung von Wasserstoff verwendet, ergeben sich höhere NOx-Emissionen und bestätigt damit nochmals die Grundvoraussetzung des Einsatzes erneuerbarer Energieträger, um die angestrebten ökologischen Verbesserungen durch den Einsatz von E-Bussen auch tatsächlich zu erzielen.

Fazit und Ausblick

Durch die Verlagerung der Umweltwirkungen vom eigentlichen Busbetrieb auf die Energieträgerbereitstellung ist gerade für E-Busse die Betrachtung des gesamten Lebenszyklus erforderlich. Zusammenfassend zeigt die ökologische Bewertung das

Potential innovativer E-Antriebe zur Vermeidung von Treibhausgasen und Schadstoffemissionen, wie zum Beispiel NO_x, im busbasierten ÖPNV auf. Für die Realisierung dieses Emissionsminderungspotentials ist der Einsatz erneuerbarer Energieträger die unabdingbare Grundvoraussetzung. Gerade durch die Verwendung von Wind- und PV-Strom lassen sich höhere THG- und NO_x-Emissionen in der Herstellung der E-Busse meistens bereits innerhalb des ersten Betriebsjahrs kompensieren. Bei den Treibhausgasen sind über den gesamten Lebenszyklus Einsparungen von 75–85 Prozent möglich, bei NO_x 50–75 Prozent. Bei den Batteriebussen führt bereits die Nutzung des aktuellen Strom-Mix, bei den BZ-Bussen die Verwendung von Wasserstoff aus der Dampfreformierung von Erdgas zu THG-Reduktionen bei gleichzeitigem vollständigen Wegfall der Verbrennungsemissionen entlang der Buslinien im urbanen Raum. Die Verwendung des aktuellen Strom-Mix für die Erzeugung von Wasserstoff mittels Elektrolyse würde aufgrund der Konversionsverluste zu höheren Emissionen als die konventionellen Dieselsebuse führen. Allerdings verfügt gerade die Erzeugung von Wasserstoff die Möglichkeit, diesen zu Zeiten von hohen Windbeziehungsweise PV-Stromanteilen im Strom-Mix mit anschließender Zwischenspeicherung zu erzeugen. Insgesamt ist zu berücksichtigen, dass die ökologische Bewertung eine Momentaufnahme darstellt. Durch zunehmende Anteile von erneuer-

baren Energien (in Deutschland und auch international voraussichtlich im Wesentlichen Wind und PV) im Strom-Mix, sinken nicht nur die spezifischen Emissionen pro kWh Strom, sondern auch die Emissionen aus der Herstellung der Fahrzeuge oder

zum Beispiel der Photovoltaikmodule. Des Weiteren können die Emissionen der Batterieherstellung durch Weiterentwicklung der Technologien (Erhöhung Energiedichte, Substitution kritischer Metalle et cetera) ebenfalls weiter sinken.

Literatur/Anmerkungen

- [1] NOW GmbH auf Basis KBA: Entwicklung des Bestandes an Elektrobusen. Stand 04/21. Vortrag Oliver Hoch, bdo Unternehmerworkshop CVD, 10.06.2021.741 Batterieelektrische Busse, 81 O-Busse, 51 BZ Busse.
- [2] United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC): Paris Agreement, 2015, https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf, 08.06.2021 um 16:40.
- [3] Europäische Kommission: Richtlinie (EU) 2019/1161 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Juni 2019 zur Änderung der Richtlinie 2009/33/EG über die Förderung sauberer und energieeffizienter Straßenfahrzeuge (Clean Vehicle Directive (CVD)), 2019, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019L1161&from=EN>, 08.06.2021 um 16:45.
- [4] Bundesregierung: Gesetz zur Umsetzung der Richtlinie (EU) 2019/1161 vom 20. Juni 2019 zur Änderung der Richtlinie 2009/33/EG über die Förderung sauberer und energieeffizienter Straßenfahrzeuge sowie zur Änderung vergaberechtlicher Vorschriften (Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungsgesetz – SaubereFahrzeugBeschG), veröffentlicht im Bundesgesetzblatt am 14.Juni 2021.
- [5] NOW GmbH: Alternative Antriebe im Busverkehr, 2020, https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2020/09/now-webinar_alternative-antriebe-im-busverkehr.pdf, 08.06.2021 um 16:50.
- [6] Konsortium Begleitforschung innovative Antriebe Bus unter Leitung der Sphera Solutions GmbH. Weitere Partner sind VCDB, hySolutions, Fraunhofer IVI, SEK Consulting und die IVV Aachen.
- [7] Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen; Deutsche und Englische Fassung EN ISO 14040:2006 Ausgabe 2009–11 & Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen; Deutsche Fassung EN ISO 14044:2006 + A1:2018.
- [8] Fazio, S.; Biganzoli, F.; De Laurentis, V.; Zampori, L.; Sala, S.; Diacou, E.: Supporting information to the characterisation factors of recommended EF Life Cycle Impact Assessment methods, version 2, from ILCD to EF 3.0, EUR 29600 EN, European Commission, Ispra, 2018.
- [9] Sphera Solutions GmbH: GaBi Software System und Datenbanken für Life Cycle Engineering, Version 10, Update Februar 2021.
- [10] Basierend auf Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA) 4.1, SORT 2 Zyklus (ø 19 km/h), durchschnittliche Topografie für Deutschland.
- [11] AG Energiebilanzen: Stromerzeugung nach Energieträgern 1990–2020 (Stand: Februar 2021, vorläufige Daten für 2020), <https://www.ag-energiebilanzen.de/>, 08.06 um 17:10.
- [12] Für die Wasserstoffbereitstellung wurde ein Transport von 50 km mit 200 bar Trailer berücksichtigt. Aufteilung der Treibhausgasemissionen auf die drei Koppelprodukte der Chlor-Alkali-Elektrolyse (Chlor, Natronlauge und Wasserstoff) wurde nach CertifHy (Altmann, M. 2020) aufgeteilt (11 Prozent Wasserstoff/89 Prozent für Chlor und Natronlauge).
- [13] Bei CertifHy handelt es sich um die Entwicklung eines Herkunftsnachweises für Wasserstoff aus CO₂-armen und/oder erneuerbaren Ressourcen auf europäischer Ebene. Unter anderem werden in diesem von der Europäischen Kommission geförderten Projekt Berechnungsregeln für die Ermittlung des CO₂-Fußabdrucks des zu zertifizierenden Wasserstoffs in Abhängigkeit der Erzeugungsrouten definiert, siehe www.certifyhy.eu.
- [14] 50 Hertz, Amprion, TenneT TSO, TransnetBW: Netzentwicklungsplan Strom 2035, Version 2021 Erster Entwurf der Übertragungsnetzbetreiber, 2021, NEP_2035_V2021_1_Entwurf_Teil1.pdf (netzentwicklungsplan.de), 14.06. um 16:30.

Zusammenfassung/Summary

Ökologische Bewertung von E-Bussen in Deutschland

Im Rahmen der vom BMVI beauftragten und von Sphera Solutions koordinierten Begleitforschung Innovative Antriebe Bus erfolgt die ganzheitliche Bewertung der Praxistauglichkeit und Einsatzreife der implementierten E-Bussysteme. Ein wesentlicher Aspekt der Bewertung ist die Analyse der Umweltwirkungen. Da gerade bei elektrisch angetriebenen Bussen die Umweltwirkungen vom eigentlichen Busbetrieb auf die Energieträgerbereitstellung verlagert werden, ist die Betrachtung des gesamten Lebenszyklus der einzelnen Bussysteme erforderlich. Zusammenfassend zeigt die ökologische Bewertung das Potential innovativer E-Antriebe zur Vermeidung von Treibhausgasen und Schadstoffemissionen, wie zum Beispiel NO_x, im busbasierten ÖPNV auf. Für die Realisierung dieses Emissionsminderungspotentials ist der Einsatz erneuerbarer Energieträger die unabdingbare Grundvoraussetzung. Gerade durch die Verwendung von Wind- und PV-Strom lassen sich höhere THG- und NO_x-Emissionen in der Herstellung der E-Busse meistens bereits innerhalb des ersten Betriebsjahrs kompensieren. Bezüglich der Treibhausgase sind über den gesamten Lebenszyklus Einsparungen von 75–85 Prozent möglich, bei NO_x 50–75 Prozent. Bei den Batteriebussen führt bereits die Nutzung des aktuellen Strommix, bei den BZ-Bussen die Verwendung von Wasserstoff aus der Dampfreformierung von Erdgas zu THG-Reduktionen bei gleichzeitigem vollständigen Wegfall der Verbrennungsemissionen entlang der Buslinien im urbanen Raum.

Ecological assessment of e-buses in Germany

As part of the accompanying research 'Innovative propulsion systems for city buses' commissioned by the Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure and coordinated by Sphera Solutions, the holistic assessment of the practical suitability and readiness for use of the implemented e-bus systems is carried out. An essential aspect of this assessment is the analysis of the environmental impact of the different bus systems. Since the environmental impacts are shifted from the actual bus operation to the provision of energy sources, especially in the case of electrically powered buses, it is necessary to consider the entire life cycle of the individual bus systems. In summary, the environmental assessment shows the potential of innovative electric drives to avoid greenhouse gases and pollutant emissions, such as NO_x, in bus-based public transport. The use of renewable energy sources is an essential pre-requisite for this emission reduction potential to materialise. The use of wind and PV electricity in particular means that higher GHG and NO_x emissions in the production of e-buses in comparison to diesel buses can usually be offset within the first year of operation. With greenhouse gases, savings of 75–85 per cent are possible over the entire life cycle, with NO_x 50–75 per cent. For battery buses, even the use of the current German electricity mix, and for FC buses the use of hydrogen from the steam reforming of natural gas already leads to GHG reductions while at the same time completely eliminating combustion emissions along bus routes in urban areas.



Abb. 1: Straßenbahnprojekt in Qatar: Die maßgeschneiderte Kühllösung in E-Straßenbahnen ohne Oberleitung muss Außentemperaturen von 50°C standhalten.

Foto: technotrans

E-Mobilität ist nur mit effektiver Kühlung möglich

Kühllösungen sichern die Leistungsfähigkeit und Langlebigkeit von E-Fahrzeugen

Bastian Thiel, Sassenberg

Ohne Kühlung keine E-Mobilität: Die Betriebstemperatur moderner Lithium-Ionen-Batterien (Li-Ion) ist von entscheidender Bedeutung für die Funktion und vor allem die Lebensdauer von Hochleistungsakkus. Nur ein konstantes Temperaturprofil sichert die langfristige Leistungsfähigkeit von Fahrzeugbatterien und stationären Energiespeichern. Auf dem Gebiet der Batterie- und Ladekabelkühlung entwickelt die technotrans SE effiziente Lösungen für E-Fahrzeuge. Denn E-Mobilität verlangt nicht nur eine teils sehr spezifische Auslegung, sondern auch die Integration der Technik in enge Bauräume.

Wenn es um die Temperatur geht, sind Li-Ion-Batterien ähnlich gestrickt wie wir Menschen: Zwischen 20 bis 30°C fühlen sie sich am wohlsten. In diesem Bereich

erreichen sie ihre maximale elektrische Leistung und Lebensdauer. Ist die Temperatur zu niedrig oder zu hoch, wirkt sich das negativ auf die Akkus aus. Bei einem Temperaturabfall wird die Flüssigkeit im Inneren (Elektrolyte, Säure oder leitfähige Paste) zähflüssig und transportiert weniger Ladung. Bei Kälte von unter 0°C treten außerdem Störungen in der elektrochemischen Reaktion an den zumeist aus Graphit und Übergangsmetallen bestehenden Elektroden auf. Die Folge: Leistungsfähigkeit und Reichweite sinken deutlich. Ab rund 30°C kommt es zu einer beschleunigten Zell-Oxidation und damit zu einer schnelleren Alterung der Batterien – Leistung und Kapazität sinken. Ein Betrieb bei über 40°C kann sogar zu permanenten Schäden führen.

Um eine konstante Betriebstemperatur im optimalen Bereich sicherzustellen,

setzen Hersteller von Elektrofahrzeugen zumeist auf Flüssigkeitskühlsysteme. Ihr Vorteil liegt insbesondere im gleichmäßigen Wärmetransport und der Abführung großer Wärmemengen. Ein solches System ist eng verzahnt mit den Batterien. Li-Ion-Batterien in Elektrofahrzeugen verfügen häufig über zylindrische, prismatische oder Pouch-Zellen. Diese sind mit Kanälen ummantelt, durch die ein Kühlfluid mithilfe des Kühlsystems zirkuliert. Im Gegensatz zur Luftkühlung wird dafür kaum Energie benötigt, was das Verfahren besonders energieeffizient macht. In der Regel ist jede Batteriezelle mit einer Sensorik ausgestattet, die Spannung, Kapazität und Temperatur innerhalb der Zelle erfasst und über ein Batteriesteuerungssystem überwacht. Dieses kommuniziert mit dem Kühlsystem, das entsprechend der situativen Erfordernisse agiert.



Zum Autor

Bastian Thiel ist Sales Manager bei der technotrans SE in Sassenberg. Nach seinem Bachelor im Fach Wirtschaftsingenieurwesen begann er seine Karriere bei dem westfälischen Thermomanagement-Experten. Zeitgleich zum Berufsstart nahm er sein berufsbegleitendes Masterstudium in Sales Management auf, welches er 2020 erfolgreich beendete. Bei technotrans ist Thiel für den Bereich E-Mobilität zuständig. Hier betreut er weltweit Kunden zu Kühllösungen in Road-, Rail-, Offroad- und stationären Anwendungen sowie Spezialfahrzeugen.

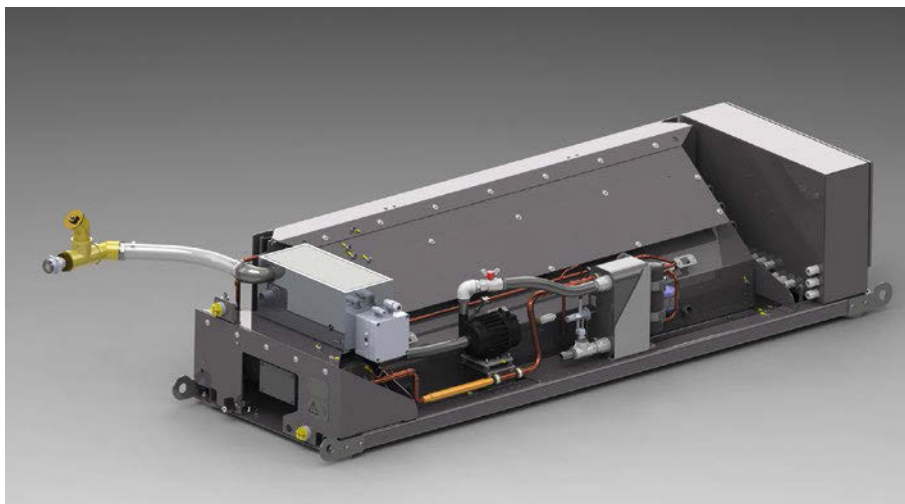


Abb. 2: Batteriekühlung für Unterbodeninstallation.

Foto: technotrans

Maßgeschneiderte Flüssigkeitskühlung

Im Bereich der flüssigkeitsbasierten Batterie- und Ladekabelkühlung für das öffentliche Transportwesen gehört das Sassenberger Unternehmen technotrans zu den ersten Herstellern auf dem Markt. Bereits 2011 startete das Unternehmen in Kooperation mit Siemens ein Prestigeprojekt in Qatar, bei dem die Sassenberger eine maßgeschneiderte Kühllösung in E-Straßenbahnen ohne Oberleitung integrierten. Für das Hybrid-Energie-Speichersystem, bestehend aus Kondensatoren (Super-Caps) und Li-Ion-Batterien, wurde ein System entwickelt, das eine konstante Betriebstemperatur sicherstellt – selbst unter schwierigsten Umgebungstemperaturen von teilweise über 50°C, hoher Luftfeuchtigkeit und Beeinträchtigungen durch Sand. Darüber hinaus wurde das System besonders leicht entwickelt, um das Gesamtgewicht der Bahn gering zu halten.

Heute fahren Energiespeicher-Kühlungen von technotrans mit in Straßenbahnen sowie Regionalzügen in Europa, Asien, Nord- und Südamerika oder kühlen weltweit Umrichterstationen bei Bahn- und

Bus-Projekten. Weitere Einsatzgebiete sind E-Busse, E-Trucks sowie Fahrzeuge in Seehäfen und Flughäfen. In Zukunft sollen auch Luxusyachten mit diesen Kühllösungen ausgestattet werden – ein erstes Projekt ist bereits in Umsetzung. Die Anforderungen sind mit der Zeit zwar gestiegen, der Entwicklungsprozess für den Systemhersteller ist jedoch prinzipiell gleich. Denn die Auslegung der Batterien und damit auch der Kühlung ist ein sehr präziser und vor allem bedarfsabhängiger Vorgang, bei dem zahlreiche Faktoren berücksichtigt werden müssen. Elektrische Linienbusse im öffentlichen Nahverkehr zum Beispiel fahren regelmäßig festgelegte Strecken ab, die als Grundlage für die Batterieleistung und Kühlanforderungen dienen. In die Erstellung solcher spezifischen Fahrprofile fließen nicht nur die gefahrenen Kilometer, sondern auch Höhenprofile ein. Legt der E-Bus auf seiner Strecke mehrere Höhenmeter zurück, etwa beim Überqueren einer Brücke, wird an dieser Stelle mehr (Kühl-)Leistung benötigt als auf einer flachen Route. Wenn die Batterie temperaturbedingt bereits frühzeitig an Leistungsfähigkeit und Kapazität verliert, wird das zum Problem. Betreiber können mit dem Fahrzeug nicht die vorgesehenen Strecken

fahren, was schließlich auf die Batteriehersteller zurückfällt. Sie können dann ihre Gewährleistung von meistens fünf Jahren nicht erfüllen und müssen für Ersatz sorgen.

High-Power-Charging – Anspruchsvolle Schnellladesäulen

Damit sich E-Fahrzeuge langfristig zum Fortbewegungsmittel erster Wahl entwickeln, bedarf es nicht nur leistungsstarker Batterien, auch der Ausbau einer Schnellladeinfrastruktur ist essenziell. Zahlreiche Fahrzeughersteller setzen inzwischen auf das High-Power-Charging (HPC), das eine vollständige Aufladung in wenigen Minuten ermöglicht. Ladekabel müssen dafür sehr viel Leistung (rund 300 bis 400 kW) in kürzester Zeit übertragen. Dabei entsteht eine starke Erwärmung aufgrund des Leitungswiderstands, der abhängig ist von der Leitungslänge, Leitfähigkeit der Kupferleitung und dem Leitungsquerschnitt. Um eine Kühlung zu ermöglichen, liegen die Kupferleitungen in flüssigkeitsdurchspülten Schläuchen. In der Regel ist das Kühlgerät in der Ladesäule integriert und arbeitet je nach Anforderung mit aktiv und passiv gekühlten Ladekabelkühlmodulen – also entweder mit einem Kompressor oder der Umgebungsluft.

Bei der Entwicklung moderner Ladesäulen legen Hersteller großen Wert auf ein schlankes, platzsparendes Design – eine Herausforderung für die Entwicklung der Komponenten. Kühlsystemhersteller sind in diesem Gestaltungsprozess häufig nicht involviert und werden deutlich später hinzugezogen, wenn Bauräume und Anforderungen bereits fest vorgegeben sind. technotrans muss seine Kühllösung daraufhin entsprechend dimensionieren. Stößt das Unternehmen dabei auf physikalische Grenzen, konzipiert es die Anlagen zum Teil auch in einer geteilten Bauweise. Darüber hinaus entwickelt das Unternehmen dezentrale Kühlsysteme für gesamte Ladeparks. Zentrale Kälteaggregate kühlen dabei mehrere Ladesäulen.

E-Mobilität weiterhin wichtiger Wachstumsmarkt

E-Mobilität ist zukünftig zentraler Bestandteil einer ressourcenschonenden urbanen Infrastruktur – insbesondere in Europa. Zahlreiche Städte investieren in die Anschaffung von E-Bussen, ihr Anteil am öffentlichen Personennahverkehr steigt

entsprechend. Das gleiche gilt für den regionalen Schienenverkehr, der im Gegensatz zu Straßenbahnen größere Strecken zurücklegt. Darin spiegelt sich für das Unternehmen der wachsende Bedarf nach effizienten Kühlsystemen wider. Dabei steigen auch die technischen Herausforderungen, da praktisch jedes Projekt eine Besonderheit mit sich bringt. Das Unternehmen entwickelt zum Beispiel Kühlsysteme für Automated Guided Vehicles (AGV) für den Einsatz in Häfen. Dort sind sie nicht nur widrigen Umweltbedingungen ausgesetzt, etwa der Seeluft und des Seewassers, sondern auch hohem Druck und Vibrationen durch aufgeladene Güter wie etwa Container. Für einen Brennstoffzellenzug integrierte das Unternehmen eine Kühlung unterhalb des Fahrzeugs zwischen den

Rädern, wo es beispielsweise Steinschlag ausgesetzt ist.

Angesichts steigender Anforderungen an Nachhaltigkeit und Umweltverträglichkeit, welche auch die eingesetzten Kühlsysteme betreffen, geht das Sassenberger Unternehmen gemeinsam mit seinen Partnern neue Wege. So wird für den ersten und weltweit einzigartigen Wasserstoffzug Coradia iLint erstmals ein Batteriekühlsystem mit dem GWP-neutralen („Global Warming Potential“) Kältemittel R1234yf eingesetzt. Dieses besitzt, anders als herkömmliche Kältemittel, ein signifikant geringeres Treibhauspotenzial. Darüber hinaus spielen die Themen Gewichtseinsparung („Light-Weight“) und Leistungsdichte in Zukunft eine wichtige Rolle. Wis-

senschaftler und Unternehmen forschen intensiv nach Wegen, das Gewicht der Fahrzeuge kontinuierlich zu senken. Ziel ist es, nicht nur immer leichtere Batterien herzustellen, sondern weitere fortschrittliche Konzepte zu entwickeln – zum Beispiel Gehäuse für Elektromotoren in Kunststoffbauweise. Diese Entwicklungen betreffen auch die Kühlsysteme: Sie müssen immer mehr Leistung in immer kompakteren Abmessungen bieten. Gleichzeitig fordern Fahrzeug- und Ladesäulenhersteller einen möglichst geräusch- und vibrationsarmen Betrieb. Diesen Herausforderungen wird mit langjährigem Know-how begegnet werden. Denn auch in Zukunft wird es keine E-Mobility ohne effiziente Kühlung geben.

Zusammenfassung/Summary

E-Mobilität ist nur mit effektiver Kühlung möglich

Leistungsfähige und langlebige Batterietechnologien sind entscheidend für die Zukunft der E-Mobilität. Das gelingt nur mit einem effizienten Thermomanagement, das essenziell für die Funktion und Lebensdauer der Akkus ist. Die technotrans SE entwickelt effiziente und anwendungsspezifische Lösungen für die Batterie- und Ladekabelkühlung, die auf die Anforderungen der E-Fahrzeuge ausgelegt sind: Dazu zählen die Integration der Technik in engste Bauräume, eine hohe Leistungsdichte, Umweltverträglichkeit und Gewichtseinsparung.

E-mobility is only possible with effective cooling

Efficient and durable battery technologies are crucial for the future of e-mobility. This can only be achieved with efficient thermal management, which is essential for the function and the service life of the batteries. technotrans SE develops efficient and application-specific solutions for battery and charging cable cooling that are designed to meet the requirements of e-vehicles: These include the integration of technology in the tightest installation spaces, high power density, environmental compatibility and weight savings.

ANZEIGE

**JETZT
BESTELLEN!**

EID Tankstellen-Special 2/21

Im EID Tankstellen-Special zeigen **Analysen**, **Interviews** und **Hintergrundberichte** die aktuellen Trends im Markt.



www.eid-aktuell.de/tankstellen-special

Asset Management bei der KVG

Grundlage für erfolgreiches Wirtschaften

Dr. Michael Maxelon, Oliver Andreas Erdmann, Kassel;
Dipl. Oec. Matthias Niederprüm MBA, Düsseldorf

Wir werden das Rad nicht neu erfinden. Aber wir können jetzt viel besser sagen, ob es sich lohnt, die Schiene, auf der das Rad läuft, auszutauschen. So lautet, auf eine griffige Formel gebracht, das Fazit der Kasseler Verkehrs-Gesellschaft AG (KVG) gut ein Jahr nach der Einführung eines neuen Asset Management-Modells, das im bundesdeutschen ÖPNV einzigartig konsequent umgesetzt wurde. Vorbild war die Energiebranche: Dort ist Asset Management bei den meisten Versorgern bereits Praxis.

Folgender Artikel beleuchtet vor allem das neue Asset Management-Modell, das die KVG für ihre Infrastruktur anwendet. Weil sich schon in kurzer Zeit zahlreiche positive Effekte, vor allem auch in wirtschaftlicher Hinsicht, gezeigt hatten, wurde dieses Modell inzwischen auf den Bereich Fahrzeuge der KVG, und damit Busse und Straßenbahnen, erweitert. Unterstützt wurde die KVG bei der Einführung und Umsetzung von der ISI Management Consulting GmbH aus Düsseldorf.

Verkehrsbetriebe wie die KVG bewirtschaften naturgemäß ein sehr kostenintensives und langlebiges Anlagevermögen, zu dem vor allem die Infrastruktur mit Schienen und Weichen sowie die Fahrzeuge gehören. Diese Assets technisch und wirtschaftlich optimal zu betreiben, bedeutet die gewünschte hohe Verfügbarkeit mit dem dazu gehörenden minimalen finanziellen Einsatz zu erreichen. Damit ist Asset Management die Grundlage für erfolgreiches Wirtschaften. Auch Haltestellen gehören längst dazu – sie sind das erste Tor zum Kunden.

Freilich wurde bei der KVG all dies regelmäßig geprüft und bewertet: Wie alt sind die infrastrukturellen Komponenten, in welchem Zustand sind sie, wie lange könnten sie noch halten, et cetera – das sind die klassischen Aufgaben für das Asset Management.

Um den Betrieb in ÖPNV-Unternehmen im Fluss zu halten, gab und gibt es unterschiedliche Strategien. Bei Schienen heißt und hieß das, verkürzt gesagt, oft: Hegen und pflegen, bis zum letzten Meter, inklu-

sive Reparatur und Nachrüstung und vor allem Einhaltung der Sicherheit für den Betrieb und die Kunden. Oder frühzeitig wird die Entscheidung für neue Assets getroffen, wenn erwartbare Reparaturkosten zu hoch werden – immer mit dem Ziel, so wenig wie möglich unerwartete Ausfälle zu bekommen. Und auf das gesamte Inventar gesehen: Für solche Ausfälle gewappnet zu sein.

Vor der Einführung des neuartigen Modells wurden auch bei der KVG Fahrzeuge und Infrastruktur zumeist isoliert betrachtet – nach Vorgaben, Erfahrungswerten und Inspektion, und vor allem wurde geprüft, wann Bestandteile auszutauschen sind. Gehandelt wurde auch durch extern gesetzte Eckpunkte, insbesondere Fristen, die teilweise die Hersteller der Assets vorgeben, sowie gesetzliche Normen und Vorschriften etwa für Fahrzeugteile wie Türen oder Radreifen. Sie alle gelten nach wie vor.

Ganzheitliche Betrachtung der Assets

Jetzt aber betrachtet die KVG ihre Assets ganzheitlich und nicht mehr nach Komponenten isoliert. Die Zustandserfassung erfolgt datenbasiert und systematisch. Anschließend werden Pläne und Simulationen erstellt, die eine gute Vorhersagbarkeit liefern. Woher kommt der Verschleiß? Wie stark haben sich die Werte über die Jahre verändert? Wie oft wurde die Schiene befahren? Wie wichtig war der Unterschied, ob es sich um schwere oder leichte Fahrzeuge handelt?

Letzteres ist gerade in der Stadt Kassel mit einem Netz, auf dem zwei verschiedene Schienenfahrzeugtypen unterwegs sind, nicht unwichtig, denn hier verkehren sowohl Straßenbahnen aus dem klassischen Stadtnetz als auch RegioTrams und

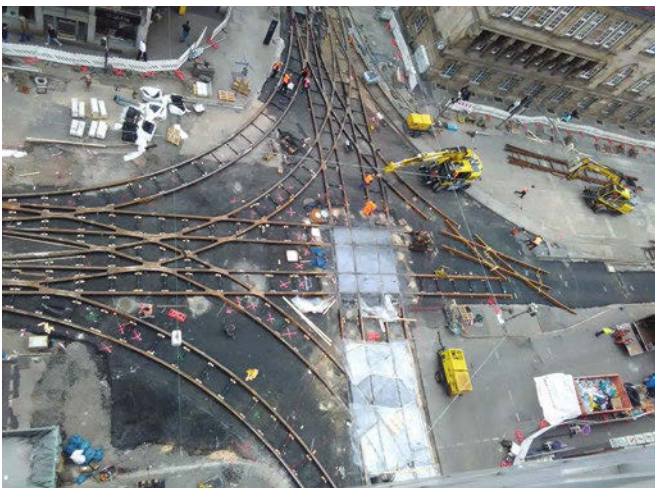


Abb. 1: Gleise sind kostenintensiv. Durch Asset Management wird die Grundlage für erfolgreiches Wirtschaften gelegt. Foto: Andreas Fiedler

damit Fahrzeuge, die sich im Umland auf dem Netz der DB bewegen. Dann kann entschieden werden: Ist es sinnvoll, ein Gleis nochmals aufzuschweißen oder sollte neu investiert werden? Solche Fragen können weit aus systematischer und strukturierter beantwortet werden. Prognosen für Gleise, Weichen, Fahrzeuge lassen sich leichter stellen.

Für einen Betrieb mit hoher Kundenfrequenz ist diese Vorhersagbarkeit ein entscheidender Vorteil, denn so verringert sich auch das Risiko kurzfristiger Schadensfälle. Das neue Asset Management-Modell ist demnach auch in Hinblick auf betriebliche Stabilität ein großer Schritt nach vorn.

Eigenheiten des Kasseler Schienennetzes

Grundsätzlich verändert sich der Öffentliche Personennahverkehr: Takte verdichten sich, ebenso die Bedienzeiten. Kassel und sein Umland haben für Verkehrsbetriebe zudem spezielle Eigenheiten und bringen herausfordernde Aufgaben mit sich, denn im Liniennetz der KVG gibt es nicht nur verschiedene Fahrzeugtypen, sondern auch Strecken mit starken Steigungen und starkem Gefälle sowie engen Bogenradien.

Ziel muss es sein, auch unter diesen Umständen möglichst wenig Verschleiß an Schiene und Rad zu haben. Hier das Optimum für die KVG zu finden, dazu dient auch das neue Asset Management-Modell.



Zum Autor

Dr. Michael Maxelon ist Vorstandsvorsitzender der Kasseler Verkehrs-Gesellschaft AG (KVG), seit 2016 Geschäftsführer der Kasseler Verkehrs- und Versorgungs-GmbH (KVV), Vorstandsvorsitzender der Städtische Werke AG sowie Vorsitzender der Geschäftsführung der Städtische Werke Energie + Wärme GmbH. Von 2012 bis 2015 war Maxelon Geschäftsführer der Stadtwerke Stuttgart GmbH, die er nach deren Gründung 2011 erfolgreich aufgebaut hat. Von 2008 bis 2012 war der promovierte Physiker bei den Stadtwerken Krefeld tätig, unter anderem Geschäftsführer der SWK SETEC und Sprecher der Geschäftsführung der SWK Netze. Nach dem Studium hat Maxelon über sieben Jahre für die internationale Managementberatung Kearney gearbeitet.



Zum Autor

Oliver Andreas Erdmann ist seit Januar 2019 Bereichsleiter Asset Management der KVG AG. Vor seinem Eintritt bei der KVG AG war er bei einem sehr großen Eisenbahnverkehrsunternehmen und bei internationalen Herstellern von Eisenbahnfahrzeugen sowie einem Interieurhersteller für Eisen- und Straßenbahnen tätig. Seine Tätigkeiten erstreckten sich vorrangig auf Leitungs- und Projektfunktionen in den Bereichen Betrieb, Produktion, Logistik und Business Excellence. Erdmann hat nach seinem Abschluss an der TU München zunächst in anderen Bereichen gearbeitet und ist seit 2003 im Verkehrsbereich tätig.



Zum Autor

Dipl. Oec. Matthias Niederprüm MBA ist seit 2005 Geschäftsführer der ISI Management Consulting GmbH, Düsseldorf. Er hat Wirtschaftswissenschaften an der Bergischen Universität Wuppertal sowie Business Administration an der Birmingham Business School in Großbritannien studiert und berät Unternehmen der Energie-, Wasser- und Verkehrswirtschaft unter anderem beim Aufbau und bei der Umsetzung von Asset Management-Systemen. Niederprüm verfügt über eine 30-jährige Beratungserfahrung bei international tätigen Beratungsunternehmen.

Die Erfolge zeigten sich nach der Einführung schnell: Schon in der Anfangsphase des Projekts erbrachte eine Simulation, dass bestimmte Schienen haltbarer waren als erwartet und sie demnach länger

im Netz bleiben konnten. Ein anderes Beispiel ist der Bahnhof Wilhelmshöhe. Hier soll der Vorplatz umgebaut werden, der verkehrlich stark frequentiert wird: Als ÖPNV-Knotenpunkt sind die Gleise von

ANZEIGE




ISI Management Consulting GmbH
Goltsteinstr. 30-31, 40211 Düsseldorf
Mobil 0177 4726469
matthias.niederpruem@isi-mc.de
www.isi-mc.de

Asset Management: Grundlage für erfolgreiches Wirtschaften

ISI ist Ihr Berater für Asset Management in den Branchen Energie, Wasser, Entsorgung und Verkehr.

Unsere Beratungsschwerpunkte in der Verkehrsbranche:

- ✓ Aufbau und Einführung von Asset Management für Infrastruktur, Straßenbahnen und Busse
- ✓ Einführung von IT-Systemen zur Unterstützung des Asset Managements sowie mobiler Instandhaltungsprozesse
- ✓ Digitalisierung von Akten und Dokumenten aus kaufmännischen und technischen Bereichen

Gerne stellen wir Ihnen unsere Lösungen in einem persönlichen Gespräch vor.

Fotos: stock.adobe.com © eckartm36, © Eygenity & Kerina Gerasimovi

zahlreichen Straßenbahnen und Linienbussen stark befahren. Teilweise werden sie zusätzlich von Reisebussen, anliefernden Lkw sowie Pkw belastet. In der Folge sind die Gleise gekennzeichnet von einem permanent hohen Verschleiß. Durch das neue Verfahren und insbesondere die Simulationen war erkennbar, an welchen Stellen dieser Verschleiß überdurchschnittlich hoch war und von welchen Kriterien er abhängt. So konnte unter anderem ein erhöhter vertikaler Verschleiß durch erhöhte Traktions- und Schrupfkkräfte im Bereich von Haltestellen oder Bögen lokalisiert werden, sodass bei der anstehenden Erneuerung gezielt investiert werden kann.

Dieses systematisierte Wissen ist der große Vorteil des KVG-Modells. Niemand muss mehr im Dunkeln tappen, denn Daten werden erfasst, ausgewertet sowie technische und kaufmännische Simulationen durchgeführt. Danach kann entschieden werden, ob kurz- oder mittelfristig gehandelt werden muss. Auch die bekannte Badewannenkurve für die Lebensdauer von Assets mit Früh-, Zufalls- und Verschleißausfällen, wird in diesen Simulationen angewendet.

Wichtig in dem Prozess sind auch regelmäßige Inspektionen. Von einem Messwagen werden mittels Laser Schienenquerprofile in einer festgelegten Messschrittweite erfasst. Die Daten werden mit den Informationen über das Einbaujahr der Schiene und der Frequenz auf der Strecke zusam-

mengefügt. Separat berücksichtigt wird der zusätzliche Verschleiß auf Steigungs- und Gefällstrecken sowie im Bereich von Haltestellen und Bögen. Die gesammelten Daten fließen in eine Zustandsprognose über den erwartbaren Verschleiß. Die Ergebnisse werden in Diagrammen, Tabellen oder Karten visualisiert.

Zudem simuliert die KVG den Verschleiß der Oberleitungen. Damit besteht auch hier die Möglichkeit, Vorhersagen über einen Zeitraum bis zu zehn Jahren und darüber hinaus zu treffen, wann diese Bauteile den Grenzüberschritt erreichen und ausgetauscht werden müssen.

Durch diese Systematik sind langfristige Zielplanungen über mehrere Jahre möglich. Auch können so die Maßnahmen rechtzeitig in den Wirtschafts- und Finanzplan eingestellt werden, denn jetzt hat die KVG den gesamten Lebenszyklus der Assets im Blick.

Interner Change mit neuen Strukturen und Aufgaben

Unternehmensintern bringt das Modell ebenfalls Änderungen mit sich: Im Rahmen einer umfassenden internen Neuorganisation der KVG wurden die beiden vormals getrennten Bereiche *Planung Infrastruktur* und *Technik Fahrzeuge* in dem neuen Bereich *Technischer Service* zusammengelegt. Neu geschaffen wurde der

Bereich *Asset Management*, der sowohl für die Infrastruktur als auch die Fahrzeuge zuständig ist. So sind neue Strukturen mit neu definierten Aufgaben entstanden.

Auf den ersten Blick wirkt das neue Modell sehr komplex. Beim näheren Betrachten zeigt sich: Hier verzahnen sich zwei Arbeitsbereiche so ineinander, dass es wie ein geschlossener Kreislauf wirkt. Aus Simulationen entstehen klassisch im Asset Management Zielpläne und so genannte Regiebücher (Welches Asset wird wann ausgetauscht? Wie wird finanziert? Welche öffentlichen Fördermöglichkeiten gibt es?), die im Technischen Service umgesetzt werden. Anschließend werden die Regiebücher in mehrere verbindliche Leistungsscheine überführt, die sicherstellen, dass die Maßnahmen auch planmäßig umgesetzt werden. Ein begleitendes, gemeinsames Berichtswesen liefert die notwendige Transparenz über den technischen und wirtschaftlichen Status der einzelnen Maßnahmen im gesamten Kontext. So arbeiten in den beiden neuen Bereichen und alle Mitarbeiter interdisziplinär in einem gemeinsamen System. Bei zahlreichen Energieversorgungsunternehmen ist das Asset Management mit diesen Methoden und Werkzeugen inzwischen Praxis. Bei Verkehrsunternehmen in Deutschland ist ein Asset Management-Modell in dieser Ausprägung bisher neu.

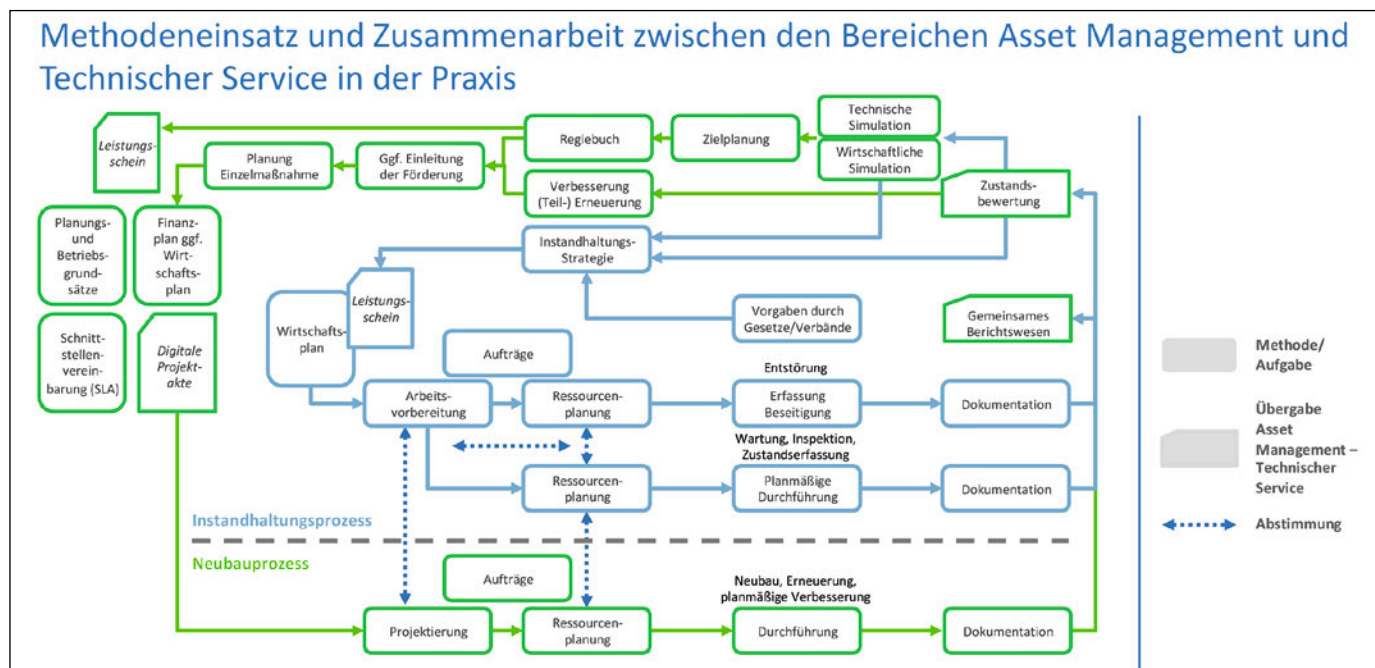


Abb. 2: Darstellung des geschlossenen Regelkreises im Rahmen des neuen Asset Managements der KVG AG für Instandhaltungs- und Investitionsprozesse in den Bereichen Infrastruktur und Fahrzeuge.

EINFACH | INNOVATIV



pontiSTRAIL Aussenplatten kombiniert mit STRAIL Innenplatten und B-Bordstein > damit Ihr Bauvorhaben schnell und kostengünstig über die Bühne geht:

Der breite Bord schafft eine bessere Lastabtragung, Sie benötigen kein Legefundament und können Dank **pontiSTRAIL** Korrekturen in vertikaler und horizontaler Richtung vornehmen.

Interesse? Setzen Sie sich mit uns in Verbindung und **testen Sie uns!**

TYPISCH STRAIL



STRAIL **lastic** **WAY**

KRAIBURG STRAIL GmbH & Co. KG
D-84529 Tittmoning | Gölstraße 8
tel. +49 8683 701-0 | info@strail.de

www.strail.de

Das neue Asset Management-Modell wird in Kassel bereits seit Januar 2020 für die Infrastruktur operativ umgesetzt. Dabei ist von besonderer Bedeutung, dass im Infrastruktur- wie im Fahrzeugbereich das System nicht nur durch erhobene Daten und Simulationen funktioniert, sondern auch durch die Expertise der Spezialisten, denn wichtig für die Entwicklung eines solchen Asset Management-Modells ist, dass die langjährige Erfahrung der Experten permanent einfließt.

Das Modell hat die erste Phase des Monitorings hinter sich. Dabei ist die wichtigste Erkenntnis: Jetzt gibt es eindeutig definierte Schnittstellen und dadurch im Ablauf klar definierte und klar kommunizierte Verantwortungen.

Bereits jetzt monetäre Vorteile

Auch monetär wirken sich die neuen Strategien bereits aus. Seit Einführung des Asset Managements vor gut einem Jahr konnte die KVG ihre Kosten um einen siebenstelligen Euro-Betrag jährlich senken und zusätzliche Erlöse generieren. Auch langfristig sieht die KVG weitere große Einsparpotenziale, die als realistisch eingeschätzt werden. Ein weiterer Pluspunkt: Effizientes Arbeiten oder die Notwendigkeit einer möglichen technischen Nachrüstung lässt sich durch die neue Systematik besser nachweisen. Dies ist besonders für die Mitarbeiter im Technischen Service wichtig: Ihre Befunde bei Inspektionen und Wartungen werden systematisch erfasst, nachgehalten, und die notwendigen Maßnahmen werden zuverlässig umgesetzt.

Nahverkehrsbetriebe müssen im Sinne der Kunden eine größtmögliche Zuverlässigkeit bei einem optimierten finanziellen Einsatz gewährleisten. Das neue Asset Management-Modell ist das nächste Level, um diese Ziele zu erreichen.

Natürlich bringen Veränderungen oft auch Skepsis bei den handelnden Personen mit sich. Organisation, Aufgaben, Verantwortlichkeiten haben sich in der KVG gravierend verändert. Bei Einzelnen besteht die Sorge, dass Kompetenzen beschnitten werden. Deshalb wurde bei der Neuorganisation der Bereiche ein Change-Management-Prozess initiiert. Von Beginn an wurden die Mitarbeiter über die Hintergründe und Ziele informiert, zum Diskutieren eingeladen und über den jeweils aktuellen Umsetzungsstand auf dem Laufenden gehalten. Erklären, überzeugen, sprechen, Fragen beantworten, Sorgen annehmen: Change-Management erwies sich als ein wichtiges Element für die erfolgreiche Implementierung. Bei den Mitarbeitern erwachsen dadurch die Erkenntnis und das Erleben, über die Grenzen des eigenen Bereichs hinaus mitzudenken und agieren zu können.

Bei vielen Mitarbeitern ist der neue Prozess bereits angekommen. Die Klarheit der Vorbereitung und Umsetzung der neuen Strukturen hat sehr geholfen, Verständnis und Akzeptanz zu steigern. Jeder Einzelne konnte dadurch nachvollziehen: An welcher Stelle stehe ich? Und jeder konnte erkennen, wie sich seine Arbeit im Wirtschaftsplan auswirkt.

Kassels Personennahverkehr hat eine Geschichte, die bis ins 19. Jahrhundert zurückreicht. Innovationen hat es hier eine Menge gegeben. Jetzt werden wieder neue Wege gefahren – ohne, dass das Rad neu erfunden werden muss.

Zusammenfassung/Summary

Asset Management bei der KVG

An die sehr kostenintensiven Assets Infrastruktur und Fahrzeuge im ÖPNV werden höchste Ansprüche gestellt. Um hier das Optimum bei Erneuerung und Instandhaltung zu erreichen, hat die Kasseler Verkehrs-Gesellschaft AG (KVG) im Januar 2020 begonnen, ihr Asset Management nach dem Vorbild der Energiebranche zunächst für die Infrastruktur neu aufzustellen. Weil sich die Erfolge auch eindrucksvoll in monetärer Hinsicht zeigten, hat die KVG das Modell inzwischen auf den Bereich Fahrzeuge ausgeweitet.

KVG Asset Management

The infrastructure and vehicles in public transport which are very cost-intensive assets, are subject to the highest demands. In order to achieve the optimum in renewal and maintenance, in January 2020, Kasseler Verkehrs-Gesellschaft AG (KVG) began to restructure its asset management, initially for the infrastructure, based on the model of the energy sector. As the success was also impressive in monetary terms, in the meantime KVG has expanded the model to the area of vehicles.

Werkstattorganisation der Zukunft ist effizient

Planung von Personal und Instandhaltungsaufgaben dank digitaler Assistenten

Gritt Hannusch, Senftenberg

Zur Bewältigung immer komplexer werdender Instandhaltungsaufgaben von Verkehrsunternehmen und Instandhaltungsdienstleistern ist eine effiziente Werkstattplanung und Organisation unabdingbar. Die Herausforderung besteht darin, mit vorhandenen Ressourcen die benötigte hohe Verfügbarkeit von Fahrzeugen und Anlagen zu gewährleisten. Dabei hat die Ressource Mitarbeiter eine immer stärkere Bedeutung – Werkstätten befinden sich im Wettbewerb um neue Mitarbeiter. Langjährige Mitarbeiter mit Spezialkenntnissen verlassen altersbedingt das Unternehmen, neue Spezialisten sind nicht ausreichend verfügbar, Fachwissen und Berufserfahrung gehen verloren.

Deshalb bedarf es kluger Lösungen, die Transparenz in Ressourcenbedarf und Ressourcenverfügbarkeit bringen und bei den anstehenden Planungsaufgaben intelligent unterstützen. Eine langfristige Personalbedarfsplanung ist unumgänglich, um die Werkstatt für die Zukunft personell gut aufzustellen. Um diese zu gewährleisten, ist ein Gesamtüberblick aller perspektivisch anstehenden Instandhaltungsaufgaben und des sich daraus ergebenden Personalbedarfs notwendig: Welche präventiven Instandhaltungsaufgaben ergeben sich langfristig aus den ermittelten zeit-, belastungs- oder zustandsabhängigen Fristfälligkeiten? Welche korrektiven Instandsetzungsaufgaben ergeben sich aus den vorhandenen Erfahrungswerten? Was lässt sich daraus zum Ressourcenbedarf für die Werkstätten ableiten? Kann die Befähigung der Mitarbeiter für spezielle Aufgaben sichergestellt werden?

Je komplexer die Werkstattorganisation und je größer die Anforderungen, desto schwieriger lassen sich diese Fragen mit Excel-Listen und Plantafeln beantworten. Moderne spezialisierte Softwaresysteme für die Instandhaltung von Schienenfahr-

zeugen wie zedas@asset unterstützen den Werkstatteiter dabei, alle notwendigen Daten zu konsolidieren, transparent abzubilden und Schlüsse für eine effiziente Werkstattorganisation abzuleiten.

Personalbedarfsprognose

Bei der manuell ausgeführten Personalplanung besteht die Herausforderung in der

Zusammenstellung der Daten zu Personal, Instandhaltungshistorie und -planung sowie der Stammdaten der Fahrzeuge. Das Zusammenführen dieser Daten – oft aus unterschiedlichen Abteilungen – benötigt einen hohen Zeitaufwand und ist fehleranfällig. Die Digitalisierung der Personalbedarfsprognose ermöglicht es, per Knopfdruck verschiedene Parameter in Beziehung zu setzen.

Tab. 1: Einflussfaktoren der Personalbedarfsprognose.

Personal	Aufgaben Instandhaltung	Anlagenstammdaten
Anzahl Mitarbeiter	Fälligkeit Fristen inkl. benötigter Ressourcen	Anlagenalter
Arbeitszeitpläne	Prognostizierter Aufwand Störungsbeseitigung inkl. benötigter Ressourcen	Zustand
Gültige Fähigkeiten	geplante Rollkuren/sonstige Maßnahmen	geplante Erneuerung
		Einsatzintensität



Abb. 1: Screenshot zedas@asset Advanced – Personalbedarfsprognose.

Die Personalbedarfsprognose von zedas@asset (Abb. 1) ermöglicht dem Nutzer verschiedene Szenarien:

- Für welchen Zeitraum soll der Bedarf prognostiziert werden?
- Soll eine Prognose sowohl für präventive, als auch für korrektive Aufgaben erfolgen?
- Soll nur der Bedarf für einzelne Berufsgruppen oder Fähigkeiten ermittelt werden?
- Welchen Einfluss haben verkürzte Arbeitszeiten oder schwankende Mitarbeiterzahlen?

Durch die Dokumentation der Instandhaltung im zedas@asset-System entstehen praktisch als „Abfallprodukt“ die Daten, mit denen der langfristige Personalbedarf ermittelt wird. So werden Engpässe, die durch Häufung bestimmter Fristfälligkeiten, geringere Personalverfügbarkeit durch Urlaub et cetera entstehen können, frühzeitig erkannt. Die aus der Berücksichtigung dieser Engpässe notwendigen Umplanungen sind direkt aus dem Dashboard möglich. So können Instandhaltungsmaßnahmen beispielsweise auf einen Monat verschoben werden, in dem die notwendigen Ressourcen zur Verfügung stehen.

Mobiler Werkstattassistent

Nicht nur die Personalbedarfsprognose stellt eine Herausforderung im Personalmanagement der Instandhalter dar, sondern auch der optimierte Einsatz des Personals im Werkstattalltag.

Eine papierlose Dokumentation in einem Instandhaltungssystem sorgt für die regel-



Zur Autorin

Gritt Hannusch leitet den Bereich Consulting der beiden Softwareprodukte zedas@asset und zedas@cargo. Sie begann bei Zedas als Projektmanagerin. Mit Übernahme der Leitung der Business-Unit Anlagenmanagement koordinierte sie alle nationalen und internationalen Projekte in den Bereichen des Anlagenmanagements. Hannusch studierte Wirtschaftsingenieurwesen an der Technischen Universität Bergakademie Freiberg.

konforme Ablage der Daten. Gleichzeitig stehen dem Mitarbeiter in der Werkstatt jederzeit alle notwendigen Informationen in der aktuellen Version zur Verfügung. Dank mobiler Anwendungen ist der Zugriff auf Aufträge, Arbeitsstände und Arbeitsschritte direkt am Arbeitsort möglich. Eingabefelder und Auswahlmöglichkeiten stellen sicher, dass der Mitarbeiter alle notwendigen Daten fehlerfrei speichert. Im Rahmen der Release-Entwicklung werden die System-Funktionen permanent weiterentwickelt. Die Anwendung zedas@asset Touch vereint digitale Prozessunterstützung und Nutzerfreundlichkeit, um den Werkstattmitarbeiter noch besser bei seinen Aufgaben und Dokumentationspflichten zu unterstützen und die Arbeitsprozesse in der Instandhaltung zu beschleunigen.

Checklisten für optimale Werkstattprozesse

Durch den Einsatz von frei definierbaren Checklisten kann der Mitarbeiter Schritt für Schritt seine Instandhaltungsaufgaben abarbeiten. Die spezifische Datenerfassung ermöglicht Fristbearbeitung, Stör- und Mängelerfassungen. Das Setzen von Pflichtfeldern hilft dem Mitarbeiter, Fehler zu vermeiden. Der Automatisierungsgrad

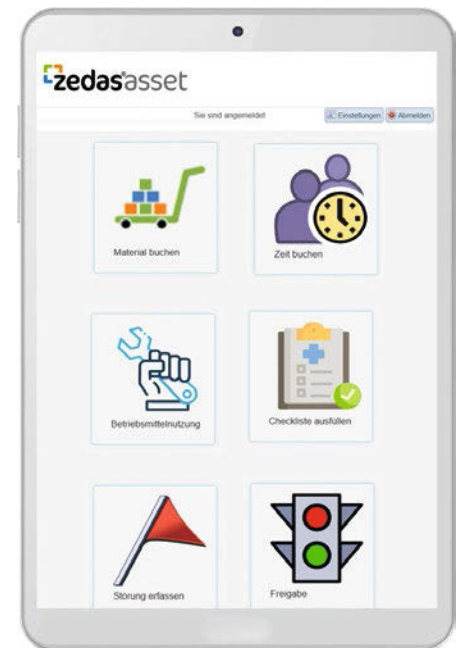


Abb. 2: zedas@asset Touch. Screenshot: Zedas

der Instandhaltungsdokumentation wird erhöht, die Aktualität der gültigen Arbeitsanweisungen ist gesichert. Mit der Nutzung des mobilen Assistenten profitiert die Instandhaltungsorganisation von

ANZEIGE



FRIEDRICH HIPPE
Alles aus einer Hand!

- Entwicklung, Produktion und Service – alles aus einer Hand
- Mehr als 6.500 Infrastrukturartikel aus eigener Fertigung
- Schienenfahrzeugkomponenten für Neu- und Umbau
- Ersatzteile aller Art für Schienenfahrzeuge
- Zertifizierter Schweißfachbetrieb mit DIN EN 15085-2 CL1
- Q1 Lieferant der Deutschen Bahn mit über 60 Jahren Erfahrung
- Technische Beratung und Ersatzteilplanung für Ihre Strecke
- Obsoleszenz-Management mit Reengineering

Friedrich Hippe Maschinenfabrik + Gerätebau GmbH

Toepferstrasse 25
49170 Hagen a.T.W.
Germany

Phone +49 5405 616700-0
Fax +49 5405 616700-150
info@friedrich-hippe.de

www.friedrich-hippe.de





Abb. 3: Planungsszenarien im zedas®asset Invest Manager.

Grafik: Zedas

einer vollständigen, korrekten und konsistenten Datenbasis als Grundlage für aussagekräftige Analysen und Prognosen zu Instandhaltungs-, Personal- und Investitionsbedarf.

Invest Manager

Durch die Digitalisierung der Werkstattprozesse werden eine Vielzahl an Daten gesammelt und dokumentiert, die für weitere Analysen herangezogen werden können. So ermöglicht der Datenbestand neben der Ressourcenbedarfsprognose für Personal und Material auch die Bedarfsprognose notwendiger Investitionen für Anlagenunterhalt und -beschaffung,

beispielsweise über die nächsten zehn Jahre.

Hier setzt die Managementlösung von Zedas an und nutzt für die optimale Planung von zukünftigen Investitionen die gesammelten Daten aus der Instandhaltungs- und Anlagendokumentation. Der Invest Manager ermöglicht die:

- kurz-, mittel- und langfristige Planung auf Basis des tatsächlichen und prognostizierten Zustandes,
- Begründung des Mittelbedarfes,
- schnelle Reaktion auf Marktdynamik, veränderte Vertragsbeziehungen, Konditionen, Mittelzuweisungen und

- automatisierte Berechnung bei Nutzung der vorhandenen Datenbasis zedas®asset.

Ausblick – Assistenzsysteme in der Werkstatt

Immer mehr und bessere verfügbare Daten gestalten den Instandhaltungsprozess transparenter und ermöglichen die Bereitstellung von Informationen, Anweisungen, Handlungsempfehlungen in jeder Stufe des Arbeitsprozesses in der Werkstatt. Um diese Daten zu analysieren und aufzubeiten, werden Methoden der künstlichen Intelligenz genutzt.

So arbeitet Zedas an der Prototyp-Entwicklung eines KI-basierten Assistenzsystems. Über ein innovatives User-Interface bekommt der Anwender alle für den Arbeitsprozess notwendigen Informationen auf einer Datenbrille eingeblendet. Arbeitsabläufe, Checklisten werden dann per Sprachsteuerung abgearbeitet, visuelle Anleitungen können Schritt für Schritt durch schwierige Arbeitsaufgaben lotsen und so auch einen ungeübten Mitarbeiter durch den Prozess führen.

Der Einsatz dieses Systems soll Werkstätten und mobile Serviceteams bei der Bewältigung ihrer Aufgaben unterstützen, trotz zu erwartendem stärker werdenden Fachkräftemangels, erhöhten Anforderungen an Dokumentationspflichten und der Einhaltung von Sicherheitsstandards.

Zusammenfassung/Summary

Werkstattorganisation der Zukunft ist effizient

Moderne spezialisierte Softwaresysteme für die Instandhaltung von Schienenfahrzeugen unterstützen Verkehrsunternehmen und Instandhaltungsdienstleister bei der Bewältigung immer komplexer werdender Aufgaben in der Werkstattplanung. Die Digitalisierung aller für den Instandhaltungsprozess benötigter Daten ermöglicht es, vorhandene Ressourcen und anstehende Instandhaltungsaufgaben übersichtlich zu konsolidieren, transparent abzubilden und Schlüsse für eine effiziente Werkstattorganisation abzuleiten. Die Ressource Mitarbeiter hat dabei eine immer stärker werdende Bedeutung – Stichwort: Fachkräftemangel. Eine langfristige Personalplanung ist für eine auch zukünftig personell gut aufgestellte Werkstatt unumgänglich. Hier setzt die digitale Personalbedarfsprognose von zedas®asset an, die per Knopfdruck verschiedene Parameter aus den Daten der zu bewältigten Instandhaltungsaufgaben in Beziehung setzt. Der Einsatz des Werkstatt-Personals kann mit Hilfe digitaler Assistenten optimiert werden. Mobile Anwendungen vereinen dabei digitale Prozessunterstützung und Nutzerfreundlichkeit. Sie ermöglichen den Zugriff auf Aufträge, Arbeitsstände und Arbeitsschritte direkt am Arbeitsort, was regelkonforme Dokumentationspflichten unterstützt und Arbeitsprozesse beschleunigt. Durch die Digitalisierung der Werkstattprozesse werden eine Vielzahl an Daten gesammelt und dokumentiert, die beispielsweise auch für die optimale Planung von zukünftigen Investitionen herangezogen werden können.

Workshop organization of the future is efficient

Modern specialized software systems for the maintenance of rail vehicles support transport companies and maintenance service providers in dealing with increasingly complex tasks in workshop planning. The digitization of all data required for the maintenance process offers the possibility to clearly consolidate existing resources and upcoming maintenance tasks, to map them transparently and to derive conclusions for an efficient organization of the workshop. Employees are becoming an increasingly important resource in this context – just think of the shortage of skilled workers. Long-term personnel planning is essential for workshops that shall also well staffed in the future. This is where the digital personnel requirements forecast of zedas®asset comes in. At the push of a button this tool correlates various parameters from the data of the maintenance tasks to be handled. The deployment of workshop personnel can be optimized with the help of digital assistants. Mobile applications combine digital process support and user-friendliness. They allow to access orders, work statuses and work steps directly at the place of work, which in turn supports compliant documentation obligations and accelerates work processes. The digitization of workshop processes allows to collect and document a large amount of data, which can also be used, for example, for an optimal planning of future investments.

Digitalisierung in der Instandhaltung durch die Fahrwerksdiagnose

Instandhaltungskosten reduzieren und Sicherheitsniveau beibehalten durch intelligentes Fahrwerksdiagnose-System

DI Dr. Martin Rosenberger, DI Dr. Thomas Moshhammer, Graz

Die Fahrwerke eines Schienenfahrzeuges sind die zentrale Komponente für den sicheren Betrieb eines solchen. Das Fahrwerk trägt alle wichtigen Komponenten für das Antreiben und Bremsen, bestimmt die Entgleisungssicherheit, das Fahrverhalten und beeinflusst maßgeblich den Fahrkomfort. Es stellt die Schnittstelle zum Fahrweg dar und muss dementsprechend die Randbedingungen, die es von Seiten des Fahrwegs vorfindet, beherrschen. Um alle diese Funktionen dauerhaft gewährleisten zu können, ist ein überproportional großer Aufwand für die Instandhaltung der Fahrwerke erforderlich, was zu entsprechend hohen Kosten führt. So hat das Fahrwerk mehr als 30 Prozent Anteil an den Gesamtlebenszykluskosten eines Schienenfahrzeuges.

Um die Instandhaltungskosten über den Lebenszyklus zu reduzieren, gleichzeitig

aber das Sicherheitsniveau beizubehalten beziehungsweise sogar weiter erhöhen zu können, hat Siemens ein intelligentes Fahrwerksdiagnose-System entwickelt, das es erlaubt, das Fahrverhalten des Fahrzeugs als Gesamtes, aber auch wichtige instandhaltungsrelevante Einzelkomponenten des Fahrwerks kontinuierlich zu beobachten. Das Fahrwerksdiagnose-System liefert dem Instandhaltungsdepot folgende Informationen:

- Health States – in welchem Zustand ist das Fahrwerk (die Komponente) beziehungsweise das Fahrzeug,
- Remaining Useful Lifetime – wie lange kann das Fahrzeug noch betrieben werden, bis eine Instandhaltungsmaßnahme erforderlich ist, und
- Werkstattmeldungen – welche konkrete Instandhaltungsmaßnahme ist im Depot bei einer Abweichung von einem normalen Health State durchzuführen.

Architektur des Fahrwerksdiagnosesystems

Die Basis des Fahrwerksdiagnose-Systems bilden Sensoren, welche an Radsatzlagern, Fahrwerksrahmen und im Wagenkasten verbaut sind (Abb. 1). Diese Sensoren sind vorwiegend Beschleunigungssensoren, mit welchen es möglich ist, das dynamische Verhalten des Fahrzeugs, das heißt seine Reaktion auf die Strecke, die Umgebungsbedingungen und das Fahrspiel, zu erfassen. Die daraus gewonnenen Daten werden mit an Fahrzeugen typischerweise vorhandenen Informationen wie Beladezustand, Fahrtrichtung und GPS-Position sowie Daten aus dem Antriebs- und Bremssystem in einem Diagnoserechner zusammengeführt. Bedarfsgerechte und intelligente Algorithmen in der Bandbreite von klassischen Signalverarbeitungsmethoden über physikalische Ansätze bis hin zu modernsten Machine-Learning- und Artificial-Intelligence-Methoden verarbeiten die Daten zu Fahrwerksdiagnose-Informationen. Abbildung 2 zeigt beispielsweise die Leistungsfähigkeit von Machine-Learning-Methoden. Zur Erkennung geschädigter Dämpfer wurden drei Fälle betrachtet. Ein Dämpfer im Gut-Zustand, ein Dämpfer in degradiertem Zustand mit rund 50 Prozent seiner Kennung und ein defekter/ausgefallener Dämpfer wurden bewertet, einerseits über eine klassische Frequenzbewertung der Systemantwort des Fahrwerks und andererseits mit Modellen, die eine Klassifizierung der Systemantwort ermöglichen, welche dann statistisch bewertet wird. Sowohl mit der klassischen Frequenzbewertung als auch mit der statistischen Bewertung auf Basis eines Machine-Learning-Modells kann der

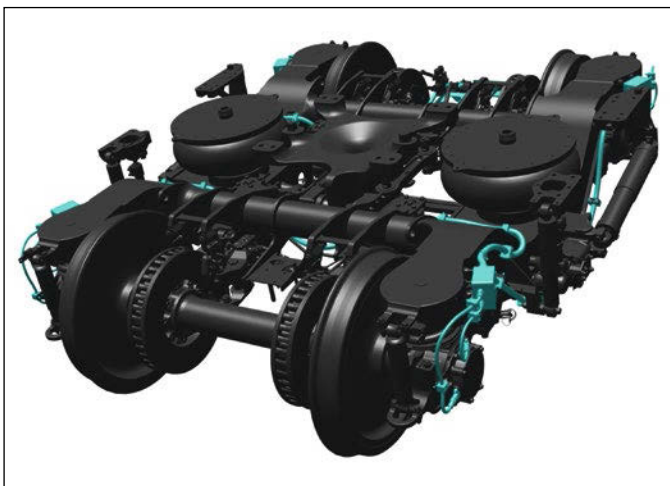


Abb. 1: Fahrwerksdiagnose-System am Fahrwerk.

Grafik: Siemens Mobility

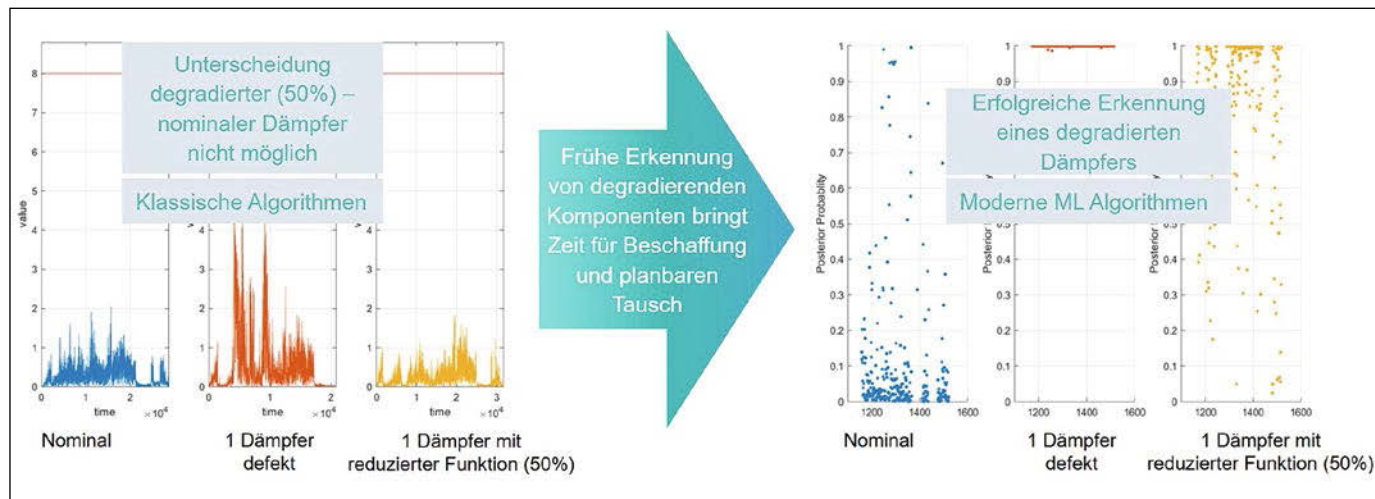


Abb. 2: Schlingerdämpferzustandsbewertung mittels Frequenzbewertung (links) und mittels eines Machine-Learning-Modells (rechts).

Grafik: Siemens Mobility

Gut-Zustand vom ausgefallenen Dämpfer gut unterschieden werden. Beim zu 50 Prozent degradierten Dämpfer allerdings zeigt die Frequenzbewertung keinen eindeutigen Unterschied zum Gut-Zustand. Im Gegensatz dazu erlaubt das für diesen Fall entwickelte statistische Modell eine eindeutige Differenzierung der drei Fälle.

Die am Fahrzeug generierten Fahrwerksdiagnoseinformationen, das sind im Allgemeinen Kennwerte des Fahrzeugverhaltens aus den unterschiedlichen Bewertungsfunktionen (Abb. 2, rechts), werden automatisiert in ein Cloud-System übertragen und dort weiterverarbeitet. Für Diagnosefunktionen, die auch historische Daten nutzen, errechnen landseitige Algorithmen die Health States der entsprechenden Fahrwerks-

komponenten. Auch Restlebensdauerbewertungen werden mittels landseitiger Algorithmen erzeugt. Die Health States und die Restlebensdauern einzelner Fahrwerkskomponenten sowie des Fahrwerks insgesamt werden in einem Dashboard angezeigt. Vordefinierte komponentenspezifische Werkstattmeldungen werden bei Überschreiten von Health-State-Schwellwerten direkt in das Instandhaltungs-System übertragen, woraus dann in weiterer Folge gemäß Instandhaltungshandbuch direkt die entsprechenden Arbeitsaufträge für die Instandhaltung des Fahrwerks generiert werden. Um bereits durchgeführte Instandhaltungsmaßnahmen ebenfalls berücksichtigen zu können, wie zum Beispiel das Überdrehen von Rädern oder den Austausch von serialisierten Komponenten,

werden die vollständigen Konfigurationsdaten des Fahrzeugs landseitig aus dem CMMS-System mit den Daten des Fahrwerksdiagnose-Systems verknüpft.

In der Entwicklung der Diagnosesoftware wurde besonderes Augenmerk auf Robustheit, Zuverlässigkeit und Flexibilität gelegt. Das bedeutet, dass sowohl die fahrzeug- als auch die landseitige Software modular und parametrierbar ist. Das hat den Vorteil, dass für die Auswertung einer Diagnosefunktion die unterschiedlichen Berechnungsmodule einzig über ein Parameterfile konfiguriert und parametrierbar werden können. Damit wird es möglich, viele Anpassungen und Erweiterungen im Diagnosesystem alleine durch das Einspielen eines neuen Parameterfiles zu realisieren und es wird insbeson-

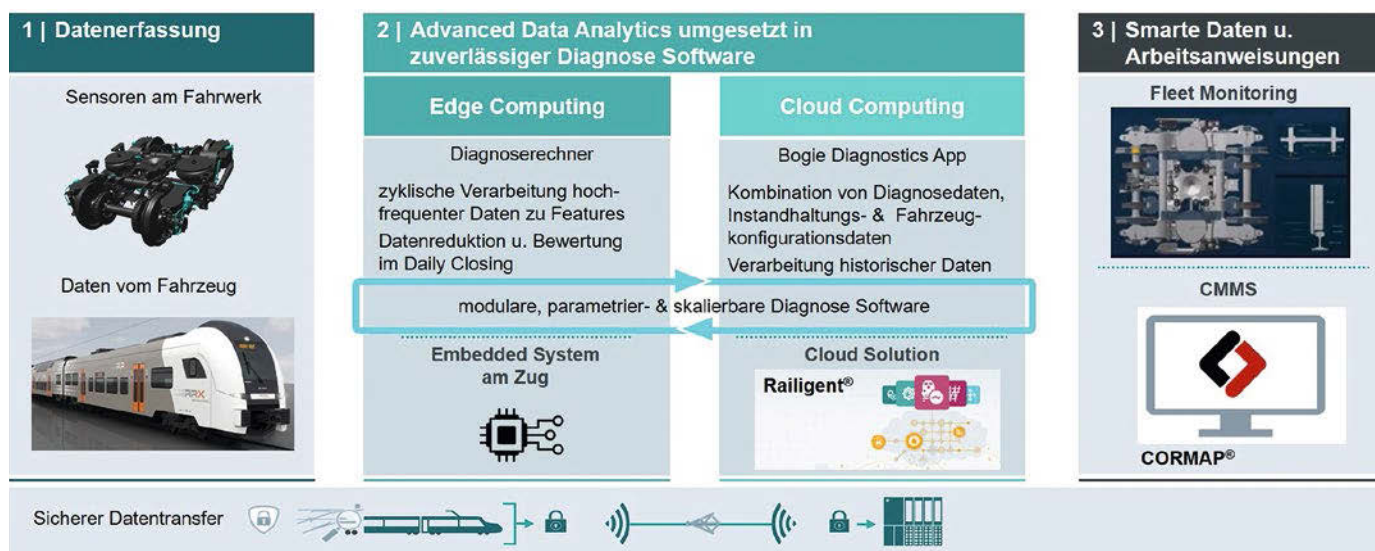


Abb. 3: Vollständige IT-Integration der Fahrwerksdiagnose – Fahrzeug, Diagnose-Cloud-Lösung mit HMI und Dashboards, Instandhaltungsmagementsystem (CMMS).

Grafik: Siemens Mobility

dere eine Entkopplung von langwierigen und aufwändigen Software-release-Zyklen an den Fahrzeugen erreicht.

Fahrwerksdiagnosefunktionen

Die Fahrwerksdiagnosefunktionen lassen sich in vier Gruppen einteilen, in

- Diagnosefunktionen für Rad und Lager,
- Diagnosefunktionen für Feder-/Dämpferzustände,
- kumulierende Schädigungsfunktionen für Bremsen, Gummi-Metall- und Strukturbauteile,
- Systemfunktionen, die das Gesamtsystem Fahrzeug/Fahrwerk vorwiegend aus fahrtechnischer Sicht bewerten und
- die Eigendiagnose des Fahrwerksdiagnosesystems, die unter anderem auch sicherstellt, dass die Diagnosefunktionen zuverlässige Inputdaten erhalten.

Die Fahrwerksdiagnose wurde in 84 vierteiligen Commuter-Zügen verbaut und ist seit Dezember 2018 im Einsatz. In diesen mehr als zwei Jahren konnte das Fahrwerksdiagnose-System mit den dazugehörigen Diagnosefunktionen bereits mehrmals erfolgreich seine Leistungsfähigkeit unter Beweis stellen.

Beispielsweise konnten defekte Schlingerdämpfer detektiert werden, die äußerlich keine Schäden wie Öl-Austritt aufwiesen und daher bei der Sichtkontrolle nicht entdeckt werden konnten. Diese wurden ausgebaut und dem Lieferanten zur Untersuchung übergeben. Der Lieferant musste

feststellen, dass sich eine Schraube im Ventilblock gelockert hat, die zu einem nicht zulässigen Verhalten, das heißt zu einer deutlich reduzierten Kennung des Schlingerdämpfers geführt hat.

Ein weiterer Fall betraf einen ölenden Primärdämpfer, der während einer Sichtkontrolle aufgefallen ist. Dieser hatte aus Sicht der Diagnose keine Funktionsbeeinträchtigung. Auch dieser wurde ausgetauscht und dem Lieferanten geschickt. Hier ergab die Prüfung beim Lieferanten keine Funktionsbeeinträchtigung – der Dämpfer hätte also in Betrieb bleiben können. Dementsprechend werden zukünftig ölende Dämpfer

nicht automatisch ausgetauscht, sondern abhängig vom Health State der zugehörigen Diagnosefunktion im Betrieb gehalten oder getauscht. Das bedeutet auch, dass nur Dämpfer mit geringem Ölverlust in Betrieb bleiben, welche damit auch kein Umweltproblem darstellen. Des Weiteren konnte auch ein um 180° falsch eingebauter Dämpfer, der bei Sichtkontrollen übersehen wurde, durch Hinweise aus der Fahrwerksdiagnose identifiziert werden.

Die Fahrwerksdiagnosefunktionen des Rades konnten diverse Flachstellen identifizieren. Dabei wurden größere Flachstellen selbstverständlich entfernt, kleinere Flach-



Zum Autor

Dr. Dr. Martin Rosenberger (45) leitet seit 2016 das Team Vehicle Dynamics, Acoustics & Analytics am Standort Graz der Siemens Mobility Austria GmbH. Davor war er in mehreren Positionen bei der Virtual Vehicle Research GmbH tätig. Studiert hat er Mechatronik im Maschinenbau an der Technischen Universität Graz und an der Universidad de Navarra in San Sebastian, Spanien.



Zum Autor

Dr.-Ing. Thomas Moshhammer (52) ist seit 2007 bei Siemens Mobility im Bereich Fahrwerksentwicklung für die Fachthemen Fahrtechnik, Akustik, Konstruktion Strukturbauerteile, Lastannahmen, Festigkeit und Algorithmen-Entwicklung für Fahrwerksdiagnosesysteme zuständig, seit 2021 verantwortet er zusätzlich den Bereich Innovation Area Lead Digital Twin & Data Analytics. Moshhammer hat Allgemeinen Maschinenbau an der Technischen Universität Wien studiert und seinen Dokortitel 1998 erlangt. Ein Sabbatical hat er bei der NASA Langley in Virginia abgehalten.

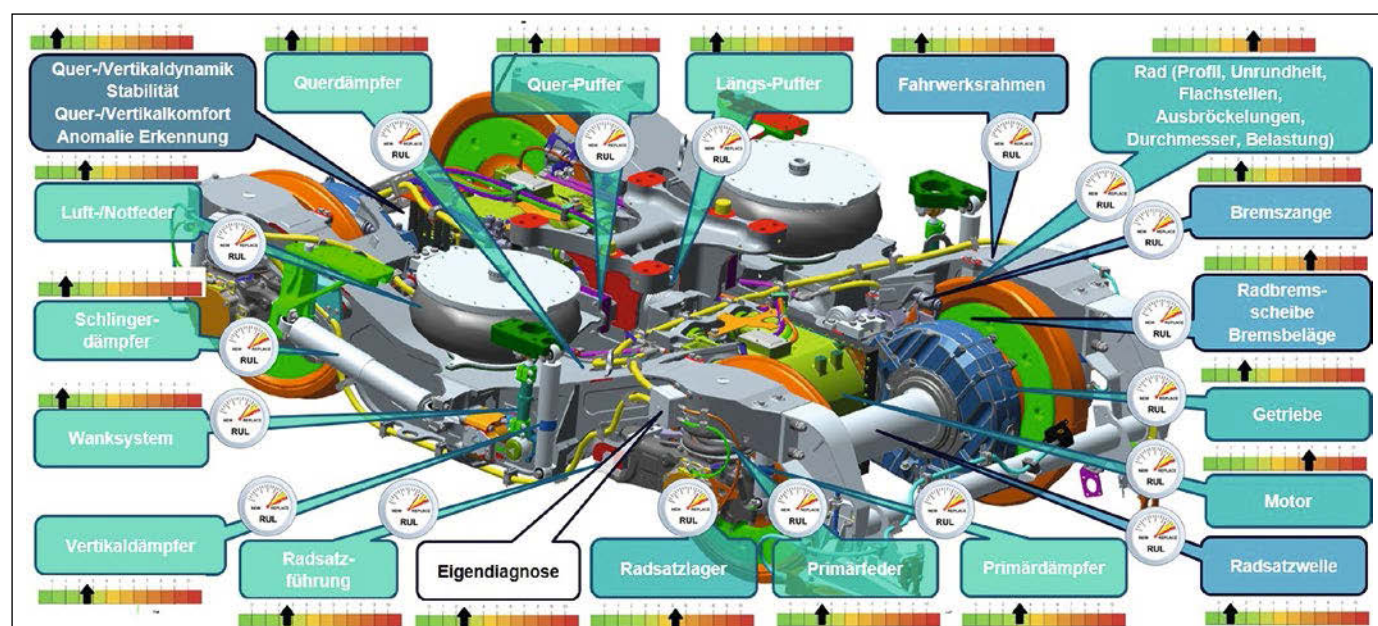


Abb. 4: Fahrwerksdiagnose-Funktionen.

Grafik: Siemens Mobility

stellen wurden beobachtet und es konnte dokumentiert werden, wie sich diese Flachstellen ausfahren und wieder verschwinden, ohne zu Ausbröckelungen als Spätfolge dieses Schadens am Rad zu führen.

Die Fahrwerksdiagnose erlaubt aber auch Problemfälle aus dem Betrieb im Detail zu analysieren. So können zum Beispiel die Daten von konkreten Radblockier-Events mit örtlichen und zeitlichen Informationen kombiniert werden, was wiederum erlaubt, Wetterdaten oder spezifische Streckeninformationen et cetera in die Analyse mit-einzubeziehen. Mittels einer gleichzeitigen Beurteilung mehrerer Radblockier-Events können entsprechende Maßnahmen abgeleitet werden, so können beispielsweise Anweisungen an die Triebfahrzeugführer ausgegeben werden, um die Anzahl der Radblockier-Events und damit die Anzahl von Flachstellen reduzieren zu können.

Nutzen und Use Cases der Fahrwerksdiagnose

Mit der Fahrwerksdiagnose als modulares und skalierbares System werden Schäden bereits frühzeitig erkannt und bewertet und somit wird eine Transformation von korrektiven zu präventiven Instandhaltungsmaßnahmen erreicht. Damit werden ungeplante Stillstandszeiten vermieden und die notwendige Vorlaufzeit für die Planung von Instandhaltungstätigkeiten zur Verfügung gestellt. Somit können Kosten für Ausfälle von zum Beispiel Radsatzlagern, Fahrmotor und Getriebelagern reduziert werden. Für den Kunden ergibt sich gleichzeitig eine höhere Fahrzeugverfügbarkeit.

Durch das kontinuierliche Beobachten des Fahrwerks mit seinen Komponenten

können längere Sichtkontrollintervalle erreicht werden, was ebenfalls zu niedrigeren Instandhaltungskosten und einer höheren Fahrzeugverfügbarkeit führt. Zusätzlich können im Depot die Instandhaltungsarbeiten über die Fahrzeuge hinweg besser geplant und die Fahrzeugdisposition und Ersatzteillogistik effizient gestaltet werden. Durch regelmäßige und präventive Analyse der Restlebensdauern, wie zum Beispiel der Komponente Radsatz, werden die Reprofilierungen bedarfsgerecht durchgeführt, was zu einer Einsparung eines Radsatzwechsels im Life-Cycle führen kann.

Auf Grund der frühzeitigen Identifikation von Schäden können die tatsächlichen Komponentenlebensdauern weiter ausgenutzt und damit die Revisionsintervalle optimiert werden. Im besten Fall kann dadurch eine Fahrwerksrevision im Life-Cycle des Fahrzeugs eingespart werden. Durch die Sensorik auf Achslager- und Fahrwerkebene kann die Fahrwerksdiagnose aber auch mit Algorithmen zur Bewertung des Fahrwegzustandes erweitert werden. Damit wird es für den Infrastrukturmanager möglich, den Streckenzustand kontinuierlich zu erfassen. Fehler, die sich zwischen Messfahrzeugfahrten entwickeln, können frühzeitig erkannt werden. Das erhöht die Planbarkeit der Fahrweginstandhaltungsmaßnahmen und die Streckenverfügbarkeit. Gegebenenfalls können dadurch auch die Intervalle der Messfahrzeugfahrten ausgedehnt werden, was zu weiteren Kostensenkungen führen würde.

Fazit

Die Fahrwerksdiagnose ermöglicht eine kontinuierliche Beobachtung des Fahrwerks, wodurch Sichtkontrollintervalle op-

timiert werden können. Durch das Wissen um den Zustand des Fahrwerks und seiner Komponenten zu jedem Zeitpunkt im Fahrzeugleben können die tatsächlichen Komponentenlebensdauern weiter ausgenutzt und ungeplante Stillstandszeiten vermieden werden. Aber auch die Zuverlässigkeit und die Verfügbarkeit der Fahrzeuge wird erhöht, da ad-hoc Ausfälle und Schäden abgefangen und geplant behoben werden können. Für tatsächliche ad-hoc Fehler wiederum, wie zum Beispiel Flachstellen et cetera, liefert die Fahrwerksdiagnose wertvolle Daten aus dem Betrieb, um die Ursachen analysieren zu können und daraus Maßnahmen für Fahrzeug, Instandhaltung oder Betrieb abzuleiten.

Die Fahrwerksdiagnose kann auch dafür genutzt werden, um den Fahrwegzustand und implizit die Umgebungsbedingungen zu erfassen. Dadurch steht ein zusätzliches Werkzeug zur Verfügung, um neben Regelinspektionen auch eine kontinuierliche Beobachtung des Fahrwegs und der Reaktion der Fahrwerke beziehungsweise Fahrzeuge auf den Fahrweg zu ermöglichen.

Die Fahrwerksdiagnose als modulares und skalierbares System kann vollständig in bestehende Instandhaltungssysteme integriert werden, um Arbeitsaufträge auszulösen und erlaubt es, Health States und Restlebensdauerinformationen von Einzelkomponenten und vom Fahrwerk insgesamt in Dashboards für weitere Analysen zur Optimierung von Instandhaltung und Betrieb darzustellen.

Seit Dezember 2018 ist die Fahrwerksdiagnose in einer Flotte von 84 vierteiligen Commuter-Fahrzeugen im Einsatz und zeigt dort tagtäglich ihre Leistungsfähigkeit.

Zusammenfassung/Summary

Digitalisierung in der Instandhaltung durch die Fahrwerksdiagnose

Um die Instandhaltungskosten von Fahrwerken über den Lebenszyklus zu reduzieren, gleichzeitig aber das Sicherheitsniveau im Eisenbahnbetrieb nicht zu verringern beziehungsweise sogar weiter erhöhen zu können, hat Siemens Mobility ein intelligentes Fahrwerksdiagnose-System entwickelt, welches es erlaubt, das Fahrverhalten des Fahrzeugs als Ganzes, aber auch wichtige und instandhaltungsrelevante Einzelkomponenten des Fahrwerks dauerhaft zu beobachten. Aber nicht nur das Fahrzeug wird mit der Fahrwerksdiagnose inspiziert, auch der Fahrweg und implizit die Umgebungsbedingungen können kontinuierlich erfasst werden. Die Fahrwerksdiagnose wurde an einem Commuter-Fahrzeug in 84 vierteiligen Zügen verbaut und ist seit Dezember 2018 im Einsatz. An ausgewählten Beispielen aus dem bisherigen Betrieb wie Dämpfer, Flachstellen oder aus der Instandhaltung wird die Gesamtarchitektur des Fahrwerksdiagnosesystems beschrieben und die sich daraus ergebenden neuen Möglichkeiten in Betrieb und Instandhaltung von Fahrzeug und Fahrweg werden dargestellt.

Digitalisation in maintenance through chassis diagnosis

In order to reduce maintenance costs of railway bogies, but to keep the safety level of railway operation or even increase it, Siemens Mobility developed an intelligent bogie diagnostics system. This diagnostic system can continuously assess the railway vehicle behavior in general, but also important and maintenance relevant components of a bogie. Not only the vehicle can be monitored, but the railway track and implicitly the environmental conditions can be captured as well. The bogie diagnostic system is introduced in 84 four-car commuter trains and is in operation starting from December 2018. The architecture of the bogie diagnostic system, and the opportunities for operation and maintenance by using this system are demonstrated based on selected examples.



Abb. 1: Außenansicht des B80-Nachfolgers für Dortmund, modernisierte Altwagen sollen ebenso aussehen.

Foto: Heiterblick

Entwicklung der Schienenfahrzeuge: Ideen, Hersteller, Vielfalt

Der Markt für Stadt-, Straßen- und Regionalbahnfahrzeuge ist in Bewegung

Dipl.-Ing. (FH) Achim Uhlenhut, Hannover

Öffentlicher Verkehr hat ein ungeheures Entwicklungspotential. Stadtverkehrsbetriebe planen Flottenerweiterungen, da sie fest mit stark steigenden Fahrgastzahlen rechnen. Noch mit Diesel betriebenen Regionalbahnen steht die Elektrifizierung bevor – nicht per Infrastruktur, sondern durch bimodale oder andere Fahrzeuge mit alternativen Antrieben. Batterie und Brennstoffzelle sind die viel diskutierten Lösungen der unmittelbaren Zukunft, sie sind bereit und vergleichsweise kurzfristig einsetzbar. Die jahrzehntelang unzureichende Reichweite durch zu kleinen Energieinhalt der Speicher – oder zu großes Gewicht – scheint überwunden. Erprobungen im Realbetrieb führten zu realistischen Einschätzungen und zu ersten Serienbestellungen. Nächstes Etappenziel: Die Brennstoffzelle an Bord. Die schnelle Fortentwicklung macht immer

mehr denk- und realisierbar, mit Überraschungen ist sicher noch zu rechnen. Auch auf Anbieterseite ist viel Bewegung. Eingeführte Namen verschwanden, neue kommen, und dies nicht nur aus dem „alten“ Mitteleuropa. Einerseits gibt es eine wachsende Vielfalt, andererseits Gemeinschaftsbestellungen – und Ansätze zur Standardisierung. Jede Darstellung der Entwicklung im Bereich Schienenfahrzeuge kann nur eine schlaglichtartige Momentaufnahme einiger aktueller Aspekte sein. Die Branche ist in Bewegung, und das ist im Sinne der Betreiber, der Nutzer, der Lieferanten und auch der Umwelt ein gutes Zeichen.

Eine bewährte Stadtbahn, mehrere Nachfolger

Ein Klassiker der Gemeinschaftsbestellungen war ab 1973 der so genannte B-Wagen.

Ein überaus bewährtes und verbreitetes Düwag-Fahrzeug für neue Netze an Rhein und Ruhr, letztlich 26 Jahre lang gebaut: Rund 475 Wagen für neun Betriebe; plus Abwandlungen. Lange dauerte es, die unausweichliche Nachfolgefrage zu klären. Es fanden sich mehrere Lösungen. Seit 2009/2010 setzen Bonn und Köln, aktuell auch Dortmund und Bochum, auf „Zweit-erstellung“ oder „Refit“: Der grundsätzlich überaus stabile Wagen wird dabei nach Zerlegung neu ausgestattet. Die Dortmunder DSW21 lässt sich in einem bislang einmaligen Verfahren bei Heiterblick (Leipzig) 24 komplett neu konstruierte Wagen „B80D Vamos HF“ in den altbewährten B80-Maßen bauen und die 64 vorhandenen im Rahmen einer umfassenden Modernisierung so angleichen, dass eine optisch und technisch weitgehend wieder einheitliche Flotte entsteht. B-Wagen-Betriebe



Zum Autor

Dipl.-Ing. (FH) Achim Uhlenhut (56) lebt und arbeitet bei Hannover. Schwerpunkte seiner Tätigkeit sind Fahrzeugtechnik, Bahnbau und -betrieb sowie Fahrgastbelange und die Dokumentation der Verkehrsgeschichte von Hannover.

beschaffen derzeit Neufahrzeuge diverser Hersteller, die nicht zuletzt wegen Vorgaben der Infrastruktur alten Maße und Prinzipien nur in Grenzen variieren, damit auch die neue Generation zu den vorhandenen Anlagen passt. Zweiteilige Hochflur-Triebwagen HF6 bestellten Köln und Düsseldorf 2015 gemeinsam bei Bombardier. In Düsseldorf kamen die ersten der 59 gewünschten Fahrzeuge nur schwer in Gang, dann fanden sich Produktionsmängel, der Abnahmestopp folgte. Vier Monate danach kamen im Dezember 2020 die ersten zwei der 26 bestellten HF6 auch nach Köln, wegen grundsätzlicher Doppeltraktion mit nur einer Fahrerkabine. Seit März 2021 wird getestet. Nach der im Januar abgeschlossenen Bombardier-Übernahme wäre künftig Alstom der Lieferant.

Die Düsseldorfer Rheinbahn sah sich bemerkenswerterweise parallel weiter um und beschafft gemeinsam mit der Duisburger DVG noch einen zweiten B-Wagen-Nachfolger: Siemens liefert nach Bestellung vom Oktober 2020 insgesamt 109 Stadtbahnwagen „Avenio HF“, auch sie eine Neukonstruktion nach Art eines modernen B80 und dem HF6 dahernicht unähnlich. 91 Wagen sind für die Rheinbahn bestimmt, 18 für die DVG; es besteht eine Option über 48 weitere. Die Ruhrbahn (Essen/Mülheim) wiederum orderte im Juni 2021 ihren B-Wagen-Nachfolger bei CAF, zunächst 51 Fahrzeuge. Auch hier: vertraute Dimensionen mit neuem, dynamisch-crashsicherem Fahrzeugkopf. Die ersten zwei Vorserienfahrzeuge werden 2024 erwartet. Ersetzt werden sollen dann neben den eigenen B-Wagen die aus London übernommenen und adaptierten Docklands-Züge, einst gebaut bei LHB in Salzgitter.

Gemeinschaftsbestellungen für Stadt und Land

Während es bei der B-Wagen-Nachfolge also zu Aufträgen an mehrere Lieferanten kam, sind anderswo Gemeinschaftsausschreibungen auf dem Weg, nach allerdings

langen Abstimmungsphasen. Herausragend wird der künftige „VDV-TramTrain“ mit nach (vorerst) letztem Stand und vielen Veränderungen insgesamt 504 Einheiten in unterschiedlichen Stromsystem-, Einstiegs- und Längenausführungen. Die Ausschreibung startete im Herbst 2020. Möglich, dass nur ein Konsortium die gewünschte Leistung erbringen kann. Beteiligt sind auf Bestellerseite letztlich neben den zwei federführenden Karlsruher Betrieben KVG und AVG die Saarbahn, die neue Regional-Stadtbahn Neckar-Alb sowie die österreichischen Länder Salzburg für die Lokalbahn und Oberösterreich für bestehende und neue Linien, Chemnitz und Kassel nach zeitweiser Teilnahme am Findungsprozess hingegen nicht mehr. Die geplante gemeinsame Bestellung mit Gesamtvolumen um 4 Mrd Euro soll jedem Partner Einsparungen in Höhe von rund 1 Mio Euro pro Fahrzeug bringen.

So groß wird der Effekt bei einer anderen, viel kleineren Gemeinschaftsbestellung nicht sein, aber sie ist für die Zukunft dreier Straßenbahnbetriebe von großer Bedeutung. Für Brandenburg an der Havel, Cottbus und Frankfurt an der Oder bestellten die jeweiligen Verkehrsunternehmen nach mehrjährigem Vorlauf und Förderzusage des Landes Brandenburg im Februar 2021 eine gemeinsame Serie von Niederflurstraßenbahnen. Auch dies ein starkes Zeichen aus der Branche für die Branche. Lieferant ist mit Skoda Transportation einer der „Newcomer“ am deutschen Markt. Skoda wird 24 ForCity Plus bauen, eine Option umfasst 21 weitere – sofern es erneut Landesförderung gibt. Die dreiteiligen, zu 70 Prozent niederflurigen Einrichtungswagen werden einheitlich 30 m lang, die Wagen für Cottbusverkehr jedoch 10 cm breiter als die anderen. In Betrieb gehen sollen sie ab 2023/24.

Neue Namen auf Herstellerseite

Über viele Jahre lang kamen Straßenbahnen in Deutschland weit überwiegend von

Düwag, LHB oder Tatra. Frühere Anbieter von Aachen bis Gotha waren nach und nach verschwunden, Konzernumbildungen (Beispiel MAN/AEG/Adtranz/Bombardier), Zukäufe (wie bei Siemens) und unternehmenspolitische Entscheidungen (Alstom, Vossloh) hatten ihre Auswirkungen. Im Jahr 2021 zeigt sich die Herstellerschar erheblich verändert. Bombardier ist seit der Übernahme durch Alstom Vergangenheit. Alstom wiederum wird erstmals Straßenbahnen seines französischen Citadis-Typs nach Deutschland liefern – aus dem spanischen Werk Barcelona. Siemens ist traditionell dabei, Stadler setzt international Zeichen, zusätzlich dank Übernahme des noch jungen, klug aufgestellten Vossloh-Programms und durch Kooperationen. Skoda und CAF melden seit einigen Jahren Verkaufserfolge in Deutschland.

Beachtung errang Skoda mit Aufträgen aus Mannheim/Ludwigshafen und aus Bonn, Alstom in Frankfurt am Main und Köln, CAF erneut in Freiburg, Stadler in Augsburg, Darmstadt und Erfurt sowie Heiterblick mit der ersten eigenständigen Entwicklung für das anspruchsvolle Würzburger Tramnetz. Spezialist Stadler liefert den Stadtbahnen äußerlich ähnliche, teilmittelflurige Zahnradbahnwagen nach Stuttgart. Für Berlins Straßenbahn führt Alstom die Bombardier-Linie samt Bau in Bautzen fort, modifiziert für Magdeburg die Flexity-Reihe. Konsortien wie Siemens/Stadler für die Berliner S-Bahn können Erfolge generieren, andererseits gibt es oft, auch das gehört dazu, Vergabebeschwerden unterlegener Bieter. Unabhängig von alledem wird manch Frage unterschiedlich beantwortet: Beispielsweise erhält die Kölner KVB 60 m lange Citadis-Niederflurbahnen, während die Berliner BVG zu kürzeren Einheiten, aber Doppeltraktion schwenkt – und beides zur Kapazitätssteigerung gedacht ist.

Halb hoch hinaus

Ende der 1950er Jahre begann – in Westdeutschland – die Zeit der „Anderthalb-decker“: Busse, vorn Eindeck-, hinten Doppelstockomnibus. Eine praktische Idee für etwas mehr Sitzplätze auf gleichem Straßenraum. In den 1980er Jahren war damit, von ein paar Ausnahmen abgesehen, Schluss. Seit wenigen Jahren gibt es eine im weitesten Sinne ähnliche Lösung nun auch im Bahnsektor: Regionaltriebzüge „halb und halb“ als konstruktive Mischung aus normalen und Doppelstock-Wagen. Der Rhein-Ruhr-Express führte mit dem Siemens Desiro HC diese spezielle Kom-

bination auf deutschen Schienen ein: Desiro-Endwagen, zwischen denen zwei doppelstöckige Wagenteile laufen. „HC“ steht dabei für „High Capacity“. 85 Vierteiler wurden für die Linien des RRX gebaut, bestellt 2015. Inzwischen sind Desiro HC auch anderswo im Einsatz oder geordert: Auf der Rheinschiene fahren 15 Einheiten zwischen Karlsruhe und Basel. Für Verkehre um Augsburg (Go Ahead Deutschland), in Berlin-Brandenburg (Ostdeutsche Eisenbahn) und für zwei Netze in Bayern (DB Regio) sind Desiro HC in Arbeit, zumeist Fünf- und Sechsteiler. Weitere gehen nach Israel. Der Mix kommt an.

Genau umgekehrt sieht die Zugbildung bei den neuen, vierteiligen Elektrotriebzügen aus, die das Land Niedersachsen zur Betriebsaufnahme Ende 2024 über seine Landesnahverkehrsgesellschaft bei Alstom orderte. Die 34 „Coradia Stream High Capacity“ für die Strecken des sogenannten Expresskreuzes werden doppelstöckige Endwagen aufweisen, dazwischen zwei Mittelwagen mit nur einer Ebene. Da mit Fahrgastzuwachsen



Abb. 2: Skoda baut weitgehend identische Straßenbahnen für drei brandenburgische Meterspur-Betriebe, hier in der Farbgebung für Brandenburg an der Havel.

Foto: Skoda

gerechnet wird, wird das Land zudem 18 Mittelwagen für spätere Verlängerungen der Züge zu Fünf- und Sechsteilern erwerben. Laut Land Niedersachsen sollen diese Züge als erste ihrer Art in Salzgitter gebaut werden.

Bei Betrachtung der Doppelstock-Wendezüge, die Skoda aus Tschechien für den München–Nürnberg-Express (MNE) lieferte, zeigt sich, dass auch hier das Verhältnis von ein- und zweistöckigen Sitzbereichen fast ausgeglichen ist. Über den Drehgestel-

ANZEIGE






Zertifiziert nach
DIN ISO 9001
und IRIS ISO/TS





Schwingungstechnik – Eine gute Verbindung

Primär- & Sekundärfedersysteme und Gummi-Metall-Elemente
zur Schwingungs- und Schallreduzierung

GMT Gummi-Metall-Technik GmbH · Liechtersmatten 5 · 77815 Bühl · Deutschland · Tel. +49 7223 804-0 · www.gmt-gmbh.de
ENGLAND · FRANKREICH · INDIEN · IRLAND · MALAYSIA · ÖSTERREICH · SCHWEIZ · USA



Abb. 3: Wer keine Beinfreiheit bekommt, braucht auch nicht aus dem Fenster zu sehen: Sitzanordnung in einem Triebzug von Pesa.

Foto: Uhlenhut



Abb. 4: Breite Tür und ebener Zugang: So soll es in den kommenden Talgo-Gliederzügen der DB aussehen.

Foto: DB/Talgo

len gibt es beidseits 24 Plätze auf „Normalniveau“ und damit mehr als bei anderen „DoStos“, zwischen den Einstiegen den zweigeschossigen Abschnitt. Nach langem Zulassungsvorlauf fahren die Züge inzwischen.

Mehr an die Fahrgäste denken

Doppelstockzüge in der Schweiz weisen einen hohen Komfort auf, in Deutschland ist dies keineswegs immer so, neben den MNE-Einheiten mit vielen Sitzplätzen insbesondere bei den auf Regionalbahnwagen basierenden IC2. Sitze im „Treppenhaus“, enge Reihenabstände, problematisches Schwanken und teilweise sehr laute Klimaanlage lassen kein Fernzuggefühl aufkommen – viele Nahverkehrswagen sind deutlich bequemer, zumal nach Modernisierung. Nur wenig eleganter gelang die Umwandlung der vierteiligen DoSto-Triebzüge, die zuvor bei der österreichischen

Westbahn im Einsatz waren, zu IC. Innen ist es heller geworden, aber Längsbänke an der Wagenwand im Oberstock als erste Klasse auszuweisen, ist mindestens ungewöhnlich. Tischbeine direkt vor den Sitzen sind einfach nur hinderlich. Und ob die nutzbare Kapazität manch moderner Doppelstöcker aufgrund der vielen Technikeinbauten letztlich wirklich höher als bei „altbewährten“ IC-Wagenzügen ist, sei dahingestellt.

Problematische Innenraumaufteilungen auch bei Regionalbahnfahrzeugen gibt es indes heute trotz allen Fortschritts gar nicht selten: Sitze mit dem Rücken zum Fenster und vor der Toilettentür, Sitzbereiche ganz ohne Fenster, geringe Sitzabstände, steile Lehnen, harte oder zu kurze Polster, zu niedrig angebrachte Fenster, sehr schmale Durchgänge und Treppen, Gepäckablagen, in die kein dickerer Brief passt, blendende Leselampen – fahrgastfreundliche Gestal-

tung ist noch keine Selbstverständlichkeit. „Gut gemeint“ reicht nicht, auch wenn letztlich der Besteller entscheidet. Diverse Ideenzüge zeigen attraktive bis überdrehte Wege auf, solange sie unter dem betriebswirtschaftlichen Diktat optimaler Platznutzung durch hohe Packungsdichte nicht Fiktion bleiben müssen. Erinnert sei nur an Alstoms revolutionären Lirex.

Talgo ist anders: ECx und Vittal

Der kommende ECx der DB, ein Gliederzug der typischen Talgo-Bauart mit 17 kurzen, breiten Wagen auf verbindenden Losrad-Fahrwerken, zeigt voraussichtlich auf, wie es auch geht. Die Zugänge liegen auf Bahnsteigniveau, ganz ohne Stufen, Treppen und Rampen. Dank spezieller Aufhängung ist zu erwarten, dass das einst von den Talgo-Nachtzügen der DB (1994 bis 2009) bekannte, sanfte Fahrgefühl sich auch im ECx einstellt. 23 Züge sind fest be-



Abb. 5: Elektrisch, aber keine Oberleitung: Der Cityjet eco der ÖBB auf der Aspangbahn zwischen Wien und Wiener Neustadt.

Foto: Uhlenhut



Abb. 6: Wasserstofftanks und Brennstoffzelle auf dem Dach unterscheiden den Mireo Plus H von seinen anderen elektrischen Brüdern.

Foto: Siemens

stellt, 100 möglich. Talgo-Gliederzüge der dänischen Staatsbahn sollen künftig im IC-Verkehr Hamburg erreichen. Die Spanier würden auf Bestellung gern auch Gliederzüge für den Regionalverkehr mit technisch eng verwandter Basis fertigen, vorgestellt wurde das Projekt auf der InnoTrans 2014. Wann und wo ein „Vital“ zum Einsatz kommt, ist weiter offen. Vorgesehen ist eine Serienfertigung ab 2023 – aber gleich mit Brennstoffzelle. Dieser Prototyp „Talgo Vital-One“ soll noch 2021 vorgestellt werden – oder ist ein Rampenlicht-Kandidat der nächsten InnoTrans.

Batteriezüge im Kommen

Stichwort alternative Antriebe: Nahezu jeder namhafte Fahrzeuganbieter hat heute

einen Batterietriebzug für den Regionalverkehr fertig oder in Arbeit. Von einigen liegen valide Betriebsergebnisse vor, es gibt Serienbestellungen. Im Juli 2021 veröffentlichte der VDV ein tiefergehendes, wissenschaftlich untermauertes Strategiepapier zum Thema und seinen Potenzialen. Laut Bahntechnik-Anbieter Stadler verfügen 54 Prozent des europäischen Schienennetzes über eine Oberleitung. In Deutschland seien es heute rund 60 Prozent, 2025 dann 70 Prozent. Für die verbleibenden Strecken ist nach allgemeiner Auffassung der Einsatz CO₂-emissionsfreier Schienenfahrzeuge einer der wichtigen Bausteine zur Erreichung von Klimazielen. Der Gedanke, dass viele Streckenabschnitte dennoch nicht elektrifiziert werden müssen, beginnt sich durchzusetzen. Nachladen unter Fahr-

draht, im Bahnhof und mit Bremsenergie, emissionsfrei fahren wo immer Schienen liegen – das ist das Rezept. Zudem entfallen Umsteigezwänge und es sinkt der Betriebsaufwand, wenn auf dem Weg von der Metropole in die Peripherie die Einheiten durchlaufen können. Positive Auswirkungen auf die Fahrgastzahlen dürften schnell erkennbar werden.

Siemens und die Österreichischen Bundesbahnen ÖBB verwiesen stolz darauf, den ersten uneingeschränkt für den Fahrgastbetrieb zugelassenen Batteriezug Europas eingesetzt zu haben. Der auf der InnoTrans 2018 präsentierte und 2019/2020 testfahrende „Cityjet eco“ war ein umgebauter Desiro Mainline aus der laufenden Fertigung für die ÖBB. Die Lastreserven des Mittelwagens

Fahrzeuge aus China

Wer die Bahnindustrie weltweit auch nur am Rande beobachtet, weiß um die Größe des chinesischen Unternehmens CRRC und gewisse Bedrohungsszenarien. Entstanden durch Fusion der zwei Konzerne CNR und CSR, die sich China vorübergehend in den Norden und den Süden aufgeteilt hatten, ist CRRC längst auch exportorientiert. Ausgewählte Produkte waren vereinzelt auf der Berliner InnoTrans vertreten – einige fahren bereits auf europäischen Gleisen. Noch nur wenige, aber das ändert sich gerade.



Abb. 7: Soll bei der S-Bahn Hamburg rangieren: Hybridlok von CRRC, hier noch auf der InnoTrans 2018.

Foto: Uhlenhut

2020 übernahm CRRC mit Hauptsitz in Peking – genauer CRRC ZELC, China Railway Rolling Stock Corporation Zhuzhou Locomotive Co., Ltd. – das Kieler Diesellokomotiv-Werk von Vossloh und damit neben der Fertigung auch dessen Expertise in Sachen europäischer Fahrzeugzulassung. Was wichtig sein kann: Nach Medienberichten soll CRRC planen, dort auch Elektrotriebzüge zu bauen. Der Markteintritt findet derweil anderswo statt. Der erste Schritt geschah in Tschechien mit drei bereits 2016 bestellten Triebzügen für LeoExpress, deren erster traf im September 2019 ein. Noch 2021 sollen die Fernost-Sechsteiler vom Typ Sirius zugelassen werden, perspektivisch folgen 30 weitere. Die Österreichischen Bundesbahnen übernahmen eine von zunächst vier CRRC-Hybridloks über ihre ungarische Tochter, getestet wird das mit Supercap-Speichern ausgerüstete Oberleitungs-Fahrzeug auch in Deutschland. Deutlich mehr Aufmerksamkeit aber weckte die Vorstellung eines elektrischen Doppelstock-Triebzuges am 31. Mai 2021 in China, laut CRRC gut für 200 km/h, europäischen TSI-Standards entsprechend und in den

Farben der österreichischen Westbahn. Das private Unternehmen war an der Konstruktion beteiligt. Es wird vier Sechsteiler bei CRRC nach Zulassung mieten, möglicherweise schon Ende 2021, nach anderen Quellen 2022/23, sie auch bis nach München einsetzen und bei Bewährung nach einigen Jahren erwerben.

Auf der Berliner InnoTrans im September 2018 überraschte CRRC an zentraler Stelle mit einer Hybridlok in DB-Rot und mit DB-Logo. Gerade einmal drei Monate zuvor, am 20. Juni 2018, hatte die DB vier solche Fahrzeuge in China bestellt. Hinsichtlich üblicher Vorläufe für Konstruktion, Bau und Transport war die Messe-Präsentation ebenso erstaunlich wie die Information dünn. Wenig später begannen Messfahrten für die Zulassung. Zwei rote Loks der neuen DB-Baureihe 1004.5 – DB Netze für Instandhaltungsaufgaben, auch bei der S-Bahn Berlin. Es handelt sich um dieselelektrische Lokomotiven mit Lithium-Titanat-Speicher. Bei den Exemplaren für Berlin ist sinnvollerweise zusätzlich die Technik für Zugsicherung und Stromschiene der S-Bahn an Bord. CRRC, einziger Bieter und mit einer Option auf 16 weitere Exemplare ausgestattet, bezeichnet die Type als „Kleinstlokomotive“, doch ist diese 14,4 m beziehungsweise 16,7 m lang und rund 60 t schwer.

Auch auf dem Straßenbahnmarkt ist der Sprung nach Europa bereits eingeleitet. Im Mai 2021 unterzeichnete CRRC Sifang gemeinsam mit dem rumänischen Industriepartner Astra einen Vertrag, der den Bau von 100 vierteiligen, normalspurigen Niederflurbahnen für Bukarest mit Lieferung ab 2022 vorsieht.



Abb. 8: CRRC stellte den neuen, europäischen Normen entsprechenden Triebzug gleich in den Farben der österreichischen Westbahn vor.

Foto: CRRC



Abb. 9: Für mehrere Linien um Bremen hat das Land Niedersachsen bei Alstom neue E-Triebzüge mit normalen und Doppelstock-Bereichen bestellt. Foto: Alstom

ließen sich trefflich für Speicherpakete und weitere Komponenten – zusammen 14 t – nutzen. Der Dreiteiler tourte unter verschiedenen Betriebsbedingungen durch Österreichs Bundesländer, aber auch über andere Strecken bis hinauf nach Rügen. Während der Fahrt wird, etwa beim Abzweig auf die nicht elektrifizierte Nebenbahn, zwischen Oberleitungs- und Batteriebetrieb umgeschaltet. Auffällig ist bestenfalls die im Akkubetrieb zwecks Reichweitenerhöhung bewusst geringere Beschleunigung.

Betriebsergebnisse und Bestellungen

Der Cityjet eco von ÖBB und Siemens leistete binnen 15 Monaten mehr als 50.000 km im reinen Batteriemodus. Gegenüber einem vergleichbaren Dieseltriebwagen soll das rund 140 t CO₂ eingespart haben, rechnerisch also 2,8 kg/km. Berechnungen der Fachhochschule St. Pölten für das Amt der Niederösterreichischen Landesregierung erbrachten, dass flächendeckender Einsatz solcher Batteriezüge im Landes-SPNV die CO₂-Emissionen bis 2030 um knapp ein Viertel reduzieren könnte. Jetzt gelte es, die richtige Mischung aus Strecken-elektrifizierung und Akkuzug-Einsatz zu finden. Die Batteriereichweite des Desiro ML Cityjet eco liegt bei mindestens 90 km, für Österreich nach den Erhebungen optimal. Mehr ist möglich. Die letzte Serie der ÖBB-Desiros ist bereits ab Werk für den Akkueinbau vorbereitet. Siemens' neue Desiro-Alternative Mireo wird in der Version „Mireo Plus B“ nicht nur angeboten, sondern auch bestellt: 20 Zweiteiler mit voraussichtlich 120 km Akku-Reichweite werden die ersten sein und in Baden-Württemberg (Netz Ortenau 8) ab Ende 2023 Diesel-S-Bahnen ersetzen.

Bombardier stellte ebenfalls im September 2018 seinen Batteriezug-Prototyp Akku-Talent3 in Hennigsdorf vor. Auch in diesem Fall war ein Serienfahrzeug umgerüstet worden. Ende November 2018 gab es dafür den Innovationspreis Berlin Brandenburg, aber die Zukunft ist einstweilen offen. Derweil schloss der dritte am Start, Stadler, die Versuche mit einem Akkuzug erfolgreich ab. So erfolgreich, dass bereits frühzeitig ein erster Auftrag vorlag. Der Testträger Flirt Akku wurde im Oktober 2018 vorgestellt, auch er ein adaptiertes Serienfahrzeug. Erwartet wurde eine Reichweite um 80 km mit einer Akkuladung, Marktchancen sieht Stadler „in Deutschland, Österreich, Großbritannien, den Niederlanden, Italien und weiteren Ländern mit einem nennenswerten Anteil an nicht-elektrifizierten Strecken“. Die Erwartungen an das Fahrzeug wurden deutlich übertroffen. Laut Mitteilung vom März 2021 zeigte sich in der mehrjährigen Forschungsphase mit heißem Sommer und ausgesprochen kalten Wintermonaten, dass sogar eine Batteriereichweite von 185 km realistisch ist. Rein batterieelektrisch gefahren wurden rund 15.000 km.

Schon Mitte 2019 stand fest, dass Stadler 55 zweiteilige Flirt Akku nach Schleswig-Holstein liefern soll, im Oktober 2019 wurde nach der ersten technologieoffenen Ausschreibung in Deutschland der Liefer- und Instandhaltungsvertrag unterzeichnet, Betriebsaufnahme ist Ende 2022. Damit ist das Nordland ganz vorn, in absehbarer Zeit fahren dort trotz vieler oberleitungsfreier Strecken nur noch wenige Dieseltriebwagen. Es sollen einige Lademöglichkeiten installiert und ein paar Oberleitungen für optimalen Einsatz verlängert werden. Gerechnet wird mit 150 km möglicher Fahrstrecke aus den Akkus, der längste

nicht-elektrifizierte Streckenteil ist 80 km lang.

Im Westen wiederum wird CAF Zeichen setzen: Zweckverband Verkehrsverbund Rhein-Ruhr und Zweckverband Nahverkehr Westfalen-Lippe gaben im Juni 2021 CAF den Zuschlag für die Lieferung von mehr als 60 batterieelektrischen Zügen des Typs Civity BEMU in zwei Längen – der weltweit größte Auftrag für Batterie-Triebzüge. Geplant sind Einsätze, stufenweise auf sieben Linien, im Netz Niederrhein-Münsterland.

Das mobile Kraftwerk: Brennstoffzelle

Eine logische zweite Stufe ist die Ausstattung der E-Triebzüge mit einer Brennstoffzelle für unabhängige Energieversorgung. Voraussetzung ist die Verfügbarkeit von möglichst „grünem“ Wasserstoff. Bei den Wasserstoff-Triebwagen war Alstom ganz vorn: Auf der InnoTrans 2016 wurde der „iLint“ erstmals gezeigt, ein Zweiteiler bekannter Bauform, aber als erster seiner Art elektrisch angetrieben und mit Brennstoffzelle. Zwei Jahre später startete der Betrieb zweier iLint mit Fahrgästen im Norden Niedersachsens, weiter als der Welt erster Brennstoffzellen-Triebzug, nun auch erster im Realbetrieb. Der Zug wurde auch in anderen Bundesländern und im Ausland präsentiert. Inzwischen hat der iLint mehr als 180.000 km zurückgelegt. 2020, der 18-monatige Probetrieb ging im Februar zu Ende, zeigte sich einer in den Niederlanden, dann drei Monate lang auf Regionalstrecken in Österreich, wo er ebenfalls schon zugelassen ist. Im Juni 2021 war ein Zug testweise in Polen – dort gibt es Interesse an 30 emissionsarmen Zügen zum Einsatz ab 2026.

In Niedersachsen wird die Wasserstoff-Flotte für den Elbe-Weser-Raum ab 2021/22 14 Einheiten umfassen, der Vertrag war im November 2017 noch vor der Zulassung (Juli 2018) geschlossen worden. Die bislang größte Wasserstoff-Flotte orderte im Mai 2019 die Fahma, Fahrzeugvermiet-Tochter des Rhein-Main Verkehrsverbundes. 27 iLint sollen ab Ende 2022 nach und nach statt Dieseltzügen auf vier Strecken im Bereich Taunus rollen, die Wasserstoff-Tankstelle entsteht im Industriepark Höchst. Sie ist die zweite nach einer in Bremervörde für die dortigen Einsätze. Niedersachsen hat zwischenzeitlich beschlossen, für den landeseigenen Fahrzeugpool gar keine Dieseltriebwagen mehr beschaffen zu wollen. Offen blieb, ob vorrangig an Batterie- oder Wasserstoffzüge gedacht ist.

Vier Regionen Frankreichs beauftragten Alstom gemeinsam im April 2021 über die Staatsbahn SNCF mit der ersten Bestellung von Dual-Mode-Wasserstoffzügen. Es geht um zunächst zwölf bis 14 E-/Brennstoffzellen-Triebzüge Coradia Polyvalent. Der Vierteiler fährt energieautonom rund 600 km weit. Weitere Regionen haben Interesse, bei einer zweiten Projektphase mitzumachen – Frankreich möchte „Wasserstoff-Champion“ werden.

Siemens erweitert seine neue Regionalzugfamilie Mireo nach dem „Plus B“ mit Batterien auch um einen „Mireo Plus H“, mit Niedertemperatur-Brennstoffzelle mit erhöhter Leistungsdichte und vierfacher Lebensdauer sowie ebenfalls Pufferspeichern. Die Reichweite von je nach Zuglänge 800 bis 1000 km reicht laut Siemens aus, um die längsten Regionalstrecken in Europa abzudecken. Die Vorstellung des Zuges steht noch bevor.

Spezielle Brennstoffzellenzüge

Selbstverständlich ist auch der dritte der großen Hersteller, Stadler, in Sachen Brennstoffzelle unterwegs. Der erste Auftrag für einen Flirt H2 kam im November 2019 aus den USA. Einen Zug plus optional vier weitere bestellte die südkalifornische San Bernardino County Transportation Authority, Betriebseinsatz im Redlands Passenger Rail Project ab 2024. Der Zug für die nur 14 km lange Strecke besteht aus zwei Wagenteilen mit einem mittigen Maschinenwagen als Kraftquelle. Wird dieser Export sicher einige Beachtung finden, ist ein anderes Projekt noch spezieller: Stadler wird für die Tiroler Zillertalbahn fünf plus optional drei weitere, vierteilige Schmalspurzüge mit dem abgesehen von Wasserdampf emissionsfreien Antrieb fertigen. Sie sind die weltweit ersten auf Schmalspur, die mit nur 760 mm bei der Zillertalbahn besonders eng ausfällt. Dennoch sollen die neuen Züge doppelte Fahrgastkapazität und höheres Tempo bringen, teil-

weise die Fahrzeit fast halbieren. Das pro Zug voraussichtlich rund 14 Mio Euro teure Projekt gehört zum ehrgeizigen Programm „Zukunft Zillertalbahn 2020+“. Ende 2022 soll der erste Zug geliefert werden, 2024 der Gesamtbetrieb aufgenommen werden.

Gefahren wird mit „grünem“ Wasserstoff, 320 kg reichen für täglich 600 km pro Zug. Die Elektrolyseure zur Aufspaltung des Wassers im hinteren Talabschnitt werden mit Strom aus Wasserkraft gespeist und vorrangig nachts arbeiten, wenn ein gewisser Stromüberschuss aus der Produktion der neun Wasserkraftwerke besteht. Zu ersetzen wären dann nur noch die Dieselloks, denn die Zillertalbahn hat im Rahmen des Zukunftsprojekts nach mehrjähriger Pause bereits den Gütertransport zur Entlastung des Tals vom Lkw-Verkehr wieder aufgenommen. Auch steht eine Trassenerweiterung zum Anschluss eines Skigebiets an. Klassische Dampffzüge, ein Markenzeichen, wird es weiter geben.

Am Rande

Es tut sich freilich noch viel mehr im Schienenfahrzeugbereich. Nur einige Schlaglichter: Alstom startete im Mai 2021 den zweijährigen Zulassungsprozess neuer Polyvalent-Regionalzüge „Regiolis“ auch für grenzüberschreitende Verkehre mit Deutschland mit einem ersten Vorserienzug. Auf die Strecken geht es ab März 2022. Polyvalent steht für die Kombination aus dieselektrischem Betrieb mit der Eignung für die Oberleitungsspannungen in Frankreich und Deutschland. Die Berliner BVG lässt ihre kommende Straßenbahngeneration mit neuen Features ausrüsten: im Gespräch sind neben einem Abstandswarner ein Fahrersitz mit Massagefunktion sowie ein spezielles Navigationssystem – insbesondere für etwaige Umleitungsfahrten im wachsenden Berliner Tram-Netz. Plasser & Theurer (Wien/Linz) elektrifiziert eine Bahnbaumaschinentype nach der anderen, die Vorteile bei Betriebskosten, Emissionen

und Einsatzmöglichkeiten überzeugten bereits einige Instandhaltungsunternehmen.

Auch in anderen Betriebsformen gibt es immer wieder neue Perspektiven. Bei München soll eine erste kurze Teststrecke der „Ottobahn“ entstehen, eine aufgeständerte Kabinenbahn mit autonom angetriebenen Kleinkabinen, die bis drei Personen fassen können und sich zum Ein- und Ausstieg am Straßenrand absenken lassen sollen. Die elektrische Energie für den Fahrbetrieb sollen Solarzellen über dem überdachten Gleis liefern, im Stadt- wie im Fernverkehr. In Italien lebt eine andere Idee neu auf: Staatsbahn-Tochter Rete Ferroviaria Italiana und das Unternehmen Nevomo wollen mit Magrail eine Magnetschienen-Technologie entwickeln, die Magnetschwebbahn-Betrieb mit Linearmotoren interoperabel auf bestehender Infrastruktur ermöglichen kann, zu testen in Bologna und Polen: Gemeinsam wollen sie nicht weniger als „den Schienenverkehr revolutionieren“.

Ausblick

Das Welt-Schaufenster für (Weiter-)Entwicklungen im Schienenverkehr ist die Berliner Fachmesse InnoTrans. Die Veranstaltung im September 2022 wird nach vier Jahren „ohne“ mit erkennbar steigender Spannung erwartet, und der Termin scheint perfekt zu etlichen der erwähnten Neuheiten zu passen. Die Pandemie hat den öffentlichen Verkehr temporär gebremst, nicht aber Forschung und Entwicklung. Bei den Eisenbahnen für Regional- und Nahverkehr wird die Frage alternativer Antriebe im Fokus stehen – nicht zuletzt vor dem Hintergrund des rasant voranschreitenden Klimawandels. Siemens arbeitet, auch das eine neue Idee im Regionalbahnbereich, an einem Mireo Smart, „fokussiert auf Effizienz“, schnell bestellt und geliefert sowie günstiger dank einheitlicher Standardausstattung. Bei der Elektrolok Smartron hat sich dieses Konzept bereits bewährt. Weniger kann mehr sein.

Zusammenfassung/Summary

Entwicklung der Schienenfahrzeuge: Ideen, Hersteller, Vielfalt

Batteriezüge, Regionalbahnen mit Brennstoffzellen als Energiequelle anstatt Dieseltriebwagen, das Bild der Eisenbahn in den Regionen wird sich verändern. Erste Bestellungen liegen der Industrie vor, der Wandel beginnt. Zudem kommen immer mehr Züge mit Teil-Doppelstocklösungen aufs Gleis. Beim Stadtverkehr steht ein Generationswechsel an, es sind die Aufträge für mehrere Nachfolger des bewährten B-Wagens erteilt. Anderswo schließen sich Verkehrsbetriebe zu Bestellgemeinschaften zusammen, um den nächsten Schritt in die Zukunft zu unternehmen. Und auch aus Fernost gibt es Neues für Mitteleuropa.

Development of rail vehicles: Ideas, manufacturer, variety

Battery trains, regional rails with fuel cells as energy source instead of diesel trains, the image of the railway in the regions will change. First orders have been placed with industry, the change is beginning. Additionally, more and more trains with partial-double-deck solutions come onto the track. For urban transports, a change in generation is imminent, orders have been placed for several followers to the well-proven B-vehicle. Elsewhere, transport companies are joining forces to place orders to take the next step into future. And there is some news for Central Europe from the Far East.

Eine Steigerung des öV-Anteils ist machbar

Eine Studie des Verbandes öffentlicher Verkehr (VöV) der Schweiz zeigt auf, wie der öV-Anteil am Gesamtverkehr gesteigert werden kann

Ueli Stükelberger, Bern; Philipp Gasser, Genève

In der Schweiz benutzen seit Jahren immer mehr Menschen den öffentlichen Verkehr (öV). Trotzdem stagniert der Anteil des öV am Gesamtverkehrsaufkommen – der sogenannte Modalsplit – seit Jahren. Der Verband öffentlicher Verkehr (VöV) hat deshalb eine Studie in Auftrag gegeben, die aufzeigt, wie der Modalsplit in Zukunft nachhaltig gesteigert werden kann. Das Ergebnis: Eine Steigerung des öV-Anteils ist möglich mit einem Bündel aus 38 größerer und kleinerer Maßnahmen, die sich zum Teil gegenseitig beeinflussen.

VöV-Studie

Die VöV-Studie „Perspektiven zur Erhöhung des Modalsplits des öffentlichen Verkehrs – Mehr Agilität für die Zukunft“, welche das Planungsbüro Citec Ingénieurs Conseils im Auftrag des Verbands öffentlicher Verkehr der Schweiz (VöV) erarbeitet hat, wurde im Juni 2021 den Medien vorgestellt.

Zuerst werden die großen Herausforderungen der Schweiz der Jahre 2040 bis 2050 beleuchtet (demografische Herausforderungen, Generationenwechsel, umweltpolitische, raumplanerische und technische Herausforderungen). Anschließend werden die fünf Hauptfaktoren der Verkehrsträgerwahl dargestellt:

- Die Qualität des Angebots ist entscheidend bei der Wahl des Verkehrsträgers.
- Die Reisezeit ist ein wesentlicher Faktor bei der Wahl des Verkehrsträgers.
- Der Einfluss des Preises auf die Wahl des Verkehrsträgers ist wichtig, aber weniger entscheidend als die Reisezeit.
- Die Attraktivität des öV ist zumindest teilweise von der Qualität des Wegs auf den letzten Kilometern abhängig.
- Die Wettbewerbsfähigkeit des öV im Vergleich zu anderen Verkehrsträgern ist als System zu analysieren.

Hauptteil der Studie ist eine Auflistung von 38 Maßnahmen zur Steigerung des Verkehrsanteils des öV in der Schweiz, die analysiert und bewertet werden. Die Maßnahmen werden in sechs Handlungsfelder aufgliedert:

Handlungsfeld 1: Verbesserung des öffentlichen Verkehrsangebots.

Handlungsfeld 2: Entwicklung neuer Transportprodukte.

Handlungsfeld 3: Einflussnahme auf die Raumentwicklung.

Handlungsfeld 4: Einflussnahme auf die zeitlichen Aspekte der Alltagsmobilität.

Handlungsfeld 5: Stärkung der Akzeptanz des öffentlichen Verkehrs.

Handlungsfeld 6: Reduktion der Attraktivität des privaten Personenwagens.

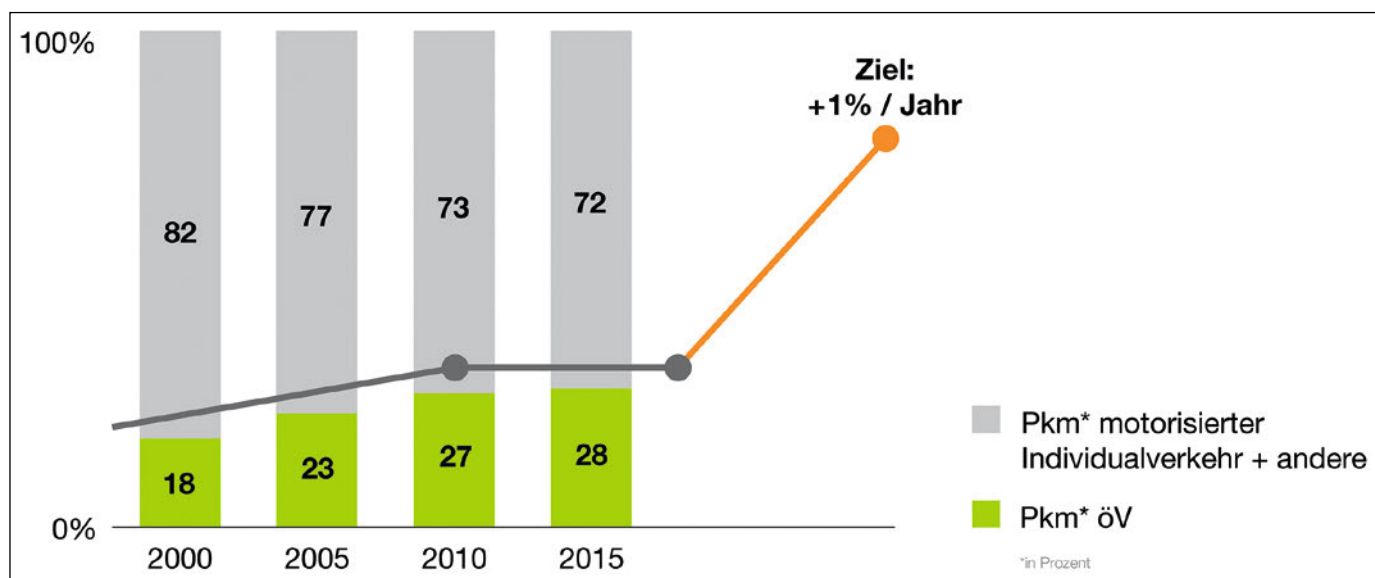


Abb. 1: Modalsplit.

Grafik: VöV

Diese Maßnahmen lassen sich folgenden Themenfeldern zuordnen:

- Aktionen betreffend das Verkehrsangebot
 - direkte Verbesserung des öV-Angebots (Handlungsfeld 1),
 - Reduktion der komparativen Vorteile anderer Verkehrsträger (insbesondere MIV) (Handlungsfeld 6).

- Aktionen betreffend die Verkehrsnachfrage
 - Stimulieren und Steuern der Nachfrage (Handlungsfeld 2),
 - Verändern der Wahrnehmung der Verkehrsträger, Aufwerten des Images des öV (Handlungsfeld 5).

- Aktionen mit räumlicher Wirkung
 - Ausrichten der Raumplanung zugunsten des öV (Handlungsfeld 3).

- Aktionen betreffend die zeitlichen Aspekte der Alltagsmobilität
 - Beeinflussen der Verkehrszeiten (Handlungsfeld 4).

Allerdings stellen diese 38 Maßnahmen keine abschließende Liste dar. Vielmehr sollen sie die Diskussion zur Mobilität der Zukunft eröffnen und die Akteure darin ermutigen, Initiativen zu ergreifen. Einzeln betrachtet haben die Maßnahmen einen jeweils mehr oder weniger signifikanten Einfluss und entfalten ihre Wirkung kurz- bis langfristig sowie klein- bis großräumig. Die Analysen zeigen, dass jene mit dem größten Einfluss auf die Entwicklung des Modalsplit folgende Aspekte betreffen:

- Erhöhung des öV-Angebots: erhöhte Frequenz, neue Linien; Anpassung des Angebots entsprechend der Entwicklung der Nachfrage (neue Produkte, flexible Preisgestaltung, vereinfachter Verkauf, Berücksichtigung des fluktuierenden Freizeitmobilitätsbedarfs);
- Raumplanung: Schaffen von Zentren der Funktionen Arbeit, Wohnen, Freizeit und Einkaufen in räumlicher Anordnung um die Knotenpunkte des öV sowie Verbesserung der Schnittstellen und deren Erreichbarkeit;
- Einschränkungen des motorisierten Individualverkehrs, vor allem des Pendelverkehrs;
- allgemeine Verbesserung des Images des öV bei Benutzern – und in der breiten Öffentlichkeit.

Es ist wichtig, dass diese Maßnahmen koordiniert werden, um als ganzes System zu wirken. Das Zusammenspiel ist entschei-



Zum Autor

Ueli Stückelberger (52), Jurist, ist seit 2011 Direktor des Verbandes öffentlicher Verkehr (VöV). Zuvor war er beim Bundesamt für Verkehr (BAV) als Leiter des Rechtsdienstes und danach als Leiter der Abteilung Politik tätig.



Zum Autor

Philipp Gasser (59), der Verfasser der Studie, ist Verkehrsingenieur und diplomierter Stadtplaner EFPL. Seit 2002 arbeitet er bei Citec, einem international tätigen Büro für Mobilitätsfragen. Seit 2006 ist er Partner und Mitglied der Geschäftsleitung.

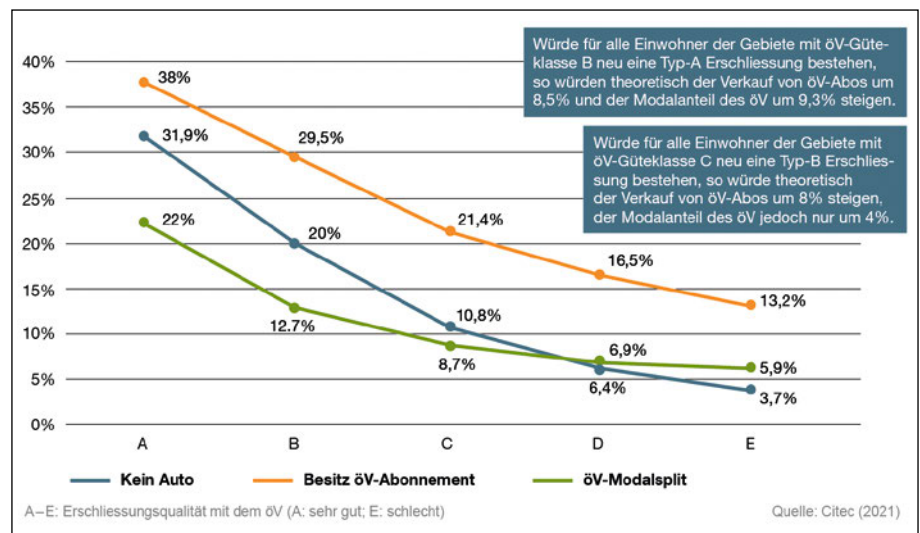


Abb. 2: Kurvenverlauf zur Erschließungsdichte und zu Abos.

Grafik: Citec

dend und nicht die alleinige Umsetzung einiger besonders effektiv erscheinender Maßnahmen.

In Bezug auf die zurückgelegten Distanzen entfallen derzeit 28 Prozent aller Personenkilometer auf den öffentlichen Verkehr. Mit der Umsetzung der wichtigsten in dieser Studie vorgeschlagenen Maßnahmen kann der Modalsplit der zurückgelegten Distanzen mittel- bis langfristig voraussichtlich über 40 Prozent betragen. Im Kontext dieser sich selbst begünstigenden Zusammenhänge hängt das Hervorbringen und Umsetzen von Lösungen betreffend den öffentlichen Verkehr nicht nur von der öV-Branche (Unternehmen und Betreiber) ab, sondern impliziert ein auf umfassende-

ren Strategien beruhendes Vorgehen. Der Bund, die Kantone und die Agglomerationen sind direkt betroffen und handeln, wie auch die Transportunternehmen, bereits. Diese Bemühungen müssen gestärkt werden.

Erkenntnisse des VöV

Für den VöV sind die Ergebnisse und die vorgeschlagenen Maßnahmen dieser Studie wegweisend. Der Verband will mit der Studie und der Thematisierung des Modalsplits einen konkreten Beitrag zur Erreichung der Klimaziele leisten und dabei namentlich auf die diesbezüglich große Bedeutung des öffentlichen Verkehrs hinweisen.

Mit fassbaren Maßnahmen und entsprechenden Beispielen soll aufgezeigt werden, dass einerseits viele Maßnahmen notwendig sind, andererseits es auch sehr viele Transportunternehmen wie Gemeinwesen gibt, die entsprechende gute Beispiele schon umgesetzt haben.

Konkret zieht der VöV diese Erkenntnisse aus der Studie:

■ Große Bedeutung des öffentlichen Verkehrs zur Erreichung der Klimaziele

Die Klimaziele können ohne Maßnahmen beim Verkehr nicht erreicht werden. Wegen seiner hohen Energieeffizienz und seines geringen Emissionsausstoßes ist die Bedeutung des öffentlichen Verkehrs zur Erreichung der Klimaziele sehr groß. Zu diesen klimapolitischen Stärken des öV kommt dazu, dass der öV dank seiner „großen Gefäße“ wenig Raum braucht. Alle diese Stärken werden in Zukunft an Bedeutung noch gewinnen. Eine Steigerung des öV-Anteils am Gesamtverkehrsvolumen ist deshalb anzustreben.

■ Eine Steigerung des öV-Anteils ist machbar

Eine Steigerung des öV-Anteils ist nicht nur unabdingbar zur Erreichung der Klimaziele, sondern auch machbar: In der Studie wird konkret aufgezeigt, dass eine erhebliche Steigerung des Modalsplits möglich ist. Andererseits ist die Zielerreichung auch eine sehr große Herausforderung.

■ Ein Bündel von Maßnahmen ist notwendig

Es gibt nicht *die* Maßnahme – nur ein Bündel von vielen Maßnahmen führt zu einer Steigerung des öV-Anteils am

Gesamtverkehr. Je nach Region (Stadt, Agglomeration, ländlicher Raum) sind auch nicht überall dieselben Maßnahmen von gleicher Bedeutung.

■ Attraktives öV-Angebot als Kernmaßnahme

Kernmaßnahme ist ein gutes öV-Angebot. Dazu gehören ein dichter Takt, eine gute Erschließung in der Fläche, kurze Reisezeiten und eine hohe Qualität (Zuverlässigkeit, Sauberkeit et cetera). Beim Faktor Zeit ist nicht nur die Fahrzeit, sondern die ganze Reisezeit zu berücksichtigen, also auch die Wegzeit des ersten und letzten Kilometers sowie die Umsteigezeiten in den Knoten.

■ Bedeutung der öV-Preise nicht überbewerten

Zwar ist der Preis eines „Produkts“ immer wichtig. Unbestritten können die Leistungen des öffentlichen Verkehrs auch zu teuer sein. Trotzdem darf man die Bedeutung der öV-Preise nicht überbewerten. Die Elastizität ist nicht sehr groß. Ein attraktives öV-Angebot ist viel wichtiger als der Preis. Eine wesentliche Verbilligung des Tarifniveaus führt nicht automatisch zu einem starken Kundenanstieg. Hingegen ist es sinnvoll, mit punktuellen Maßnahmen (wie etwa mit neuen Produkten) zu versuchen, neue Kunden zu gewinnen.

■ Der öffentliche Verkehr muss sich weiterentwickeln

Auch wenn der öffentliche Verkehr schon heute gut positioniert ist, darf dies nicht zum Stillstand führen, es muss eine Weiterentwicklung geben. Namentlich die sich wandelnden Kundenbedürfnisse im Freizeitverkehr erfordern neue, geänderte Angebote, wie beispielsweise neue Direktverbindungen, flexible, auf Freizeitbedürfnisse zugeschnittene

Fahrpläne, aber auch genügend Platz für Gepäck und Fahrräder. Ebenso ist eine gute Abstimmung mit den anderen Verkehrsträgern unabdingbar. Dabei müssen stets die Kundenbedürfnisse im Fokus stehen.

■ Den öV „breit“ denken (Vielfalt)

Es braucht nicht nur Maßnahmen betreffend den öffentlichen Verkehr selbst, sondern auch andere Maßnahmen, wie zum Beispiel Carsharing, gute Umsteigeknoten, Maßnahmen auf der Straße (etwa reduzierte Parkplatzzahl in den Zentren, Busspuren), eine bessere Abstimmung zwischen Verkehrsplanung und Raumplanung.

■ Positiver Kreislauf

Je dichter eine Siedlung ist, desto höher ist die Qualität und die Intensität des öV-Angebotes und desto größer ist die Anzahl autofreier Haushalte. Dies führt zu einem positiven Kreislauf. Denn die Bewohnenden von autofreien Haushalten benutzen den öV überdurchschnittlich, was wiederum zu einem verbesserten öV-Angebot führt.

■ Alle sind gefordert

Bei der Umsetzung der Maßnahmen sind nicht nur die Transportunternehmen selbst gefordert, sondern alle. Da eine Steigerung des öV-Anteils am Gesamtverkehr eine immense Herausforderung darstellt, braucht es das Zusammenwirken aller, das heißt der Transportunternehmen, der Behörden und der Politik auf allen Staatsebenen. Ziel muss sein, dass auf allen Staatsebenen entsprechende Maßnahmenpläne erarbeitet werden, die konkret auf das entsprechende Gemeinwesen zugeschnitten sind.

Die Studie ist für die Schweiz erarbeitet worden. Zwar gibt es in der Schweiz einige öV-Spezialitäten wie die schon bestehende Dichte (Takt und Raum) des öV-Verkehrsangebots und die spezifischen Angebote im alpinen Raum. Diese Maßnahmen sind nicht 1:1 auf andere Staaten oder Regionen übertragbar. Deshalb gelten die abstrakten Zahlen der Studie nur für die Schweiz. Hingegen sind die Grundgedanken und der Großteil der in der Studie vorgeschlagenen Überlegungen, Stoßrichtungen und Maßnahmen allgemein gültig.

Der VöV ist sich weiter bewusst, dass namentlich die Maßnahmen betreffend ein verbessertes öV-Angebot erhebliche finanzielle Mittel der öffentlichen Hand erfordern. Hier ist die finanzielle Ausgangslage nicht in allen Ländern gleich gut wie in der Schweiz.

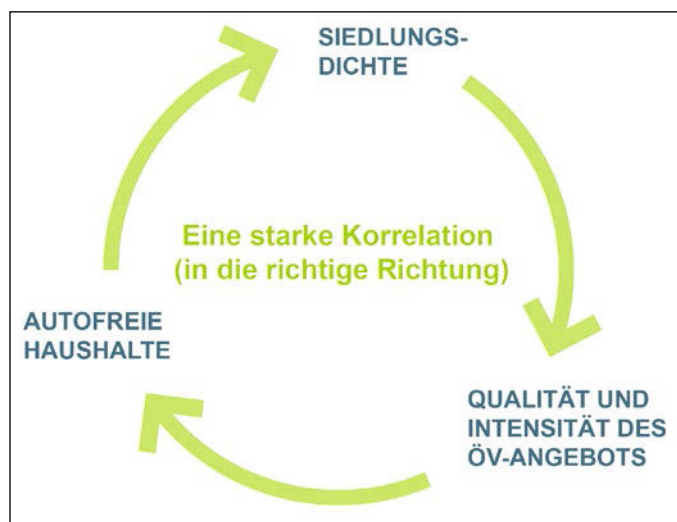


Abb. 3: Positiver Kreislauf. Grafik: Citec

Die Herausforderung der finanziellen Mittel sollte aber nicht dazu führen, die Frage der Kosten der Maßnahmen zu rasch ins Zentrum der Diskussion zu stellen. Denn zu berücksichtigen ist, dass viele Maßnahmen nicht sehr viel kosten, sondern eher den entsprechenden politischen Willen voraussetzen.

Zudem ist zu berücksichtigen, dass ein attraktives und zuverlässiges Angebot des

öffentlichen Verkehrs zu einer höheren Auslastung und dies wiederum auch zu einer höheren Kostendeckung führt. Eine höhere Kostendeckung führt zu einer entsprechend geringeren Belastung der öffentlichen Hand.

Ein hoher öV-Anteil entlastet die Straße und kann je nach Situation auch dazu führen, dass gewisse Straßen nicht ausgebaut werden müssen. Deshalb dürfen nicht ein-

fach die Kosten von einzelnen Maßnahmen addiert werden, sondern es ist immer eine finanzielle Gesamtbetrachtung vorzunehmen. Zum Schluss sei wiederholt, auch wenn es eventuell etwas zu selbstbewusst klingt: Der öffentliche Verkehr ist Teil der Lösung.

Die Studie finden Sie unter www.voev.ch/modalsplitstudie.

Zusammenfassung/Summary

Eine Steigerung des öV-Anteils ist machbar

Der Anteil des öffentlichen Verkehrs am Gesamtverkehrsaufkommen in der Schweiz – der sogenannte Modalsplit – beträgt heute bis 28 Prozent (gemessen an den zurückgelegten Distanzen). Im internationalen Vergleich sind dies hohe Werte. Dennoch gilt es kritisch festzustellen, dass der öV-Modalsplit seit längerem stagniert. Deshalb hatte der VöV beim Genfer Planungsbüro Citec eine Studie in Auftrag gegeben. Sie beschreibt und analysiert, wie der öV wieder Verkehrsanteile gewinnen kann. Die Studienautoren präsentierten entlang von sechs Handlungsfeldern 38 Maßnahmen, welche einzeln betrachtet einen mehr oder weniger signifikanten Einfluss haben und ihre Wirkung kurz- bis langfristig sowie klein- bis großräumig entfalten. Werden die vorgeschlagenen Maßnahmen koordiniert, können sie als Ensemble eine Steigerung des öV-Modalsplits bewirken. Der Anteil an den mit dem öV zurückgelegten Distanzen kann von heute 28 auf über 40 Prozent steigen.

Increase of public transport is possible

The share of public transport in the total transport volume in Switzerland – the so-called modal split – is currently up to 28 per cent (measured in distances travelled). In international comparison, these are high values. Nevertheless, it must be noted critically, that the public transport modal split has been stagnating for some time. For this reason, VöV commissioned a study from the Geneva planning office Citec. The study describes and analyses how public transport can gain transport shares again. The study authors presented 38 measures along six fields of action which individually have a more or less significant influence and develop their effect in the short to long-term as well as in small to large areas. If the suggested measurements are coordinated, they can increase the modal split of public transport as an ensemble. The share of distances covered by public transport can grow from currently 28 to more than 40 per cent.

ANZEIGE

Lassen Sie sich
unverbindlich
beraten!

DER NAHVERKEHR DIGITALE SONDER | DRUCKE

Onlinemarketing mit Ihrem DER NAHVERKEHR-Fachartikel
zur Nutzung in Ihren digitalen Kanälen

Werben Sie mit Ihrem maßgeschneiderten digitalen Sonderdruck!

Wir finden mit Ihnen die beste Ergänzung
zu Ihrem Onlinemarketingmix, sodass Sie
Ihre digitale Reichweite optimal ausnutzen
können.

Vorderseite-Basis

Vorderseite-Original

Vorderseite-Kopf

Für mehr Informationen besuchen Sie www.busundbahn.de/digitale-sonderdrucke-dnv

Interesse? Ihre Ansprechpartnerin: **Martina Hennig**

@ lizenzen@dvvmedia.com | ☎ 040 237 14 139

✉ DVV Media Group GmbH, Heidenkampsweg 73–79, 20097 Hamburg

Gutes Angebot gegen den Fahrgastrückgang

Kann die Rückkehr der Fahrgäste gelingen?

Dipl.-Kfm. Horst Schauerte, Eisenach/Bad Salzungen

Das Verkehrsunternehmen Wartburgmobil (VUW) gkAöR ist verantwortlicher Aufgabenträger für den ÖPNV im Wartburgkreis und in der Stadt Eisenach; es betreibt den maßgeblichen Teil (78 Prozent) auch selber mit eigenem Personal, Fahrzeugen und Nachauftragnehmern. Das Verkehrsgebiet ohne die Strecken in die Nachbarlandkreise Thüringens oder Hessens ist etwa viermal so groß wie die Fläche der Stadt München oder um 50 Prozent größer als die Fläche der Stadt Berlin. Circa 165.000 Einwohner leben in diesem rund 1300 km² großen Gebiet. Wie alle Verkehrsunternehmen ist auch Wartburgmobil seit Ende Februar/Anfang März 2020 von Corona betroffen.

Das Angebot vor Corona

Allerdings trifft die Pandemie auf ein ÖPNV-Angebot, das erst im Sommer des Jahres 2019 grundlegend umgestellt wurde. Wochentags fahren auf neun Hauptstrecken

die Busse (fast) im Stundentakt. Die Ortsverkehre in Eisenach und Bad Salzungen verkehren alle 20 bis 60 Minuten. Am Bahnhof Bad Salzungen ist ein starker Bus-Bahn-Knoten entstanden. An den Wochenenden werden alle Hauptstrecken zumindest viermal täglich bedient, ausgewählte Strecken in den Ortsverkehren stündlich. Dazu kommen einige touristisch relevante Verkehre, die die Erreichbarkeit von „points of interest“ sicherstellen (zum Beispiel Grenzmuseum Point Alpha, Wartburg, Rennsteig mit Inselsberg, Rhön).

Einnahme- und Fahrgastentwicklung während der Pandemie 2020

Die Einnahmeentwicklung bei Wartburgmobil zeigt mit einigen Besonderheiten einen ähnlichen Verlauf, wie das Mittel aller VDV-Unternehmen [1]. Gerade diese Besonderheiten lassen aber darauf hoffen, dass zumindest im Regionalbusbereich

oder in kleinen und mittleren Städten eine annähernde Rückkehr zum Vor-Corona-Niveau gelingen kann.

Im Januar und Februar 2020 konnte zunächst ein Fahrgastzuwachs binnen Jahresfrist durch den neuen Fahrplan in Höhe von rund 0,9 bis 2,6 Prozent (Regionalbus/Stadtbuss) verzeichnet werden. Das Angebot wurde also gut angenommen und der Fahrgastrückgang vergangener Jahre konnte gestoppt werden.

Bereits Ende Februar mit dem Auftreten der ersten Corona-Berichte in den Medien und den ersten Fällen in Österreich [2] und dann in Bayern begannen die Nutzerzahlen einzubrechen – im Stadtbuss schneller als im Regionalbus, was daran liegen dürfte, dass weite Strecken eben nicht so einfach durch Rad oder Fußweg substituiert werden können. Ein Vorteil für den Regionalbus.

Der Tiefpunkt wurde dann im April erreicht mit einem Einnahmerückgang von 85,9 Prozent im Regionalbusverkehr und von 93 Prozent im Stadtbussverkehr. Begleitet wurde der Rückgang durch Wartburgmobil auch mit massiven Einschnitten in den Fahrplan. Im Stadtbuss wurde nur mehr wie samstags gefahren, an Sonn- und Feiertagen gar nicht mehr. Fahrgeld wurde durch die Sperrung der Vordereinstiege nicht mehr kassiert.

Strategisches Ziel von Wartburgmobil war es aber, sehr schnell zu einer „neuen Normalität“ zurückzukehren. Dieses Ziel wurde im Rahmen von täglichen virtuellen Sitzungen des ÖPNV-Krisenstabes rollierend erarbeitet. Daher wurde in Absprache mit der Personalvertretung entschieden, in die Busse keine festen Scheiben einzubauen, die zudem nicht für alle Bustypen lieferbar waren, sondern möglichst schnell flexible Vorhänge aus stabiler transparenter Kunst-

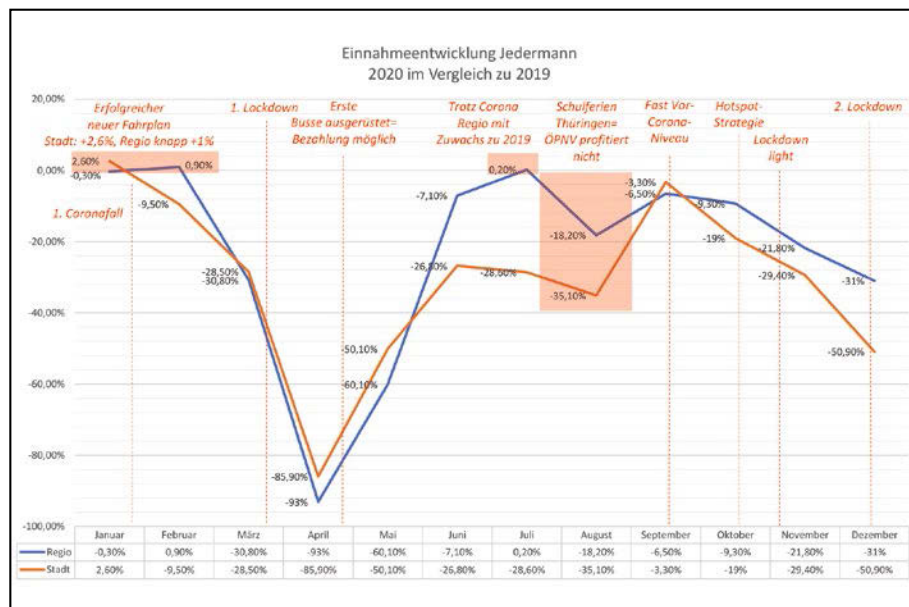


Abb. 1: Entwicklung der Jedermann-Einnahmen im Vergleich 2020 zu 2019.

Grafik: Wartburgmobil

stofffolie. Diese liebevoll „Duschvorhang“ genannte Lösung kann während der Fahrt beiseite geschoben werden, damit keine Spiegelungen im Blickfeld der Fahrer auftreten. Bereits Anfang Mai konnte so in allen Bussen wieder ein unter den gegebenen Rahmenbedingungen „normaler“ Verkehr durchgeführt werden mit Ticketverkauf und entsprechenden einnahmesichernden Fahrausweiskontrollen. Das zeigt sich nicht zuletzt dann auch in Abbildung 1 in den stark ansteigenden Einnahmen im Mai und Juni 2020.

Parallel war schnell klar, dass um Fahrgäste außerhalb der klassischen Gruppen Schüler/Pendler geworben werden muss. So wurde in enger und guter Zusammenarbeit mit der Eisenach-Wartburgregion Touristik GmbH verstärkt im Sommer 2020 die Drachenschlucht [3] in Eisenach als Ausflugsziel auch in den sozialen Medien stark beworben – mit außergewöhnlich großem Erfolg. An den vom Wetter begünstigten Tagen musste die ansonsten mit Standardbussen betriebene Linie mit Gelenkbussen verstärkt werden. Ein deutliches Votum für den Freizeitverkehr auch im ÖPNV, den Wartburgmobil so nicht unbedingt prognostiziert hätte.

Insgesamt wurde das Freizeitnetz im Sommer 2020 gut angenommen. Das zeigt sich dann auch und gerade im Regionalbusverkehr. Hier lagen die Einnahmen sogar um leichte 0,2 Prozent über dem Niveau von 2020 – also im Vergleich neuer Fahrplan zu neuer Fahrplan, der offensichtlich trotz Corona (oder wegen Corona) noch besser angenommen wurde.

In den Schulferien im August lagen die Fahrgastzahlen allerdings unter dem Vorjahresniveau, was vermutlich daran gelegen hat, dass vermehrt Radausflüge gemacht wurden und viele Destinationen nicht geöffnet hatten.

Mit dem beginnenden Berufsverkehr nach den Sommerferien wurde aber bereits wieder ein Niveau fast wie vor Corona erreicht. Im September lagen die Fahrgastrückgänge „nur“ noch bei 6,5 Prozent im Regionalbus und bei 3,3 Prozent im Stadtbus. Danach gingen die Fahrgastzahlen nach und nach wieder drastisch zurück. Hier spiegelt sich die sich sehr lang ziehende Lockdown-Strategie über Hotspots und Lockdown light bis zum echten Lockdown und Besuchseinschränkungen über Weihnachten deutlich wieder. Im Winter konnte das auch nicht durch Freizeitverkehr aufgefangen werden.



Zum Autor

Dipl.-Kfm. Univ. Horst Schauerte (50) ist Vorstand des Verkehrsunternehmens Wartburgmobil (VUW) gkAöR sowie Mitglied der Gesellschafterversammlung der Verkehrsgemeinschaft Wartburgregion (VGW) GmbH und der Flugplatzgesellschaft Eisenach-Kindel GmbH. Er hat Wirtschafts- und Organisationswissenschaften an der Universität der Bundeswehr München und der Arizona State University studiert. Zuvor war er Geschäftsführer der DB Regio Bus Bayern GmbH und in verschiedenen Funktionen bei der BVG (Berliner Verkehrsbetrieb) und im Konzern ÖBB (Österreichische Bundesbahnen) beschäftigt.



Abb. 2: Der Dorfbus für das Feldatal.

Foto: Wartburgmobil



Abb. 3: Elektrobus in Eisenach unterhalb der Wartburg.

Foto: Wartburgmobil

Trotz aller Einschränkungen durch Corona war aber zu jeder Zeit Konsens, dass die einmal eingeschlagene Strategie für den ÖPNV in der Region nicht geändert wird – im Gegenteil, es galt dagegen zu halten. So wurde zum 1. Mai 2020 der Vorlaufbetrieb für den Dorfbus (Abb. 2) im Feldatal gestar-

tet [4], mit dem kompletten Rollout zum 31. August 2020. Erstmals fahren die Busse ganz ohne Fahrplan – eine Stunde vorher anrufen, der Fahrgast wird von jeder Haltestelle zu jeder Haltestelle wie gewünscht befördert. Ein Pilotprojekt, das sehr gut angenommen wurde und nicht mehr weg-

zudenken ist – gerade in den unsicheren Zeiten kam ein zukunftsweisendes Projekt genau richtig, so auch die Meinung der lokal-politisch Verantwortlichen.

Auch im städtischen Bereich in Eisenach wurden die beiden ersten Elektrobusse (Abb. 3) unter Corona-Bedingungen im Juli 2020 in Betrieb genommen [5]. Ein Projekt, das auch wieder Zuversicht ausgelöst hat und sehr positiv aufgenommen wurde.

Insgesamt wurde das gesamte Marketing stark auf den Freizeitverkehr ausgerichtet, da nach Analyse der Lage und der vorhandenen Studien klar war, dass weder der Schüler- noch der Pendlerverkehr in seiner Nachfrage durch das Verkehrsunternehmen so ohne Weiteres beeinflusst werden kann. Die Fahrgastströme in diesem Segment hängen und hängen zu stark von konkreten Regelungen in den Allgemeinverfügungen und Corona-Regeln (Stichwort Homeoffice, Kurzarbeit) ab.

Fazit

Die Strategie von Wartburgmobil für das Jahr 2020 ist zunächst aufgegangen:

- 1. Stufe: Harter, einschneidender Verkehrs-Lockdown,

- 2. Stufe: Schnelles Erholen aus dem Tal hin zu einem möglichst normalen Betrieb,
- 3. Stufe: Zuversicht durch neue Produkte und neue Angebote, Marketing-schwerpunkt auf den Freizeitbereich,
- 4. Stufe: Chancen der Digitalisierung nutzen.

Die Entwicklungen insbesondere im Juli 2020 und im September 2020 lassen die Hoffnung zu, dass bei Vorhandensein eines guten Angebots, zielgerichtetem Marketing und einer einigermaßen normalisierten Corona-Lage auch die Chance besteht, dass die Fahrgastzahlen sich wieder erholen können.

Um künftig auf solche oder ähnliche Situationen besser vorbereitet zu sein, wurde die Chance zur Digitalisierung ergriffen. Für die Fahrgäste besteht seit dem Herbst 2020 die Möglichkeit, nun die Tickets auch am Handy zu erwerben, da Wartburgmobil Partner von HandyticketDeutschland der Firma Hansecom geworden ist [6]. Dabei war es wichtig, das gesamte Ticketsortiment quasi gleich als Webshop verkaufen zu können.

Auch die Verwaltung ist digitalisiert: die Arbeit zwischen null und 100 Prozent Homeof-

fice wurde mit den Interessenvertretern vereinbart, so dass eine kontinuierliche Führung des Unternehmens unabhängig von einer Infektionslage jederzeit möglich ist – virtuell per Videokonferenz und unabhängig vom Arbeitsort der Mitarbeiter. Das hat Prozesse während der Pandemie sogar beschleunigt und die Kommunikation verbessert, neue Ideen und Produkte können schneller als bisher mit physischen Beratungen diskutiert und beschlossen werden.

Literatur / Anmerkungen

- [1] <https://www.vdv.de/presse.aspx?mode=detail&id=458fc281-0ec8-4de5-a676-ecdad74ee0ad> am 3.8.21 um 20:20
- [2] <https://viecer.univie.ac.at/corona-blog/corona-blog-beitraege/blog51/> am 4.8.21 um 10:05
- [3] <https://www.eisenach.info/aktiv-und-sport/wandern/drachenschlucht> am 4.8.21 um 10:35
- [4] <https://www.insuedthueringen.de/inhalt.bad-salzungen-ein-dorf-bus-fuer-das-feldatal-pilotprojekt-startet.ecba9247-b946-4e93-9a76-c717287ea18.html> am 4.8.21 um 17:45
- [5] <https://www.mdr.de/nachrichten/thueringen/west-thueringen/eisenach/elektrobusse-102.html> am 4.8.21 um 23:00
- [6] <https://hansecom.com/news/2020/14.09.2020-wartburgmobil-eroeffnet-digitalen-ticket-vertriebskanal-mit-handyticket-deutschland.html> am 4.8.21 um 23:05

Zusammenfassung / Summary

Gutes Angebot gegen den Fahrgastrückgang

Das Verkehrsunternehmen Wartburgmobil aus der Wartburgregion in Thüringen hat im Corona-Jahr 2020 mit der Strategie, sich so gut wie möglich im „new normal“ zu positionieren, gute Erfolge erzielen können. Neue Angebote, die Umsetzung aller geplanten Projekte und die Digitalisierung haben gezeigt, dass es bereits zweimal möglich war, fast wieder an das Vor-Corona-Niveau anzuschließen. Daher hofft man, nach Normalisierung der Corona-Lage auch wieder zeitnah im ÖPNV wachsen zu können.

Good offer against the decline in passenger numbers

The public transport company Wartburgmobil from the Wartburg region in Thuringia was able to achieve good successes in the Corona year 2020 with the strategy of positioning itself as well as possible in the „new normal“. New offers to the customers, the implementation of all planned projects and digitization have shown that it has already been possible twice to almost reconnect to the pre-Corona level. It is therefore hoped that after the corona situation has normalized, local public transport will be able to grow again as soon as possible.

Mobilität heute gestalten: digital, 3D und partizipativ

Digitale Beteiligung in 3D: Ein Verkehrsunternehmen setzt die neue Beteiligungsplattform U_Code im Planungsprozess zum Ausbau einer bestehenden Stadtbahnlinie ein

Henning Schulze, Berlin

Präsenz-Formate der Bürgerbeteiligung erreichen erfahrungsgemäß nur einen Ausschnitt der Öffentlichkeit, gleichzeitig entwickeln sich technische Möglichkeiten und kulturelle Akzeptanz digitaler Kommunikation rasant. Dieser Beitrag stellt digitale Werkzeuge am Anwendungsfall vor. Er argumentiert für ein integriertes Verständnis von Dialog und Beteiligung, das die Limitierung bisheriger Methoden aufhebt, und analoge wie digitale Instrumente intelligent miteinander vereint. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf dem Verhältnis von Aufwand und Nutzen.

Die Planer und Fachleute für Strategie in Städte- und Gemeindeverwaltungen sowie bei kommunalen Mobilitätsdienstleistern meistern aktuell einen Paradigmenwechsel: Um bedeutende Infrastrukturvorhaben erfolgreich und im Zeitplan umzusetzen, bedarf es längst weit mehr als das technische Handwerkszeug einer einzelnen Fachdisziplin. Unsere Städte werden dichter und der Wert des öffentlichen Raums steigt. Die Erwartung an die städtebaulichen Qualitäten von Infrastruktur ist hoch. Unterhalb der Überschrift „Verkehrs- oder „Mobilitätswende“ muss, um zum Ziel zu kommen, zwischen verschiedenen, teils weit voneinander entfernten Perspektiven und Interessen vermittelt werden. Positiv formuliert, genießen bedeutende Infrastrukturvorhaben im städtischen Raum besondere öffentliche Aufmerksamkeit. Unterschiedliche Stakeholder fordern Informationen und Mitsprache ein, Initiativen wollen sich mit Wissen und eigenen kreativen Vorschlägen einbringen und diese in der Öffentlichkeit diskutieren. Und wenn wir ehrlich sind: Wer wünscht sich nicht für sich selbst, möglichst barrierearm bei der Gestaltung des unmittelbaren Lebensumfelds mitsprechen zu können?

Infrastruktur- und Verkehrsplanung ist damit immer stärker zu einer kommunikativen Aufgabe geworden und näher an die politischen Prozesse gerückt: Gelingt die Kommunikation, ermöglicht sie den Ausgleich von Interessen oder wenigstens den Perspektivwechsel. Damit steigen die Chancen beträchtlich, ein Projekt im Zeit- und Kostenrahmen zu realisieren. Gelingt Kommunikation nicht, wirkt sich das negativ aus: Kosten- und Zeitrahmen laufen aus dem Ruder und wichtige Projekte kommen nicht oder nur sehr langsam zustande.

Digitalisierung als Chance

Auch wenn die frühzeitige Kommunikation und Beteiligung verschiedener Gruppen inzwischen zu einem eigenen Handlungsfeld von Verkehrsplanungsprojekten geworden ist – Politik und Verwaltung stehen bei vielen Projekten vor der Frage, wie eine Nutzen stiftende Beteiligung gelingen kann. Beschleunigt durch die Corona-Pandemie sind in den letzten Monaten digitale und hybride Beteiligungsformate erfolgreich angewendet worden.

Bei Lots* sieht man in der beschleunigten Digitalisierung eine große Chance. Denn: Neue digitale Beteiligungsplattformen, kombiniert mit den Instrumenten der On-linekommunikation, haben das Potenzial, die Information über und die frühe Beteiligung an Verkehrsplanungen zu vereinfachen. Visualisierungs-Technologien machen auch komplizierte Planungsgegenstände für Laien in 2D und 3D anschaulich und damit verständlicher. Algorithmen und automatisierte Verfahren vereinfachen die Auswertung umfangreicher Datensätze und erschließen das gewonnene Material leichter.

Digitale Plattformen können in allen Stadien von Beteiligungsverfahren zum Einsatz kommen: von der Grundlagenermitt-

lung bis hin zur Erarbeitung räumlich-funktionaler Entwurfskonzepte. Bei der Wahl der technischen Lösung sollte die Frage nach dem Mehrwert im Mittelpunkt stehen. Sollte Beteiligung gänzlich in die digitale Sphäre verlagert werden? Wie werden umfangreiche Anregungen und Wünsche aus der Bevölkerung in gute Verkehrsplanung übertragen? Was bedeutet ein Umdenken in puncto Digitalisierung für Verkehrsplaner und Projektträger?

Fakt ist: Digitale Lösungen ermöglichen die Umsetzung von zielgruppengerechteren Beteiligungsverfahren in der Verkehrsplanung und haben durch Schnittstellen (zum Beispiel zu gängigen CAD-Programmen) sowie automatisierten Auswertungswerkzeugen das Potenzial, die Ergebnisse der Beteiligung sehr viel besser und effektiver als bislang für die Planungsprozesse aufzubereiten und kommunikativ zugänglich zu machen.

Ressourcen und Rahmenbedingungen von Beteiligung

Beteiligung im digitalen Raum schafft neue, flexible Möglichkeiten, damit sich Bürger, Interessensgruppen sowie Organisationen gehört und unterstützt fühlen. Dabei sind nicht nur Interesse und Zugänglichkeit entscheidende Voraussetzungen, um von Beginn an Akzeptanz für einen Beteiligungsprozess zu sichern. Auf dem Weg von der ersten Idee bis zur Evaluation eines Beteiligungsverfahrens gibt es viel zu bedenken. Diese drei großen Linien sollten auf jeden Fall im Blick behalten werden:

Zeitliche Ressourcen

Um einen Überblick über benötigte zeitliche Ressourcen zu bekommen, wird (mit fachlicher Hilfe) ein Konzept erstellt, das die komplexen Rahmenbedingungen



Zum Autor

Henning Schulze (41) ist Senior Berater bei der Kommunikationsberatung Lots* Gesellschaft für verändernde mbh – mit Sitz in Leipzig, Berlin und Dresden. Er berät und unterstützt Kunden beim Konzipieren und Umsetzen von zielgruppengerechten Kommunikationsstrategien und Teilnehmungsformaten – digital und analog. Sein Fokus liegt dabei auf den Themen Verkehrsinfrastruktur und neuer Mobilität.

(Ideen, Hintergründe und Ziele) des Beteiligungsprozesses schriftlich festhält. Im Anschluss werden wichtige Meilensteine, wie die Präsentation erster Zwischenergebnisse oder der geplante Abschluss des Verfahrens, festgelegt. Die Planung soll einen ausreichenden zeitlichen Umfang inklusive Zeitpuffer aufweisen, damit flexibel auf unerwartete Ereignisse reagiert werden kann.

Wenn der Prozess zum ersten Mal umgesetzt wird, braucht es intern Zeit, um Fragen zur Ablauf- und Organisationsstruktur zu klären. Dazu gehören: Wo ist das Projekt in der Organisation zugeordnet? Wer sind interne Stakeholder? Wie ist der Ablauf des Verfahrens? Welche Vereinbarungen über Rechte und Pflichten soll es geben? Wie werden Entscheidungen getroffen?

Personelle Ressourcen

Beteiligung lebt nicht nur von der Anzahl der Teilnehmenden, sondern auch von der

Anzahl der Mitarbeitenden, die zur Koordination des Prozesses benannt und freigestellt wurden. Der Umfang an personellen Ressourcen ist abhängig von der Anzahl der Beteiligten, der Problemlage und dem Umfang des geplanten Prozesses. Fragen müssen geklärt werden, wie: Wer ist Ansprechperson vor Ort und digital? Wer ist für Kommunikation zuständig? Für fachliche Fragestellungen? Klare Ziele müssen dem Team gesetzt und Entscheidungs- und Handlungsspielräume benannt werden.

Finanzielle Ressourcen

Neben personellen und zeitlichen Ressourcen braucht Beteiligung ein gewisses finanzielles Budget: für Kommunikation, externe Moderation, Lizenzen, Sachmittel, Raummieten et cetera. Die damit verbundenen Kosten können erheblich variieren – je nach Anspruch des Verfahrens, nach dem Aufwand, der zur Auswahl der Teilnehmenden betrieben wird oder je nach Dauer der

einzelnen Beteiligungsschritte. Es gibt einige Anhaltspunkte zu den Kosten digitaler Beteiligungsverfahren: In der Regel dauern diese länger als Präsenzveranstaltungen.

Digitale Beteiligung heute

In den vergangenen Jahren hat sich die Qualität von Beteiligungsverfahren im Zusammenhang mit Verkehrs- und Infrastrukturprojekten stark verändert: vom bloßen Informieren der Bürger über Planungsverfahren über die Teilhabe bei der Entscheidungsfindung bis hin zur Co-Kreation, der Mitgestaltung der zur Entscheidung vorgelegten Pläne.

Die Beteiligungsplattform Urban Collective Design Environment, kurz U_Code, stellt eine digitale, reale Umgebung in 3D bereit, mit der bei Lots* maßgeschneiderte Beteiligungsverfahren für Verkehrs- und Stadtentwicklungsprojekte aufgesetzt und durchgeführt werden. Sie wurde initiiert und entwickelt vom Wissensarchitektur Laboratory of Knowledge Architecture an der Architektur fakultät der TU Dresden und wird von Lots* partnerschaftlich in der Stadt- und Verkehrsplanung eingesetzt.

U_Code macht die Durchführung von Beteiligungen bei Verkehrsprojekten auf eine neue innovative Weise möglich: Von Anwohnenden über Planer bis zu Experten können alle am Vorhaben beteiligte Gruppen sowohl digital als auch analog eingebunden werden. Wissen, Erfahrungen und kreative Ideen werden gemeinsam gesammelt und in einen Co-kreativen Gestaltungsprozess überführt. Die für den Beteiligungsprozess notwendigen Methoden und Werkzeuge werden gemeinsam mit der Plattform U_Code bereitgestellt.

U_Code in der Praxis

Worum geht es? Ein Verkehrsunternehmen plant ein Ausbauprojekt des ÖPNV (TRAM), welches sich in der frühen Konzeptionsphase befindet. Ziel für die Beteiligung, bei der U_Code zum Einsatz kommt, ist die Konsultation der Öffentlichkeit zu Konfliktpunkten und Potentialen bei möglichen Trassenverläufen.

Mit U_Code sollen Wünsche und Erwartungen zum Ausbau der Stadtbahnlinie gesammelt und neue Ideen gefunden werden. Dabei spielen folgende Fragestellungen eine Rolle: Wie soll der Straßenraum künftig für die unterschiedlichen Verkehrsarten neu

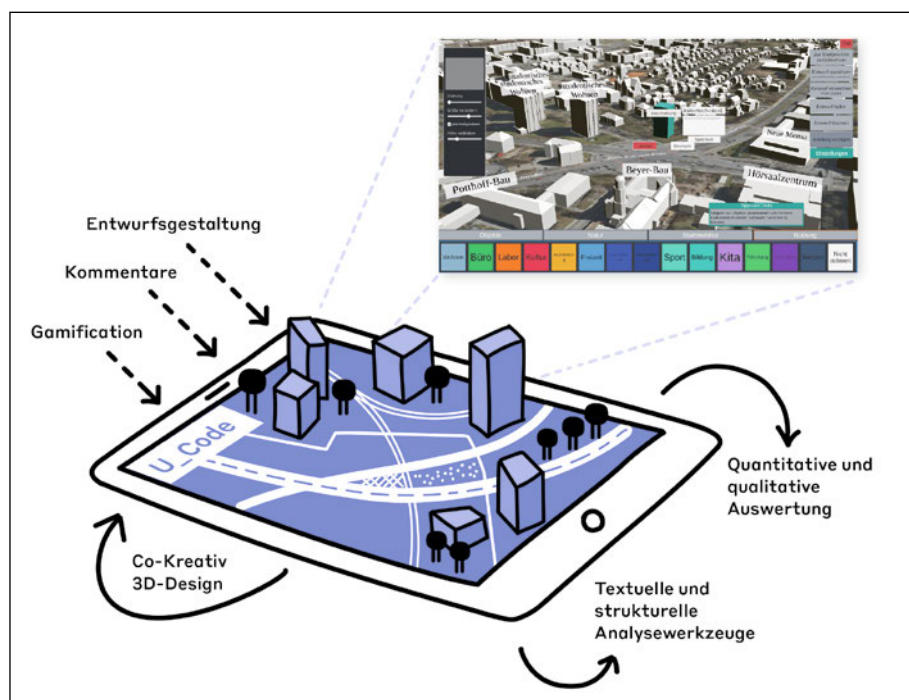


Abb. 1: U_Code – Tool für digitale Beteiligung 3D in Verkehrs- und Stadtplanung.

Grafik: Lots*

aufgeteilt werden (Auto, Fahrrad, Fußgänger)? Wo spielt Barrierefreiheit eine große Rolle? Wie müssen Kreuzungsbereiche (um)gestaltet werden? Wo braucht es Lieferzonen und Parkplätze? Wo sollen sich Haltestellen wiederfinden?

Vor-Ort-Formate und Online-Beteiligung kombinieren

Das Beteiligungsprojekt wird in drei Phasen – über einen Zeitraum von vier Monaten – umgesetzt. Ob von zuhause oder in moderierten Workshops – die Kombination aus digitalen Werkzeugen wie Online-Befragung und Co-Design für Laien im 3D-Stadtmodell (siehe zum Beispiel SimCity) mit klassischen Instrumenten wie Bürger-Workshops ermöglichen dabei eine umfassende Teilhabe.

Phase I – Wissenskampagne in 2D

In der ersten Phase können interessierte Bürger ihre Hinweise und Vorschläge zu möglichen Linienvarianten in einer kartenbasierten Online-Befragung mitteilen. In der Auswertung der Fragebögen und Beiträge zu den einzelnen Themen werden relevante Schwerpunkte und Fragestellungen für die Phase II herausgefiltert.

Phase II – Online Co-Design in 3D

In der zweiten Phase haben Bürger die Möglichkeit, online eigene Designvorschläge der Linienvarianten zu erstellen: Teilnehmende erstellen im Online-3D-Modell ihrer Stadt zu Hause am Desktop eigene Trassenverläufe und denken bestehende Trassenverläufe weiter. Zusätzlich können alle eingereichten Designs in einer Online-Galerie angeschaut und kommentiert werden. Die Ergebnisse der Co-Design-Phase werden ausgewertet und fließen gemeinsam mit den Befragungs-

ergebnissen der Wissenskampagne in die dritte Phase ein.

Phase III – Lokaler Co-Design-Workshop

In dieser Phase finden Design-Workshops vor Ort statt. Aufbauend auf dem Wissens- und Ideenschatz der vorigen Projektphasen können die Teilnehmenden in Kleingruppen die bislang entstandenen Vorschläge vertiefen und neue Ideen entwickeln. Das Team der Wissensarchitektur der TU Dresden, Lots* und Planer des Verkehrsunternehmens begleiten die Bürger fachlich und als Diskussionspartner. Kreative Werkzeuge, wie digitale Planungstische, Virtual-Reality-Brillen, 3D-Drucker, aber auch klassischer Modellbau, bieten Möglichkeiten zum Planen und Gestalten.

Blickwinkel, Ideen und Daten ermitteln

Durch den Einsatz von U_Code haben die Bürger die Möglichkeit, eigene Planungs-ideen zu formulieren und mögliche Linienvarianten zum Ausbau der Stadtbahn zu gestalten. Im Ergebnis werden unterschiedliche Interessenlagen, gewinnbringende Impulse und Blickwinkel der Öffentlichkeit zu dem Vorhaben ermittelt. Die Resultate des 3-stufigen Beteiligungsverfahrens werden von der Wissensarchitektur der TU Dresden und Lots* ausgewertet, zusammengefasst



Abb. 2: Bürger können in Vor-Ort-Workshops der dritten Phase des Beteiligungsprozesses eigene Konzepte an einem digitalen Planungstisch designen und ausprobieren.

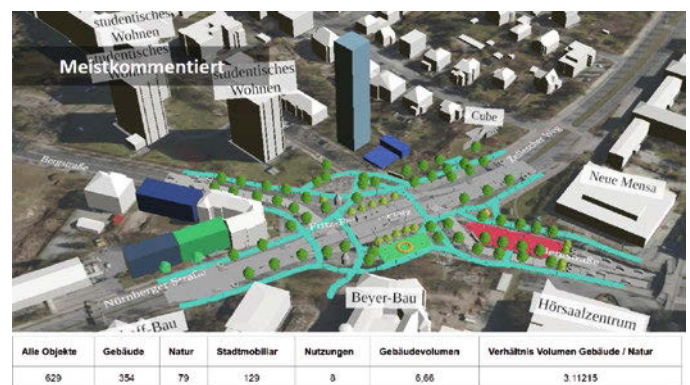
Foto: Wissenschaftsarchitektur TU Dresden

und als Inspirations- und Ideensammlung an die Planer des Verkehrsunternehmens für die weiteren Planungsschritte übergeben.

U_Code bietet für die Weiterverarbeitung und Analyse der gesammelten Daten der Konsultations- und Co-Kreationskampagne unterschiedliche Möglichkeiten. Zum Beispiel: qualitative, strukturelle Analysen der Entwürfe (Design Pattern) oder quantitative und qualitative Darstellungen von Themen (Heatmap und Histogramm). Je nach Planungsgegenstand und Beteiligungsziel erfolgt eine zweckorientierte Auswertung und bedarfsgerechte Verwertung (beispielsweise als Handlungsempfehlungen oder Lastenheft) der Co-Design-Phase.

Abb. 3: Strukturell-quantitative Auswertung nach dem Kriterium „Meistkommentiert“.

Screenshot: Wissenschaftsarchitektur TU Dresden



Zusammenfassung/Summary

Mobilität heute gestalten: digital, 3D und partizipativ

Die Qualität von Beteiligungsverfahren hat sich in den letzten Jahren im Zusammenhang mit Verkehrs- und Infrastrukturprojekten stark verändert: vom bloßen Informieren der Bürger über Planungsverfahren über die Teilhabe bei der Entscheidungsfindung bis hin zur Co-Kreation, der Mitgestaltung der zur Entscheidung vorgelegten Pläne. Anhand eines beispielhaften Projektes aus dem Bereich Nahverkehr wird skizziert, wie Beteiligung mit der digitalen Plattform U_Code (Urban Collective Design Environment) auf eine neue innovative Weise möglich ist. Es wird für ein integriertes Verständnis von Dialog und Beteiligung argumentiert, das die Limitierung bisheriger Methoden aufhebt und analoge wie digitale Instrumente intelligent miteinander vereint.

Design mobility today: digital, 3D and with participation

The quality of participation processes has changed considerably in recent years in relation to transport- and infrastructure projects: beginning from simply informing citizens about planning procedures to participation in decision making, to co-creation, to co-design of plans submitted for decision. On the basis of an exemplary project from the field of local transport, it is outlined how participation is possible in a new and innovative way with the digital platform U_Code (Urban Collective Design Environment). It is argued for an integrated understanding of dialogue and participation which eliminates the limitation of previous methods and smartly combines analogue and digital instruments.

Fahrgäste schnell und präzise informieren mit NetroCMS



Abb. 1: Fahrgäste der Kölner Verkehrs-Betriebe (KVB).

Foto: Stephan Anemüller, Kölner Verkehrs-Betriebe AG

systems. Durch die Bearbeitung der Fahrgastinformation in einem zentralen System entfällt die Bedienung vieler separater Systeme für die Mitarbeitenden in den Leitstellen. Die bereits erfassten Meldungen im Betriebsmeldungs-erfassungssystem NetroBME stehen zur Weiterverarbeitung als Fahrgastinformationsmeldung zur Verfügung und ermöglichen die schnelle Informationssammlung und -aufbereitung sowie die fehlerfreie Informationsweitergabe an das NetroCMS und somit an die Informationsempfänger. Die textuelle Information generiert das System auf Basis integrierter Textbildungswerkzeuge anhand der vorhandenen Grunddaten dabei automatisch.

Das System gewährleistet eine aktuelle, inhaltlich konsistente und medienbruchfreie Fahrgast- und Mitarbeiterinformation. Neben Informationen aufgrund von geplanten oder ungeplanten Abweichungen vom Regelbetrieb sollen auch Meldungen über gesperrte Verkehrswege über verschiedene Kanäle publiziert werden. Aus dem NetroCMS erfolgt die Weitergabe der Fahrgastinformationsmeldungen über Fahrgastinformationsanzeiger (FGI), die Website, die elektronische Fahrplanauskunft, Social Media und mobile Endgeräte. Die Verarbeitung erfolgt weitestgehend über Standards gemäß VDV oder SIRI und sichert die zeit- und inhaltsgleiche Veröffentlichung auf allen Zielsystemen.

„Die Geschäftsbeziehung mit den Kölner Verkehrs-Betrieben basiert auf einer mehrjährigen und vertrauensvollen Zusammenarbeit. Wir freuen uns sehr über den Auftrag aus Köln“, so die Vorstandschaft der Netropolis AG. „Eine Werksabnahme anhand der Grundfunktionalitäten hat bereits stattgefunden und die Weiterentwicklung des NetroCMS aufgrund der neuen Anforderungen im Rahmen des Projektes ist vielversprechend“.

Die KVB ist ein großes öffentliches Verkehrsunternehmen und bietet mit über 380 Stadtbahnen und 330 Bussen ein leistungsstarkes Angebot für Einheimische und Pendler. Für die Mobilität dieser täglich mehr als 850.000 Menschen ist ein leistungsfähiger öffentlicher Personennahverkehr unverzichtbar. Deshalb ist eine aktuelle, zuverlässige und ausreichend informative Fahrgastinformation von großer Bedeutung.

Im Zuge der europaweiten Ausschreibung erhielt die Netropolis AG den Zuschlag für die Realisierung und Lieferung des Redaktions-

Abweichungen vom Regelbetrieb redaktionell erfassen, kategorisch aufbereiten und an jedes notwendige System zeitgleich

übermitteln: Diese Anforderung der Kölner Verkehrs-Betriebe AG (KVB) erfüllt die Netropolis AG mit einer zentralen Applikation.

Der Softwarehersteller für Systemlösungen im öffentlichen Verkehr setzt hierfür das Fahrgastinformationssystem NetroCMS ein.

Nettopolis AG,
Bruchsal

ANZEIGE



Wuppertal

Stadt der weltberühmten Schwebebahn
Kultur- und Wirtschaftszentrum des Bergischen Landes
363.000 Einwohner*innen, Universitätsstadt
sucht für das

**Ressort Straßen und Verkehr
eine*n Diplomingenieur*in oder Master der Fachrichtung
Bauingenieurwesen, Geographie, Raumplanung mit der
Vertiefung Verkehrsplanung**

mit Erfahrung in dem Fachgebiet Nahverkehrsplanung.

Das Aufgabenfeld umfasst insbesondere die Wahrnehmung der ÖPNV-Aufgabenträgerschaft für die Stadt Wuppertal sowie die Fortschreibung des kommunalen Nahverkehrsplans, die Mitwirkung bei der Vergabe der Verkehrsdienstleistungen des ÖPNV und Bearbeitung und Entwicklung von Verkehrskonzepten / Vorplanungen im ÖPNV.

Die Stelle ist nach Besoldungsgruppe A 13 LBesG NRW bzw. Entgeltgruppe 13 des Tarifvertrages für den öffentlichen Dienst bewertet.

Die vollständige Stellenausschreibung finden Sie unter diesem Link:

<https://wuppertal.hr4you.org/job/view/1337>

Bitte bewerben Sie sich über den genannten Link bis zum **19.09.2021**.

Wir freuen uns auf Ihre Bewerbung.

TERMINE + VERANSTALTUNGEN

14.09.2021 bis 08.10.2021

14. September Digital	BIM im urbanen Raum Seminar www.bekaseminare.de
14. September Stuttgart	Perspektiven für Brennstoffzellen-Züge Separater Workshop zur f-cell Stuttgart Konferenz https://f-cell.de/workshop-zuege/
14. und 15. September Fulda	Tagung Flächenmanagement Immobilien für Eisenbahn-Infrastrukturprojekte www.vdei-akademie.de
22. September Hannover/Laatzten	21. Vermessungstechnische Fachtagung – für den genauesten Fahrweg der Welt www.vdei-akademie.de
22. bis 24. September Dresden und Digital	18. Internationale Schienenfahrzeugtagung Dresden https://www.eurailpress.de/rad-schiene
23. und 24. September Leipzig	Autonomes Fahren im ÖV https://breidenbach-frost.de
28. und 29. September Dortmund und Digital	Stadtbahnforum 2021 https://bahnwege-seminare.de
28. und 29. September Dortmund und Digital	Eisenbahnforum 2021 https://bahnwege-seminare.de
30. September Berlin	17. Fachtagung Konstruktiver Ingenieurbau www.vdei-akademie.de
30. September und 1. Oktober Friedrichshafen	2. DACH-Kongress: Grenzüberschreitender Verkehr der Zukunft Internationaler Verkehrskongress Österreich – Schweiz – Deutschland https://www.oevg.at/veranstaltungen
6. und 7. Oktober Essen	11. Internationaler BME/VDV-Eisenbahnkongress www.vdv-akademie.de
6. und 7. Oktober Berlin	Einführung in den Bahnbetrieb Seminar https://www.hdt.de
7. und 8. Oktober Wien, AT	19. Wiener Eisenbahnkolloquium: Zug statt Flug? https://www.oevg.at/veranstaltungen
7. und 8. Oktober Berlin und Digital	Grundlagen der Leit- und Sicherungstechnik (LST) für Eisenbahnsysteme Seminar https://www.hdt.de

Weitere Veranstaltungen finden Sie unter www.busundbahn.de/termine

Bitte beachten Sie, dass es zur Zeit wegen des Corona-Virus zu Absagen von Veranstaltungen kommen kann.

DER NAHVERKEHR

Öffentlicher Personenverkehr in Stadt und Region

VORSCHAU 10/2021

Schwerpunkthemen:

**AUTONOME FAHRZEUGE
NAHVERKEHR
IN DER FLÄCHE
HALTESTELLEN**



- iQMobility als Vorreiterprojekt für automatisiertes Fahren
- Ergebnispräsentation: auto.Bus – Seestadt
- Autonome Shuttles als Ergänzung des SPNV im ländlichen Raum
- Taktverkehre und bedarfsgesteuerte Angebote
- Mehrfachhaltestellen im öffentlichen Verkehr
- Elektrobusse: Wachstumsmarkt mit großer Dynamik
- Betriebsstabilität von Straßenbahnen optimieren
- ÖPNV-Qualitätsmanagement in Aufgabenträgerorganisationen

ERSCHEINUNGSTERMIN:

06.10.2021

ANZEIGENSCHLUSS:

09.09.2021

Ansprechpartnerin:

Andrea Kött
andrea.koett@dvvmmedia.com
+49-211-505-265-36

DER NAHVERKEHR

Öffentlicher Personenverkehr in Stadt und Region

Offizielles Organ des Verbandes Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV)

Verlag

DVV Media Group GmbH
Heidenkampsweg 73-79, D-20097 Hamburg
Postfach 101609, D-20010 Hamburg

Geschäftsführer

Martin Weber, Hamburg

Verlagsleitung

Manuel Bosch
+49 40 23714-155 | manuel.bosch@dvvmmedia.com

Redaktion

Redaktionsleitung ÖPNV
Markus Bülles, Düsseldorf
+49 211 505-26533 | markus.buelles@dvvmmedia.com

Redaktion DER NAHVERKEHR

Kirsten Rohloff (verantw. Redakteurin), Düsseldorf
+49 211 505-26564 | kirsten.rohloff@dvvmmedia.com
Mechthild Seiler (Red. Ass.)
Maren Raillon-Fiest (Red. Ass.)

Anzeigen

Anzeigenleitung ÖPNV

Silke Härtel, Hamburg
+ 49 40 23714-227 | silke.haertel@dvvmmedia.com

Anzeigenverkauf DER NAHVERKEHR

Andrea Kött (verantw.), Düsseldorf
+ 49 211 505-26536 | andrea.koett@dvvmmedia.com

Anzeigentechnik

Pascal Hofer, Hamburg
+49 40 23714-130 | pascal.hofer@dvvmmedia.com
Gültig ist die Anzeigenpreisliste Nr. 36 vom 1. Januar 2021.

Vertrieb

Leiter Marketing & Vertrieb DVV

Markus Kukuk, Hamburg
+49 40 23714-291 | markus.kukuk@dvvmmedia.com

Unternehmenslizenzen Digital/Print

lizenzen@dvvmmedia.com
Leser- und Abonnentenservice
Tel. +49 40 23714-260 | Fax +49 40 23714-2431
kundenservice@dvvmmedia.com

Bezugsgebühren

Abonnement

Abonnement-Paket Inland: EUR 156,00 zzgl. MwSt.
Abonnement-Paket Ausland: EUR 193,00

Einzelheft

Einzelheft: EUR 36,30 (inkl. MwSt.)
Das Abonnement-Paket enthält die jeweiligen Ausgaben als Print, Digital und E-Paper sowie den Zugang zum Gesamtarchiv der Zeitschrift

Bezugsbedingungen:

Die Bestellung des Abonnements gilt zunächst für die Dauer des vereinbarten Zeitraumes (Vertragsdauer). Eine Kündigung des Abonnementvertrages ist zum Ende des Berechnungszeitraumes schriftlich möglich. Erfolgt die Kündigung nicht rechtzeitig, verlängert sich der Vertrag und kann dann zum Ende des neuen Berechnungszeitraumes schriftlich gekündigt werden.

Bei Nichtlieferung ohne Verschulden des Verlages, bei Arbeitskämpfen oder in Fällen höherer Gewalt besteht kein Entschädigungsanspruch. Zustellmängel sind dem Verlag unverzüglich zu melden.

Es ist ausdrücklich untersagt, die Inhalte digital zu vervielfältigen oder an Dritte (auch Mitarbeiter, sofern ohne personenbezogene Nutzerlizenzierung) weiterzugeben

Layout

TZ-Verlag & Print GmbH, Roßdorf | www.tz-verlag.de

Druck

Silber Druck oHG, Lohfelden | www.silberdruck.de

Copyright

Vervielfältigungen durch Druck und Schrift sowie auf elektronischem Wege, auch auszugsweise, sind verboten und bedürfen der ausdrücklichen Genehmigung des Verlages. Für unverlangt eingesandte Manuskripte und Abbildungen übernimmt der Verlag keine Haftung.

ISSN 0722-8287

Mitglied/Member

Eine Publikation der
DVV Media Group



FACHBEIRAT



Dipl.-Ing. Ingo Wortmann
(Vors. Geschäftsführer MVG –
Münchner Verkehrsgesellschaft mbH;
Präsident VDV)
(Vorsitzender des Beirats)



Kay Uwe Arnecke
(Vors. Geschäftsführung S-Bahn
Hamburg GmbH)



Dr. Marcel Frank
(Geschäftsführer Regionalverkehr
Köln GmbH)



Susanne Henckel
(Geschäftsführerin Verkehrsverbund
Berlin-Brandenburg GmbH)



Prof. Dr.-Ing. Felix Huber
(Lehr- und Forschungsgebiet
Umweltverträgliche Infrastruktur-
planung, Stadtbauwesen,
Bergische Universität Wuppertal)



Dr. Florian Krummheuer
(Senior Berater
Detecon International GmbH)



RA Christiane Leonard
(Hauptgeschäftsführerin BDO)



Till Oberwörder
(Leiter Daimler Buses,
Vors. Geschäftsleitung
EvoBus GmbH)



RA Martin Schäfer
(Fbl. Personenbeförderungsrecht,
VDV)



Axel Schuppe
(Geschäftsführer Verband der Bahnindustrie
in Deutschland (VDB) e.V.)



Dipl.-Ing. Jörn Schwarze
(Techn. Vorstand,
Kölnener Verkehrs-Betriebe AG)



Dir. Dipl.-Ing. Günter Steinbauer
(Geschäftsführer Wiener Linien)



Ueli Stüchelberger
(Direktor VÖV, Schweiz)



Detlev K. Suchanek
(Geschäftsführender Gesellschafter,
PMC Media House)

INSERENTENVERZEICHNIS

Inserenten	Seite
Deutsche Plasser, Leverkusen	U2
DVV Media Group GmbH, Hamburg	19, 35, 57, U3, U4
Friedrich Hippe Maschinenfabrik + Gerätebau GmbH, Hagen	41
GMT Gummi-Metall-Technik GmbH, Bühl	49
HJS GmbH, Menden	27
ISI Management Consulting GmbH, Düsseldorf	37
Konvekta AG, Schwalmstadt	23
Kraiburg Strail GmbH & Co. KG, Tittmoning	39
Stadt Wuppertal, Wuppertal	64
VDV-Akademie GmbH, Köln	21
ZF Friedrichshafen AG, Friedrichshafen	15

Das Inserentenverzeichnis dient nur zur Orientierung der Leser. Es ist kein Bestandteil des Insertionsauftrages. DER NAHVERKEHR übernimmt keine Gewähr für die Richtig- und Vollständigkeit.



Wasserstoff

der Antrieb von Morgen



Up to date mit dem H2weekly Newsletter!

➤ www.mobility-impacts.de/h2-mobility

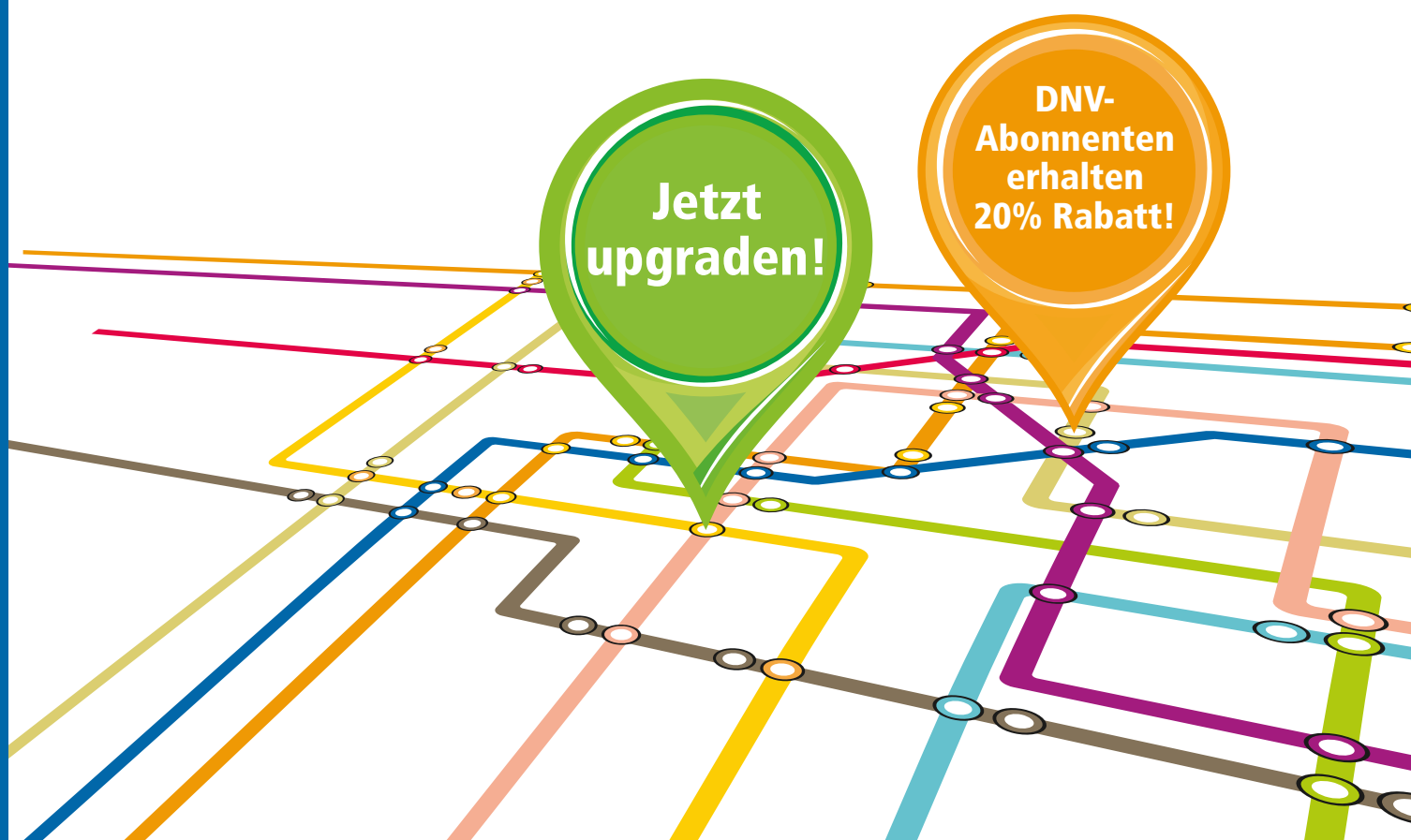


Behalten Sie den Durchblick im Informationsdschungel



Zugriff auf alle Inhalte von:

- **DER NAHVERKEHR** (ab 2004)
- **NaNa Nahverkehrs-Nachrichten** (ab 2018)
- **NaNa-Brief** (ab 2016)



www.busundbahn.de/dnv-archiv-upgrade

Lassen Sie sich
unverbindlich
beraten!

DER NAHVERKEHR DIGITALE SONDER | DRUCKE

Onlinemarketing mit Ihrem DER NAHVERKEHR-Fachartikel
zur Nutzung in Ihren digitalen Kanälen

**Werben Sie mit Ihrem maßgeschneiderten
digitalen Sonderdruck!**

Wir finden mit Ihnen die beste Ergänzung
zu Ihrem Onlinemarketingmix, sodass Sie
Ihre digitale Reichweite optimal ausnutzen
können.



IHRE VORTEILE IM ÜBERBLICK:

- › Kostengünstige und individuelle Content Marketing Inhalte
- › Zielgruppenspezifisches Werben durch einen nachhaltigen Kommunikationsverstärker
- › Unterstützung Ihrer digitalen Kanäle durch hochwertige Fachbeiträge
- › Für Online-Kongresse, Messen oder Symposien
- › Individuelle Erweiterung durch zusätzliche Inhalte

Für mehr Informationen besuchen Sie www.busundbahn.de/dnv-digitale-sonderdrucke



DVV Media Group

Interesse? Ihre Ansprechpartnerin: **Martina Hennig**

@ lizenzen@dvvmedia.com | ☎ 040 237 14 139

✉ DVV Media Group GmbH, Heidenkampsweg 73–79, 20097 Hamburg

FACHMEDIEN FÜR DIE GESAMTE ÖPNV-BRANCHE



Jetzt
testen!

NaNa



Unverzichtbare Nachrichtenquelle für Vorstände
und Fachabteilungen des ÖPNV

NaNa-Brief



Das Expertenmedium für Entscheider und
Führungskräfte

DER NAHVERKEHR



Qualifiziertes Detailwissen rund um den öffentlichen
Personenverkehr

**ÖPNV
Archiv**



Publikationsübergreifendes Fachwissen für den
gesamten ÖPNV



NaNa Nahverkehrs-Nachrichten

- die Wochenzeitung zum aktuellen Geschehen im gesamten ÖPNV
- bietet regelmäßige Berichterstattung zu Personalien und Stellenmarkt

MEDIENPAKET

- **Print:** wöchentlich freitags auf Ihrem Schreibtisch
- **E-Paper:** bereits vorab informiert mit der PDF-Ausgabe
- **Online:** Zugriff auf erweiterte NaNa-Inhalte
- **Newsletter:** werktäglicher NaNa-Ticker mit tagesaktuellen Nachrichten
- **Archiv:** Zugriff auf alle NaNa-Inhalte im ÖPNV-Archiv
- **App für Smartphone und Tablet:** alle Ausgaben sind auf Ihren mobilen Geräten verfügbar

► Jahresabo: EUR 437,- zzgl. MwSt. inkl. Porto



NaNa-Brief

- Ihr wöchentlicher Expertenbrief für den gesamten Personenverkehr
- legt besonderen Fokus auf Branchenentwicklungen und aktuelle Trends

MEDIENPAKET

- **E-Paper:** wöchentlich dienstags informiert mit der PDF-Ausgabe
- **Online:** Zugriff auf erweiterte NaNa- und NaNa-Brief-Inhalte
- **Newsletter:** werktäglicher NaNa-Ticker mit tagesaktuellen Nachrichten
- **Archiv:** Zugriff auf alle NaNa-Brief-Inhalte im ÖPNV-Archiv
- **App für Smartphone und Tablet:** alle Ausgaben sind auf Ihren mobilen Geräten verfügbar

► Jahresabo: EUR 570,- zzgl. MwSt.



DER NAHVERKEHR

- Fachbeiträge aus dem gesamten Themenspektrum des öffentlichen Verkehrs
- Branchenautoren liefern fundierte Inhalte und Detailwissen

MEDIENPAKET

- **Print:** 10x jährlich auf Ihrem Schreibtisch
- **E-Paper:** bereits vorab informiert mit der PDF-Ausgabe
- **Archiv:** Zugriff auf alle DER NAHVERKEHR-Inhalte im ÖPNV-Archiv
- **App für Smartphone und Tablet:** alle Ausgaben sind auf Ihren mobilen Geräten verfügbar

► Jahresabo: EUR 156,- zzgl. MwSt. inkl. Porto



ÖPNV-Archiv

- umfangreiche Fachdatenbank rund um den öffentlichen Verkehr
- einfache Volltextsuche über verschiedene Publikationen und Jahrgänge hinweg
- Sofort-Download aller Artikel im Originallayout und mit fester URL möglich

► Jahresabo: Basic-Zugang: EUR 265,65 zzgl. MwSt.
Premium-Zugang: EUR 570,- zzgl. MwSt.
► 30 Tage Premium-Zugang: 59,- inkl. MwSt.

@ kundenservice@dvvmedia.com | ☎ 040 237 14 240

✉ DVV Media Group GmbH, Heidenkampsweg 73-79, 20097 Hamburg