



# Abschlussbericht

**Plattform**

**Innovative Antriebe Bus**

**Gefördert durch das Bundesministerium  
für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS)**

**FKZ 03KP5001**



Gefördert durch:



Koordiniert durch:



**PE INTERNATIONAL**

## **Teilnehmer der Plattform Innovative Antriebe Bus**

1. NOW GmbH
2. Bremer Straßenbahn AG
3. Bochum-Gelsenkirchener Straßenbahn AG
4. Carosserie HESS AG
5. Dresdner Verkehrsbetriebe AG
6. Energie Agentur Nordrhein-Westfalen
7. Essener Verkehrs AG
8. EvoBus GmbH
9. Fahrzeugwerkstätten Falkenried GmbH
10. Fraunhofer Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme IVI
11. Hagener Straßenbahn AG
12. Hamburger Hochbahn AG
13. HEAG mobilo GmbH
14. hySOLUTIONS GmbH
15. RWTH Aachen für das Institut für Kraftfahrzeuge der RWTH Aachen
16. Leipziger Verkehrsbetriebe (LVB) GmbH
17. MAN Nutzfahrzeuge GmbH
18. Mülheimer Verkehrsgesellschaft mbH
19. Offenbacher Verkehrsbetriebe GmbH
20. PE International AG
21. Rheinbahn AG
22. Rhein-Main-Verkehrsverbund GmbH
23. Solaris Bus & Coach
24. Dortmunder Stadtwerke AG
25. SWK MOBIL GmbH
26. Stadtwerke München GmbH
27. Stadtwerke Neuss GmbH
28. Stuttgarter Straßenbahnen AG
29. Technische Universität Darmstadt, Institut für Elektrische Energiewandlung
30. TRD Reisen Fischer GmbH & Co. KG
31. TÜV Nord Mobilität GmbH & Co. KG
32. VCDB VerkehrsConsult Dresden Berlin GmbH
33. VDL Bus & Coach bv
34. Verkehrsgesellschaft Ennepe-Ruhr mbH
35. Verkehrsverbund Rhein-Ruhr AöR
36. Voith Turbo GmbH & Co. KG
37. Volvo Busse Deutschland GmbH
38. Vossloh Kiepe GmbH
39. Wuppertaler Stadtwerke WSW mobil GmbH
40. Bombardier Transportation GmbH

## Abschlussbericht Plattform Innovative Antriebe Bus

**Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS)**

**Oktober 2011**

**Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.**

### Autoren

Dr. Michael Faltenbacher (PE INTERNATIONAL AG)

Annekristin Rock (PE INTERNATIONAL AG)

Dr. Olga Vetter (PE INTERNATIONAL AG)

### Mit Beiträgen von

Wolfgang Arnold (SSB AG)

Andreas Böttcher (LVB GmbH)

Jürgen Böttcher (Bogestra)

Oliver Braune (NOW)

Daniel Busse (MVG München)

Hans Jürgen Credé (DVB AG)

Stefan Dewenter (TU Darmstadt)

Jürgen Fenske (VDV)

Hans-Jörg Gisler (Hess AG)

Dr. Sabine Groner-Weber (LVB GmbH)

Jan Hammer (RWTH Aachen (ika Aachen))

Karl-Heinz Holub (HEAG mobilo)

Ulrich Horning (VRR)

Wolfgang Hubenthal (FFG Fahrzeugwerkstätten Falkenried)

Michael Hünig (BSAG)

Martin Husmann (Verkehrsverbund Rhein-Ruhr)

Ronald Juhrs (LVB GmbH)

Monika Kentzler (EvoBus)

Martin Kleinebrahm (TÜV Nord)

Heinrich Klingenberg (hySolutions GmbH)

Dr. Thoralf Knotte (Fraunhofer IVI)

Dr. Frank Köster (Energieagentur NRW)

Werner Laber (HEAG mobilo)

Ulf Middelberg (LVB GmbH)

Benedikt Neugebauer (MAN)

Prof. Dr. Ralph Pütz (VDV)

Steffen Raff (SSB AG)

Walter Rau (RauCon AG)

Silke Rautenberg (HEAG mobilo)

Robert Roch (DVB AG)

Georg Schindzielorz (BSAG)

Konrad Schulin (WSW)

Otto Schultz (MVG)

Thorsten Schulz (Bogestra)

Ulrich Sieg (Hamburger HOCHBAHN)

Florian Stein (Stadtwerke Neuss)

Karsten Werner (DSW21)

Markus Wiedemann (SSB AG)

Reiner Zieschank (DVB AG)

# Inhalt

<b>Inhalt</b>	.....	<b>4</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	.....	<b>6</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	.....	<b>8</b>
<b>Vorwort</b>	.....	<b>9</b>
<b>1</b>	<b>Einführung</b> .....	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>Strategie des Bundes</b> .....	<b>11</b>
2.1	Modellregionen Elektromobilität.....	11
2.2	Handlungsfeld Öffentlicher Verkehr .....	13
2.3	Hybridbusse .....	14
2.4	Innovative Antriebs- und Energieübertragungstechnologien für Nahverkehrsfahrzeuge .....	15
2.5	Ausblick.....	17
<b>3</b>	<b>Ziele der Plattform „Innovative Antriebe Bus“ im Rahmen der Modellregionen Elektromobilität</b> .....	<b>18</b>
<b>4</b>	<b>Struktur und Organisation der Plattform</b> .....	<b>19</b>
4.1	Plattformteilnehmer .....	19
4.2	Inhalte der Plattform .....	20
4.3	Vertraulichkeit und Kooperationsvereinbarung ( <i>NOW</i> ) .....	21
4.4	Vorhaben in den Modellregionen .....	22
4.4.1	Vorstellung Einzelprojekte in den Modellregionen .....	22
4.4.2	Fahrzeuge in den Modellregionen .....	32
4.4.3	Überblick Begleitforschungsaktivitäten in den Modellregionen.....	35
<b>5</b>	<b>Vorgehensweise der Evaluierung</b> .....	<b>37</b>
5.1	Ermittlung der Evaluierungskriterien .....	37
5.2	Vorgehensweise der Betriebsdatenerfassung aus Dauertest.....	40
5.3	Vorgehensweise der weiteren Begleituntersuchungen und dezidierten Messungen.....	43
5.3.1	Kraftstoffverbrauchsuntersuchungen .....	43
5.3.2	Abgasemissionsmessungen .....	48
5.3.3	Geräuschemissionsmessungen.....	50
5.3.4	Ökologische Lebenszyklusanalyse von zwei Dieselhybridbussen.....	52
5.4	Vorgehensweise Akzeptanzuntersuchung .....	54
<b>6</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>56</b>
6.1	Praxistauglichkeit und Einsatzreife .....	57
6.1.1	Laufleistung und Betriebsstunden.....	57
6.1.2	Verfügbarkeit .....	57
6.2	Effizienz.....	58
6.2.1	Kraftstoffverbrauch auf Basis des Dauertests .....	58

6.2.2	Kraftstoffverbrauch aus Verbrauchsmessungen .....	61
6.3	Ökologie und Klimaschutz .....	63
6.3.1	Abgasemissionen .....	63
6.3.2	Geräuschemissionen.....	68
6.3.3	Ökobilanzen von Dieselhybridbussen .....	72
6.4	Akzeptanz .....	75
6.4.1	Bewertung durch Fahrer/-innen .....	75
6.4.2	Akzeptanz Fahrgäste/Passanten .....	78
6.5	Aus- und Weiterbildung von Fachpersonal .....	81
6.6	Maßnahmen zur Werkstatturnrüstung.....	85
<b>7</b>	<b>Ausblick und Empfehlungen .....</b>	<b>89</b>
	<b>Anhang I Einzelkriterien Datenerfassung .....</b>	<b>91</b>
	<b>Anhang II Rahmenbedingungen für Zwillingstests .....</b>	<b>93</b>
	<b>Anhang III Zwillingstest Bremen.....</b>	<b>94</b>
	<b>Anhang IV Fragebögen .....</b>	<b>95</b>
	<b>Anhang V Auswertung der Fragebögen.....</b>	<b>109</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Plattformstruktur des Projektes Modellregionen Elektromobilität .....	12
Abbildung 2	Matrixstruktur des Projekts Elektromobilität.....	13
Abbildung 3	Teilnehmer der Busplattform.....	20
Abbildung 4	Präambel der Kooperations- vereinbarung.....	21
Abbildung 5	Die 17 teilnehmenden Busbetreiber aus sieben Modellregionen im Überblick	22
Abbildung 6	Kriterienhandbuch.....	37
Abbildung 7	Vorgehensweise für Evaluierungsaktivitäten im Rahmen der Busplattform ....	38
Abbildung 8	Untersuchungskriterien .....	39
Abbildung 9	Die drei Säulen der Evaluierung.....	40
Abbildung 10	Benutzerhandbuch SoFi.....	40
Abbildung 11	Eingabemaske des SoFi Onlinetools.....	41
Abbildung 12	Management der Nutzerrechte am Beispiel einer Modellregion (Auszug) .....	42
Abbildung 13	Datenauswertung in SoFi - Beispielberichte.....	43
Abbildung 14	Eingesetztes Durchflussmessgerät .....	45
Abbildung 15	Prinzipielle Übersicht über den Hybridbus VDL Citea SLF Hybrid sowie über das Simulationsmodell.....	47
Abbildung 16	Impressionen Fahrerschulung.....	50
Abbildung 17	Mess-Setup Fahrgastraumgeräuschmessungen am Beispiel des MAN Dieselbusses .....	51
Abbildung 18	Einsatz des Kunstkopfmesssystems an einer Haltestelle .....	52
Abbildung 19	Untersuchungsrahmen für die Ökobilanzen .....	53
Abbildung 20	Laufleistung und Betriebsstunden der Hybridbusflotte .....	57
Abbildung 21	Durchschnittliche Verfügbarkeit der Hybridbusse .....	58
Abbildung 22	Durchschnittlicher Verbrauch Gelenk- und Solo-Hybridbusse vs. Diesel- Referenzfahrzeuge .....	59
Abbildung 23	Durchschnittlicher Verbrauch Gelenk- und Solo-Hybridbusse .....	60
Abbildung 24	Streckenabschnitte der Linie 72 in Leipzig, Fahrtverlaufkontrolle .....	62
Abbildung 25	Vermiedene Treibhausgasemissionen der gesamten Hybridflotte in 7 Modellregionen .....	64
Abbildung 26	Relative Änderungen ausgewählter Abgasemissionen, Gesamtbetrachtung Gelenkbusse .....	65
Abbildung 27	Mittlere geschwindigkeitsabhängige CO <sub>2</sub> -Emissionen, gesamt .....	66
Abbildung 28	Mittlere geschwindigkeitsabhängige NO <sub>2</sub> -Emissionen, gesamt .....	66
Abbildung 29	Relative Änderungen ausgewählter Abgaskomponenten (Solobusse Hagen)	67
Abbildung 30	Haltestellenabfahrt unter Vollastbedingungen .....	68
Abbildung 31	Haltestellenabfahrt unter Vollastbedingungen .....	69
Abbildung 32	Beispiel für eine gemessene Linienfahrt: Linie 450 in Dortmund .....	70
Abbildung 33	Streuband Linienfahrten und Mittelwertpegel: Dieselbusse vs. Hybridbusse ..	71
Abbildung 34	Break-Even-Analyse für die CO <sub>2</sub> -Emissionen.....	73
Abbildung 35	Einsparungen Citaro BlueTec Hybrid über gesamten Lebenszyklus .....	74
Abbildung 36	Umstellung auf den Hybridbus .....	75
Abbildung 37	Beschleunigung des Busses .....	76
Abbildung 38	Anpassung des Fahrverhaltens.....	76
Abbildung 39	Anpassung der Fahrweise gemäß Fahrplan.....	76

Abbildung 40	Geräusentwicklung im Inneren .....	77
Abbildung 41	Komfort des Start-Stop-Verhaltens .....	77
Abbildung 42	Hybridbus vs. Dieselbus.....	78
Abbildung 43	Assoziationen der Fahrgäste mit dem Begriff „Hybrid“ .....	79
Abbildung 44	Unterschied zwischen einem Hybridbus und konventionellem Bus .....	79
Abbildung 45	Geräusentwicklung Dieselmotor vs. konventioneller Bus.....	80
Abbildung 46	Bewertung der Außengestaltung durch die Passanten.....	80
Abbildung 47	Qualifizierung der Werkstattmitarbeiter .....	81
Abbildung 48	Stufenplan der BGI 8686.....	83
Abbildung 49	Qualifizierungskonzept Beispiel SSB AG .....	84
Abbildung 50	Unterlagen Sensibilisierung Hochvoltsystem.....	84
Abbildung 51	Arbeitsplatz für Hybridbusse (Bsp. Bochum -Gelsenkirchener Straßenbahnen AG) .....	85

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Übersicht über die in den Modellregionen eingesetzten Hybridbusse .....	32
Tabelle 2	Randbedingungen Verbrauchsuntersuchung (Zwillingstest) Bremen .....	44
Tabelle 3	Technische Daten des Hybridbusses VDL Citea SLF Hybrid.....	46
Tabelle 4	Klassifizierung der vermessenen Linien im VRR.....	49
Tabelle 5	Werkstattumrüstungen Bremen, Hamburg, Rhein-Ruhr .....	87
Tabelle 6	Werkstattumrüstungen Rhein-Main, Sachsen, Stuttgart, München.....	88

## Vorwort



Der potenzielle Übergang zur Zielvorstellung „Elektromobilität in Verbindung mit regenerativer Primärenergie“ offenbart ein signifikantes ökologisches Potenzial, das vor allem mit Blick auf die weitere Reduzierung der CO<sub>2</sub>- und Geräuschemissionen gehoben werden muss. Ein notwendiger Zwischenschritt auf diesem Weg ist die sukzessive Elektrifizierung der heute als Linienbusantrieb dominierenden, bereits hochsauberen Verbrennungsmotoren im Rahmen von Hybridkonzepten. Gerade Linienbusse eignen sich wegen ihres häufigen Bremsens und Anfahrens für die Hybrid-Technologie, weil hier signifikant Bremsenergie zurück gewonnen werden kann.

Aufgrund der Vielzahl unterschiedlicher Hybridtopologien, -funktionalitäten und verwendeten Energiespeicher ist jedoch zunächst zu ermitteln, welche Konzepte in Abhängigkeit des jeweiligen Einsatzcharakters der bedienten Linie insgesamt – d.h. bezogen auf die Potenziale zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Emissionen bei vertretbarer Wirtschaftlichkeit – zielführend sind und in wieweit bereits eine Einsatzreife in der Praxis erreicht worden ist. Parallel dazu müssen die neuen Anforderungen an die technische Betreuung der Fahrzeuge und damit die Qualifikation des Instandhaltungspersonals definiert werden. Die Plattform „Innovative Antriebe für Linienbusse“ hat hierzu durch erste systematisch erfasste Erkenntnisse beigetragen, wozu ich herzlich gratuliere. Besonders freut mich das große Engagement der Branche – und hier auch die selbstverständliche Vorreiterschaft der VDV-Verkehrsunternehmen, den ohnehin unangefochten umweltfreundlichen ÖPNV, der seit Jahren über täglich 24 Stunden das flottenweite „2,5-Liter-Fahrzeug“ pro Fahrgast und 100 km anbietet, noch weiter zu verbessern.

Mit Würdigung der ermittelten, vorläufigen Erkenntnisse und mit Blick auf die Zielvorstellung empfehle ich eine Fortführung der begonnenen Datenerhebung bei den im Betrieb befindlichen Bussen und möchte darauf aufbauende, notwendig erscheinende Anschlussprojekte anregen. Eine Beteiligung an diesen wird den VDV-Mitgliedsunternehmen weiterhin eine Verpflichtung sein.

Jürgen Fenske

Präsident des Verbandes Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV)

# 1 Einführung

Der vorliegende Bericht stellt die Arbeit der Plattform „*Innovative Antriebe Bus*“, kurz Busplattform genannt, dar, die als eine der 7 überregionalen Plattformen im Rahmen des Förderschwerpunktes „Elektromobilität in Modellregionen“ von der Bundesregierung 2009 gegründet wurde und bis heute aktiv ist. Sie wurde gegründet, um die Aktivitäten zum Einsatz von Hybridbussen in den Modellregionen deutschlandweit zu vernetzen und erste Kennziffern etwa zur Praxistauglichkeit und zum Kraftstoffverbrauch zu ermitteln.

Anlass des Berichtes ist das Ende der Förderperiode und mithin der Arbeiten zur Berichterstattung. Im Folgenden soll dem Leser die Möglichkeit gegeben werden, einen Einblick in die Vorgehensweise der Plattform zu erhalten sowie Informationen und Erkenntnisse aus der Erfassung der technischen Betriebsdaten und der Akzeptanzbefragung von Fahrern und Fahrgästen auf Basis von persönlichen Erfahrungen, die mithilfe von Interviews gewonnen wurden, zu erhalten.

Zunächst wird die Grundlage des Projektes, die Strategie des Bundes zum Thema Elektromobilität, dargelegt, um den Rahmen des Projektes näher zu veranschaulichen.

In Kapitel 3 folgt die Zielsetzung der Plattform „*Innovative Antriebe Bus*“, in dem neben Ziel und Zweck der Plattform auch die Aktivitäten der Plattform vorgestellt werden, die dann in den folgenden Kapiteln 4-6 im Detail beschrieben werden.

Struktur und Organisation der Plattform, Kapitel 4, umfasst neben der Vorstellung der mitwirkenden Industrievertreter, Verkehrsbetriebe, Institute und Beratungsunternehmen auch die Darstellung des Gegenstandes der Untersuchung, der Dieselhybridbusse in den Modellregionen. Darüber hinaus werden die Begleitforschungsaktivitäten in den Modellregionen vorgestellt.

Im folgenden Kapitel 5 werden die Vorgehensweisen der Untersuchungen und Messungen zur Praxistauglichkeit, Einsatzreife, Effizienz, zu Ökologie und Klimaschutz sowie zur Akzeptanz bei Fahrgästen und Fahrern näher erläutert.

Die Ergebnisse der Untersuchungen werden in Kapitel 6 dargelegt.

Schlussfolgerungen und Empfehlungen, die sich aus den Ergebnissen der Untersuchungen ableiten, schließen den Bericht mit Kapitel 7 ab und geben einen Ausblick auf zukünftige Entwicklungen und notwendige Maßnahmen aus Sicht der Teilnehmer.

## 2 Strategie des Bundes

Die Bundesregierung fördert von 2009 bis 2011 mit insgesamt 500 Millionen Euro aus dem Konjunkturpaket II die Entwicklung der Elektromobilität, um den Ausbau und die Marktvorbereitung dieser Antriebstechnologie zu beschleunigen. Dies untermauert die Strategie des Bundes, Deutschland bis 2020 zum Leitmarkt für Elektromobilität zu machen.<sup>1</sup>

### 2.1 Modellregionen Elektromobilität

Durch das vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) betreute Förderprogramm "Elektromobilität in Modellregionen" (Fördervolumen 130 Mio.) werden in insgesamt 8 Regionen Vorhaben gefördert, in denen Akteure aus Wissenschaft, Industrie und den beteiligten Kommunen eng zusammenarbeiten, um den Aufbau der Ladeinfrastruktur zu beschleunigen und die Zahl der Elektrofahrzeuge zügig auszubauen. Zudem soll die Wahrnehmung für die Vorteile der Elektromobilität im öffentlichen Raum gestärkt werden.<sup>2</sup>

Die Auswahl der Modellregionen erfolgte im Rahmen eines wettbewerblichen Verfahrens, an dem sich 130 regional organisierte Industrie- und Forschungsverbände, Städte, Kommunen und Regionen beworben haben. Aus diesen Bewerbungen wurden insgesamt acht Modellregionen ausgewählt, in denen Projekte mit überwiegend unterschiedlichen Schwerpunkten durchgeführt werden. Allerdings werden auch bestimmte Fragestellungen zwangsläufig parallel in mehreren Regionen bearbeitet. Für diese übergeordneten Themen wurden überregionale Plattformen gegründet, in denen die entsprechenden thematischen Schwerpunkte themenzentriert betreut und weiterentwickelt werden. Ziel dieser Plattformen ist es, Ergebnisse und Erfahrungen aus den Modellregionen zentral zu erfassen und wissenschaftlich zu begleiten. Darüber hinaus ermöglichen die Plattformen einen intensiven Erfahrungsaustausch zwischen allen Partnern und fördern die Umsetzung der gemeinsam erkannten Optimierungspotenziale in die nächsten Entwicklungsgenerationen von Fahrzeugen und Ladeinfrastruktur.<sup>3</sup>

Der Integration der Batterietechnologie in die Mobilitäts-, Raum- und Stadtentwicklung wird initiativenübergreifend eine bedeutende Rolle beigemessen. Das Programm Modellregionen Elektromobilität ist daher auf die folgenden Aspekte ausgerichtet:

- Einbeziehung lokaler und regionaler Akteure sowie der jeweils dort vorhandenen Technologie- und Wertschöpfungspotenziale im Bereich Elektromobilität,

---

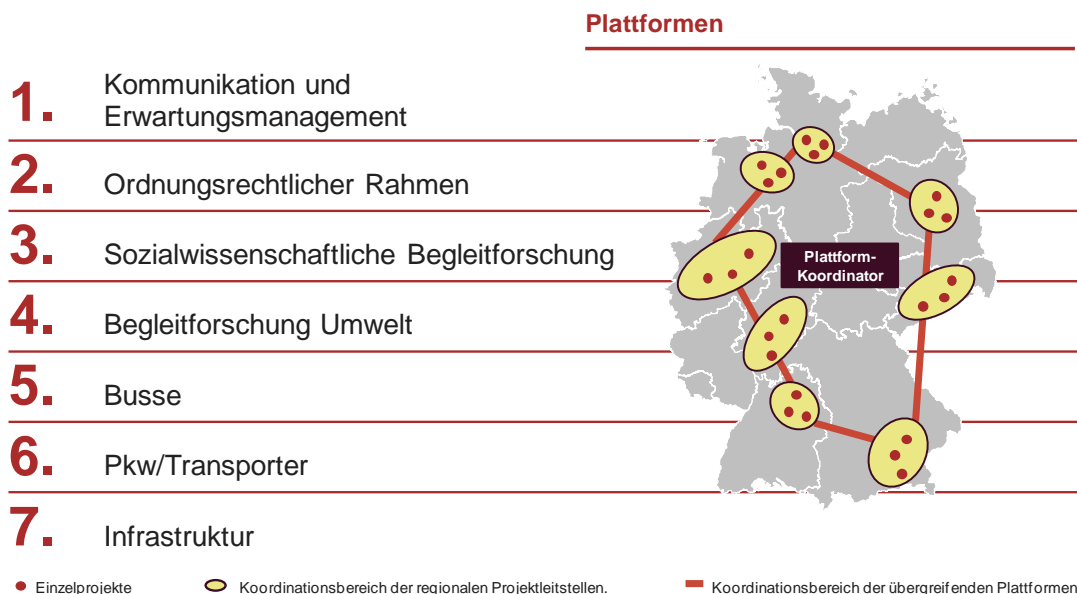
<sup>1</sup> [BMVBS <http://www.bmvbs.de/SharedDocs/DE/Artikel/UI/modellregionen-elektromobilitaet.html>]

<sup>2</sup> [BMVBS, 2009, <http://www.bmvbs.de/SharedDocs/DE/Artikel/UI/modellregionen-elektromobilitaet.html>]

<sup>3</sup> [NOW, 2011, <http://www.now-gmbh.de/de/elektromobilitaet/projektuebersicht/uebergeordnete-projekte.html>]

- Integration unterschiedlicher Verkehrsträger: Pkw, Nutzfahrzeuge, Zweiräder, Busse und Bahn
- Einbeziehung vieler Akteure, wie Hersteller, Entwickler, Nutzer, Dienstleister (z. B. Verkehrsunternehmen), Energieversorgungsunternehmen und Stadtwerke bzw. andere Betreiber von Ladeinfrastruktur,
- Untersuchung des Elektromobilitätsverhaltens unter Alltagsbedingungen, Vernetzung unterschiedlicher Anwendungen und Nutzer:  
intermodale Verkehre (wie etwa die Vernetzung von Schiene und Straße) und Mobilitätsdienstleistungen (wie beispielsweise beim Carsharing)
- Integration von Elektromobilität in private und dienstliche Mobilitätsmuster, sowie im Wirtschafts- und Lieferverkehr
- Berücksichtigung von stadtplanerischen und städtebaulichen Aspekten
- Aufbau von Ladeinfrastruktur und Gestaltung des offenen, diskriminierungsfreien Zugangs und Entwicklung und Analyse von Geschäftsmodellen.<sup>4</sup>

Die involvierten Akteure, die im Rahmen der themenspezifischen Plattformen vernetzt wurden, bearbeiten die folgenden spezifischen Themen:



**Abbildung 1 Plattformstruktur des Projektes Modellregionen Elektromobilität**

Diese sieben Plattformen ergeben eine Matrixstruktur, bei der die drei Technologiebereiche Busse, PKW/Transporter und Infrastruktur mit den Querschnittsthemen Kommunikation,

<sup>4</sup> Aspekte s. NOW-Umsetzungsbericht Mai 2011: [http://www.now-gmbh.de/fileadmin/user\\_upload/Publikationen\\_Downloads/Infomappe\\_Elektromobilitaet\\_2010\\_2011/NOW-Umsetzungsbericht\\_MR-eMob\\_2011.pdf](http://www.now-gmbh.de/fileadmin/user_upload/Publikationen_Downloads/Infomappe_Elektromobilitaet_2010_2011/NOW-Umsetzungsbericht_MR-eMob_2011.pdf)

ordnungsrechtlicher Rahmen, sozialwissenschaftliche - und Umweltbegleitforschung verknüpft werden (siehe Abbildung 2).

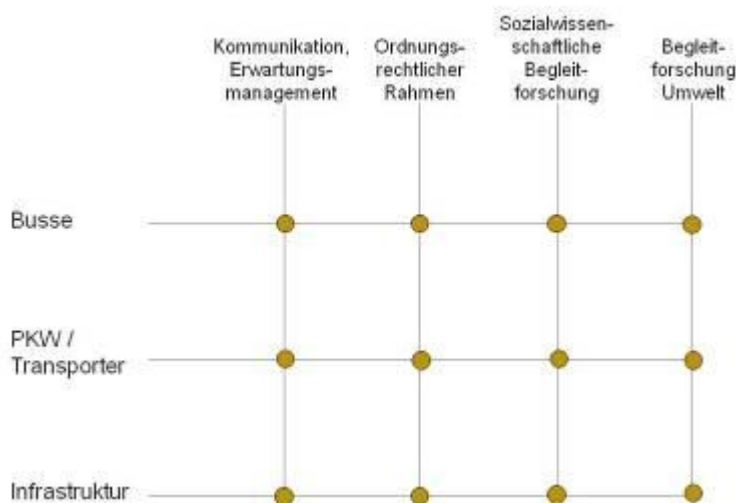


Abbildung 2 Matrixstruktur des Projekts Elektromobilität

## 2.2 Handlungsfeld Öffentlicher Verkehr

Um die deutschen Klimaschutzziele zu erreichen, wird unter anderem eine Reduktion der verkehrsbedingten Emissionen angestrebt. Der öffentliche Personennahverkehr leistet einerseits durch die Vermeidung von Fahrten des Individualverkehrs einen wichtigen Beitrag zur Reduktion von Emissionen in den Städten, andererseits verursacht er natürlich auch selbst Emissionen. Busse sind vergleichsweise schwere Fahrzeuge. Deshalb ist es hier besonders sinnvoll und effektiv, Möglichkeiten zur Reduktion von Lärm und Emissionen zu nutzen. Neben gesetzlichen Begrenzungen zur ausgestoßenen Schadstoffmenge je Fahrzeug, spielen der Einsatz von Bio-Kraftstoffen und alternativen Antriebstechnologien eine bedeutende Rolle bei der weiteren Reduktion der Emissionen des ÖPNV auf der Straße.

Ein Thema, das dem BMVBS im Bereich des öffentlichen Verkehrs besonders am Herzen liegt, ist der Elektrobus der Zukunft. Dieser Bus muss die hohe Flexibilität des heutigen Busverkehrs bieten und darf daher nicht auf umfangreiche Infrastrukturen angewiesen sein. Er muss eine hohe Energieeffizienz besitzen. Dazu gehört auch, dass die Bremsenergie bei den häufigen Abbremsvorgängen im Stadtverkehr gespeichert und wiederverwendet werden kann. Ganz wichtig ist die verstärkte Nutzung regenerativer Energien. Hierzu muss der Bus der Zukunft extern aufgeladen werden können. Entscheidende Erfolgsbedingung wird es sein, dass ein solcher Bus zu günstigen Kosten eingesetzt werden kann. Nur wenn ein Elektrobus diese Anforderungen erfüllt, kann er als Alternative zum Dieselmotorbus gesehen werden.

Das BMVBS hat für den Förderschwerpunkt *Innovative Antriebe im ÖPNV* insgesamt über 32 Mio. Euro zur Verfügung gestellt. In diesem Schwerpunkt wird die Hybridisierung von Stadtbussen und Schienenfahrzeugen ebenso untersucht wie innovative kontaktlose Energieübertragungstechniken für ÖPNV-Fahrzeuge. Dazu kommen nochmals Fördermittel in Höhe von 10 Mio. Euro des BMVBS aus dem Nationalen Innovationsprogramm Wasserstoff und Brennstoffzellentechnologie für die Erprobung einer neuen Generation von Brennstoffzellenbussen.

### **2.3 Hybridbusse**

Die Hybridantriebstechnologie kann im derzeitigen Entwicklungsstadium vor allem im innerstädtischen Verkehr mit seinen häufigen Brems- und Anfahrvorgängen einen Beitrag zur Verringerung von Emissionen und Energieverbrauch leisten. Sie ermöglicht die Wiedergewinnung (Rekuperation) von Bremsenergie durch die Umwandlung der Bremsenergie in elektrische Energie, die gespeichert und für das Wiederanfahren des Fahrzeugs genutzt werden kann. Daher bietet sich ein Einsatz von Bussen mit Hybridtechnologie in Ballungszentren als Alternative zu konventionellen Dieselnbussen an. Neben verminderten Schadstoffemissionen wird außerdem eine Reduktion der Lärmemissionen durch das leise Geräusch des elektrischen Antriebs, vor allem beim An- und Abfahren von Haltestellen, erwartet, das zusätzlich zu einer Entlastung der Anwohner führen soll. Die Hybridtechnologie stellt somit eine Übergangstechnologie auf dem Weg zu einem emissionsfreien Nahverkehr dar.

Mit etwa 26 Mio. € fördert das BMVBS die Erprobung von 11 Hybridantriebskonzepten in Stadtbussen. Mit diesen Projekten soll ermittelt werden, wie der öffentlichen Personennahverkehr in Ballungszentren seinen Kraftstoffverbrauch und damit u.a. auch seine CO<sub>2</sub>-Emissionen reduzieren kann. Ziel ist dabei die beschleunigte Markteinführung umweltfreundlicher Hybridtechnologien durch die verstärkte Beschaffung und Erprobung von Dieselnhybridbussen in den Modellregionen.

Ein wesentliches Merkmal ist hierbei der technologieoffene Ansatz, d.h. es werden unterschiedliche Antriebskonzepte - vom seriellen über den parallelen bis zum leistungsverzweigten Hybridantrieb - erprobt und evaluiert. Den Demonstrationsprojekten in den Modellregionen wird hierzu innerhalb des Förderschwerpunkts ein Begleitforschungsprogramm mit verschiedenen Einzelvorhaben beigelegt. Dieses Begleitforschungsprogramm, dessen wichtigste Ergebnisse in diesem Bericht detailliert dargestellt sind, soll allgemeingültige Ergebnisse erzielen, die für Verkehrsunternehmen und politische Entscheider im Hinblick auf den großflächigen Einsatz von Hybridbussen hilfreich sind. Das sind z. B. der Nachweis der Praxistauglichkeit und der Emissionsreduktion sowie die Einsatzmöglichkeiten unterschiedlicher Hybridtechnolo-

gien unter verschiedenen Rahmenbedingungen. Gleichzeitig sollen Optimierungspotenziale für die Fahrzeughersteller aufgezeigt werden und die Akzeptanz der Technologie bei Anwendern und Öffentlichkeit bewertet werden.

## **2.4 Innovative Antriebs- und Energieübertragungstechnologien für Nahverkehrsfahrzeuge**

### ***Hybridisierung im Schienenverkehr***

Auch im Schienenverkehr bietet die Hybridtechnologie eine Möglichkeit der Reduktion von Emissionen und Kraftstoffverbrauch. Das BMVBS fördert die Entwicklung eines der weltweit ersten Dieselhybrid-Antriebe für Nahverkehrstriebwagen mit 1,9 Millionen Euro. Projektpartner sind die DB RegioNetz GmbH und MTU Friedrichshafen (Tognum AG).

Bei diesem Antriebskonzept wird der serienmäßige dieselmechanische Antrieb eines Triebwagens der Baureihe VT 642 – das ist der häufig eingesetzte Typ Desiro classic von Siemens - durch einen dieselektrischen Antrieb mit einer leistungsfähigen Batterie ersetzt. Mit Hilfe dieses Hybridantriebs kann beim Abbremsen Energie in Strom gewandelt und dieser in der Batterie gespeichert werden. Beim Anfahren wird der Dieselmotor deutlich weniger benötigt, da hierzu die in der Batterie gespeicherte Energie genutzt werden kann. Durch diesen neuen Antrieb sollen der Dieselverbrauch und die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Normalbetrieb um zirka 20 - 30 Prozent reduziert werden. Zudem können sensible Bereiche (zum Beispiel der Tunnelbereich des Berliner Hauptbahnhofs, der Fernbahnhof Frankfurt/Main Flughafen oder der künftige City-Tunnel Leipzig) befahren werden, die normalerweise für Triebfahrzeuge mit Verbrennungsmotorantrieb gesperrt sind. Ab Mai 2012 soll das umgebaute Fahrzeug auf der Strecke Aschaffenburg - Miltenberg im Netz der Westfrankenbahn zum Einsatz kommen. Dieses Fahrzeugkonzept stellt somit ein sehr gutes Beispiel für Elektromobilität auf nicht-elektrifizierten Eisenbahnstrecken und die praktischen Möglichkeiten zur Emissionsreduzierung im Eisenbahnbetrieb dar. Bei Bewährung des Systems könnten die über 300 Triebwagen dieses Typs in Deutschland auf den Hybridantrieb umgerüstet werden.

### ***Innovative Energieübertragungstechnologien für Nahverkehrsfahrzeuge***

Ein weiteres Beispiel für Innovationen im elektromobilen öffentlichen Verkehr ist die kontaktlose Energieübertragung mittels elektromagnetischer Induktion. Mit dieser Technologie, die ein Nebenprodukt der Transrapid-Entwicklung ist, können Elektrofahrzeuge sowohl im Stand als

auch während der Fahrt auf mit Induktionsschleifen ausgerüsteten Straßen kabellos mit Energie versorgt werden. Deutsche Firmen sind Technologie- und Innovationsführer auf diesem Gebiet.

Bei der induktiven Energieübertragung wird Energie kontaktlos und sicher übertragen. Unterirdische Induktionsschleifen zwischen den Schienen oder unter der Fahrbahn erzeugen ein elektromagnetisches Feld unter dem Fahrzeug. Eine Spule am Fahrzeugboden wandelt dieses Magnetfeld wieder in elektrischen Strom um, der die Motoren des Fahrzeugs antreibt.

Das BMVBS beschäftigt sich bereits seit 2005 mit der induktiven Energieübertragung für Verkehrsmittel. Erstes Projekt war die Entwicklung eines induktiven Energieübertragungssystems für die Bordenergieversorgung auf der Transrapid Versuchsanlage Emsland (TVE), das die dort zuvor eingesetzten Stromschienen ersetzt. Im Rahmen des vom Bund finanzierten Weiterentwicklungsprogramms (WEP) für die Magnetfahrttechnik wurde hierzu das mit einer Übertragungsleistung von 2 x 250 kW bislang weltweit leistungsfähigste induktive Energieübertragungssystem entwickelt. Dieses System wurde erfolgreich bei Geschwindigkeiten von bis zu 400 km/h getestet.

In einem F&E-Projekt mit der Firma Bombardier Transportation wird ein modifiziertes Energieübertragungssystem für die Elektromobilität auf Straße und Schiene entwickelt. Entwicklung und Fertigung dieses Systems findet am Standort Mannheim statt. Dieses oberleitungsfreie Primove-System bietet eine innovative kontaktlose Stromübertragungstechnologie für Stadt- und Straßenbahnen sowie für Busse. Bei dem Primove-System werden die Primärspulen im Fahrweg nur dann eingeschaltet, wenn sich ein mit Sekundärspulen ausgerüstetes Fahrzeug über ihnen befindet. Dadurch wird eine Belastung von Passanten durch elektromagnetische Felder vermieden und der Energieverbrauch gesenkt.

Ein solches System könnte die Elektrifizierung von Bus- und Bahnstrecken einfacher, sicherer und robuster gestalten als mit der üblichen kosten- und wartungsaufwändigen Oberleitung. Dadurch können Nahverkehrssysteme auch dort elektrisch betrieben werden, wo dies bislang aus Gründen der Kosten oder der Stadtbildpflege nicht möglich war. Dies könnte zu einer weiteren Verbreitung elektrischer Fahrzeuge im Nahverkehr führen. Auf diese Weise können auch in noch stärkerem Maße regenerative Energien im Verkehr eingesetzt werden. Aus diesem Grund fördert das BMVBS die weltweit erste öffentliche Demonstrationstrecke dieses Systems im Netz der Augsburger Straßenbahn mit über 3 Millionen Euro.

Die induktive Energieübertragung ist ein Zukunftsthema für die Elektromobilität, da sie das gesteuerte Laden erleichtern sowie den Ladevorgang komfortabler und sicherer gestalten könnte. In den Städten vereinfachte sich so der Aufbau einer öffentlichen Ladeinfrastruktur.

Für die Etablierung induktiver Energieübertragungssysteme im Verkehr sind auf dem Weg zur Alltagstauglichkeit eine Reihe technischer und praktischer Herausforderungen zu lösen. Die Minimierung der gegenwärtig noch hohen Infrastrukturkosten sowie der Nachweis der Elektromagnetischen Verträglichkeit sind zentrale Herausforderungen bei der Marktvorbereitung dieser Systeme. Dies ist aus Sicht des BMVBS ein wichtiges strategisches Forschungsgebiet.

## **2.5 Ausblick**

Durch die Förderung der gezeigten Forschungsaktivitäten möchte das BMVBS den schon heute besonders umweltverträglichen öffentlichen Verkehr noch umweltverträglicher gestalten. Durch gezielte Fördermaßnahmen, wie sie im Rahmen der Modellregionen Elektromobilität erfolgreich umgesetzt wurden, leistet das BMVBS so einen wirkungsvollen Beitrag, um die Entwicklung und die bundesweite Einführung der neuen Technologien weiter voranzutreiben.

### **3 Ziele der Plattform „Innovative Antriebe Bus“ im Rahmen der Modellregionen Elektromobilität**

Die Plattform „*Innovative Antriebe Bus*“ wurde gegründet, um die verschiedenen Projekte im Bereich Hybridbustechologie in den vom BMVBS geförderten Modellregionen abzustimmen, einen Austausch zwischen den Projekten zu ermöglichen und die Ergebnisse für involvierte Interessenten bereit zu stellen. Im Bereich des Einsatzes von Hybridbussen soll die übergeordnete Plattform insbesondere die vom BMVBS verfolgte Strategie für einen nachhaltigen ÖPNV und eine wachsende Akzeptanz der Hybridtechnologie und generell der E-Mobilität in der breiten Öffentlichkeit unterstützen. Zudem sollen mit den Erkenntnissen der Plattform im Rahmen des Förderprogramms für Modellregionen des BMVBS die Fahrzeug- und Komponentenhersteller bei der Entwicklung innovativer Hybridantriebskonzepte unterstützt werden und schließlich Markimpulse zur Stärkung der Nachfrage für Hybridantriebe im ÖPNV mit Bussen geschaffen werden.

Nach der gemeinsamen Bewertung der quantitativen und qualitativen Ergebnisse, die im Rahmen der Plattform zusammengetragen und dokumentiert wurden, können so abgestimmte Aussagen gegenüber Politik, Kommunen, Busunternehmen und Öffentlichkeit erarbeitet werden. Ziel ist es dabei, die klimaschutzbezogenen Vorteile zu betonen und eine wachsende Zahl von Nutzern von dieser Bustechnologie zu überzeugen. Inhalt der Plattform ist die Evaluierung der Praxistauglichkeit der eingesetzten Technologien, die herstellerunabhängige Ermittlung realisierbarer Verbrauchs- und Emissionseinsparungen und die Identifizierung ökologischer Optimierungspotentiale durch den Einsatz von Dieselhybridbussen im ÖPNV.

Mit Hilfe der Plattform konnte auch eine gute Vernetzung von Vorhaben zu Hybridbussen und rein elektrischen Antriebstechnologien für den ÖPNV, die aus Bundesmitteln ko-finanziert wurden mit Projekten, die über Landesmittel gefördert wurden, erreicht werden. So hat zum Beispiel das Land Nordrhein-Westfalen (NRW) im Jahr 2009 10 Mio. € dem Verkehrsverbund Rhein-Ruhr als Fördermittel zur Verfügung gestellt, mit denen 21 Dieselhybridbusse angeschafft wurden<sup>5</sup>. Diese 21 Busse waren ein wesentlicher Bestandteil der Begleituntersuchungen im Rahmen der Busplattform. Die entsprechende Begleitforschung innerhalb des VRR wurde hierzu vom BMVBS mit etwa 860.000 € gefördert.

---

<sup>5</sup> In Summe werden in NRW bis zum Jahr 2012 etwa 30 Mio. € für die Beschaffung von Dieselhybridbussen bereitgestellt, die die Beschaffung von voraussichtlich insgesamt 73 Hybridbusse im VRR ermöglichen.

## 4 Struktur und Organisation der Plattform

Die Plattform „Innovative Antriebe Bus“ bildete den organisatorischen Rahmen, in dem die Ergebnisse aus dem Linienbetrieb verschiedener Dieselhybridbusse in den teilnehmenden Modellregionen in Form von Erfahrungen und Betriebs- und Messdaten kontinuierlich zusammengetragen wurden. Im Folgenden werden die Organisationsstruktur und Arbeitsinhalte sowie Begleitforschungsaktivitäten der Plattform vorgestellt.

### 4.1 Plattformteilnehmer

Die Plattform besteht aus Vertretern von 21 deutschen Nahverkehrsunternehmen und Verkehrsverbänden aus den Modellregionen Hamburg, Bremen, Rhein-Ruhr, Rhein-Main, Sachsen, Stuttgart und München. Des Weiteren arbeiten Experten von sechs Busherstellern sowie zwei Produzenten von Komponenten und Systemen für Hybridbusse in der Plattform themenzentriert zusammen. Ergänzt wird dieses Expertenteam durch Mitarbeiter von wissenschaftlichen Instituten wie dem Institut für Kraftfahrzeuge (ika) der RWTH Aachen, dem Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme, der TU Darmstadt, der Energieagentur NRW und dem TÜV Nord, die einzelne Verkehrsunternehmen bei der technischen und betrieblichen Bewertung des Fahrzeugeinsatzes unterstützen. Zudem sind das BMVBS, Vertreter der regionalen Projektleitstellen der Modellregionen und der Verband der Deutschen Verkehrsunternehmen (VDV) an der Busplattform beteiligt. So wurde ein Expertengremium mit hoher Expertise und unter Einbindung aller relevanten Interessengruppen aufgebaut.

Die fachliche und administrative Koordination der Aktivitäten erfolgte durch die Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NOW GmbH) und die hySOLUTIONS GmbH. Zur Erfassung der Daten und ihrer nachfolgenden Auswertung und Analyse wurde die PE INTERNATIONAL AG eingebunden. Art und Umfang der Datensammlung und -auswertung wurden im Rahmen der Busplattform zwischen den beteiligten Partnern abgestimmt. Für ihre Zusammenarbeit und die daraus resultierenden jeweiligen Rechte und Pflichten haben die Partner eine entsprechende Kooperationsvereinbarung abgeschlossen.

Abbildung 3 zeigt die Teilnehmer im Überblick. Insgesamt wirkten 40 Unternehmen und Institutionen an der Busplattform mit. Eine komplette Liste aller Teilnehmer der Plattform findet sich am Anfang des Berichtes auf Seite 2.

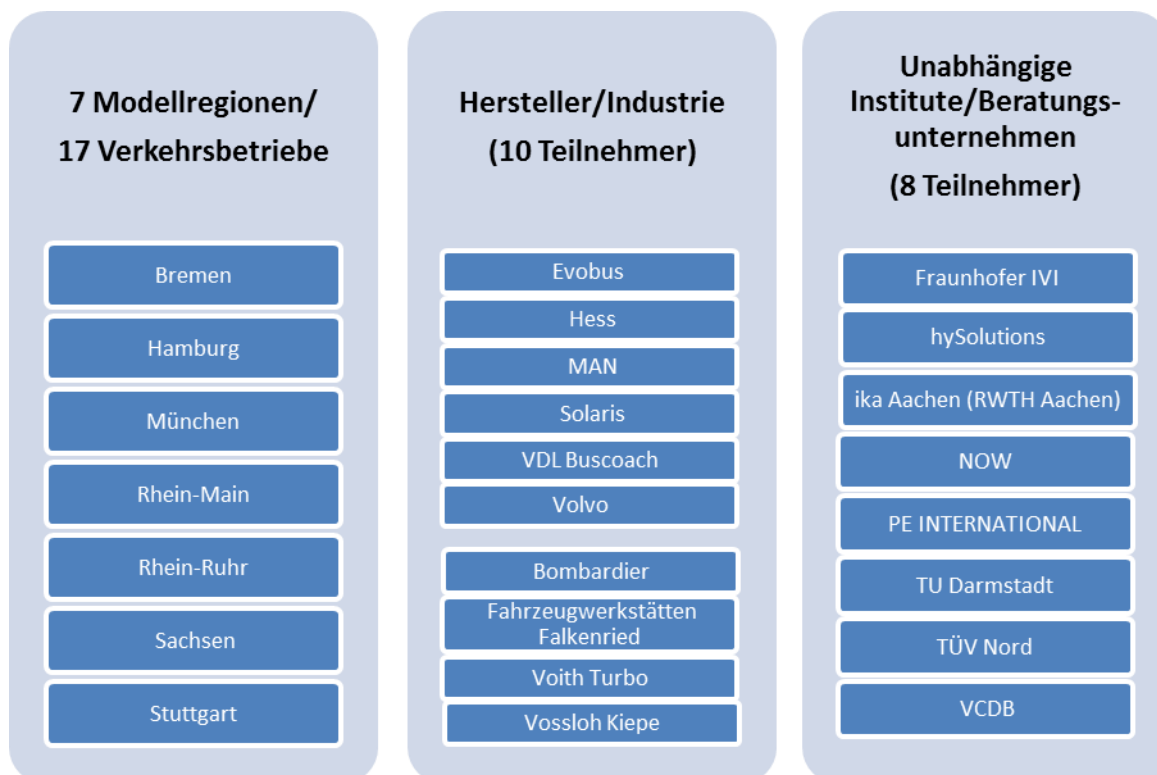


Abbildung 3 Teilnehmer der Busplattform

## 4.2 Inhalte der Plattform

Im Fokus der Arbeit der Busplattform stand die Dokumentation und Auswertung der Erprobung von Hybridbussen im Alltagsbetrieb bei Verkehrsunternehmen aus sieben Modellregionen. Daraus wurden technische und betriebliche Optimierungspotenziale abgeleitet. Mit einem Testfeld von 59 Dieselhybridbussen wurde im Rahmen der Busplattform einer der aktuell größten verfügbaren Datenpools in Europa zu dieser Antriebstechnologie ausgewertet. Dieser Bericht stellt eine erste Bestandsaufnahme in einem insgesamt sehr dynamischen Entwicklungsprozess dar. Die im Rahmen der Busplattform gemeinsam ermittelten und aggregierten Erkenntnisse erlauben es erstmalig, systematisch Praxistauglichkeit und Klimaschutzzvorteile von Hybridbussen zu bewerten. Um diese Bewertung zu ermöglichen, wurde im Rahmen der Plattform ein Kriteriensystem entwickelt, mit dem kontinuierlich Daten aus dem Betrieb erhoben und analysiert wurden. Ergebnisse aus dieser Datenerfassung sowie aus den weiteren, parallel laufenden Messungen wurden im Kreise der Plattform vorgestellt und von den Teilnehmern diskutiert und bewertet. Die Diskussion der Ergebnisse diente ebenso dazu, Ableitungen zu möglichen technologischen und betrieblichen Optimierungen (Einsatzprofile etc.) vorzunehmen.

Die Busplattform hat ihre Aktivitäten im November 2009 aufgenommen. Bis September 2011 trafen sich die Teilnehmer regelmäßig zu ganztägigen Veranstaltungen, um u.a. folgende Inhalte zu diskutieren:

- aktueller Umsetzungsstand der Projekte in den Modellregionen,
- Evaluation des technischen und betrieblichen Leistungsstandes der eingesetzten Hybridbusse,
- Fragestellungen zu Aus- und Weiterbildung von Technikmitarbeitern in der Hochvolttechnologie,
- zukünftige Anforderungen an die Buswerkstätten (Sicherheit, Ergonomie, Abläufe).

### 4.3 Vertraulichkeit und Kooperationsvereinbarung (NOW)

Auf Wunsch der Plattformteilnehmer wurde eine Kooperationsvereinbarung entwickelt, die die Aktivitäten sowie die Rechte und Pflichten der Partner im Rahmen der Plattform regelt.

Die Inhalte der Kooperationsvereinbarung sind:

- § 1 Vereinbarungsgegenstand und gemeinsame Ziele
- § 2 Funktion, Aufgaben und Struktur der Plattform
- § 3 Datenerfassung (Clean Room)
- § 4 Öffentlichkeitsarbeit
- § 5 Laufzeit des Kooperationsvertrages
- § 6 Arbeitsergebnisse und Informationsaustausch
- § 7 Vertraulichkeit, Geheimhaltung gegenüber Dritten
- § 8 Haftung
- § 9 Ausgaben und Kosten
- § 10 Eintritt neuer Partner und Ausscheiden eines Partner
- § 11 Mitteilungen
- § 12 Schlussbestimmungen, Sonstiges



Abbildung 4 Präambel der Kooperationsvereinbarung

## 4.4 Vorhaben in den Modellregionen

### 4.4.1 Vorstellung Einzelprojekte in den Modellregionen

In sieben Modellregionen Elektromobilität wurde der Einsatz von Dieselhybridbussen im Stadtverkehr erprobt. Insgesamt nahmen 17 Verkehrsbetriebe an dem Feldversuch teil.

Abbildung 5 zeigt die teilnehmenden Verkehrsbetriebe und die Anzahl der dort eingesetzten Hybridbusse.

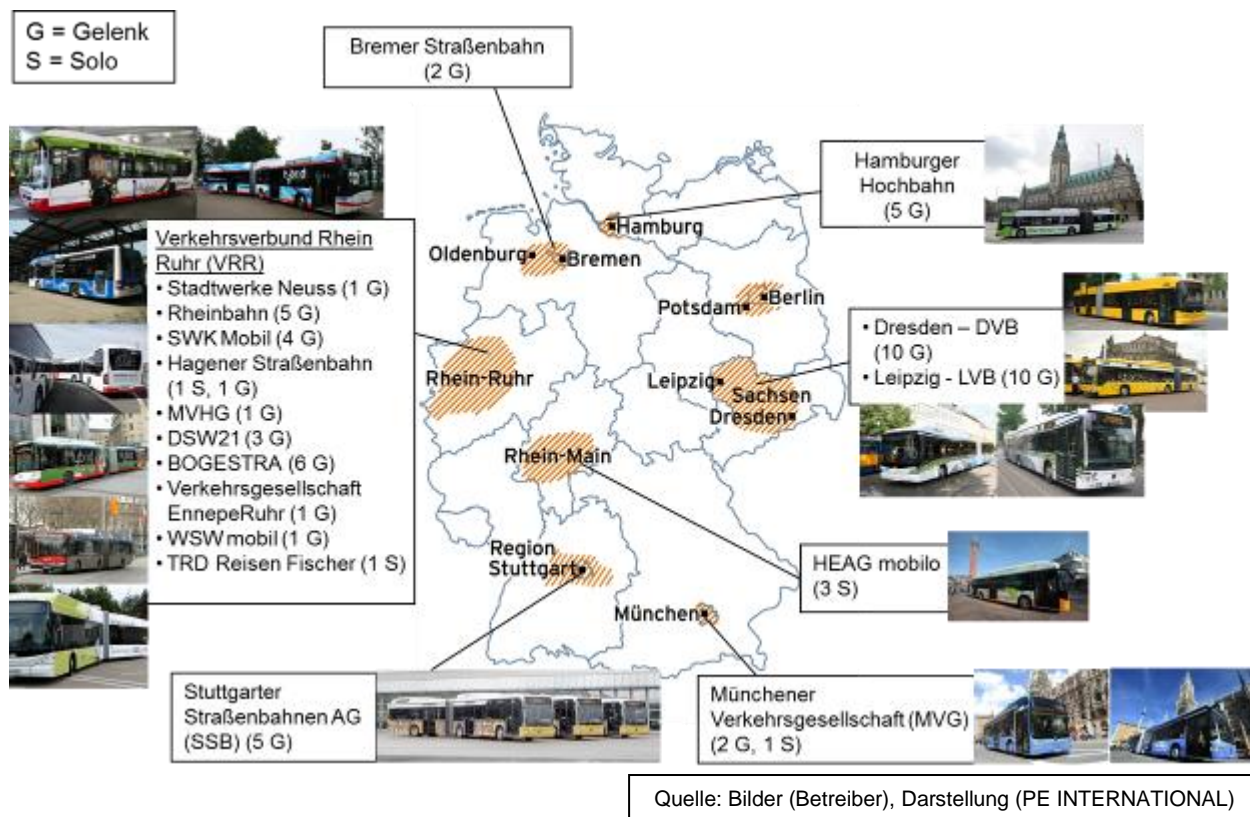







Abbildung 5 Die 17 teilnehmenden Busbetreiber aus sieben Modellregionen im Überblick

Die einzelnen Projekte in den Modellregionen werden im Folgenden tabellarisch dargestellt.

<b>Modellregion Hamburg</b>		
<b>Projekttitlel</b>	Modul 1 Dieselhybridbusse	
<b>Organisation</b>	Hamburger Hochbahn AG (HOCHBAHN)	
<b>Busse</b>	5 Mercedes-Benz Citaro BlueTec Hybrid Gelenkbusse mit seriellem Dieselhybridantrieb	
	<u>Lieferung</u> Busse 1 & 2: März 2010 Busse 3-5: 30.3.2011	<u>Beginn Linienbetrieb</u> Bus 1 & 2: April 2010 Bus 3-5: Mai 2011
<b>Inhalt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Praxiserprobung und technische Betreuung der Dieselhybridbusse sowie Evaluierung zum Stand der Technik und Betriebstauglichkeit</li> <li>• Optimierung der Instandhaltungsfreundlichkeit</li> <li>• Schulung der Mitarbeiter im Fahrdienst und in der Technik</li> <li>• Öffentlichkeitsarbeit und Stärkung der Wahrnehmung für die Technologie</li> </ul>	
<b>Partner</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Daimler Buses (EvoBus GmbH)</li> <li>• FFG Fahrzeugwerkstätten Falkenried GmbH</li> <li>• hySOLUTIONS GmbH</li> </ul>	
<b>Projektsumme</b>	3,8 Mio. €	
<b>Fördermittel</b>	1,3 Mio. €	
	<p>„Im Rahmen der Zukunftsstrategie der HOCHBAHN spielt die Umstellung unserer Busflotte auf emissionsarme und leise Hybridantriebe eine wesentliche Rolle auf dem Weg zur nachhaltigen Elektromobilität. Im Fokus stehen dabei die weitere Verbesserung der Umweltbilanz als auch eine rechtzeitige Ausrichtung auf die zu erwartende zunehmend reduzierte Verfügbarkeit fossiler Treibstoffe in der nächsten Dekade. Zudem unterstützen die Dieselhybridbusse das laufende Engagement der HOCHBAHN für eine bessere Luftqualität in Hamburg und bieten den Fahrgästen mehr Komfort. Auch aus technischer Sicht trägt eine frühzeitige Erprobung von Dieselhybridbussen dazu bei, dass gut ausgebildete Mitarbeiter die technischen Innovationen beherrschen und die neuentwickelten Komponenten und Systeme in enger Zusammenarbeit mit der Fahrzeugindustrie weiter optimiert werden können.“</p> <p><i>Ulrich Sieg, Mitglied des Vorstandes der HOCHBAHN</i></p>	

<b>Modellregion Bremen/ Oldenburg</b>		
Projekttitlel	Erprobung von zwei Gelenkbussen mit Diesel-Elektrischem Antrieb und Elektrospeicher & Vergleich mit konventionell angetriebenen Bussen im Linieneinsatz	
Organisation	Bremer Straßenbahnen AG	
Busse	2 Mercedes-Benz Citaro Bluetec Hybrid Gelenkbusse mit seriellem Dieselhybridantrieb	
	<u>Lieferung</u> 30.3.2011	<u>Beginn Linieneinsatz</u> 12.07.2011
Inhalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fahrzeuge: Beschaffung, Ausrüstung, Schulung, Betriebsplanung, Instandhaltung</li> <li>• Linieneinsatz und Testfahrten: Linieneinsatz, Zwillingsstest, tägliche Datenerfassung</li> <li>• Daten: Spezifikation der zu erfassenden Daten, Logging der Daten und Vorauswertung</li> </ul>	
Partner	<ul style="list-style-type: none"> <li>• personal mobility center (pmc) Projektleitstelle</li> <li>• Fraunhofer IFAM</li> <li>• Senator für Umwelt, Bau und Verkehr (SUBV)</li> <li>• Deutsches Forschungszentrum für künstliche Intelligenz GmbH (DFKI)</li> </ul>	
Projektsumme	1,4 Mio. €	
Fördermittel	0,7 Mio. €	
	<p>„Steigende Energiepreise und die Endlichkeit der Verfügbarkeit fossiler Treibstoffe rücken im ÖPNV immer mehr die Frage in den Mittelpunkt, wie die Energieeffizienz weiter verbessert werden kann. Die Hybridtechnik wird dazu einen wichtigen Beitrag leisten. Moderne Busse mit Hybridantrieb stehen für eine weitere Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs, Ressourcenschonung und eine nochmals verbesserte Emissionsbilanz im Linienverkehr. Ziel ist die Erprobung und Weiterentwicklung der heute verfügbaren „Seriellen Hybridtechnologie“ mit partiell rein elektrischem Fahrbetrieb im Linieneinsatz, um die Technologie zur Marktreife zu bringen um dadurch eine schnelle Markteinführung zu ermöglichen.“</p> <p><i>Michael Hünig, Mitglied des Vorstandes der BSAG</i></p>	



<b>Modellregion Rhein-Ruhr</b>		
<b>Projekttitlel</b>	Forschungsbegleitung für den Einsatz von Hybridlinienbussen im Verkehrsverbund Rhein-Ruhr	
<b>Organisation</b>	Institut für Kraftfahrzeuge (ika) der RWTH Aachen	
<b>Busse</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5 Gelenkbusse von Evobus bei 2 Verkehrsunternehmen</li> <li>• 8 Gelenkbusse von Hess/Vossloh-Kiepe bei 5 Verkehrsunternehmen</li> <li>• 1 Solobus von MAN bei 1 Verkehrsunternehmen</li> <li>• 6 Gelenkbusse von Solaris bei 3 Verkehrsunternehmen</li> <li>• 1 Solobus von Volvo bei 1 Verkehrsunternehmen</li> </ul>	
	<u>Lieferung</u> Januar - August 2010	<u>Beginn Linienbetrieb</u> Frühjahr/Sommer 2010 bis Frühjahr 2011
<b>Inhalt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ermittlung von Abgas- und Geräuschemissionen von Hybridbussen fünf unterschiedlicher Hersteller im Linienbetrieb im Vergleich zu konventionellen Referenzfahrzeugen</li> <li>• Evaluierung des Kraftstoffeinsparpotenzials sowie der Fahrzeugzuverlässigkeit auf Basis einer linien- und fahrzeugbezogenen Tankdatenerfassung</li> <li>• Akzeptanzbefragung von Fahrgästen, Passanten &amp; Fahrern</li> <li>• Aussagen zu einzelnen Kraftstoffverbrauchseinflüssen und Beurteilung von Einsatzprofilen auf Basis von Simulationen</li> </ul>	
<b>Partner</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TÜV Nord Mobilität GmbH &amp; Co.KG</li> <li>• Verkehrsverbund Rhein-Ruhr AöR</li> </ul>	
<b>Projektsumme</b>	1,1 Mio. €	
<b>Fördermittel</b>	0,7 Mio. €	



„Innovationen sind eine wichtige Grundlage des Erfolges unseres Verbundes. Daher lag es im Jahr 2008 angesichts fortschreitender Luftreinhaltepläne und steigender Rohstoffpreise nahe, die vielversprechende aber noch nicht serienreife Hybridtechnologie für den Antrieb von Omnibussen zu fördern: Hybridbusse wurden als „Innovative Projekte zur Verbesserung des ÖPNV“ in den Förderkatalog für Landesmittel nach §12 ÖPNVG NRW aufgenommen. Die Modernisierung der Busflotte im VRR war ein wichtiger Aspekt unserer Initiative, daneben setzten wir die Förderung gezielt ein, um die Serienreife der Fahrzeuge und die Senkung der Anschaffungskosten zu beschleunigen. Die Forschungsbegleitung des Projektes erbringt für unsere und alle anderen Verkehrsunternehmen den Vorteil objektiver Kriterien ob und unter welchen Umständen der Einsatz der Technologie sinnvoll und ökonomisch ist. Nach der dritten Förderwelle werden wir mit 70 Fahrzeugen die größte deutsche Hybridbusflotte im Linieneinsatz haben. Inzwischen hat sich die Technologie deutlich weiterentwickelt und überwiegend bewährt – wir sind stolz einen Beitrag dazu geleistet zu haben.“

*Martin Husmann, Vorstandssprecher Verkehrsverbund Rhein-Ruhr*


<b>Modellregion Rhein-Main</b>		
Projekttitel	Green Move – Hybridbusse in Darmstadt	
Akronym	GreenMove	
Organisation	HEAG mobilo	
Busse	3 VDL Citea SLF Hybridbusse	
	<u>Lieferung</u> Mai 2011	<u>Beginn Linienbetrieb</u> September 2011
Inhalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Praxiseinsatz von 3 seriellen Dieselhybridbussen</li> <li>• Forschungsbegleitung des Linieneinsatzes</li> <li>• Akzeptanzuntersuchungen</li> <li>• Simulation eines Hybridantriebsstrangs zur energetischen Optimierung</li> </ul>	
Partner	<ul style="list-style-type: none"> <li>• VDL</li> <li>• Vossloh-Kiepe</li> <li>• TU Darmstadt</li> </ul>	
	<p>„Elektromobilität hat bei uns seit mehr als hundert Jahren Tradition. In Darmstadt fahren die Straßenbahnen seit 1897 elektrisch. Sparsame, saubere und leise Fahrzeuge machen den ÖPNV attraktiv – das gilt insbesondere für städtische Bereiche wie Fußgängerzonen und emissionsensible Wohngebiete. Mit dem Forschungsprojekt „Green Move“ haben wir erstmals Gelegenheit, Hybridbusse zu testen und die Hybridtechnik mit weiterzuentwickeln.“</p> <p><i>Karl-Heinz Holub, Geschäftsführer HEAG mobilo, Darmstadt</i></p>	



<b>Modellregion Sachsen</b>								
Projekttitlel	SaxHybrid – Einsatz serieller Hybridbusse mit partiell rein elektrischem Antrieb							
Akronym	SaxHybrid							
Organisation	Leipziger Verkehrsbetriebe (LVB), Dresdner Verkehrsbetriebe (DVB)							
Busse	<p><u>LVB:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 7 HESS Vossloh-Kiepe Dieselhybrid Gelenkbusse BGH-N2C</li> <li>• 3 Mercedes-Benz Citaro Bluetec Hybrid Gelenkbusse</li> </ul> <p><u>DVB:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 8 Mercedes-Benz Citaro Bluetec Hybrid Gelenkbusse</li> <li>• 2 HESS Vossloh-Kiepe Dieselhybrid Gelenkbusse BGH-N2C</li> </ul> <table border="1" data-bbox="555 943 1417 1064"> <tr> <td data-bbox="555 943 959 987"> <u>Lieferung</u> </td> <td data-bbox="959 943 1417 987"> <u>Beginn Linienbetrieb</u> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="555 987 959 1021">           LVB: Mai-Juli 2011         </td> <td data-bbox="959 987 1417 1021">           LVB: Mai-Juli 2011         </td> </tr> <tr> <td data-bbox="555 1021 959 1064">           DVB: Mai 2011         </td> <td data-bbox="959 1021 1417 1064">           DVB: Juni 2011         </td> </tr> </table>		<u>Lieferung</u>	<u>Beginn Linienbetrieb</u>	LVB: Mai-Juli 2011	LVB: Mai-Juli 2011	DVB: Mai 2011	DVB: Juni 2011
<u>Lieferung</u>	<u>Beginn Linienbetrieb</u>							
LVB: Mai-Juli 2011	LVB: Mai-Juli 2011							
DVB: Mai 2011	DVB: Juni 2011							
Inhalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gewinnung von Erfahrungen beim Flotteneinsatz</li> <li>• Messtechnische Begleitung mit Schwerpunkt Kraftstoffverbrauch und Instandhaltung</li> <li>• Technische Optimierung der eingesetzten Fahrzeuge</li> <li>• Ermittlung des Potenzials für den Einsatz v. Hybridbussen &amp; Erarbeitung v. Empfehlungen für den zukünftigen Einsatz</li> <li>• Erarbeitung eines standardisierten Verfahrens für ein selbstlernendes Energiemanagement</li> <li>• Schaffung infrastruktureller Grundlagen für die externe Energieversorgung an Haltestellen und Endpunkten</li> </ul>							
Partner	VCDB, Fraunhofer IVI							
Projektsumme	8,5 Mio. €							
Fördermittel	4,2 Mio. €							
	<p><u>LVB:</u> „Mit Hybridantrieben befördern wir, die Leipziger Verkehrsbetriebe, die Entwicklung der Elektromobilität im Busverkehr und arbeiten an weiteren Kraftstoffeinsparungen und der Erhöhung der Energieeffizienz. Leise und abgasarme Motoren ergänzen so im Raum Leipzig unser elektrisches Straßennetz und machen den ÖPNV weiter zukunftsfähig. Der gegenwärtige Mehrpreis für Hybridbusse und die erreichten Einsparpotentiale lassen ihren wirtschaftlichen Betrieb jedoch noch nicht zu. Deshalb ist die Förderung durch die öffentliche Hand notwendig und willkommen.“</p> <p><i>Dr. Sabine Groner-Weber, Ronald Juhrs und Ulf Middelberg (Sprecher), Geschäftsführung der Leipziger Verkehrsbetriebe (LVB) GmbH</i></p>							



DVB: „Als Ergänzung zur quasi emissionsfreien Stadtbahn tragen auch die Hybridbusse sehr zur Luftverbesserung in der Dresdner Innenstadt bei. Sie sind leise, für Fahrgäste und Fahrer bequem und können schon heute Teilstrecken rein elektrisch zurücklegen. Wir sehen diese Fahrzeuge als Zwischenlösung bei der Entwicklung vom klassischen Diesibus zu fahrleitungsfreien Elektrobussen an. Wegen seiner intensiven Nutzung ist der ÖPNV dabei ein idealer Praxispartner für die Hersteller. Durch die gewonnenen Erkenntnisse erhoffen wir uns eine weitere Verbesserung der Energieeffizienz dieser Fahrzeuge. Außerdem sind die Hersteller gefordert, zum Beispiel durch Fertigung größerer Stückzahlen, Hybridbusse in Zukunft günstiger als bisher anzubieten und damit deren Wirtschaftlichkeit noch zu erhöhen.“

*Hans Jürgen Credé und Reiner Zieschank, Vorstand der DVB*

<b>Modellregion</b>  <b>Stuttgart</b>		
Projekttitel	S-Hy-Bus - Dieselhybridbusse für Stuttgart	
Akronym	S-Hy-Bus	
Organisation	SSB AG	
Busse	5 Mercedes-Benz Citaro BlueTec Hybrid Gelenkbusse	
	<u>Lieferung</u> Sommer/Herbst 2010	<u>Beginn Linienbetrieb</u> August-November 2010
Inhalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Praxiseinsatz der Fahrzeuge zur Erfahrungssammlung</li> <li>• Änderungen der Werkstattausstattung</li> <li>• Erweiterung der Qualifikation des KFZ-Mechatronikers gemeinsam mit IHK, Wartungspersonal- und Fahrerschulung</li> <li>• Kommunikationsmaßnahmen für die öffentliche Wahrnehmung der Elektromobilität</li> <li>• Verbrauchs- und Emissionsmessungen (durch TÜV Nord)</li> <li>• Lebenszyklusanalyse durch PE INTERNATIONAL</li> </ul>	
Partner	PE INTERNATIONAL AG TÜV Nord	
Projektsumme	2,7 Mio. €	
Fördermittel	1,3 Mio. €	
	<p>„Das Projekt hat zum Ziel, Elektromobilität in Stuttgart im öffentlichen Personennahverkehr zu erproben und Erkenntnisse im praxisnahen Betrieb zu gewinnen. Elektromobilität soll erlebbar gemacht werden und mehrere Ziele auf regionaler und überregionaler Ebene adressiert werden. Regional sind Emissionen, Treibstoffverbrauch und Lärm zu reduzieren, überregional gilt es, einen Beitrag zu Klimaschutz, Ressourcenschonung und zur Sicherung von Arbeitsplätzen in Deutschland zu leisten. Die Erkenntnisse aus dem Projekt werden in die von der SSB verfolgte Strategie für einen nachhaltigen ÖPNV sowie in die Öffentlichkeitsarbeit der SSB einfließen und für vermehrte Akzeptanz der Hybridtechnologie und der E-Mobilität in der breiten Öffentlichkeit sorgen. Die Ermittlung realisierbarer Verbrauchs- und Emissionseinsparungen dient zur Identifizierung von Optimierungspotentialen. Das Projekt dient auch zur Einschätzung des Wartungsaufwandes und der Zuverlässigkeit der Technologie.“</p> <p><i>Wolfgang Arnold, Technischer Vorstand SSB AG</i></p>	

<b>Modellregion München</b>										
<b>Projekttitlel</b>	Hybridbusse									
<b>Organisation</b>	Stadtwerke München GmbH, Unternehmensbereich Verkehr									
<b>Busse</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 Solaris Urbino 18 Hybrid, Gelenkbus mit parallelem Dieselhybridantrieb</li> <li>• 1 MAN Lion's City Hybrid, 12 m Bus mit seriellem Dieselhybridantrieb</li> <li>• 1 Mercedes-Benz Citaro Bluetec Hybrid, Gelenkbusse mit seriellem Dieselhybridantrieb</li> </ul> <table border="1" data-bbox="624 965 1410 1122"> <thead> <tr> <th data-bbox="624 965 1015 1003"><u>Lieferung</u></th> <th data-bbox="1015 965 1410 1003"><u>Beginn Linienbetrieb</u></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="624 1003 1015 1041">Solaris: August 2008</td> <td data-bbox="1015 1003 1410 1041">Solaris: 26.8.2008</td> </tr> <tr> <td data-bbox="624 1041 1015 1079">MAN: Mai 2010</td> <td data-bbox="1015 1041 1410 1079">MAN: 2.11.2010</td> </tr> <tr> <td data-bbox="624 1079 1015 1117">Mercedes: März 2011</td> <td data-bbox="1015 1079 1410 1117">Mercedes: 13.4.2011</td> </tr> </tbody> </table>		<u>Lieferung</u>	<u>Beginn Linienbetrieb</u>	Solaris: August 2008	Solaris: 26.8.2008	MAN: Mai 2010	MAN: 2.11.2010	Mercedes: März 2011	Mercedes: 13.4.2011
<u>Lieferung</u>	<u>Beginn Linienbetrieb</u>									
Solaris: August 2008	Solaris: 26.8.2008									
MAN: Mai 2010	MAN: 2.11.2010									
Mercedes: März 2011	Mercedes: 13.4.2011									
<b>Inhalt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Praxiserprobung eines Hybridbusses mit Dieselmotor, seriellem Antrieb</li> <li>• Vergleich dreier Hybridkonzepte</li> </ul>									
	<p>„Ziel des Projektes ist die Erprobung von verschiedenen Hybridbussystemen im ÖPNV und vor allem die Effizienzsteigerung des Busverkehrssystems um damit mittelfristig weniger abhängig von fossilen Brennstoffen zu sein. Verbunden damit wird die Erwartung zur Verbesserung der globalen und lokalen Umweltverträglichkeit einerseits durch Reduzierung des Verbrauchs und daran geknüpft die Reduzierung der Kohlendioxidemission und andererseits die Reduzierung von Abgas (NOx, PM, usw.) und Geräuschemissionen.</p> <p>Ermittelt werden sollte im Rahmen eines technologieoffenen Ansatzes die Eignung von seriellem, parallelem und leistungsverzweigtem Hybrid in Kombination mit unterschiedlichen Speichermedien.</p> <p>Der gemeinsame Praxisversuch von Herstellern und Betreiber dient auch der Ermittlung von weiteren Optimierungspotentialen zur Steigerung der Umweltverträglich- und Wirtschaftlichkeit sowie zur Förderung der Marktreife.“</p> <p><i>Otto Schultze, MVG Geschäftsführer</i></p>									

#### 4.4.2 Fahrzeuge in den Modellregionen

In sieben von acht Modellregionen wurden insgesamt 63 Dieselhybridbusse (Stand Oktober 2011) von sechs Herstellern eingesetzt<sup>6</sup>. Die Datenbasis bildeten insgesamt 59 Dieselhybridbusse (Stand Oktober 2011) von fünf Herstellern<sup>7</sup>. Zwölf der siebzehn teilnehmenden Verkehrsunternehmen betreiben Hybridbusse mehrerer Hersteller. Zwei Unternehmen betreiben eine gemischte Flotte aus Bussen mit seriellen, parallelen oder leistungsverzweigten Hybridantrieben, zwölf nur serielle Antriebe und drei nur Busse mit parallelem Antrieb.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die eingesetzten Fahrzeuge und ihre wichtigsten technischen Merkmale.

**Tabelle 1** Übersicht über die in den Modellregionen eingesetzten Hybridbusse

							
<b>Hersteller</b>	<b>EvoBus</b>	<b>Hess</b>	<b>MAN</b>	<b>Solaris/Allison</b>	<b>Solaris/Voith</b>	<b>Volvo</b>	<b>VDL</b>
<b>Bustyp</b>	Gelenkbus	Gelenkbus	Solobus	Gelenkbus	Gelenkbus	Solobus	Solobus
<b>Hybridtechnologie</b>	seriell	seriell	seriell	leistungs- verzweigt	parallel	parallel	seriell
<b>Antriebsleistung Dieselmotor</b>	160 kW	220 kW	184 kW	184 kW	184 kW	161 kW	152 kW
<b>Antriebsleistung el. Motor</b>	4 x 80 kW	2 x 120 kW	2 x 75 kW	2 x 80 kW	150 kW	1 x 70 kW	2 x 60 kW
<b>Energiespeichertyp</b>	Li-Ionen- Batterie	Supercap	Supercap	Nickel- Metallhydrid- Batterie	Supercap	Li-Ionen- Batterie	Supercap
<b>Energieinhalt</b>	26 kWh	1,1 kWh	0,4 kWh	11,2 kWh	0,5 kWh	4,8 kWh	0,82 kWh
<b>Anzahl Fahrzeuge</b>	30	17	2	7	3	1	3
<b>Einsatz in</b>	Hamburg, Bremen, München, Rhein-Ruhr, Sachsen, Stuttgart	Rhein-Ruhr, Sachsen	Rhein-Ruhr, München	Rhein-Ruhr, München	Rhein-Ruhr	Rhein-Ruhr	Rhein-Main

Bei den eingesetzten Dieselhybridbussen handelt es sich um Fahrzeuge aus ersten Kleinserien. Da die technische Reife der Hybridfahrzeuge heute noch nicht der Reife der konventio-

<sup>6</sup> Es wurden auch Busse eingesetzt und ausgewertet, die nicht unter die Förderung des BMVBS fallen.

<sup>7</sup> Für 4 Fahrzeuge lagen zum Zeitpunkt der Berichterstellung noch keine belastbaren Daten vor.

nellen Dieselsechnik entspricht, findet eine intensive Zusammenarbeit der Hersteller und Betreiber statt, sodass die Erfahrungen möglichst schnell in die Optimierung der Produkte einfließen können.

Hier zeigt sich die Stärke des Konzepts der Plattform „Innovative Antriebe Bus“, da die Zusammenarbeit gebündelt wurde und in einem konstruktiven Dialog von Nutzern und Herstellern auf eine große Zahl unterschiedlicher Daten und Erfahrungswerte gemeinsam zugegriffen werden konnte.

Neben den Projekten in den Modellregionen hatten die Hersteller Voith und Evobus auch eigene Projekte, die mit den Projekten der Modellregionen verknüpft waren und zur Forschung und Entwicklung der Hybridantriebskomponenten dienten. Diese werden im Folgenden dargestellt:

<b>Projekttitle</b>	<b>DIWAhybrid-parallel Dieselhybridbusse</b>
Organisation	Voith Turbo GmbH & Co. Kg.
Inhalt	<p>Fokus auf Technologieinnovation:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Weiterentwicklung des von Voith Turbo entwickelten Parallelhybrid-Antriebssystem für europäische Verhältnisse</li> <li>• Entwicklung der Antriebsteile für den in Europa gängigen kleineren Dieselmotor</li> <li>• Weiterentwicklung des Super-Cap-Energiespeichers</li> <li>• Aufbau Vorserienfahrzeug (VS) mit Hybrid-Anzeigegeräten am Fahrerplatz und im Fahrgastraum zur Visualisierung von Emissionen und Kraftstoffverbrauch. Voith: Antriebstechnik, Solaris: Bus.</li> <li>• Demonstrationsbetrieb des VS in Bochum</li> <li>• Schulung Betreiber (BOGESTRA) und Sicherheitskräfte</li> <li>• Werkstatturnrüstung</li> <li>• Ökologische Lebenszyklusanalyse (PE INTERNATIONAL AG)</li> <li>• Beginn Demobetrieb bei BOGESTRA, Bochum: Februar 2011</li> </ul>
Partner	Solaris Bus & Coach S.A.
Fördermittel	1,0 Mio. € Voith , 0.5 Mio € Solaris

<b>Projekttitle</b>	<b>Elektromobilität im Stadtbus</b> Entwicklung, Erprobung und Vorbereitung des Testeinsatzes einer ersten Kleinflotte von Dieselhybrid - Stadtbussen mit Elektro-Fahrfähigkeit
Akronym	ElmoS 1
Organisation	EvoBus GmbH
Inhalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Überführung des prototypischen Konzeptes des CITARO BlueTec Hybrid in Testflottenfähigkeit</li> <li>• Durchführung der Versuchserprobung und Test in einem Demonstrationsvorhaben in ausgewählten Modellregionen.</li> <li>• weitere Reduktion des Kraftstoffverbrauches und damit der CO2-Emissionen.</li> <li>• Weiterentwicklung der Technologie und der Einzelkomponenten.</li> <li>• Entwicklung eines optimierten Energie- und Betriebsmanagements für das Komplettsystem</li> </ul>
Projektsumme	15,4 Mio €
Fördermittel	7,7 Mio. €

<b>Projekttitlel</b>	<b>Elektromobilität im Stadtbus</b> Testeinsatz einer ersten Kleinflotte von Dieselhybrid-Stadtbussen mit reiner Elektro-Fahrfähigkeit
Akronym	ElmoS Flottentest
Organisation	EvoBus GmbH
Inhalt	Es werden Citaro BlueTec Hybridbusse im Alltagseinsatz erprobt: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sammeln von Erfahrungen</li> <li>• fachgerechte und enge Betreuung der Fahrzeuge</li> <li>• Weiterentwicklung &amp; Optimierung der Technologie</li> <li>• Erhöhung der Wartungsfreundlichkeit.</li> </ul>
Projektsumme	7,5 Mio €
Fördermittel	3,75 Mio. €

#### 4.4.3 Überblick Begleitforschungsaktivitäten in den Modellregionen

Der Praxiseinsatz der Busse in den einzelnen Modellregionen wurde auf Plattformebeine durch PE INTERNATIONAL begleitet. Hierbei fand eine enge Abstimmung mit weiteren Begleitforschungsaktivitäten, die in mehreren Modellregionen durchgeführt wurden, statt.

Auf der technischen und ökologischen Seite wurden die Betriebsdaten auf täglicher Basis erfasst und durch PE INTERNATIONAL ausgewertet. Die Datenerfassung wurde hierbei ergänzt durch technische Messungen und Detailuntersuchungen des Instituts für Kraftfahrzeuge (ika) der RWTH Aachen, TÜV Nord, Fraunhofer IVI, TU Darmstadt und VCDB.

Um die Akzeptanz der Technologie zu untersuchen, wurden Fragebögen für Busfahrer, Passanten und Fahrgäste vom Institut für Kraftfahrzeuge (ika) der RWTH Aachen und PE INTERNATIONAL entwickelt. Die Befragungen wurden von den Betreibern und ika durchgeführt und im Anschluss von PE INTERNATIONAL ausgewertet.

Die Begleitforschungsprojekte werden im Folgenden kurz dargestellt und in den Kapiteln 5 und 6 detailliert beschrieben.

<b>Modellregion</b>	<b>Rhein Ruhr</b>
Projekttitlel	Forschungsbegleitung für den Einsatz von Hybridlinienbusse im Verkehrsverbund Rhein-Ruhr
Organisation	Institut für Kraftfahrzeuge der RWTH Aachen
Inhalt	siehe Projektbeschreibung der Modellregion Rhein Ruhr, Kapitel 4.4.1
Partner	TÜV Nord
Projektsumme	1,1 Mio €
Fördermittel	0,7 Mio. €

<b>Modellregion</b>	<b>Sachsen</b>
Projekttitlel	SaxHybrid – Einsatz serieller Hybridbusse mit partiell rein elektrischem Antrieb – BEGLEITFORSCHUNGSTEIL
Akronym	SaxHybrid
Organisation	DVB AG, LVB GmbH, IVI
Inhalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• messtechnische Begleitung (Verbrauchsuntersuchungen)</li> <li>• Fahrzeugoptimierung</li> <li>• Erarbeitung von Umbauempfehlungen</li> <li>• Schaffung der infrastrukturellen Grundlagen für elektrischen Betrieb mit Nachladung</li> </ul>
Partner	VCDB GmbH
Projektsumme	Fraunhofer IVI: 0,4 Mio. €
Fördermittel	Fraunhofer IVI: 0,4 Mio. €

<b>Modellregion</b>	<b>Rhein-Main</b>
Projekttitlel	Green Move – Hybridbusse in Darmstadt
Akronym	GreenMove
Organisation	TU Darmstadt
Inhalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planung der Untersuchungsschritte und -verfahren</li> <li>• Entwicklung der Modelle zur Untersuchung des Fahrzeugbetriebs</li> <li>• Aufnahme eines Strecken- und Beschleunigungsprofils mit konventionellen Bussen (Linie L) für Vergleichsanalysen</li> <li>• Entwicklung/Test des stochastischen Modells</li> <li>• Bus-Testbetrieb ohne Fahrgäste, Durchführung der Untersuchungen und Modifikationen an den Bussen</li> <li>• Validierung des Simulationsmodells</li> <li>• Aufzeigen von Optimierungspotentialen auf Komponentenebene sowie des Energiemanagements</li> </ul>
Partner	VDL, Vossloh-Kiepe, HEAG mobilo
Fördermittel	0,42 Mio. €

## 5 Vorgehensweise der Evaluierung

Die Evaluierung der Praxiserprobung der eingesetzten Hybridbusse basiert auf Evaluierungskriterien, die von den Teilnehmern der Busplattform gemeinsam erarbeitet bzw. abgestimmt wurden. Die Vorgehensweise der Evaluierungsaktivitäten im Rahmen der Busplattform und den Begleitforschungsvorhaben wird nachfolgend im Einzelnen beschrieben.

### 5.1 Ermittlung der Evaluierungskriterien

Grundlage für Bewertungsaktivitäten im Rahmen der Plattform ist die Formulierung verbindlicher Kriterien, die die für eine künftige Marktentwicklung zentralen Themenfelder abdecken und die Umsetzung dieser Kriterien in Form von messbaren Einzelkriterien ermöglichen. Die vier wesentlichen Themenfelder für Hybridnahverkehrsbusse sind:

- Ressourcenschonung und Energieeffizienz
- Klimaschutz und Ökologie
- Einsatzreife und Praxistauglichkeit
- Akzeptanz

Die ermittelten Kriterien und dazugehörigen Indikatoren wurden in einem Kriterienhandbuch zusammengefasst (siehe Abbildung 6).

Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit wurden derzeit bewusst von den Plattformteilnehmern ausgeklammert, da sich im Projektzeitraum noch keine verlässlichen Aussagen zur Wirtschaftlichkeit der Dieselhybridantriebskonzepte treffen ließen. Für Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen ist es sinnvoll, erst nach längerem Einsatz entsprechende Untersuchungen durchzuführen. Dies bleibt weiteren Begleitforschungsaktivitäten zu Hybridbussen über das KoPa II hinaus vorbehalten, die durchgeführt werden sollten, um diesen für den künftigen Markt entscheidenden Aspekt zu adressieren.



Abbildung 6 Kriterienhandbuch

## Vorgehensweise der Evaluierungsaktivitäten

Entsprechend der in Abbildung 7 schematisch dargestellten Vorgehensweise zur Entscheidungsunterstützung der relevanten Stakeholder leiten sich aus den Projektzielen die zu betrachtenden Themenfelder ab.

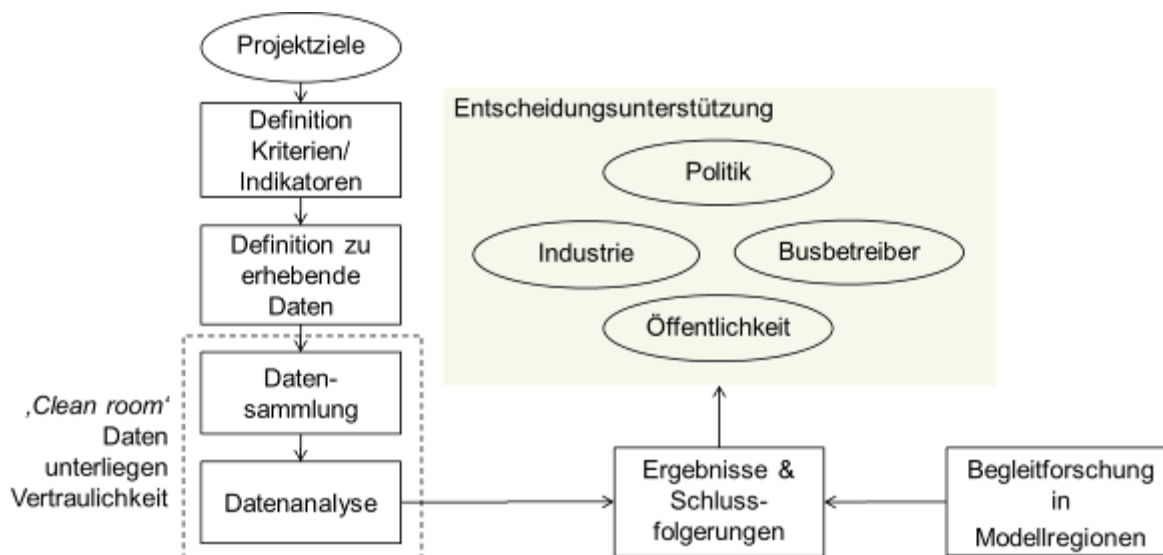


Abbildung 7 Vorgehensweise für Evaluierungsaktivitäten im Rahmen der Busplattform

Für jedes Themenfeld wurden spezifische Kriterien (im Sinne von Indikatoren) festgelegt, die eine qualitative und/oder quantitative Bewertung der Hybridantriebstechnologie ermöglichen. Aus den zu bewertenden Kriterien ergab sich der Bedarf an zu erfassenden Daten. Da es sich hier teilweise um potentiell vertrauliche Informationen handelt und es gleichzeitig das ausdrückliche Ziel der Plattform war, möglichst eine Verallgemeinerung und Übertragbarkeit der gewonnenen Erkenntnisse zu erlauben, erfolgte die Datensammlung, Analyse und Bewertung sowie die entsprechend neutrale und anonymisierte Handhabung der Daten durch PE INTERNATIONAL als unabhängige Organisation. Auf Basis der erarbeiteten Ergebnisse können so Schlussfolgerungen getroffen werden, die den Stakeholdern aus Politik, Industrie, Busbetreibern und Öffentlichkeit vorgestellt werden. Durch geeignete Clean-Room-Strategien wurde eine Nutzung allein durch Zugriffsberechtigte sichergestellt. In dem Clean Room wurden zentralisiert die Daten aus den einzelnen Projekten erfasst und über ein Nutzerrechtsmanagement wurden die Daten nur einem mit Betreibern und Herstellern jeweils abgestimmten Nutzerkreis zugänglich gemacht, d.h. jeder Partner hat bei den Auswertungen nur Zugriff auf seine eigenen bzw. die für ihn bestimmten Daten. Für Außenstehende war grundsätzlich kein Datenzugriff möglich.

## Einzelkriterien

Die folgende Abbildung zeigt die Einzelkriterien der Untersuchungen. Neben Betriebsdaten zu Praxistauglichkeit und Einsatzreife, wurden außerdem Effizienz und Ökologie der Nutzung untersucht. Akzeptanzuntersuchungen bei Fahrern, Fahrgästen und Passanten wurden mittels Fragebögen durchgeführt.

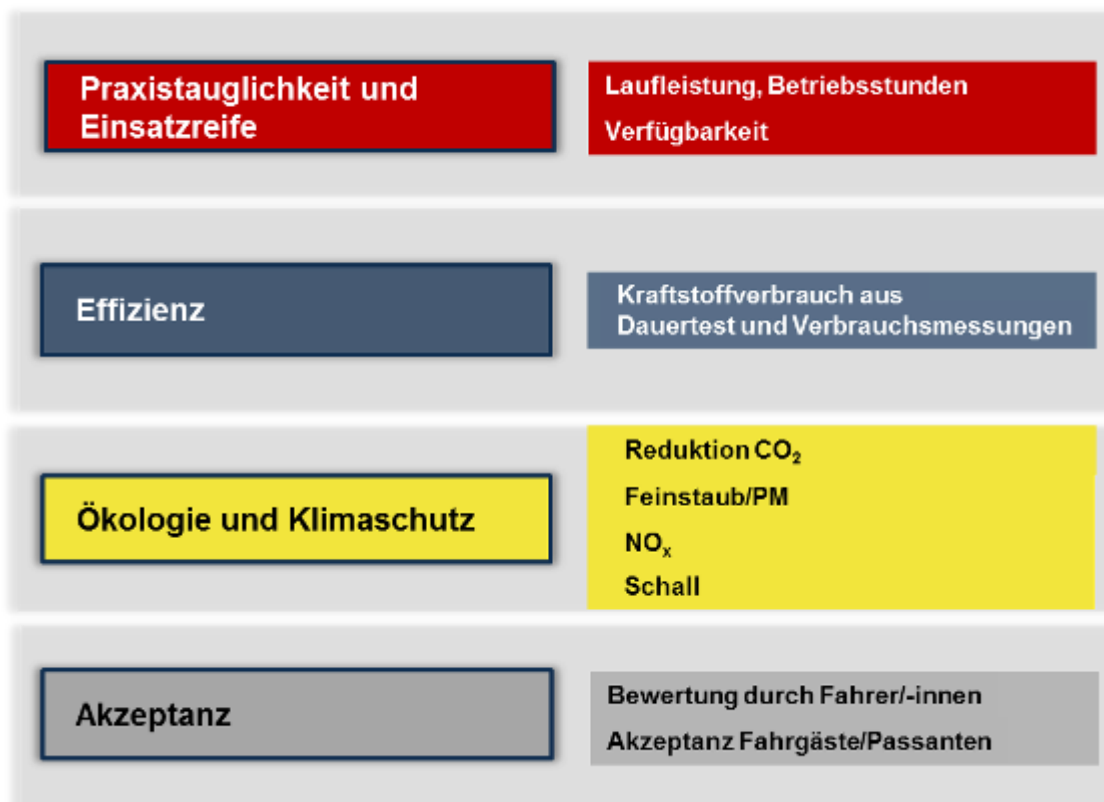


Abbildung 8 Untersuchungskriterien

Die Details der Einzelkriterien sind in einer Übersicht in Anhang I dargestellt. Sie beinhaltet die für die Busplattform gewählten Einzelkriterien nach Themenfeldern geordnet.

Die Evaluierung der Daten aus Praxistest und Messungen basierte entsprechend Abbildung 9 auf drei Säulen:



Abbildung 9 Die drei Säulen der Evaluierung

Es erfolgte eine kontinuierliche Datenerfassung zur Bewertung der Betriebserfahrungen und -performance im Sinne einer Fortschrittskontrolle über den Demonstrationszeitraum (Dauertest von September 2010 bis September 2011) hinweg. Ergänzt wurden die jeweils ermittelten Daten durch dezidierte Messfahrten und -aktivitäten zu Kraftstoffverbrauch, Emissionen und Lärm unter gesondert festgelegten Randbedingungen zur methodischen Absicherung des begrenzten Betriebszeitraumes von meist nur einigen Monaten. Neben den technischen Untersuchungen wurden außerdem umfassende Akzeptanzbefragungen bei Busfahrern, Fahrgästen und Passanten durchgeführt.

## 5.2 Vorgehensweise der Betriebsdatenerfassung aus Dauertest

Für die Bewertung der Hybridantriebstechnologie wurde eine umfassende Betriebsdatenerfassung unter Verwendung des SoFi-Softwaretools implementiert. Die Daten wurden an jedem Standort von einem vom jeweiligen Verkehrsunternehmen bestimmten Datenerfasser in die SoFi Online-datenbank mittels personalisiertem und passwortgeschütztem Zugang eingegeben. Die Datenerfasser wurden im Rahmen einer kurzen, halbstündigen Webunterweisung geschult und erhielten zusätzlich entsprechende Begleitunterlagen, wie z.B. ein Benutzerhandbuch (siehe Abbildung 10). Die Datenerfassung begann im August 2010, je nach Verfügbarkeit der Fahrzeuge an den einzelnen Standorten



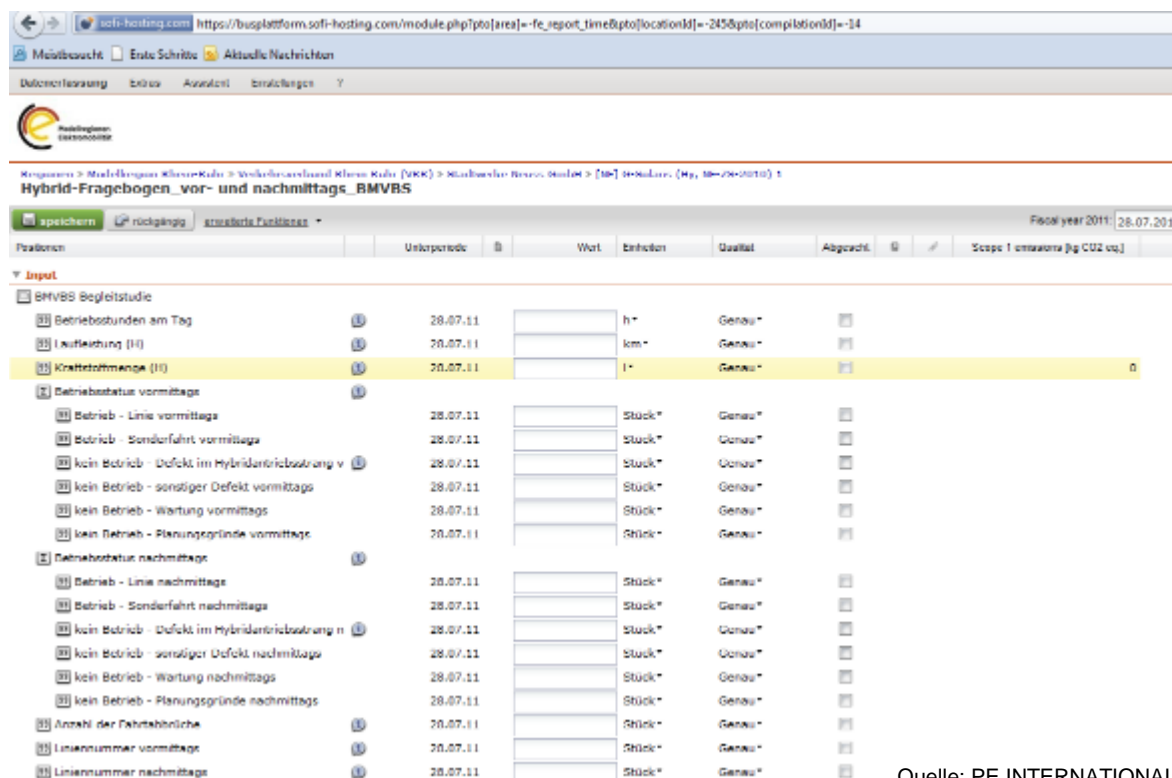
Abbildung 10 Benutzerhandbuch SoFi

und lief bis September 2011.

Folgende Daten wurden täglich in SoFi für die Hybridbusse sowie mindestens einen konventionellen Dieselreferenzbus erfasst (in Klammern werden sie den Einzelkriterien zu geordnet):

- Tankmenge, dazugehöriger Kilometerstand (Energieeffizienz)
- Liniennummer, getrennt nach dem eventuellen Einsatz am Vormittag bzw. Nachmittag (Energieeffizienz)
- Vermiedene CO<sub>2</sub> Emissionen (Klimaschutz)
- Laufleistung (Praxistauglichkeit)
- Betriebsstunden (Praxistauglichkeit)
- Betriebsstatus vormittags und nachmittags (Praxistauglichkeit)

Abbildung 11 zeigt die Eingabemaske für die Betriebsdaten in SoFi.



Position	Unberücksichtigt	Wort	Einheit	Qualität	Abgeschl.	Scope 1 emissions [kg CO2 eq]
<b>BMVBS Begleitstudie</b>						
Betriebsstunden am Tag		28.07.11	h*	Genau*		
Laufleistung (l)		28.07.11	km*	Genau*		
Kraftstoffmenge (l)		28.07.11	l*	Genau*		0
<b>Betriebsstatus vormittags</b>						
Betrieb - Linie vormittags		28.07.11	Stück*	Genau*		
Betrieb - Sonderfahrt vormittags		28.07.11	Stück*	Genau*		
kein Betrieb - Defekt im Hybridantriebsstrang v		28.07.11	Stück*	Genau*		
kein Betrieb - sonstiger Defekt vormittags		28.07.11	Stück*	Genau*		
kein Betrieb - Wartung vormittags		28.07.11	Stück*	Genau*		
kein Betrieb - Planungsgründe vormittags		28.07.11	Stück*	Genau*		
<b>Betriebsstatus nachmittags</b>						
Betrieb - Linie nachmittags		28.07.11	Stück*	Genau*		
Betrieb - Sonderfahrt nachmittags		28.07.11	Stück*	Genau*		
kein Betrieb - Defekt im Hybridantriebsstrang n		28.07.11	Stück*	Genau*		
kein Betrieb - sonstiger Defekt nachmittags		28.07.11	Stück*	Genau*		
kein Betrieb - Wartung nachmittags		28.07.11	Stück*	Genau*		
kein Betrieb - Planungsgründe nachmittags		28.07.11	Stück*	Genau*		
Anzahl der Fahtabbrüche		28.07.11	Stück*	Genau*		
Liniennummer vormittags		28.07.11	Stück*	Genau*		
Liniennummer nachmittags		28.07.11	Stück*	Genau*		

Quelle: PE INTERNATIONAL

**Abbildung 11** Eingabemaske des SoFi Onlinetools

Im Laufe des Projektes wurde die Möglichkeit des Datenimports über eine entsprechende csv-Schnittstelle ergänzt.

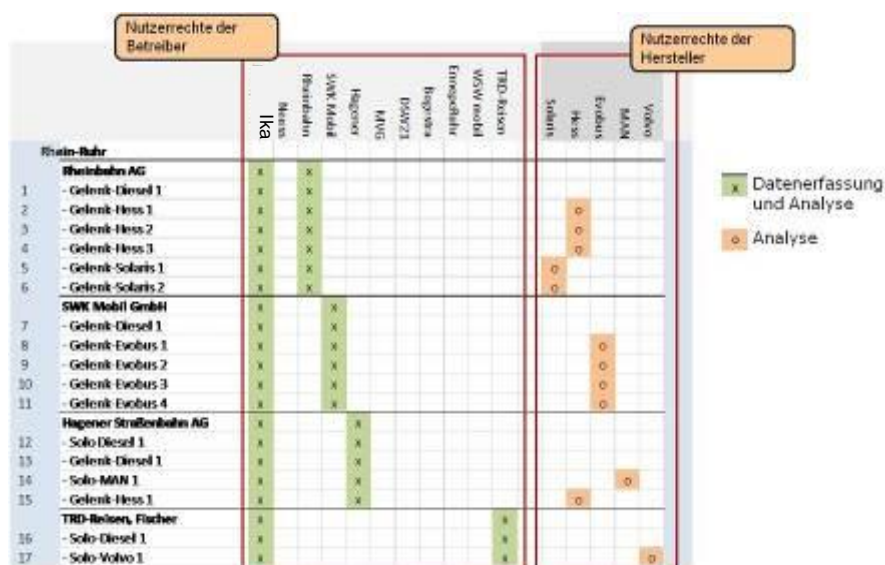
## Einsatzplanung

Um aussagefähige Verbrauchsdaten zu erhalten, ist es von entscheidender Bedeutung, dass die Hybridbusse sowie die parallel erfassten konventionellen Referenzbusse einheitlich auf

einer Linie eingesetzt werden. Dies konnte von den Verkehrsunternehmen im Rahmen der Möglichkeiten der täglichen Einsatzplanung weitestgehend umgesetzt werden.

### Datenvertraulichkeit und Nutzerzugriffsrechte

Grundlage der Datenerfassung und -auswertung war ein festgelegtes Nutzerrechtsmanagement (siehe Abbildung 12). Konkret bedeutet dies, dass in der SoFi eineindeutig geklärt war, welcher Nutzer Zugang zu welchen Daten erhält. So konnten die Verkehrsunternehmen entsprechend ihre jeweiligen Daten eingeben und einsehen, während die Hersteller ihre Fahrzeuge standortübergreifend einsehen konnten. Die standortübergreifende Auswertung erfolgte anonymisiert durch PE INTERNATIONAL und wurde im Rahmen der Plattformtreffen den Teilnehmern vorgestellt.



	Nutzerrechte der Betreiber										Nutzerrechte der Hersteller				
	Ika	Hess	Frankfurt	SWK Mobil	Hagener	MAN	EVASY	Evgo.com	Emagdrive	WGV mobil	TRD-Reisen	Solaris	Endus	MAN	Volvo
<b>Rhein-Ruhr</b>															
1 - Gelenk-Diesel 1	x	x													
2 - Gelenk-Hess 1	x	x													
3 - Gelenk-Hess 2	x	x													
4 - Gelenk-Hess 3	x	x													
5 - Gelenk-Solaris 1	x	x													
6 - Gelenk-Solaris 2	x	x													
<b>SWK Mobil GmbH</b>															
7 - Gelenk-Diesel 1	x			x											
8 - Gelenk-Eucobus 1	x			x											
9 - Gelenk-Eucobus 2	x			x											
10 - Gelenk-Eucobus 3	x			x											
11 - Gelenk-Eucobus 4	x			x											
<b>Hagener Straßenbahn AG</b>															
12 - Solo-Diesel 1	x				x										
13 - Gelenk-Diesel 1	x				x										
14 - Solo-MAN 1	x				x										
15 - Gelenk-Hess 1	x				x										
<b>TRD-Reisen, Flächer</b>															
16 - Solo-Diesel 1	x									x					
17 - Solo-Volvo 1	x									x					

Abbildung 12 Management der Nutzerrechte am Beispiel einer Modellregion (Auszug)

### Auswertungen der Betriebsdaten mit SoFi

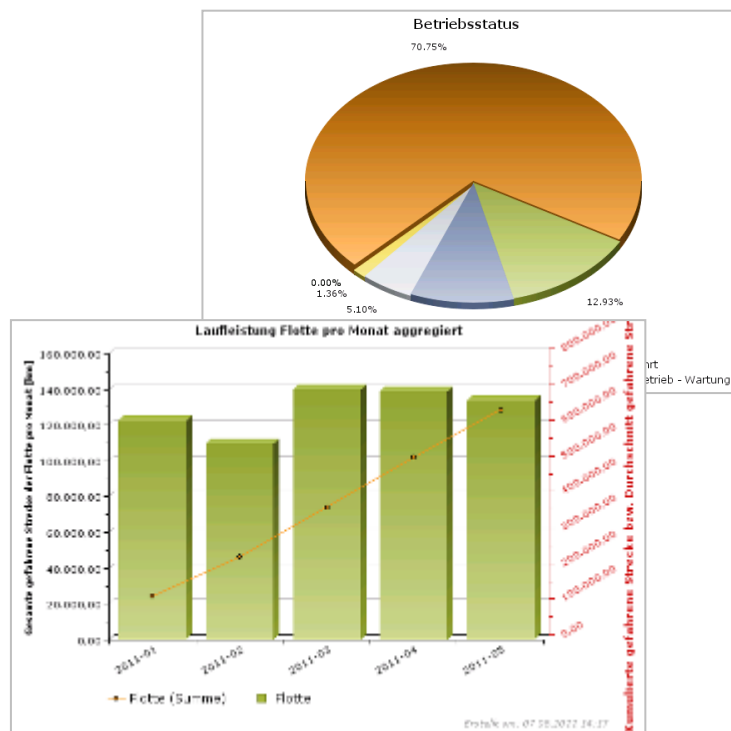
Mithilfe des SoFi Softwaretools konnte zu jedem Zeitpunkt des Projektverlaufs eine Auswertung der zu diesem Zeitpunkt erzielten Ergebnisse und Leistungen der Flotten- und Fahrzeugdaten abgerufen werden.

Derartige Auswertungen (in der SoFi „Berichte“ genannt), waren sowohl den Datenerfassern für alle Fahrzeuge an ihrem Standort, als auch den Herstellern für alle eigenen Fahrzeuge an verschiedenen Standorten zugänglich.

Folgende Berichte konnten in SoFi eingesehen werden:

- Laufleistung der einzelnen Fahrzeuge, pro Tag und kumuliert

- Durchschnittl. Laufleistung pro Bus (je Tag, Monat, Jahr)
- Betriebsdauer der einzelnen Fahrzeuge, pro Tag und kumuliert
- Durchschnittl. tägl. Betriebsdauer pro Bus
- Durchschnittlicher Kraftstoffverbrauch, je Bus/ Flotte
- Vermiedene Treibhausgasemissionen durch den Betrieb der Hybridbusflotte
- Durchschnittliche Verfügbarkeit pro Fahrzeug, Flotte (je Monat, Jahr)
- Verteilung des Betriebsstatus nach Kategorien



Quelle: PE INTERNATIONAL

Abbildung 13 Datenauswertung in SoFi - Beispielberichte

Darüber hinaus konnten weitere Berichte auf Basis der erfassten Daten in SoFi je nach Bedarf erstellt werden.

### 5.3 Vorgehensweise der weiteren Begleituntersuchungen und dezidierten Messungen

Die Vorgehensweise bei den Messkampagnen im Rahmen der einzelnen Begleituntersuchungen in den jeweiligen Modellregionen wird für die Kraftstoff-, Abgasemissions- und Geräuschemissionsuntersuchungen nachfolgend beschrieben.

#### 5.3.1 Kraftstoffverbrauchsuntersuchungen

Kraftstoffverbrauchsmessungen waren in Bremen, Leipzig, Rhein-Ruhr und Darmstadt vorgesehen.

##### Modellregion Bremen: Verbrauchuntersuchung (soq. Zwillingstest)

Die Bremer Straßenbahnen AG hat gemäß der Rahmenbedingungen für den sogenannten Zwillingstest, die im Zuge der Arbeiten der Busplattform festgelegt wurden (siehe Anhang II), einen Zwillingstest durchgeführt, bei dem ein Mercedes Benz Citaro G BlueTec Hybrid mit einem Solaris Urbino 18 verglichen wurden. Die Randbedingungen der Verbrauchuntersuchung sind in Tabelle 2 wiedergegeben. Weitere Eckdaten sind im Anhang III dargestellt.

**Tabelle 2 Randbedingungen Verbrauchsuntersuchung (Zwillingstest) Bremen**

<b>Testfahrzeuge</b>	<b>Citaro G BlueTec Hybrid (KOMM 4600)</b>	<b>Solaris Urbino 18 (KOM4536)</b>
km-Stand	11.990 km	285.189 km
Motor	OM 924	DAF PR 228
Getriebe	./.	Voith D 864.5
Fahrzeug-Zuladung	4500 kg	4500 kg
Fz.Gewicht bei Messung	23.860 kg	22.560 kg
Teststrecke	Linie 26	
Linienlänge	25,6	
Anzahl Haltestellen	je 30 Hin/Zurück	
Ø Haltestellenabstände	441 m	

### **Modellregion Sachsen: Begleituntersuchungen im Projekt SaxHybrid (Fraunhofer IVI)**

Das dem Einsatz der Hybridbusse beigestellte Begleitprogramm im Rahmen des Projektes SaxHybrid der Modellregion Sachsen beinhaltet folgende Aktivitäten:

- Ausstattung von je zwei Hybridbussen der Firma Hess Carrosserie AG und einem Referenzfahrzeug in Dresden und Leipzig mit Messtechnik
- Abschnittsweise Erfassung von Verbrauchsdaten inkl. Position und Geschwindigkeit, vornehmlich zum Zwecke der Fahrzeugoptimierung
- Anpassung von Fahrzeugsimulationsmodell
- Messfahrten auf einem Testgelände
- Wirkungskontrolle von Optimierungsvorschlägen

Die Vorgehensweise gestattet es, eine genaue Zuordnung von Verbrauchswerten zu Strecken- bzw. Zeitabschnitten vorzunehmen. Durch die Messungen sowohl in Dresden als auch in Leipzig wurden unterschiedliche Höhenprofile abgedeckt.

Die Messungen hatten vier Ziele:

- Erarbeitung von Optimierungsvorschlägen zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs auf Grundlage der Mess- und Simulationsergebnisse
- Ableitung von Einsatzempfehlungen für verschiedene Linien in Abhängigkeit von den Linieneigenschaften (Höhenprofil, Reisegeschwindigkeit, Fahrgastnachfrage)
- Erstellung von Vorschlägen für einen Hybridbus-Messzyklus
- Ableitung erster Empfehlungen für den späteren Umbau der Hybridbusse zu rein elektrischen Bussen mit Nachladefunktion

Die Messtechnik besteht in einem Referenzfahrzeug aus einem Durchflussmessgerät (siehe Abbildung 14), einem optischen Geschwindigkeitsaufnehmer und einem GPS-Empfänger. Die Daten werden in einem Datenlogger mit Zeitstempel gespeichert. Ein Referenzfahrzeug sowie vier Hybridbusse wurden mit Datenloggern ausgerüstet, die ausgewählte Daten, sogenannte CAN-Bus-Botschaften des Fahrzeugs, speichern.



**Abbildung 14** Eingesetztes Durchflussmessgerät

Durch ein überarbeitetes Datenflusskonzept ist es möglich, die gespeicherten Daten per Funkfernverbindung auf einen Server der Fraunhofer-Gesellschaft zu transferieren.

Aus den gespeicherten Daten werden abschnittsweise Verbrauchsdaten ermittelt, wobei eine zeitliche Zuordnung erfolgt. Dadurch ist es möglich, nur tatsächlich miteinander vergleichbare Messungen linienrein zu vergleichen, wobei sogar nur miteinander vergleichbare Zeitbereiche einander gegenüber gestellt werden.

### **Modellregion Rhein-Ruhr: Längsdynamiksimulation (Institut für Kraftfahrzeuge (ika), RWTH Aachen)**

Die Identifikation und Quantifizierung einzelner Kraftstoffverbrauchseinflüsse auf Basis von Messungen im Feld ist aufgrund der äußeren Einflüsse wie Fahrer, Verkehr und Witterung schwierig und teuer. Aus diesem Grund werden die Messungen durch eine ausführliche Simulationsstudie, in der die unterschiedlichen Fahrzeugkonzepte auf theoretischer Ebene betrachtet und analysiert werden, ergänzt. Der Energiebedarf kann in der Simulation für alle Busvarianten mit geringem Mehraufwand auch für Fahrstrecken bestimmt werden, auf denen keine Messfahrten durchgeführt werden. Zudem bietet die Simulation die Möglichkeit, die verschiedenen Antriebskonzepte bei identischen Randbedingungen hinsichtlich Beladung, Fahrverhalten, Straßenzustand und Verkehrsaufkommen zu vergleichen.

Die Abbildung des Gesamtfahrzeugs mit allen Komponenten des Antriebsstrangs im Modell ermöglicht weiterhin eine quantitative Darstellung einzelner Verbrauchseinflüsse wie Verluste des Verbrennungsmotors, des Elektromotors und der Nebenaggregate sowie die Anteile des Roll- und Luftwiderstands. Im Simulationsmodell können zudem die Einflüsse durch eine Anpassung der Betriebsstrategie für die Hybridbusse aufgezeigt und die Potenziale zur weiteren Verbrauchsreduktion berechnet werden. Hierbei werden die folgenden Ziele verfolgt:

- Ermittlung realistischer Streckenverbräuche in den nicht messtechnisch erfassten Einsatzgebieten
- Sensitivitätsanalyse der verschiedenen Hybridbuskonzepte in Bezug auf
  - Fahrwiderstände
  - Zuladung
  - Nebenverbraucherlast
  - Einsatzcharakteristik
  - Einfluss Betriebsstrategie

### **Modellregion Rhein-Main: Projekt „green move“ (TU Darmstadt)**

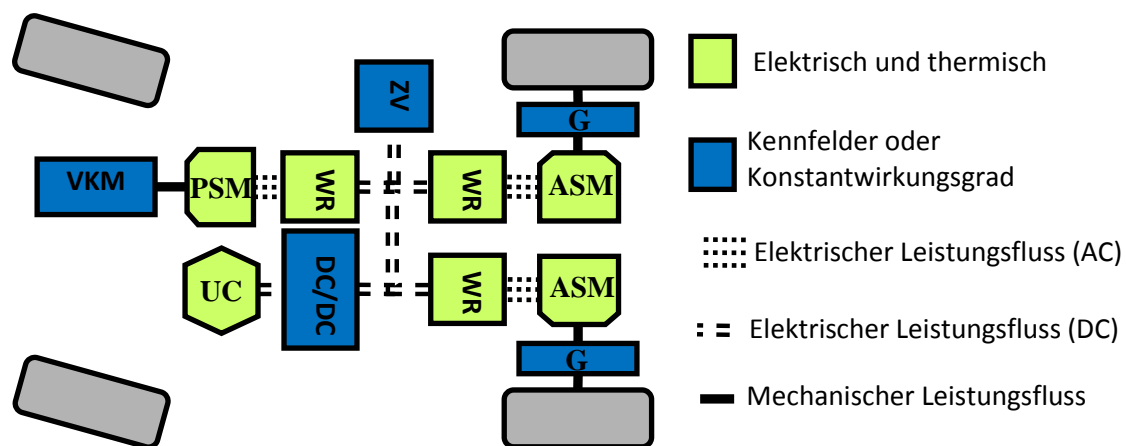
Die wissenschaftlichen Untersuchungen beinhalten zwei Kernthemen. Zum einen ist dies die Entwicklung eines Simulationsmodells für die Hybridkomponenten, und zum anderen handelt es sich um die Entwicklung eines Energiemanagements für den Hybridbus.

#### *Beschreibung des Untersuchungsgegenstandes*

Bei dem Vorhaben wurde der serielle Hybridbus *VDL Citea SLF Hybrid* mit Hilfe eines Simulationsmodells unter Berücksichtigung des Einflusses der Temperatur auf die Komponenten des Antriebsstrangs untersucht. Der Aufbau eines seriellen Hybridbusses ist in Abbildung 15 dargestellt. Die technischen Daten sind in Tabelle 3 zusammengefasst. Der prinzipielle Aufbau aus Abbildung 15 wird auch in der Simulation verwendet. Für die eingezeichneten Komponenten werden folgende Abkürzungen genutzt: VKM: Verbrennungskraftmaschine, PSM: permanenterregte Synchronmaschine, ASM: Asynchronmaschine, WR: Wechselrichter, ZV: Zusatzverbraucher (z.B. Klimaanlage, Licht), UC: Ultra Cap (Kapazitiver Hochleistungsenergiespeicher), DC/DC: Gleichspannungswandler, G: Getriebe. Um einen Vergleich zu konventionell angetriebenen Bussen zu ermöglichen, wird ein konventionell angetriebener Referenzbus eingesetzt. Dieser Referenzbus basiert auf dem gleichen Busmodell (Citea) von VDL.

**Tabelle 3 Technische Daten des Hybridbusses VDL Citea SLF Hybrid**

Bezeichnung	Wert	Einheit	Bezeichnung	Wert	Einheit
Gesamtfahrzeug			Synchrongenerator		
Länge	12	m	Dauerleistung	204	kW
Leermasse	12,4	t	Bemessungsdrehzahl	2400	min <sup>-1</sup>
Sitzplätze	29+1	-	Bemessungsmoment	855	Nm
Stehplätze	53	-	Fahrmotor (2 Motoren)		
Dieselmotor			Maximalleistung	2 x 120	kW
Leistung	152	kW	Maximalmoment Rad	2 x 10500	Nm
Hubraum	4,5	l	Maximaldrehzahl Rad	485	min <sup>-1</sup>
Zylinder	4	-	Getriebeübersetzung	22,63	-



Quelle: TU Darmstadt

**Abbildung 15** Prinzipielle Übersicht über den Hybridbus VDL Citea SLF Hybrid sowie über das Simulationsmodell

Die Entwicklung des Energiemanagements zielt darauf ab, Kraftstoffeinsparpotentiale durch unterschiedliche Betriebsstrategien des Dieselmotors aufzudecken und zu bewerten. Hierbei werden die Ergebnisse von zahlreichen Messfahrten im Linienbetrieb des Referenzbusses genutzt, um Informationen über den Fahrzyklus zu erhalten und anschließend zu verwerten. Die Ermittlung des optimalen Energiemanagements für das Fahrzeug auf der gewünschten Strecke wurde mit Hilfe einer Optimierungssoftware erreicht.

### *Datenerfassung*

Die Hersteller *VDL Bus & Coach* und *Vossloh Kiepe GmbH* haben die Hybridbusse während der Herstellung mit Messgeräten ausgerüstet, um die mit den Projektpartnern abgestimmten Messdaten während des Testbetriebes zu erfassen. Zentrale Schnittstelle für die Datenerfassung ist ein Diagnosetool der Firma *Vossloh Kiepe GmbH*, welches die gemessenen Daten über eine Schnittstelle zur Verfügung stellt. Mit Hilfe eines Notebooks und der Software des Diagnosetools können die Daten ausgelesen und gespeichert werden. Die für die Validierung des Simulationsmodells erforderlichen Daten sind diverse digitale und analoge Werte der einzelnen Komponenten (wie z.B. Fahrleistungsanforderung, Strom, Spannung, geographische Position).

Die Ermittlung der Fahrzyklen konnte anhand des im Referenzbus integrierten Bord-Informationen-Systems ermittelt werden. Es zeichnet neben der aktuellen Position in Form von GPS-Koordinaten und der aktuellen Geschwindigkeit auch Ereignisse wie Türöffnungen auf. Ein Höhenprofil der Buslinie konnte mittels mehrmaligen Vermessens der Strecke mit einem barometrischen Höhenmesser gewonnen werden.

### 5.3.2 Abgasemissionsmessungen

Neben der Reduzierung des Kraftstoffbedarfs ist durch den Einsatz von Hybridlinienbussen auch eine deutliche Minderung der Emissionssituation zu erwarten. Die gesetzlich vorgeschriebenen Tests bezüglich der Abgasemissionen von Nutzfahrzeugen werden auf Motorprüfständen ohne eine entsprechende Fahrzeugperipherie durchgeführt und führen zu Emissionsergebnissen, die auf die Leistung des Motors bezogen sind. Da für Nutzfahrzeugmotoren die unterschiedlichsten Anwendungsvarianten möglich sind, sind die Emissionsergebnisse nicht fahrzeugspezifisch und beschreiben deshalb nicht die Emissionssituation für spezielle Fahrzeuganwendungen, wie z.B. den Stadtbus. Des Weiteren haben das Hybridkonzept sowie das Energiemanagement, also das Zusammenspiel der einzelnen Antriebsstrangkomponenten untereinander einen wesentlichen Einfluss auf das Emissionsverhalten der Fahrzeuge. Das Ausschalten des Verbrennungsmotors zur lokalen Vermeidung von Abgasemissionen (z.B. an Haltestellen) kann zum Auskühlen der Abgasnachbehandlungssysteme und somit nachträglich zu einer Verschlechterung der Emissionssituation führen. Einen großen Einfluss auf das Emissionsverhalten der Fahrzeuge hat ebenfalls die jeweilige Streckencharakteristik. Diese Einflussgrößen gilt es im Rahmen der Messungen zu identifizieren und zu quantifizieren. Die wesentlichen Ziele bei den Abgasemissionsmessungen können wie folgt zusammengefasst werden:

- Ermittlung der gasförmigen und Partikelemissionen von Hybridlinienbussen im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen im Realeinsatz
- Prüfung und Vergleich der Wirksamkeit unterschiedlicher Abgasnachbehandlungssysteme (SCR, AGR)
- Darstellung des Einflusses der Streckencharakteristik auf die Emissionssituation
- Bereitstellung von Daten zur Betrachtung der Auswirkungen auf die lokale Immissionssituation
- Bereitstellung von Daten zur Validierung der Längsdynamik-Simulationen

Gegenstand der Abgasemissionsmessungen ist außerdem die Charakterisierung des Abgasverhaltens der unterschiedlichen Hybridbusse im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen. Hierzu erfolgte zunächst eine Vermessung von zwei konventionellen Gelenkfahrzeugen mit unterschiedlicher Abgasnachbehandlung (AGR-EEV und SCR-EEV<sup>8</sup>) auf 16 Linien im VRR. Im Rahmen der Messungen erfolgte neben der Erfassung von charakteristischen Daten des

---

<sup>8</sup> AGR – Abgasrückführung; SCR – Selective Catalytic Reduction, beides sind Abgasreinigungstechnologien zur Reduktion der NO<sub>x</sub> Emissionen  
EEV – Enhanced Environmental vehicle (Abgasstandard mit teilweise niedrigeren Werten als aktuelle Euro V Norm)

Antriebsstrangs sowie Umgebungs- und Streckeninformationen die dezidierte Erfassung folgender gasförmiger Komponenten:

- Gesamtkohlenwasserstoffemissionen (HC)
- Kohlenmonoxid (CO)
- Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>)
- Stickstoffmonoxid (NO) und daraus resultierend Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>)
- Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)
- Sauerstoff (O<sub>2</sub>)

Für die Partikelemissionen wurde über einen photoakustischen Sensor der elementare Kohlenstoffgehalt detektiert.

Die Messungen wurden einheitlich ohne Betrieb der Klimaanlage durchgeführt, um eine Vergleichbarkeit bei unterschiedlichen Außentemperaturen zu gewährleisten. Die installierte Messtechnik wurde über einen separaten Generator versorgt. Um eine realitätsnahe Auslastung der Fahrzeuge zu erreichen und um Vergleichbarkeit zu früheren Messungen herzustellen, wurden die Fahrzeuge mit einer Auslastung von ca. 30 % betrieben. Die gewählte Ballastmasse war für die jeweilige Fahrzeugkategorie (Gelenkbus und Solobus) konstant, was einer gleichen Beförderungsleistung im realen Betrieb entspricht.

Auf Basis der erfassten Streckendaten der 16 Linien wurden diese nach durchschnittlicher Geschwindigkeit und über die Steigungsanteile nach Topographie klassifiziert (vgl. Tabelle 4).

**Tabelle 4** Klassifizierung der vermessenen Linien im VRR

	SORT 1	SORT 2	SORT 3
Topo 1	KR(L051,L057)	D(L725)/ E(L145)	D(L785)
Topo 2		E(L160)	
Topo 3	Ha(L542)	Do(L440)/ Bo(L345,L368)/ W(L622,L642)	
Topo 4		EN(L511,L551)/ Ha(L541)	Do(L450)

Quelle: ika Aachen/TÜV Nord

Zur Reduzierung des Messumfangs erfolgte eine Reduzierung der Linien für die Messungen an den Hybridfahrzeugen, für eine erste Messkampagne auf 8 und für eine zweite auf 4 Linien. Um eine möglichst breite Streuung der Linien hinsichtlich Topographie und Durchschnittsgeschwindigkeit zu gewährleisten, wurden die rot markierten Einsatzgebiete Krefeld, Düsseldorf, Dortmund und Hagen für die Messungen an den Hybridbussen ausgewählt.

Sowohl bei konventionellen als auch bei hybriden Fahrzeugen hat der Fahrer einen erheblichen Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch. Die verbrauchsoptimale Fahrweise kann sich bei den Hybridbussen untereinander und auch im Vergleich zu Dieselfahrzeugen stark unterscheiden. Um die Potenziale der einzelnen Fahrzeuge aufzuzeigen und den Einfluss der Fahrer/innen gerade bei den Messfahrten möglichst gering zu halten, erfolgte zu Beginn der Forschungsbegleitung eine zweitägige Schulung der für die Messfahrten eingeplanten Fahrer aller 10 beteiligten Verkehrsunternehmen auf die Fahrzeuge der 5 Hersteller auf einer Teststrecke nahe Hannover. Die Schulung wurde durch die jeweiligen Fahrzeughersteller durchgeführt.



Quelle: ika Aachen/TÜV Nord

**Abbildung 16** Impressionen Fahrerschulung

### 5.3.3 Geräuschemissionsmessungen

Hybridbusse ermöglichen je nach Konzept eine effektive Phlegmatisierung und Abschaltung des Dieselmotors im Fahrbetrieb, während Stillstandsphasen an der Ampel und insbesondere bei der An- und Abfahrt von der Haltestelle. Hieraus resultiert neben einer Erhöhung des Fahrkomforts ein großes Potenzial zur Minderung der Geräuschbelastung von Fahrern, Fahrgästen und Passanten sowie einer Entlastung sogenannter urbaner Hotspots. Allerdings führt

die Integration von elektrischen Antriebskomponenten in diesel-elektrischen Hybridlinienbussen zu einem neuartigen, teilweise ungewohnten Geräuschverhalten, insbesondere bei abgeschaltetem Verbrennungsmotor und fehlender akustischer Maskierung der hybridspezifischen Aggregate.

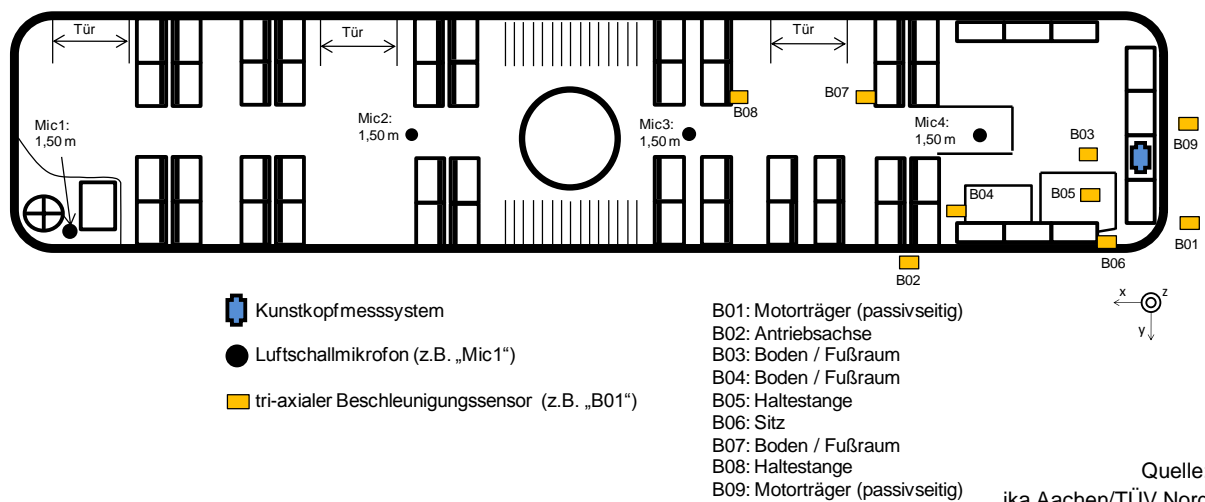
Dementsprechend definieren sich für die Forschungsbegleitung die folgenden Aufgabenpakete:

- Messung des Geräusch- und Schwingungsverhaltens im Fahrgastinnenraum und Vergleich mit konventionellen Dieselbussen
- Messung der Außengeräuschemissionen mit Fokus auf Haltestellenabfahrten und Vergleich mit konventionellen Dieselbussen.

### Innengeräusch

Grundvoraussetzung für die Geräuschemissionsmessungen ist ein sowohl für die Standard-Dieselbusse als auch ein für alle betrachteten 5 Hybridlinienbustypen realisierbares, einheitliches Messverfahren und -setup. Ziel ist es hierbei, trotz der Verschiedenartigkeit der Fahrzeugtypen, die Ergebnisse der Fahrgastraumgeräuschmessungen bestmöglich vergleichen zu können. Für diese Zwecke ist gleichfalls ein spezielles Messprogramm definiert worden, um bei allen Fahrzeugtypen entsprechend einheitliche, reproduzierbare Eingangsmessungen zu generieren. Dieses Programm umfasst verschiedene spezifische Fahrmanöver, wie beispielsweise Beschleunigen unter Vollastbedingungen, reale Fahrmanöver aus dem Linienbetrieb zur Charakterisierung der Geräuschbelastung für die Fahrgäste sowie Messungen in Anlehnung an gesetzliche Vorgaben und Richtlinien.

Abbildung 17 zeigt exemplarisch das grundlegende Mess-Setup für den MAN Dieselbus.



**Abbildung 17** Mess-Setup Fahrgastraumgeräuschmessungen am Beispiel des MAN Dieselbusses

Um schwerpunktmäßig das Geräuschverhalten im Fahrgastraum zu charakterisieren, kommt spezielle Luftschallmesstechnik zum Einsatz. Insbesondere durch die Verwendung der Kunstkopfmessstechnik können gehörrichtige, binaurale Aufnahme des Geräuschverhaltens im Fahrgastraum vorgenommen werden. Sekundär erfolgt eine Charakterisierung der Körperschallschwingungen mittels tri-axialer Beschleunigungssensoren an relevanten Messpositionen im Fahrgastraum.

### *Außengeräuschemissionen*

Schwerpunkt bei den Außengeräuschemissionen sind die Abfahrten von der Haltestelle. Analog zu den Messungen der Innengeräuschemissionen sind ein vereinheitlichtes Mess-Setup sowie verschiedene reproduzierbare Fahrmanöver definiert worden.

Wie in Abbildung 18 illustriert, fungiert bei diesen Messungen das Kunstkopfmesssystem als lokal feststehender Betrachter an der Haltestelle, um die Abfahrt des Linienbusses gehörrichtig binaural aufzuzeichnen. Die Fahrzeuge werden bei den Haltestellenabfahrten mit Teil- und Volllast betrieben. Für die Hybridfahrzeuge wird dabei zum einen der rein elektrischen Betriebsmodus (sofern technisch möglich), zum anderen der normale hybride Betriebsmodus gewählt.



**Abbildung 18** Einsatz des Kunstkopfmesssystems an einer Haltestelle

### **5.3.4 Ökologische Lebenszyklusanalyse von zwei Dieselhybridbussen**

Im Rahmen der Projekte “DIWAhybrid parallel Dieselhybridbusse” und ELMOS wurden Ökobilanzen des kompletten Lebenszyklus des Diesalgelenkbusses mit DIWAhybrid-Antrieb sowie des Mercedes Benz Citaro Bluetec Hybrid von PE INTERNATIONAL durchgeführt. Entsprechend Abbildung 19 beinhaltet der Untersuchungsrahmen dieser Öko- und Klimabilanz zu-

nächst die Buserstellung mit besonderem Fokus auf die Herstellung der Hybridkomponenten. Des Weiteren werden die Nutzungsphase mit dem Fahrbetrieb des Busses und der Kraftstoffbereitstellung sowie die Verwertung des Fahrzeuges an seinem Lebensende berücksichtigt. Der Dieselhybridbus wird einem Referenzfahrzeug mit konventionellem Dieselantriebsstrang gegenüber gestellt das auf einem jeweils vergleichbaren Busmodell (Solaris Urbino bzw. Mercedes-Benz Citaro) basiert.



**Abbildung 19** Untersuchungsrahmen für die Ökobilanzen

Im Rahmen der Ökobilanz wurde folgende Umweltwirkungen betrachtet: Treibhausgaseffekt, energetischen Ressourcenbedarf, Versauerung, Überdüngung, und Sommersmogbildungspotential. Durch die Berücksichtigung verschiedener Umwelteffekte, die über die häufig als Umweltkennzahl genutzten Treibhausgasemissionen hinausgeht, wird zum einen ermöglicht, dass potentielle Verlagerungen der Umweltlasten zwischen den einzelnen Wirkkategorien identifiziert werden können. Zum anderen erlaubt die Betrachtung des kompletten Lebenszyklus eine Analyse hinsichtlich eventueller Verschiebung der Umweltauswirkungen zwischen den unterschiedlichen Lebenszyklusphasen und ermöglicht entsprechend dem Ansatz der ganzheitlichen Betrachtung diese Verlagerungen zu vermeiden.

Die Umweltauswirkungen der neuartigen Dieselhybridbusse und der Dieselreferenzbusse werden anhand eines modularen Lebenszyklus-Modells analysiert und einander gegenübergestellt.

Die Herstellungsphase enthält alle relevanten Abbau-, Aufbereitungs-, Verarbeitungs- und Montageschritte und die damit verbunden Emissionen und Betriebsmittelverbräuche. Für die Modellierung der Herstellungsphase wurden die bei Voith Turbo bzw. EvoBus vorhandenen

Bauteilinformationen (SAP-Stücklisten, CAD-Zeichnungen der Komponenten, Präsentationen, Datenblätter, Informationen der Zulieferer, usw.) ausgewertet und gemeinsam mit den jeweiligen Komponentenverantwortlichen im Bedarfsfall ergänzt.

Der DIWAhybrid Dieselbus ist zusätzlich zu einem Dieselmotor u.a. mit einem Elektromotor und Kondensatoren zur Energiespeicherung ausgestattet. Das zusätzliche Gewicht dieser Komponenten wird durch den verkleinerten Dieselmotor teilweise kompensiert. In Summe ergibt sich ein Mehrgewicht des DIWAhybrid-Antriebes von 596 kg zuzüglich einer optionalen Dachumhüllung sowie -verstärkung.

Der serielle Mercedes Benz Citaro BlueTec Hybrid verwendet eine Li-Ionen-Batterie sowie einen Radnabenantriebsachse. Auch dieser Bus weist einen verkleinerten Motor auf und in Summe ein Mehrgewicht von ca. 2 t.

Die Nutzungsphase für den Dieselhybrid wird abgebildet, indem berechnete Werte der Buslinien 44<sup>9</sup> in Stuttgart verwendet und an die Besonderheiten des Dieselhybridbus angepasst werden. Durch den kleineren Diesel-Motor kann laut Voith eine Kraftstoffeinsparung von 15 % angenommen werden. Analog wurden vereinfachend dieselben Einsparungen für die limitierten Schadstoffe angenommen.

Für die Nutzungsphase des Citaro Bluetec wird ein Betrieb auf der Linie 42<sup>10</sup> in Stuttgart angenommen. Die Kraftstoffeinsparung wird mit 20% basierend auf EvoBus-Werten, angesetzt. Diese Reduktion wird analog für die Schadstoffe übernommen.

Als jährliche Fahrleistung werden in beiden Analysen 60.000 km angenommen, daraus ergibt sich über die gesamte Betriebsdauer von 12 Jahren eine Gesamtfahrleistung von insgesamt 720.000 km.

Die End-of-Life-Phase beider Busse wird in Anlehnung an das Recycling eines PKWs modelliert. Ergebnisse der Analyse werden in Kapitel 6.3.3 aufgezeigt.

## 5.4 Vorgehensweise Akzeptanzuntersuchung

Neben der Erfassung der technischen Betriebserfahrungen, diente der Betrieb ebenso der Untersuchung der Akzeptanz der Technologie bei den Nutzern. Im Fokus der Untersuchung standen hierbei neben den Fahrdienstmitarbeitern der Verkehrsunternehmen vor allem die Fahrgäste in den Bussen sowie ggf. an den Haltestellen. Sie können unmittelbar ihre Wahrnehmung in Bezug auf den Fahrkomfort einschließlich der Geräusche schildern und sind die maßgebliche Quelle zur Bewertung der Wahrnehmung und Akzeptanz. Außerdem gibt die durch sie vermittelte Haltung gegenüber der neuen Technologie eine Handlungsvorgabe für die Entscheider in den Verkehrsunternehmen und –verbänden sowie ggf. den regionalen Parlamenten. Um ihre persönlichen Eindrücke und Meinungen zu erfassen und in der weiteren Außendarstellung und Bewertung der Technologie verwerten zu können, wurden die Nutzer im

<sup>9</sup> Daten Linie 44: Länge 19,5 km, maximale Steigung von 6 %, Durchschnittsgeschwindigkeit 23,5 km/h (DIWAHybrid)

<sup>10</sup> Daten Linie 42: Länge 21,5 km, maximale Steigung von 4,5 %, Durchschnittsgeschwindigkeit 16 km/h (ELMOS)

Zuge einer Umfrage zu einer Einschätzung der Technologie befragt. Die Fragebögen zur Akzeptanzbefragung wurden gemeinsam von PE INTERNATIONAL und vom Institut für Kraftfahrzeuge (ika) der RWTH Aachen erstellt, die Befragung fand in den jeweiligen Verkehrsbetrieben statt. In der Modellregion Rhein-Ruhr wurde sie vom Institut für Kraftfahrzeuge (ika) der RWTH Aachen durchgeführt. Die Auswertungen wurden von PE INTERNATIONAL vorgenommen.

## 6 Ergebnisse

Um die ökologische Bewertung der Nachhaltigkeit von Hybridbussen zu untersuchen, wurde eine kontinuierliche Erfassung von Betriebsdaten (Laufleistung, Einsatzzeit, Verbrauch, Verfügbarkeit etc.) durchgeführt. Neben Ergebnissen zu Laufleistung und Betriebsstunden, wurden u.a. auch Daten zur Verfügbarkeit sowie zum Kraftstoffverbrauch erfasst und interpretiert. Jeder Verkehrsbetrieb stellte hier neben Daten der neu erworbenen Hybridbusse ebenso Daten von vergleichbaren konventionellen Dieselnissen zur Verfügung.

Die Auswertung dieser Betriebsdaten sowie die Ergebnisse der Akzeptanzbefragungen werden im Folgenden vorgestellt.

<b>Themenfeld</b>	<b>Einzelkriterium</b>	<b>Untersuchung ausgeführt von</b>
<b>Praxistauglichkeit und Einsatzreife</b>	Laufleistung und Betriebsstunden	<i>PE International</i>
	Verfügbarkeit	<i>PE International</i>
<b>Effizienz</b>	Kraftstoffverbrauch aus Dauertest	<i>PE International</i>
	Kraftstoffverbrauch aus Verbrauchsmessungen	<i>Bremer Straßenbahnen AG Fraunhofer IVI</i>
	Kraftstoffverbrauch aus Simulation	<i>Institut für Kraftfahrzeuge (ika) der RWTH Aachen</i>
<b>Ökologie und Klimaschutz</b>	CO <sub>2</sub> -Emissionen aus Kraftstoffverbrauch Dauertest	<i>PE International</i>
	Abgasemissionen aus Abgasmessungen	<i>Institut für Kraftfahrzeuge (ika) der RWTH Aachen</i>
	Geräuschemissionen	<i>Institut für Kraftfahrzeuge (ika) der RWTH Aachen</i>
	Ökobilanz zweier Dieselnissen	<i>PE International</i>
<b>Akzeptanz</b>	Bewertung durch Fahrer	<i>PE International Institut für Kraftfahrzeuge (ika) der RWTH Aachen</i>
	Akzeptanz Fahrgäste/Passagiere	<i>PE International Institut für Kraftfahrzeuge (ika) der RWTH Aachen</i>

## 6.1 Praxistauglichkeit und Einsatzreife

### 6.1.1 Laufleistung und Betriebsstunden

Insgesamt wurde in allen erfassten Regionen und von allen erfassten Hybridbussen eine Fahrleistung von über 1.375.000 km erbracht (siehe Abbildung 20). Dies entspricht einer 34-fachen Umrundung des Erdballs. Die durchschnittliche tägliche Fahrleistung der Hybridbusse liegt bei rund 200 km. Die Hybridbusse waren bisher 78.437 Stunden im Einsatz (ohne Berücksichtigung der Betriebsstunden von SSB, da hier keine Betriebsstundenerfassung erfolgte). Es konnten Betriebserfahrungen gesammelt werden, die ungefähr 34 Jahren, gemessen in durchschnittlicher jährlicher Laufleistung, entsprechen. Die durchschnittliche Einsatzdauer beträgt ca. 14 Stunden täglich. Für die hier erfassten Dieselreferenzfahrzeuge liegt sie bei gut 15 h (üblicherweise geht man bei Dieseln von bis zu 16 -18 Stunden Betrieb aus).

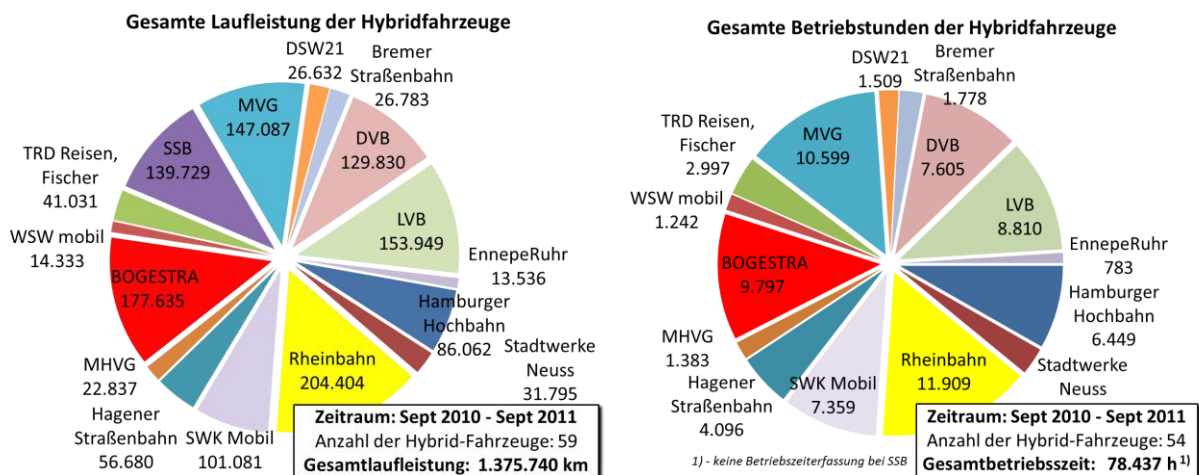
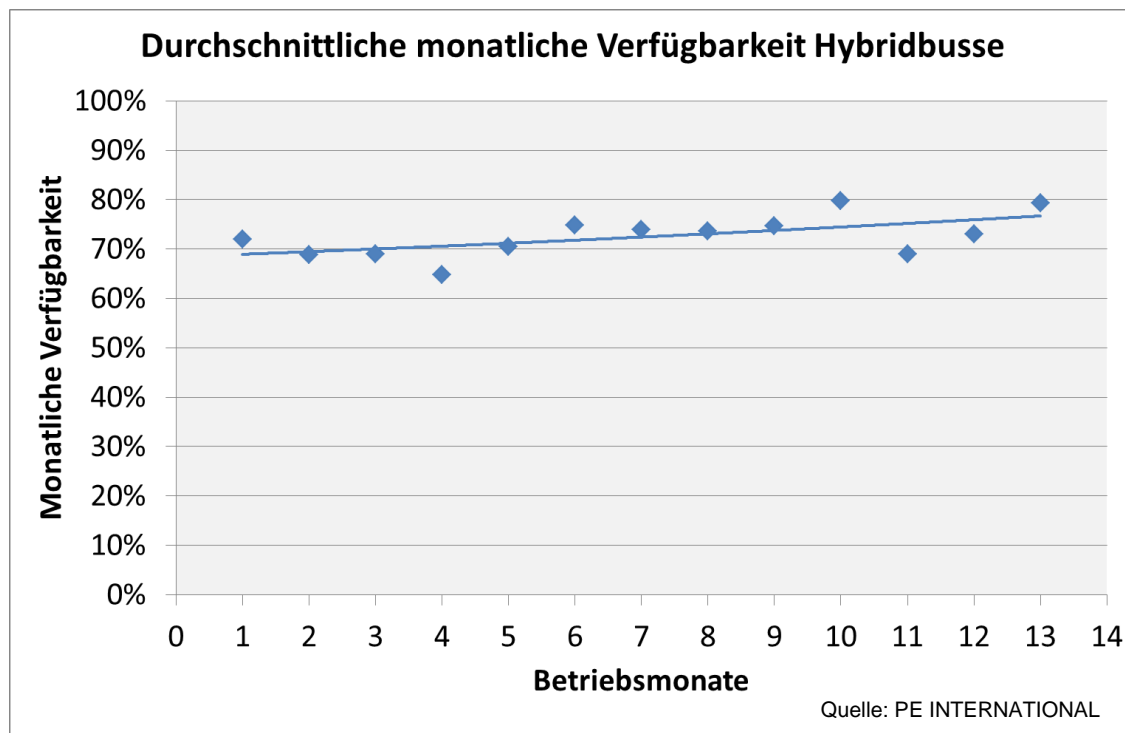


Abbildung 20 Laufleistung und Betriebsstunden der Hybridbusflotte

Quelle: PE INTERNATIONAL

### 6.1.2 Verfügbarkeit

Positiv dabei war die Entwicklung der Verfügbarkeit der Hybridbusse. Zwar führten technische Defekte teilweise zu einer eingeschränkten Verfügbarkeit, allerdings betrafen diese nicht nur die innovativen Komponenten des Hybridantriebsstrangs, sondern auch konventionelle Komponenten des Busses. Während die Verfügbarkeit über alle erfassten Betriebsmonate im Durchschnitt bei 73% lag, zeichnet sich eine Steigerung der Verfügbarkeit mit zunehmender Betriebsdauer ab. Im Vergleich hierzu liegt der Wert für die bewährte Dieselselbsttechnologie bei rund 91%.



**Abbildung 21** Durchschnittliche Verfügbarkeit der Hybridbusse

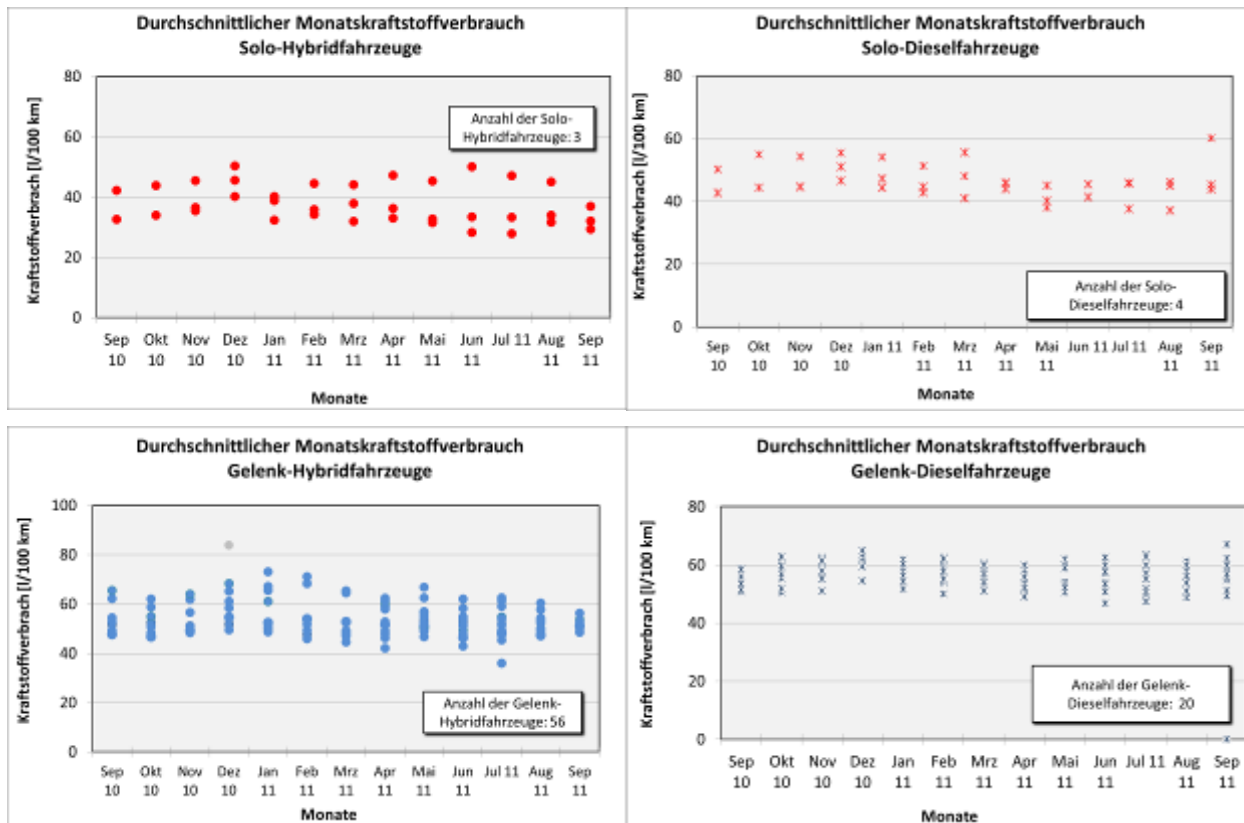
Auf Grund der zeitlich beschränkten Projektlaufzeit und Datenerfassung sind die dargestellten Ergebnisse als erste Tendenzen zu verstehen. Die durchschnittliche Einsatzdauer der Busse betrug Stand September 2011 7 Monate. Etliche Hybridbusse waren zum Zeitpunkt der Berichtserstellung lediglich 3 Monate oder noch kürzer im Betrieb; eine längerfristige Beobachtung der Fahrzeuge würde hier weitere belastbarere Erkenntnisse liefern.

## 6.2 Effizienz

### 6.2.1 Kraftstoffverbrauch auf Basis des Dauertests

Bei der Analyse des Kraftstoffverbrauchs ist zu berücksichtigen, dass dieser von verschiedenen Faktoren abhängig ist. Neben der Topographie und der Außentemperatur, beeinflussen die Durchschnittsgeschwindigkeit, die wiederum von der Verkehrsdichte und dem Haltestellenabstand abhängt, und nicht zuletzt der Fahrer den Kraftstoffverbrauch ganz wesentlich. Bei den nachfolgend genannten bzw. dargestellten Verbrauchsbändern ist entsprechend eine große Spannweite zu beobachten (siehe Abbildung 22).

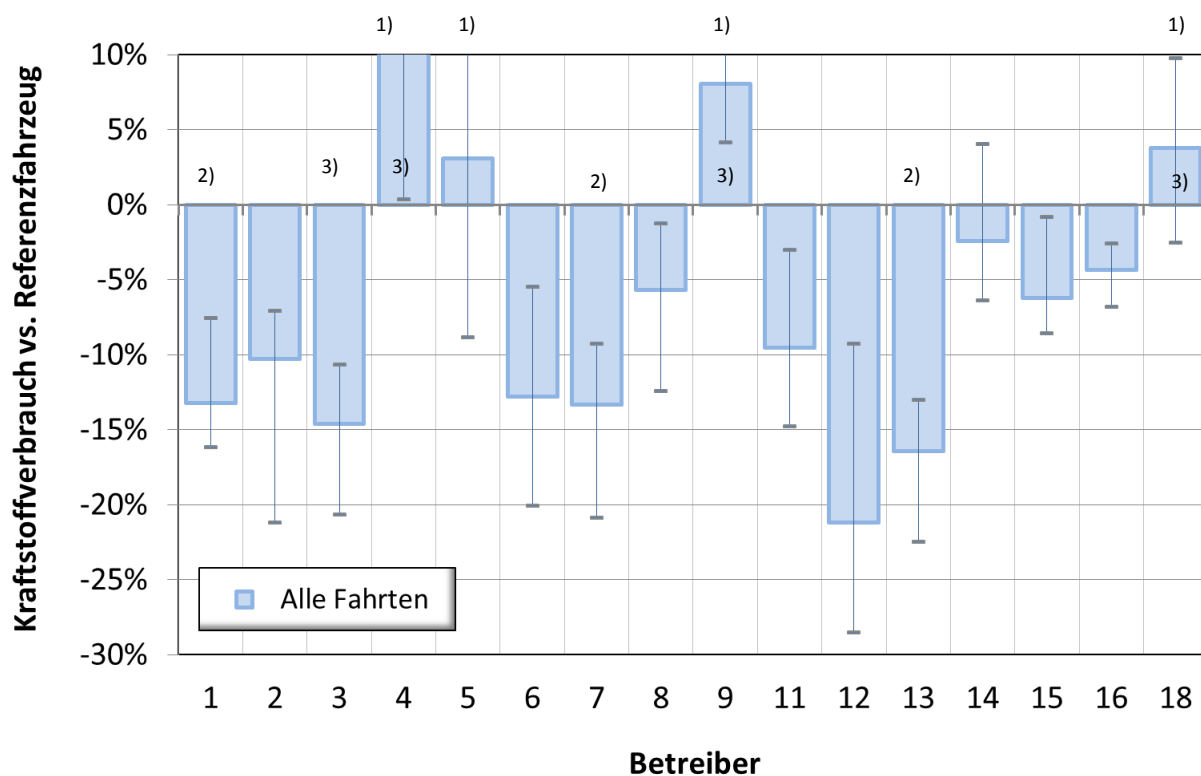
Bei den Gelenkhybridfahrzeugen liegt der Verbrauch in einer Bandbreite von 36-73 l/100 km. Für die Solohybridbusse ergibt sich eine Verbrauchspanne von 29-50 l/100km je nach Einsatzgebiet.



Quelle: PE INTERNATIONAL

**Abbildung 22** Durchschnittlicher Verbrauch Gelenk- und Solo-Hybridbusse vs. Diesel-Referenzfahrzeuge

Die Auswertung der Kraftstoffeinsparung zeigt aktuell noch eher heterogenes Bild. Während bei 12 Betreibern bisher durchschnittliche Einsparungen zwischen 2 und 21% erzielt werden konnten, zeigt sich bei vier Betreibern gegenwärtig noch ein Mehrverbrauch. Der Mehrverbrauch ergibt sich aus unterschiedlichen Faktoren (z.B. Betriebsmanagement, Klimatisierung, Routencharakteristik, eingeschränkte Vergleichbarkeit der Fahrzeuge zu den konventionellen Bussen aufgrund Ausstattung, z.B. Vollklimatisierung des Hybridbusses gegenüber Referenzfahrzeug komplett ohne Klimaanlage); an einer Reduktion des Kraftstoffverbrauchs wird aktuell intensiv gearbeitet. So werden beispielsweise das Betriebsmanagement weiter optimiert und einzelne Antriebskomponenten überarbeitet.



Quelle: PE INTERNATIONAL

- 1) Mehrverbrauch ergibt sich aus unterschiedlichen Faktoren (z.B. Betriebsmanagement, Klimatisierung, Routencharakteristik, eingeschränkte Vergleichbarkeit Fahrzeuge, z.B. Klimatisierung); an Reduktion wird aktuell gearbeitet
- 2) nur Fahrtriebverbrauch
- 3) eingeschränkte Vergleichbarkeit der Fahrzeuge

### Abbildung 23 Durchschnittlicher Verbrauch Gelenk- und Solo-Hybridbusse

Aufgrund der verschiedenen Einsatzprofile der Fahrzeuge können die aktuell realisierten Einsparungen für die Hybridbusse variieren. Basierend auf dieser Vielfalt von relevanten Faktoren, kann momentan noch nicht im Detail ermittelt werden, welcher Linientyp (Verkehrssituation, Halteintervall, Topographie, etc.) für welchen Hybridbustyp ideal geeignet ist. Im Bedarfsfall kann eine intensive Zusammenarbeit zwischen Herstellern und Verkehrsbetrieben sinnvoll sein.

Generell ist aufgrund der Tatsache, dass die Messungen noch nicht standardisiert sind und die Systeme auch unterschiedlich konzeptioniert sind, eine direkte Vergleichbarkeit derzeit noch nicht möglich.

Es zeigt sich, dass noch technisches Optimierungspotential gegeben ist und im Laufe der weiteren Erprobung mit Fortschritten hinsichtlich Energieeffizienz und auch Verfügbarkeit zu rechnen ist. Dieses muss konkreter ausgeführt werden.

## 6.2.2 Kraftstoffverbrauch aus Verbrauchsmessungen

### Bremen

Aus dem Zwillingsstest zwischen dem Mercedes Citaro BlueTec Hybrid und Solaris Urbino Dieselreferenzbus in Bremen ergab sich auf der Linie 26 eine Verbrauchseinsparung von gut 20% im Mittel (46,5 l/ 100 km gegen über 58,4 l/100 km). Die Bandbreite der Verbrauchseinsparung der 8 Umläufe lag zwischen 17 und 23%<sup>11</sup>. Die Unterschiede des Batterieladezustands betrug dabei max. 4% zwischen Start und Ende der Messfahrt, im Mittel waren es weniger als 1% Unterschied.

Zur besseren Einordnung der Messergebnisse sind die nachfolgenden Anmerkungen zu beachten.

- Die Charakteristik der Linie 26 mit den 58 Haltestellen-Stopps, dem durchschnittlichen Haltestellenabstand von 441 m sowie den zusätzlich im Durchschnitt 20 verkehrsbedingten Stopps, ist für einen Einsatz eines Hybridbusses in der Hauptverkehrszeit, bezogen auf den Kraftstoffverbrauch (Verbrauchsreduzierung), optimal. Hier wurde eine Verbrauchsreduzierung von ca. 20% ermittelt.
- Ein Einsatz in einer "Schwachlastzeit" mit weniger Haltestellenanfahrten (ohne Haltewunsch bzw. kein Fahrgastzustieg) und weniger verkehrsbedingten Stopps beeinflusst die Kraftstoffreduzierung negativ. Dies spiegelt sich in den Verbrauchswerten wider bei der "Warmfahrt" und den An-/Abfahrten zum Startpunkt Huckelriede.
- In den Wintermonaten ist mit einer niedrigeren Kraftstoffeinsparung zu rechnen, da der Betrieb von zwei Zusatzheizungen beim Hybridbus (23 kW und 35 kW) zum Gesamtverbrauch hinzuzurechnen ist. Die Höhe der Verringerung der Kraftstoffreduzierung ist ferner davon abhängig, ob das konventionelle Dieselfahrzeug ebenfalls mit Zusatzheizung ausgestattet ist.
- Unter den Betriebsbedingungen der BSAG liegt die Einsparung im Linieneinsatz, im Vergleich zum Referenzbus, zurzeit bei ca. 5%. Hierbei sind die Zusatzheizung und diverse andere Nebenaggregate mitberücksichtigt, die beim Zwillingsstest üblicherweise nicht enthalten sind.

---

<sup>11</sup> Hierbei wurde jeweils der untere und obere Extremwert der Verbrauchseinsparung vernachlässigt.

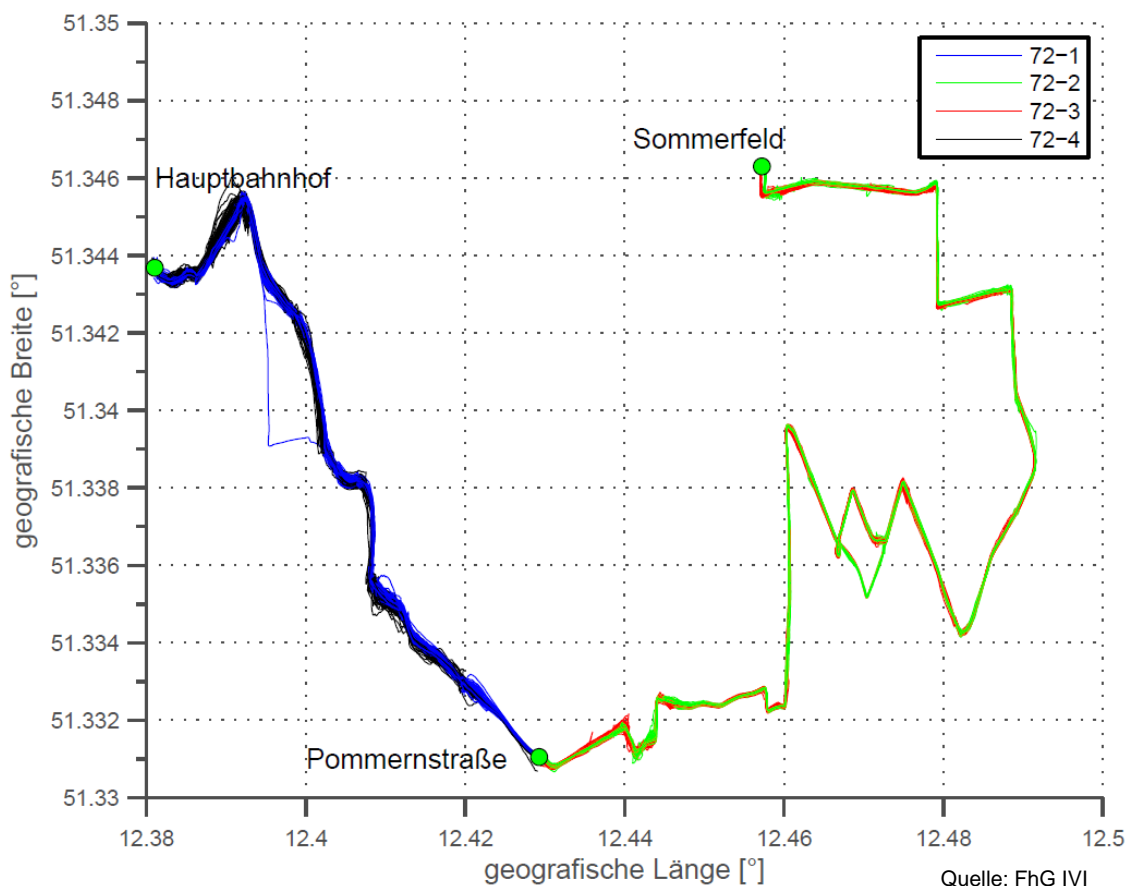
## Sachsen

Neben den Zwillings tests in Bremen wurden auch in Sachsen Messungen zum Energieverbrauch bzw. dessen Optimierung vorgenommen. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Messungen des Fraunhofer IVI dargestellt.

Neben der Ermittlung von Einsatzpotenzialen für serielle Hybridbusse lag das Hauptaugenmerk der begleitenden Untersuchungen im Projekt SaxHybrid auf der Optimierung der Fahrzeuge. Hierzu wurden die betrachteten Linien 61, 62 und 63 in Dresden sowie 72 und 73 in Leipzig in Abschnitte mit etwa gleicher Streckencharakteristik unterteilt. Abbildung 24 zeigt beispielhaft die Abschnittseinteilung der Linie 72 in Leipzig.

Um nur tatsächlich miteinander vergleichbare Fahrten einander gegenüberzustellen, wurden zunächst die Fahrtverläufe kontrolliert. Fahrten mit abweichenden Fahrtverläufen aufgrund von Baustellen o. ä., wie in Abbildung 24 ersichtlich, wurden dabei eliminiert. Weiterhin wurde u. a. darauf geachtet, die Anteile charakteristischer Zeitbereiche (Wochentage, Tageszeiten) in etwa gleich zu halten.

Die Ergebnisse wurden abschnittsfein aufbereitet und den beteiligten Verkehrsunternehmen sowie dem Hersteller übergeben.



**Abbildung 24** Streckenabschnitte der Linie 72 in Leipzig, Fahrtverlaufkontrolle

Beispielhaft aufzuführende Messergebnisse aus Leipzig, bei denen verschiedene Optimierungsschritte im Fahrzeug noch nicht umgesetzt waren, zeigten bereits Einsparungen von im Mittel bis zu 4,8 % gegenüber Dieseln der LVB-Flotte.

Die Messungen bestätigen die Annahme, dass sich serielle Hybridbusse vor allem verdichtete Strecken mit vielen Start- und Anfahrvorgängen eignen. Auf Linien mit starken Steigungen und hohen Reisegeschwindigkeiten reduziert sich dieser Vorteil zum Teil. Linien mit geringer Reisegeschwindigkeit und moderatem Höhenprofil führen zu deutlich besseren Einsatzbedingungen. Inwieweit diese ersten Hinweise sich im Dauerbetrieb bestätigen, bleibt noch abzuwarten. Entsprechende erste Empfehlungen wurden an die beteiligten Verkehrsunternehmen weitergeleitet.

Bezüglich der Erarbeitung eines Hybridbustestzyklus zeigt sich, dass dieser im Vergleich zu SORT-Zyklen deutlich länger sein muss, um den Einfluss der Energiespeicher bzw. deren Ladezustände vor und nach dem Durchfahren möglichst gering zu halten. Als Nachteil für einen standardisierten Hybridbustestzyklus stellt sich heraus, dass dieser topographische Einflüsse, auf die die einzelnen Hybridbustechnologien unterschiedlich reagieren, vermutlich nicht darstellen kann.

## **6.3 Ökologie und Klimaschutz**

### **6.3.1 Abgasemissionen**

Der aggregierte Umwelteinfluss der Hybridbusflotte über die gesamte Projektlaufzeit des Dauereinsatzes stellt sich wie folgt dar:

Im Zeitraum zwischen September 2010 und September 2011 konnten mit der über die Modellregionen Elektromobilität betriebenen Hybridbusflotte 267 t CO<sub>2</sub> vermieden und 88.000 Liter Diesel eingespart werden (s. Abbildung 25).

Werden zum Beispiel nur 10 % der erbrachten Fahrzeugkilometer im ÖPNV von Hybridbussen mit einer durchschnittlichen Kraftstoffeinsparung von 15 bzw. 20% erbracht, so ergibt sich ein jährliches Treibhausgasvermeidungspotential von ca. 43.000 t bzw. 57.000 t.



Vermiedene CO<sub>2</sub>-Emissionen  
an den 17 Standorten:

**267 t**

**Abbildung 25** Vermiedene Treibhausgasemissionen der gesamten Hybridflotte in 7 Modellregionen

Weitere Detailuntersuchungen zu Abgasemissionen und Geräuschemissionen wurden vom Institut für Kraftfahrzeuge (ika) der RWTH Aachen durchgeführt. Die folgenden Darstellungen stellen die Ergebnisse aus diesen Messungen und Untersuchungen vor.

Der Hybridbuseinsatz im VRR führt im Mittel zu einer CO<sub>2</sub>-Reduktion von 10%, wie in Abbildung 26 dargestellt. Die sehr großen Verringerungen der NO<sub>2</sub>-Emissionen um im Mittel 75% bei gleichzeitiger tendenzieller Reduktion der NO<sub>x</sub>-Emissionen um im Mittel 6,4% machen deutlich, dass der Einsatz von Hybridbussen ein wirksames Mittel zur Verbesserung der Immissionssituation in den Städten darstellt. Die Erhöhung der CO-Emissionen um im Mittel 25% mit einer sehr großen Schwankungsbreite sind von eher untergeordneter Bedeutung, da die absoluten Emissionen auf sehr geringem Niveau anfallen und trotz der Schwankungsbreite keine Grenzwertüberschreitungen bei den Motoren erwartet werden.

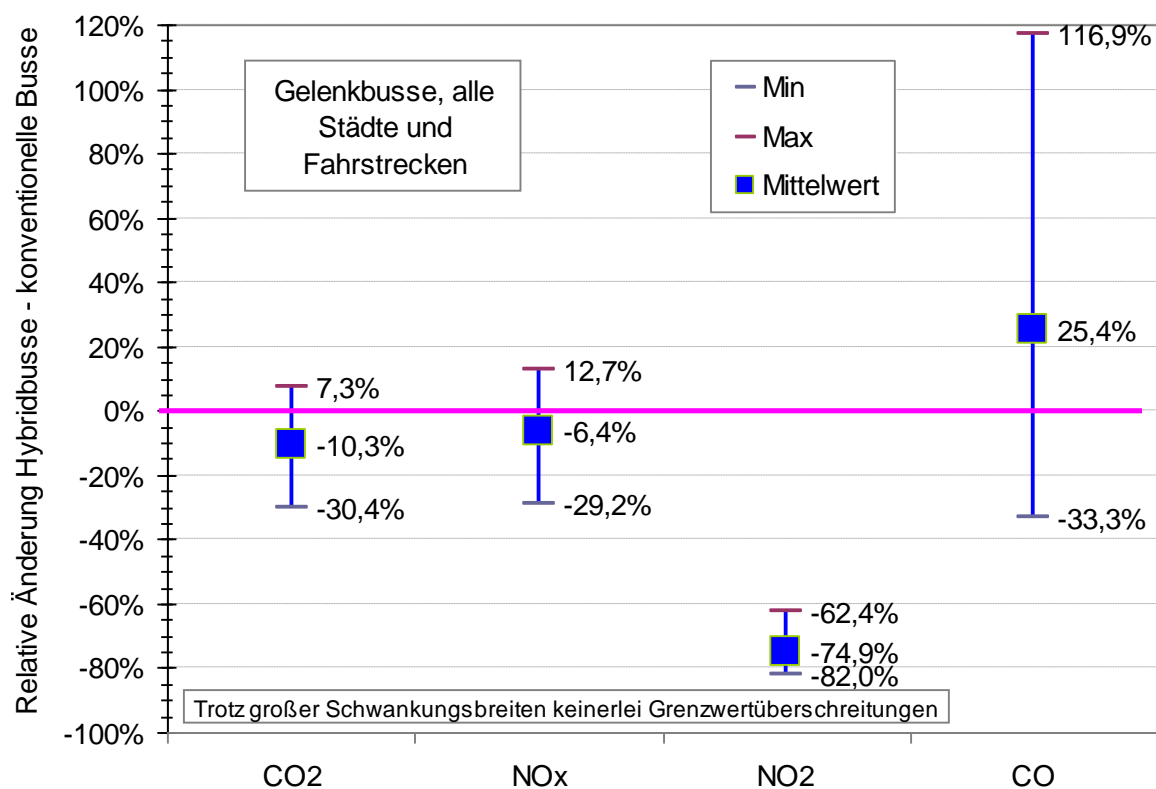


Abbildung 26 Relative Änderungen ausgewählter Abgasemissionen, Gesamtbetrachtung Gelenkbusse

Zur genaueren Analyse des Emissionsverhaltens der VRR-Fahrzeuge eignet sich die Darstellung der Emissionen über der mittleren Geschwindigkeit. Die Datenpunkte in den folgenden Abbildungen zeigen die mittleren Emissionswerte der konventionellen Busse und der Hybridbusse in 5 km/h Geschwindigkeitsklassen sowie die Zeitanteile der jeweiligen Geschwindigkeitsklasse an der Gesamtfahrt.

Werden in dieser Form die Emissionen für alle vier Einsatzgebiete und alle Linien dargestellt, ergibt sich wie Abbildung 27 zeigt. Schon bei der Betrachtung der Mittelwerte über alle Einsatzorte wird deutlich, dass CO<sub>2</sub>-Vorteile bei kleinen Geschwindigkeiten entstehen. Da die Fahrzeuge sich mit großen Anteilen in diesen Geschwindigkeitsbereichen bewegen, können diese Vorteile gut genutzt werden.

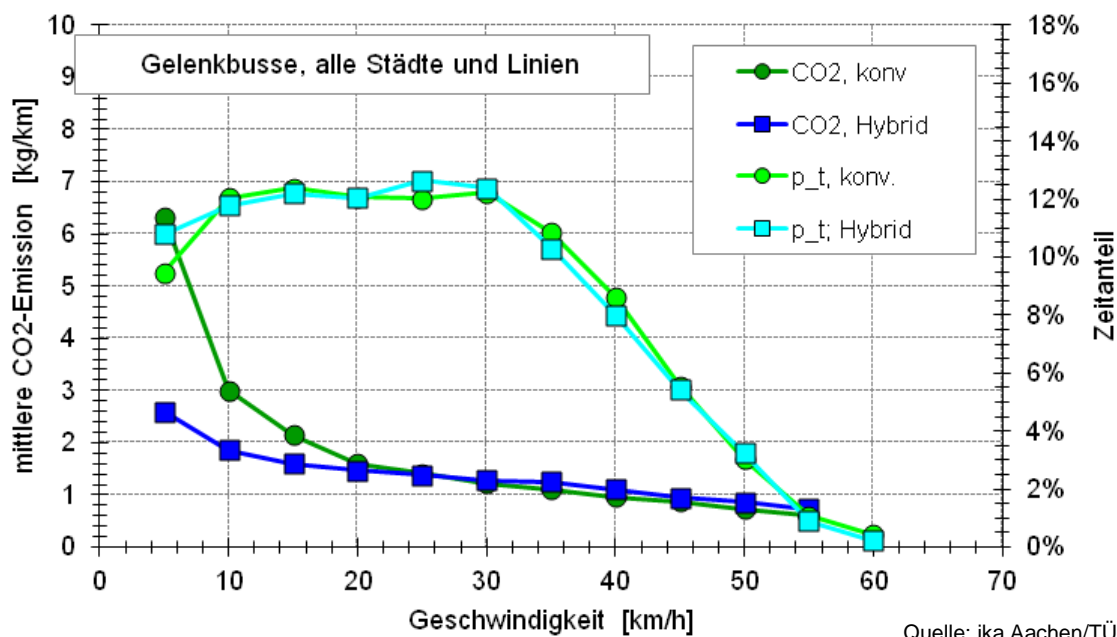


Abbildung 27 Mittlere geschwindigkeitsabhängige CO<sub>2</sub>-Emissionen, gesamt

Einen großen positiven Einfluss auf die innerstädtische Immissionssituation liefert der Einsatz von Hybridbussen durch eine deutliche Absenkung der direkt emittierten NO<sub>2</sub>-Massen. Die Abbildung 28 verdeutlichen die Gründe für die Verringerung der Emissionen in der Größenordnung von 75%. Gerade innerhalb des relevanten Geschwindigkeitsbereichs mit hohen Zeitanteilen können die NO<sub>2</sub>-Emissionen beim Einsatz von Hybridbussen im Vergleich zu konventionellen Bussen stark gesenkt werden.

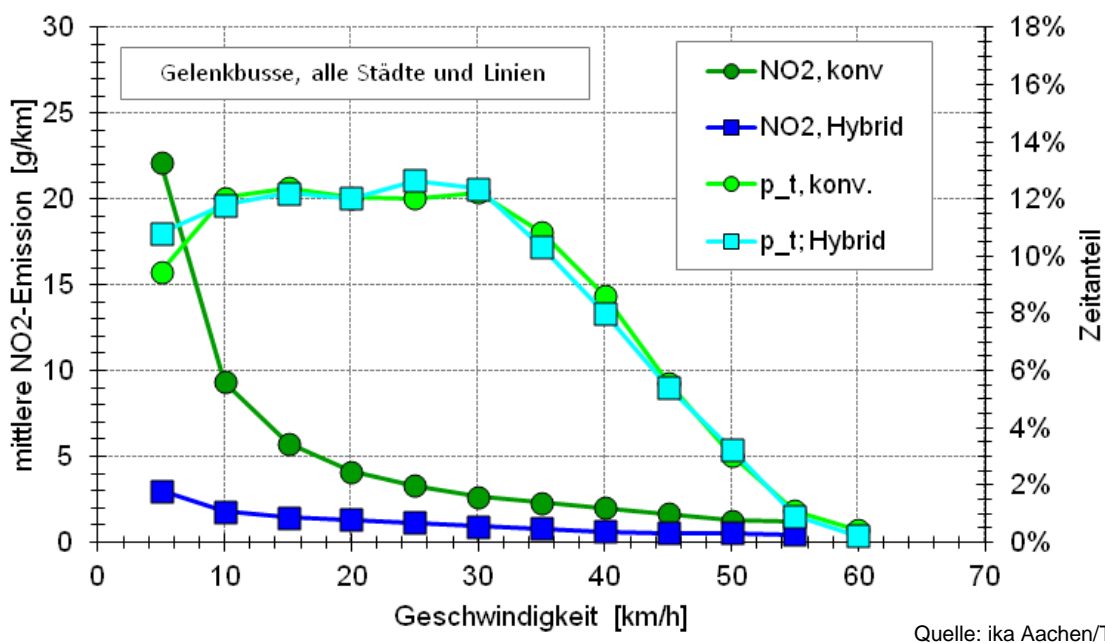
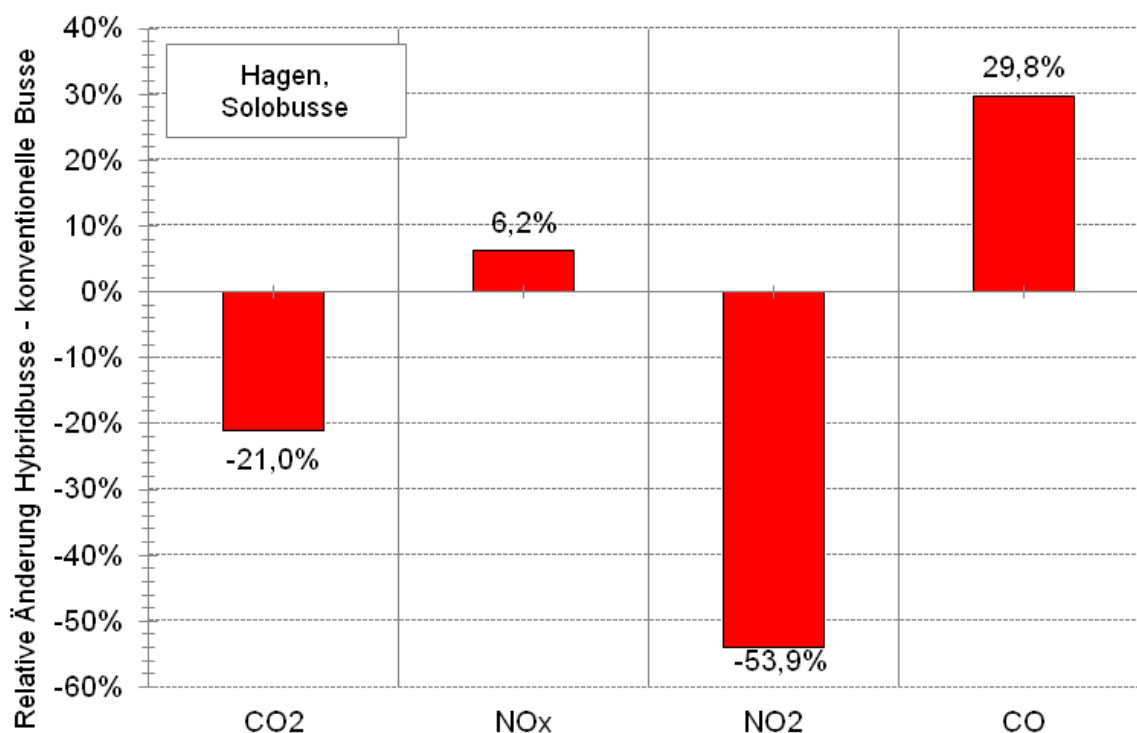


Abbildung 28 Mittlere geschwindigkeitsabhängige NO<sub>2</sub>-Emissionen, gesamt

Für die zwei, im Rahmen der VRR-Forschungsbegleitung vermessenen Hybrid-Solobusse, fällt eine vergleichende Darstellung zu konventionellen Fahrzeugen schwerer. Mit Ergebnissen eines EEV Solobusses (AGR in Kombination mit Partikelfilter), die aus vorherigen Projekten stammen, konnte für den Einsatzort Hagen eine vergleichende Betrachtung erfolgen. Eine deutliche Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen geht zusammen mit ebenfalls großen Minderungen an NO<sub>2</sub> bei leichter Erhöhung der NO<sub>x</sub>-Emissionen. Abbildung 29 zeigt die Ergebnisse für die Solobusse im Vergleich zum konventionellen EEV Fahrzeug.



Quelle: ika Aachen/TÜV Nord

**Abbildung 29** Relative Änderungen ausgewählter Abgaskomponenten (Solobusse Hagen)

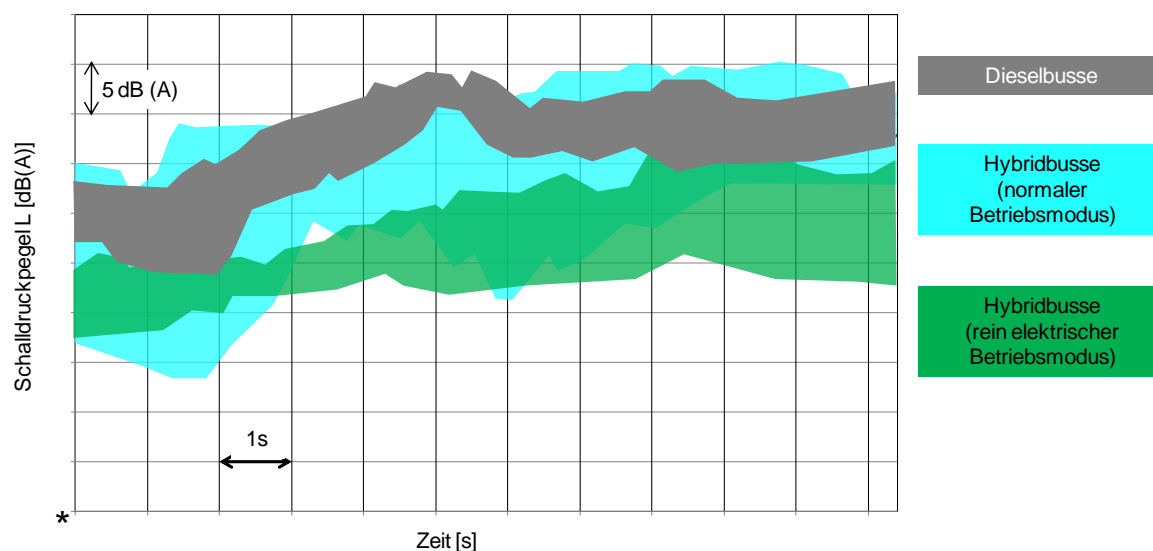
Bei der Abgaskomponente CO sowie den HC- und Ruß-Emissionen werden die unterschiedlichen Konzepte zur Erreichung der Abgasgrenzwerte deutlich. Die beiden konventionellen Fahrzeuge sowie ein Gelenkhybridbus benutzen Partikelfilter teilweise kombiniert mit einem SCR System. Hierdurch bedingt emittieren diese Fahrzeuge minimale Partikelmassen und, durch die oxidative Wirkung der Systeme herbeigeführt, auch geringe Massen CO und HC. Die beiden anderen Gelenkbusse nutzen lediglich ein SCR System. Besonders deutlich wird dies bei Betrachtung der Partikelemissionen. Durch die hohen Wirkungsgrade von geschlossenen Partikelfiltersystemen (>95%) sind für diese Fahrzeuge kaum Emissionen erkennbar. Die Fahrzeuge ohne Filtersysteme zeigen zwar Partikelemissionen, bleiben aber auf einem Niveau das den repräsentierten Grenzwertstufen (EEV bzw. Euro V) entspricht. Die HC Emissionen bewegen sich für alle Fahrzeuge auf niedrigem Niveau und besitzen große individuelle Schwankungsbreiten, die auch durch die unterschiedlichen Einsatzorte beeinflusst sind. Bei

modernen Dieselmotoren liegen die HC-Emissionen in den Zertifizierungstests weit unterhalb der erlaubten Grenzwerte, so dass auch trotz der großen Schwankungsbreiten bei den Realemissionen keine Grenzwertüberschreitungen der Motoren zu erwarten sind.

## 6.3.2 Geräuschemissionen

### 6.3.2.1 Innenraumgeräusch

Abbildung 33 repräsentiert die Ergebniszusammenfassung der Geräuschemissionsmessungen im Fahrgastraum für das Manöver Haltestellenabfahrt. Die durchgeführten Manöver entsprechen wiederum einer Volllastabfahrt von der Haltestelle in einem Geschwindigkeitsbereich von 0 km/h bis 25 km/h. Das zum Einsatz kommende Kunstkopfmesssystem repräsentiert einen Fahrgast im Heck der Fahrzeuge in unmittelbarer Nähe zum Dieselmotor bzw. zur Dieselmotor-Generator-Einheit. Dies ermöglicht die Aufzeichnung der größtmöglichen Geräuschbelastungen.



\* ungleich 0 dB(A) / Mittelwerte je Fahrzeug

Quelle: ika Aachen/TÜV Nord

**Abbildung 30** Haltestellenabfahrt unter Vollastbedingungen<sup>12</sup>

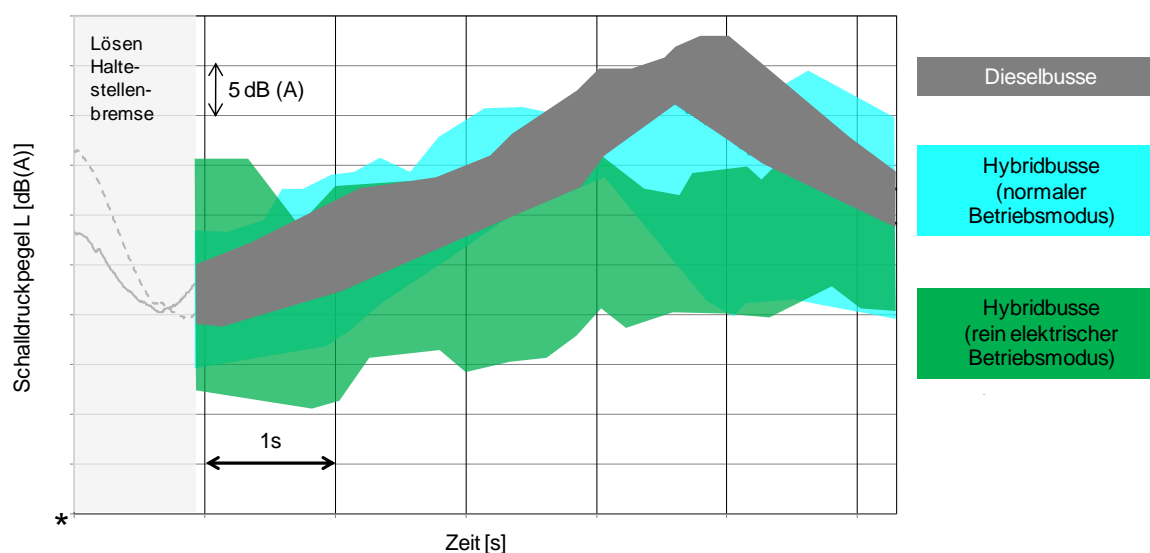
Im Vergleich zu den Dieselnissen sind reduzierte Spitzenwerte bei den Hybridbussen (untere Grenze des blauen Streubandes) nachweisbar. Allerdings emittieren manche Hybridbuskonzepte vergleichbar hohe Spitzenwerte wie die Dieselnisse (graues Streuband) und haben insofern bei der Haltestellenabfahrt keine Vorteile hinsichtlich der Geräuschemissionen im Fahrgastraum.

<sup>12</sup> Streubänder Dieselnisse und Hybridbusse im normalen Betriebsmodus sowie Hybridbusse im rein elektrischen Betriebsmodus, 0-25 km/h, Geräuschemissionen Fahrgastraum

Bei den Hybridbuskonzepten sind im rein elektrischen Betriebsmodus (untere Grenze des grünen Streubandes) nochmals weiter reduzierte Geräuschpegel nachweisbar. Dies gilt wiederum nur für die Hybridbuskonzepte, welche zumindest temporär rein elektrisch betrieben werden können.

### 6.3.2.2 Außengeräusch

Abbildung 31 repräsentiert eine Ergebniszusammenfassung der Außengeräuschemissionsmessungen für das Manöver Haltestellenabfahrt. Die durchgeführten Manöver entsprechen einer Volllastabfahrt von der Haltestelle in einem Geschwindigkeitsbereich von 0 km/h bis 25 km/h. Wie in Abbildung 18 dargestellt, repräsentiert das feststehende Kunstkopfmesssystem dabei einen an der Haltestelle wartenden Fahrgast.



\* ungleich 0 dB(A) / Mittelwerte je Fahrzeug

Quelle: ika Aachen/TÜV Nord

**Abbildung 31 Haltestellenabfahrt unter Volllastbedingungen<sup>13</sup>**

Abbildung 31 zeigt die Streubänder aller im Projekt gemessenen Fahrzeuge (Dieselbusse und Hybridbusse). Die Streubänder basieren auf dem maximal im jeweiligen Betriebszustand pro Fahrzeug gemessenen Schalldruckpegelverlauf und sind insofern repräsentativ für die in der Praxis generierten, maximalen Außengeräuschemissionen während der Haltestellenabfahrt.

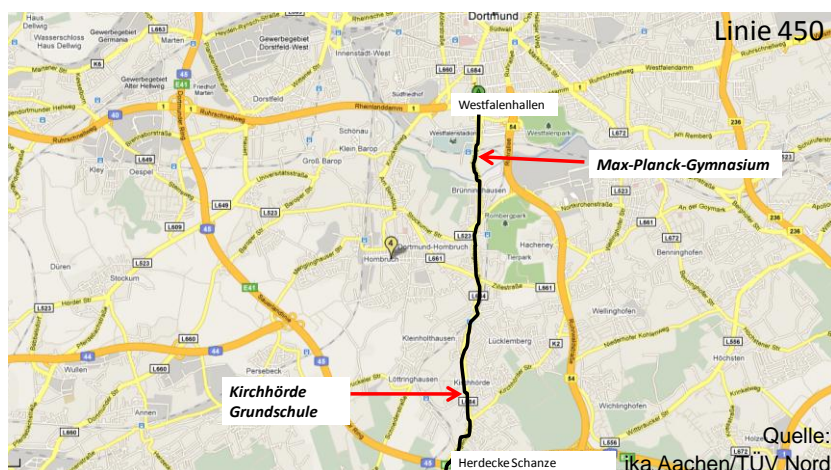
Wie aus Abbildung 31 ersichtlich, sind bei den Hybridbussen reduzierte Spitzenwerte des Schalldruckpegels (untere Grenze des blauen Streubandes) im Vergleich zu den Dieselbussen nachweisbar. Dies gilt auch noch für die obere Grenze des blauen Streubandes der

<sup>13</sup> Streubänder Dieselbusse und Hybridbusse im normalen Betriebsmodus sowie Hybridbusse im rein elektrischen Betriebsmodus, 0-25 km/h, Außengeräuschemissionen

Hybridbusse (normaler Hybrid-Betriebsmodus), wenn auch die Unterschiede deutlich geringer ausfallen und in der Praxis teilweise nicht mehr subjektiv differenziert werden können. Im Vergleich zu den Dieselnissen sind nochmals reduzierte Spitzenwerte bei den Hybridbussen im rein elektrischen Betriebsmodus (untere Grenze des grünen Streubandes) nachweisbar. Dies gilt allerdings nur für die Hybridbuskonzepte, welche zumindest temporär rein elektrisch betrieben werden können.

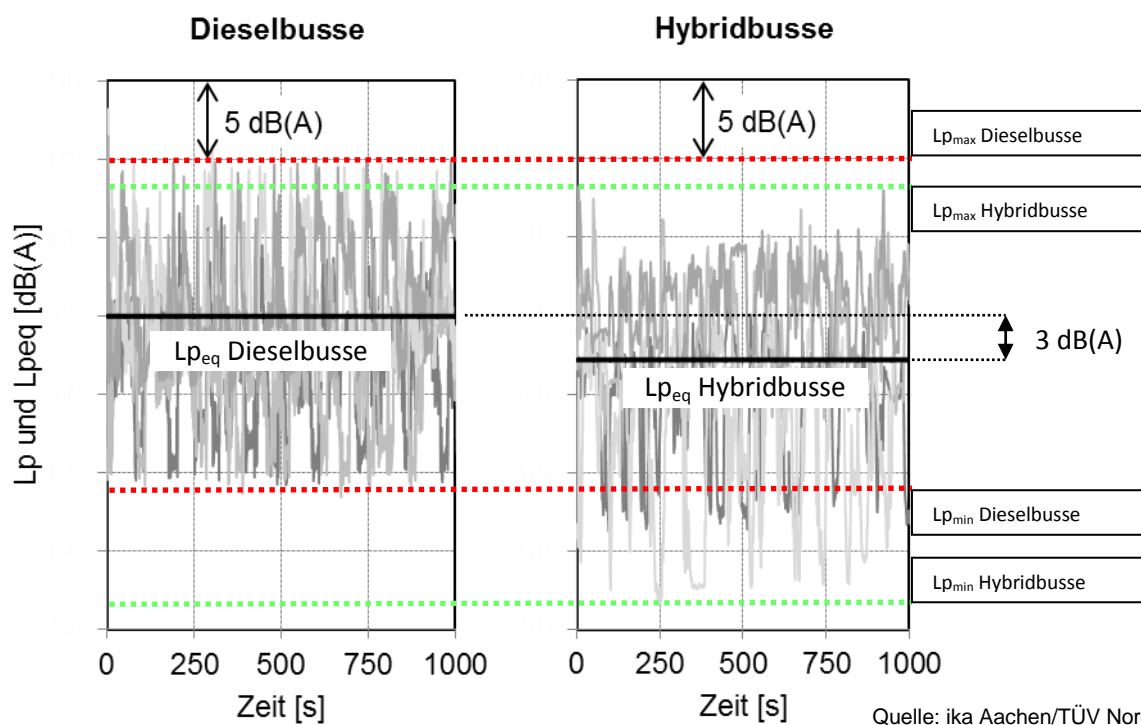
### Geräuschpegel Linienfahrt / Mittelungspegel und Streubänder

Ziel der Linienfahrten ist die Charakterisierung der maximalen und minimalen Geräuschemissionen ( $L_{p_{max}} / L_{p_{min}}$ ) sowie die Ermittlung eines Mittelwertpegels ( $L_{p_{eq}}$ ) als Maß für die durchschnittliche Geräuschbelastung im Fahrgastraum. Das Kunstkopfmesssystem ist dabei wieder im Heck der Fahrzeuge in unmittelbarer Nähe zum Dieselmotor bzw. zur Dieselmotor-Generator-Einheit positioniert, um die größtmöglichen Geräuschbelastungen aufzeichnen zu können. Abbildung 32 zeigt exemplarisch einen der gemessenen Linienverläufe (Linie 450 in Dortmund).



**Abbildung 32 Beispiel für eine gemessene Linienfahrt: Linie 450 in Dortmund**

Die Fahrgastraumgeräuschmessungen auf der Linie sind Leerfahrten (ohne Fahrgäste) und werden pro Fahrzeug mehrmals bei Hin- und Rückfahrt durchgeführt. Dabei wird jede Haltestelle fahrplanmäßig angefahren und eine Verweildauer an der Haltestelle von 10s mit Betätigung der Vorder- und Mitteltüren initiiert. Als Gesamtergebnis der Messungen zeigt Abbildung 33 das Streuband sowie die spezifischen Schalldruckpegelwerte für alle Linienfahrten und alle in diesem Projekt gemessenen Fahrzeuge (Dieselbusse und Hybridbusse).



**Abbildung 33** Streuband Linienfahrten und Mittelwertpegel: Dieselbusse vs. Hybridbusse

Das linke Diagramm von Abbildung 33 zeigt die Dieselbusse. Die roten Markierungen begrenzen die minimalen ( $L_{p_{\min}}$  Dieselbusse) und die maximalen ( $L_{p_{\max}}$  Dieselbusse) Schalldruckpegel als Streuband der Linienfahrten. Darüber hinaus ist der berechnete Mittelwertpegel  $L_{p_{\text{eq}}}$  Dieselbusse dargestellt.

Das rechte Diagramm zeigt die Hybridbusse. Die grünen Markierungen begrenzen die minimalen ( $L_{p_{\min}}$  Hybridbusse) und die maximalen ( $L_{p_{\max}}$  Hybridbusse) Schalldruckpegel als Streuband der Linienfahrten. Ebenfalls ist der berechnete Mittelwertpegel  $L_{p_{\text{eq}}}$  Hybridbusse eingezeichnet.

Insgesamt sind reduzierte Maximalwerte und deutlich reduzierte Minimalwerte bei den Hybridbussen während der Linienfahrten im Fahrgastraum nachweisbar. Die unteren Grenzwerte werden maßgeblich durch die Fahrzeugkonzepte erzielt, welche das Dieselaggregat bedarfsgerecht an- und ausschalten können.

Bezogen auf den Mittelwertpegel aller Linienfahrt-Geräuschmessungen im Fahrgastraum wird bei den Hybridbussen ( $L_{p_{\text{eq}}}$  Hybridbusse) eine Reduktion von ca. 3 dB(A) gegenüber den Dieselbussen ( $L_{p_{\text{eq}}}$  Dieselbusse) erzielt.

### 6.3.3 Ökobilanzen von Dieselhybridbussen

Im Folgenden werden die Ergebnisse der beiden von PE INTERNATIONAL durchgeführten Lebenszyklusanalysen von zwei Dieselhybridbussen dargestellt. Untersucht wurden zum einen der DIWAhybrid Parallelhybridantrieb von VOITH Turbo, eingesetzt in einem Solaris Gelenkbus und zum anderen der Citaro BlueTec Hybrid Gelenkbus mit seriellem Hybridantrieb von EvoBus.

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist es wichtig zu berücksichtigen, dass beide Hybridbusse noch Vorserienmodelle der 1. Generation sind und folglich noch Verbesserungspotentiale aufweisen. Weiterhin ist zu beachten, dass keine direkte Vergleichbarkeit der beiden Hybridbusse miteinander gegeben ist. So wurden beispielsweise unterschiedliche Randbedingungen für die Nutzungsphase angesetzt, etc. Gegenstand der Untersuchungen war vielmehr die ganzheitliche ökologische Analyse des Lebenszyklus der Hybridbusse und die Gegenüberstellung mit einem jeweils vergleichbaren Dieselreferenzbus um die Reduktionspotentiale der jeweiligen Hybridtechnologie gegenüber dem konventionellen Dieselantrieb zu ermitteln.

#### *Herstellungsphase*

Betrachtet man zunächst die Herstellungsphase, so ergeben sich für den Referenzantriebsstrang gegenüber dem DIWAhybrid-Antriebsstrang mit seinen Zusatzkomponenten und den teilweise höherwertigen Materialien, z.B. bei den Elektronikkomponenten, 35 bis fast 70% niedrigere Emissionen. Der Anteil des Antriebsstranges an den Umweltwirkungen der Herstellung des kompletten Busses beträgt 12 - 14 %. Massenmäßig hat der Antriebsstrang einen Anteil von ca. 10 % am Busgesamtgewicht von ca. 18,5 t.

Für den Citaro BlueTec Hybrid ergeben sich rund 11-22% höhere Umweltlasten für die Herstellung des kompletten Fahrzeuges aufgrund der zusätzlichen bzw. veränderten Komponenten des Hybridantriebs.

#### *Gesamter Lebenszyklus*

Bei Betrachtung des gesamten Lebenszyklus zeigt sich, dass die höheren Emissionen und der höhere Primärenergiebedarf eines Dieselhybridbusses in der Herstellungsphase durch die Kraftstoff- und Emissionseinsparungen in der Nutzungsphase überkompensiert werden. Wartung und Verwertung sind von eher untergeordneter Bedeutung.

Alle untersuchten Sachbilanzkategorien amortisieren sich für beide Hybridbusse über die 12-jährige Betriebsdauer, die meisten bereits innerhalb des ersten Betriebsjahres, d.h. in den restlichen 11 Jahren sparen die untersuchten Hybridbusse jedes Jahr Primärenergie in Form von Ressourcen, CO<sub>2</sub>-, NO<sub>x</sub>- und weitere Schadstoffemissionen ein.

Für den *DIWAhybrid* von VOITH Turbo zeigt Abbildung 34 die Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen über die Lebensdauer des Dieselhybrid- und des Dieselreferenzbusses. Bereits nach rund 14.000 km Betrieb ergeben sich Einsparungen bei den CO<sub>2</sub>-Emissionen. So ergeben sich beispielsweise CO<sub>2</sub>-Einsparungen von 171 t bzw. 14% über den Lebenszyklus. Le-

diglich beim Versauerungspotential ergibt sich eine Amortisation erst im Laufe des 2. Betriebsjahres.

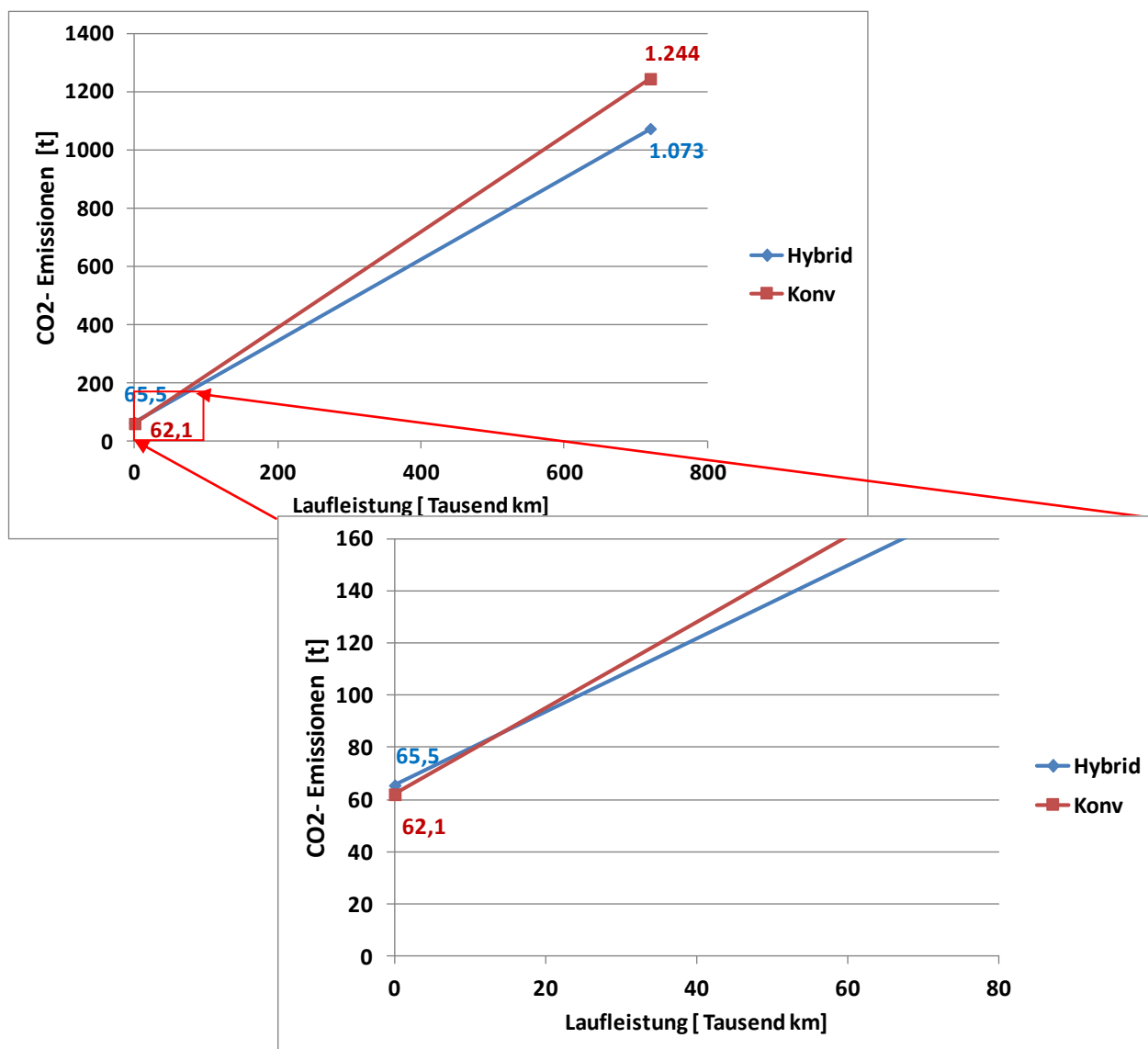


Abbildung 34 Break-Even-Analyse für die CO<sub>2</sub>-Emissionen

Die umweltlichen Einsparpotentiale der DIWAhybrid-Antriebstechnologie konnten so mit Hilfe der ökologischen Lebenszyklusanalyse quantifiziert werden und der Beitrag zu den Förderzielen der Bundesregierung hinsichtlich gesteigerter Energieeffizienz, Klimaschutz und Ressourcenschonung aufgezeigt werden. Der DIWAhybrid weist dabei in allen untersuchten Sachbilanz- sowie Wirkungskategorien um 11% -14% geringere Umweltauswirkungen gegenüber dem Referenzbus auf.

Für den *Citaro BlueTec* von EvoBus ergeben sich die in Abbildung 35 gezeigten ökologischen Reduktionspotentiale. Diese liegen im Bereich 13 – 19 % gegenüber dem konventionellen Diesel Citaro Bus. So werden zum Beispiel mehr als 80.000 l Diesel im Laufe der 12 jährigen Nutzungsphase eingespart. Hinsichtlich Schadstoffe können beispielsweise mehr als 1 t Stickoxidemissionen vermieden werden.

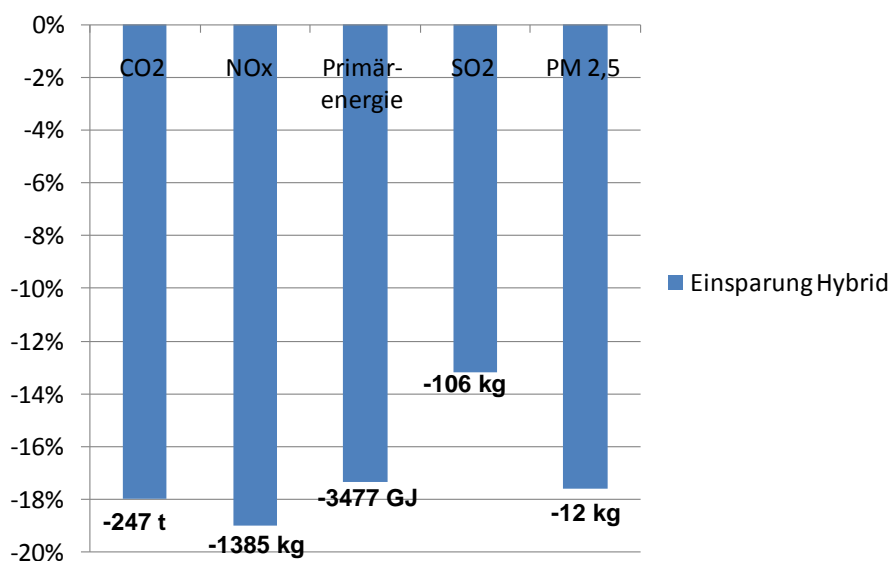


Abbildung 35 Einsparungen Citaro BlueTec Hybrid über gesamten Lebenszyklus

Das Einsparpotential der Hybridtechnologie lässt sich an folgendem Beispiel veranschaulichen: Würden beispielsweise 10 % der Busfahrleistung im ÖPNV in Deutschland<sup>14</sup> mit Hybridbussen erbracht, ergibt sich bei einer 15% Verbrauchsreduktion ein CO<sub>2</sub> Einsparpotential von rund 43.000 t CO<sub>2</sub>, bei 20% Verbrauchsreduktion ergeben sich entsprechend 57.300 t weniger CO<sub>2</sub> Emissionen – und das jedes Jahr.

Wie die Ergebnisse der vorliegenden Ökobilanzen zeigen, trägt die Nutzungsphase erheblich zu den Umweltauswirkungen des gesamten Lebenszyklus bei, d.h. eine Verringerung des Kraftstoffverbrauchs führt entsprechend zu einer Reduktion der Umweltauswirkungen. Die tatsächlich erzielten Einsparungen bei Kraftstoffverbrauch und Schadstoffen sind stark von den Einsatzbedingungen abhängig, daher bietet es sich an, die angesetzten Einsparungen durch weitere Feldmessungen zu validieren, hier leisten z.B. die Untersuchungen des ika (siehe Kapitel 6.3.2 ) einen wertvollen Beitrag.

Beide Hybridbusmodelle sind Neuentwicklungen und werden kontinuierlich weiterentwickelt. Im Fokus steht dabei z.B. die Optimierung der Betriebsstrategie und des Energiemanagements zur weiteren Steigerung der Energieeffizienz. Auch trägt eine weitere Gewichtsreduktionen zu einer Verringerung des Kraftstoffverbrauchs und damit der Umweltauswirkungen bei. Auf der anderen Seite wird auch der konventionelle Dieselbus weiterentwickelt, daher ist es sinnvoll die Ökobilanzuntersuchungen fortzuschreiben, um einen kontinuierlichen Abgleich zur ökologischen Standortbestimmung der innovativen Hybridtechnologie gegenüber der bewährten Dieselsechnologie durchzuführen. Mit der Methode der Ökobilanzierung steht hierzu das geeignete Werkzeug zur Verfügung, um entwicklungsbegleitend die als Summe der Einzelmaßnahmen erreichten Verbesserungen quantitativ zu bestimmen.

<sup>14</sup> Öffentlicher Personenverkehr mit Bussen und Bahnen in 2009. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, 2011.

## 6.4 Akzeptanz

Neben der Erfassung der technischen Betriebserfahrungen, diente der Praxiseinsatz der Fahrzeuge ebenso der Untersuchung der Akzeptanz der Technologie bei Busfahrern, Fahrgästen und Passanten. Im Fokus der Untersuchung standen hierbei neben den Fahrdienstmitarbeitern der Verkehrsunternehmen vor allem die Fahrgäste in den Bussen sowie Passanten an den Haltestellen. Sie können unmittelbar ihre Wahrnehmung in Bezug auf den Fahrkomfort einschließlich der Geräusche schildern und sind die maßgebliche Quelle zur Bewertung der Wahrnehmung und Akzeptanz der Hybridbusse. Außerdem gibt die durch sie vermittelte Haltung gegenüber der neuen Technologie eine Handlungsvorgabe für die Entscheider in den Verkehrsunternehmen und –verbänden sowie ggf. den regionalen Parlamenten. Um ihre persönlichen Eindrücke und Meinungen zu erfassen und in der weiteren Außendarstellung und Bewertung der Technologie verwerten zu können, wurden die Nutzer im Zuge einer Umfrage zu einer Einschätzung der Technologie befragt.

Die Fragebögen, die zur Befragung der Fahrer sowie der Fahrgäste und Passanten genutzt wurden, sind in vollem Umfang in Anhang II dem Bericht beigefügt.

### 6.4.1 Bewertung durch Fahrer/-innen

Die Befragung der Fahrer/-innen wurde in den Städten bzw. Regionen Hamburg, Bremen, Rhein-Ruhr, Leipzig, Dresden, Stuttgart und München durchgeführt. Von den 251 befragten Fahrer/-innen sind eine überwiegende Mehrheit männlich (81%) und die Fahrer/-innen sind seit durchschnittlich 10 (8) Jahren im Dienst (bei den Verkehrsbetrieben). Für die Berechnung und Angabe von durchschnittlichen Daten wird der Median verwendet.

Rund ein Drittel der Fahrer/-innen sind zwischen 41 und 50 Jahre alt (34%). Zu ungefähr je einem Viertel (je 24%) sind sie zwischen 31 und 40 beziehungsweise zwischen 51 und 60 Jahre alt. 12% der Fahrer/-innen sind im Alter von 18 bis 30 Jahren.

Der Dieselhybridbus wird von den Busfahrern/-innen als zuverlässig beschrieben. Einen Unterschied in

der Bedienung im Unterschied zu einem konventionellen Dieselbus nehmen 41% der Busfahrer war,

empfinden die Umstellung aber als weitestgehend unproblematisch. So stellte für 87% der Busfahrer die Umstellung auf den Hybridbus keine Schwierigkeit dar (siehe Abbildung 36).

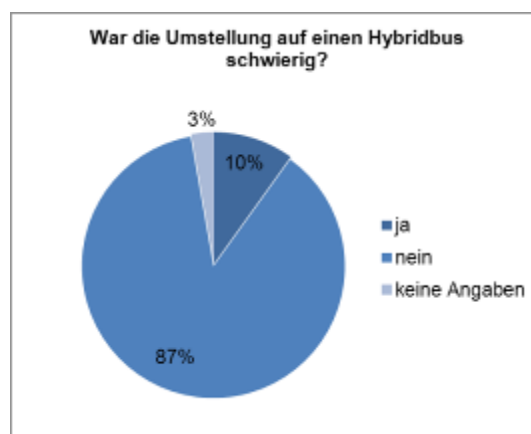


Abbildung 36 Umstellung auf den Hybridbus

55% der Busfahrer gaben an, keinen Unterschied im Bedienverhalten bemerkt zu haben. Ein Wechsel während eines Einsatztages von einem Diesel- auf einen Hybridbus (und umgekehrt) war in 80% aller Fälle nie (28%) oder nur selten (52%) der Fall. Ein häufiger Wechsel war nur in 8%, ein regelmäßiger Wechsel in 10% der Fälle erforderlich.



Abbildung 37 Beschleunigung des Busses

Von den 13% der Busfahrer, die Unterschiede feststellten, nannte die Mehrheit (15 Nennungen), dass die Beschleunigung mit zugeschaltetem Dieselmotor spürbar besser sei. Entsprechend Abbildung 37 bewerten mehr als 70% der Busfahrer die Beschleunigung des getesteten Hybridbusses als sehr gut (43%) bis gut (28%).

Eine Umstellung war ggf. beim Bremsen (34 Nennungen), beim Starten (25), beim Anfahrverhalten (14) und beim Schalten (9) erforderlich (n = 251).

Als wichtigstes Unterscheidungsmerkmal wurde das sanftere, gleichmäßigere Bremsverhalten bei Hybridbussen genannt (66% aller Nennungen). 72% der Busfahrer bremsen lieber über das Bremspedal als über das Fahrpedal (16%). 12% machten dazu keine Angabe.



Abbildung 38 Anpassung des Fahrverhaltens



Abbildung 39 Anpassung der Fahrweise gemäß Fahrplan

45% der Busfahrer gaben an, ihre Fahrweise häufig oder regelmäßig entsprechend der Füllstandsanzeige anzupassen, wie in Abbildung 38 gesehen werden kann. Zum Teil war eine Anpassung an eine Anzeige nicht möglich, da manche Hybridbusse über keine solche Anzeige verfügen. Abbildung 39 zeigt ein indifferentes Bild. Der Großteil der Busfahrer (43%)

schätzt die Anpassungsmöglichkeit der Fahrweise an den jeweiligen Ladezustand jedoch als „gut möglich“ ein.

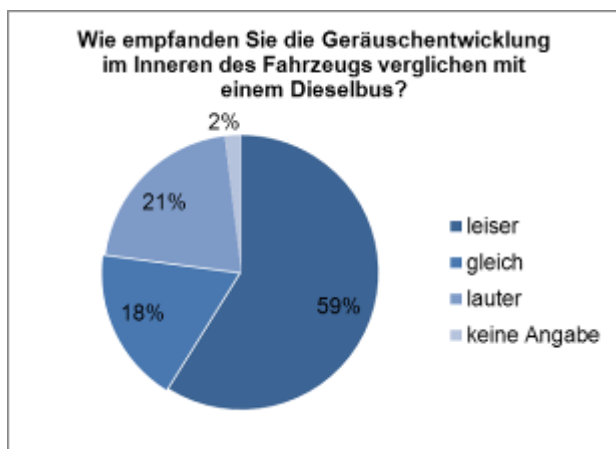


Abbildung 40 Geräuscentwicklung im Inneren

Der Großteil der Busfahrer (59%) empfand die Geräuscentwicklung im Inneren des Hybridbusses wesentlich angenehmer, verglichen mit einem Dieselbus (siehe Abbildung 40). 47% der Busfahrer (n = 251) bemerkten besondere Geräusche im Inneren des Hybridbusses. Die am öftesten im Innenraum wahrgenommen Geräusche sind Pfeifen (21%), Brummen (18%) und Heulen (12%).

50% der Busfahrer empfanden den Dieselmotor leiser, verglichen mit einem normalen Bus. Die Einschalthäufigkeit des Dieselmotors wird von 29% der Busfahrer als hoch, von 51% als mittel und nur von 11% als gering eingestuft. Der Rest der Busfahrer konnte dazu keine Angabe machen.

Das Start-Stop-Verhalten des Dieselmotors wird, wie in Abbildung 41 dargestellt, beim Hybridbus hinsichtlich des Komforts von 48% der Busfahrer als „gut“ eingestuft, von 36% als „mäßig“. Lediglich 8% der Befragten bewerteten den Komfort als „schlecht“.

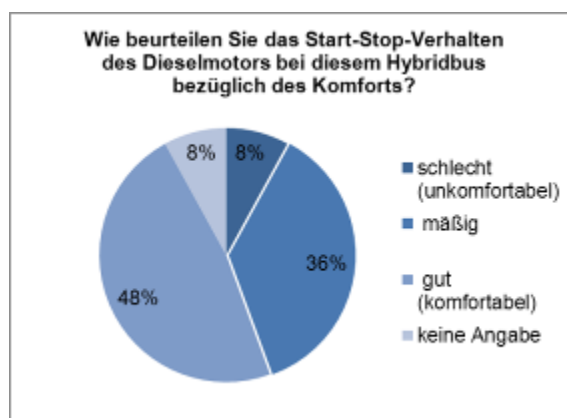


Abbildung 41 Komfort des Start-Stop-Verhaltens

Die Vibrationen im Inneren des Busses werden von 53% der Busfahrer als „gering/schwach“ bewertet, 36% merken keinen Unterschied zum Dieselbus. Lediglich 8% der Befragten nahmen starke Vibrationen wahr.

Auf die Frage bei welchem Beurteilungskriterium der Hybridbus im Vergleich zum Dieselbus „schlechter“, „gleich“ oder „besser“ ist, dominiert die Antwort, dass sie als gleichwertig wahrgenommen werden. Dies ist auch in Abbildung 42 aufgezeigt. Beim Anfahren, Beschleunigen und Bremsen sowie bei den Vibrationen und der Geräuschbelastung hat der Hybridbus Vorteile, lediglich bei der Klimaregelung der konventionelle Dieselbus einen Vorteil. Optimierungspotenzial gibt es also im Bereich der Fahrgastraum-Klimatisierung. Sowohl Fahrgäste als auch Busfahrer bewerten die Klimaanlage teilweise als zu leistungsschwach.

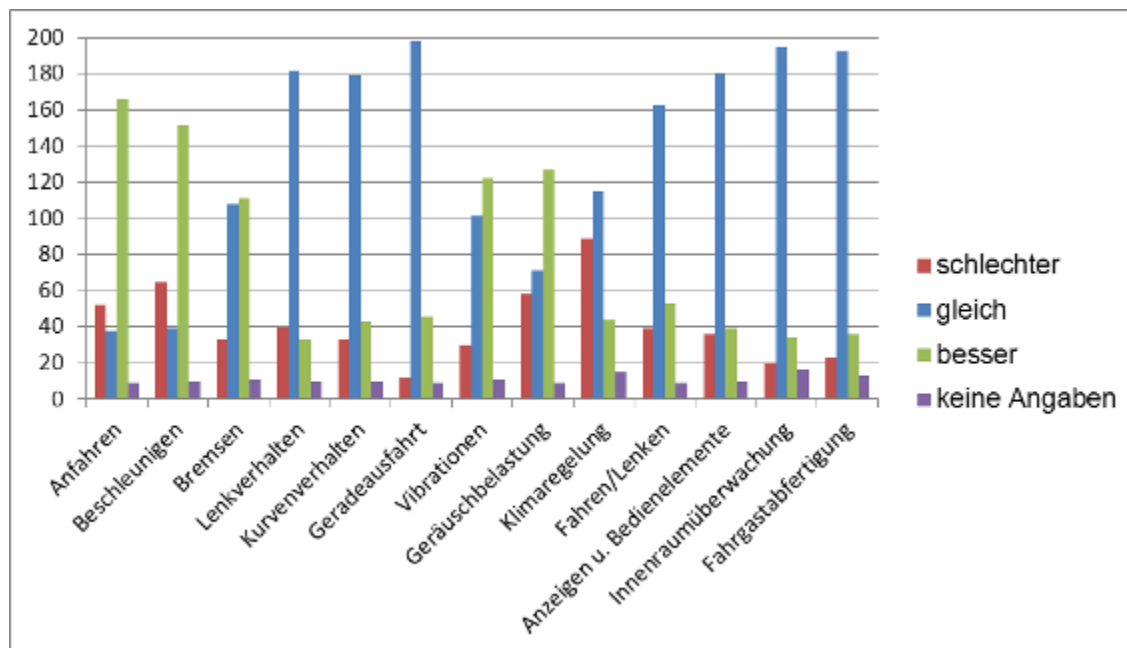


Abbildung 42 Hybridbus vs. Dieselbus

Die Busfahrer wurden durchschnittlich 8 Stunden in der Benutzung der Hybridbusse unterwiesen. 69% der Fahrer/-innen wurden weniger als fünf Stunden unterwiesen, 15% zwischen 5 bis 10 Stunden und 13% mehr als zehn Stunden. 87% der Busfahrer haben an diversen anderen Schulungen teilgenommen, die primär auf sparsames und defensives Fahren abzielen. 13% haben keine weiteren Schulungen absolviert (n = 251).

#### 6.4.2 Akzeptanz Fahrgäste/Passanten

Die Befragung der Fahrgäste und der Passanten wurde in den Städten bzw. Regionen Hamburg, Bremen, Rhein-Ruhr, Leipzig, Dresden und München durchgeführt. 54% der befragten Fahrgäste sind weiblich, 43% männlich (n = 1.587). Die vier Altersgruppen unter 18 (13%), 31 bis 40 (12%), 41 bis 50 (13%) sowie 51 bis 60 (13%) sind nahezu gleichverteilt. Die zwei Altersgruppen von 18 bis 30 Jahre und die über Sechzigjährigen sind mit 26% beziehungsweise 22% in der Stichprobe enthalten. Bei der Befragung der Fahrgäste wurde auf eine ausgeglichene Verteilung zwischen dem vorderen, mittleren und hinteren Busteil geachtet (34%, 30% und 35%).

Von den 760 Passanten sind etwas mehr als die Hälfte Frauen (57%). 30% der befragten Passanten sind zwischen 18 und 30 Jahre alt. Die restlichen 70% verteilen sich im Wesentlichen zu gleichen Teilen über die übrigen Altersgruppen.

76% der Fahrgäste bewerten den Einsatz von Hybridbussen positiv, 19% als neutral und lediglich 4% als negativ (n = 328).

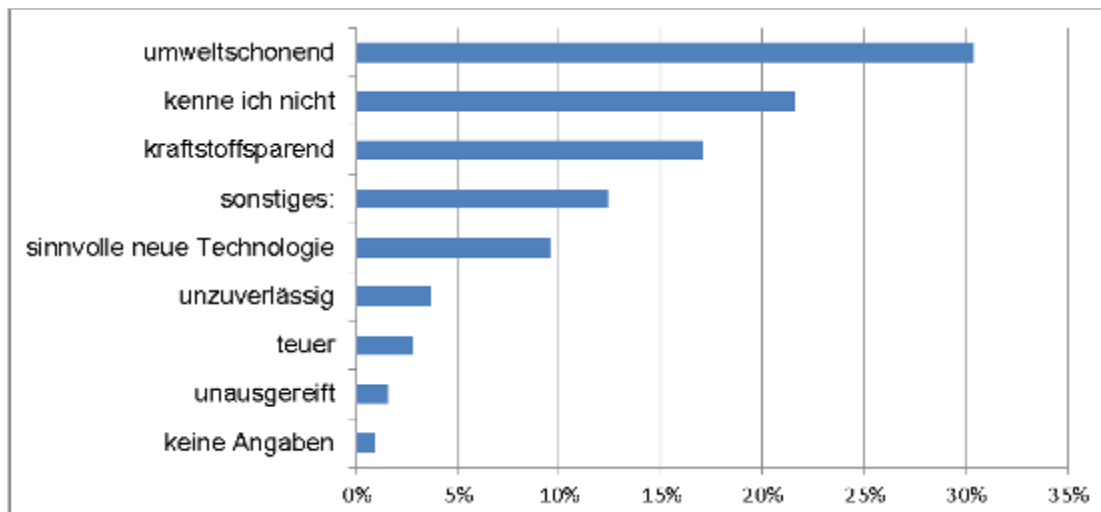


Abbildung 43 Assoziationen der Fahrgäste mit dem Begriff „Hybrid“

Wie in Abbildung 43 veranschaulicht ist, verbinden 30% der Fahrgäste den Begriff umweltschonende mit einem Hybridbus. In der Rubrik „Sonstiges“ (12%) wurden primär die Assoziationen „E-Motor“ (42%) und „Dualer Antrieb“ (36%) genannt. Die Eigenschaft kraftsparend assoziieren lediglich 17 % mit dem hybriden Antrieb.

In der Rubrik „Sonstiges“ (16%) wurden, genauso wie bei den Fahrgästen, der „E-Motor“ (17%) und der „Dualer Antrieb“ (35%) mit dem Hybridbus in Verbindung gebracht.

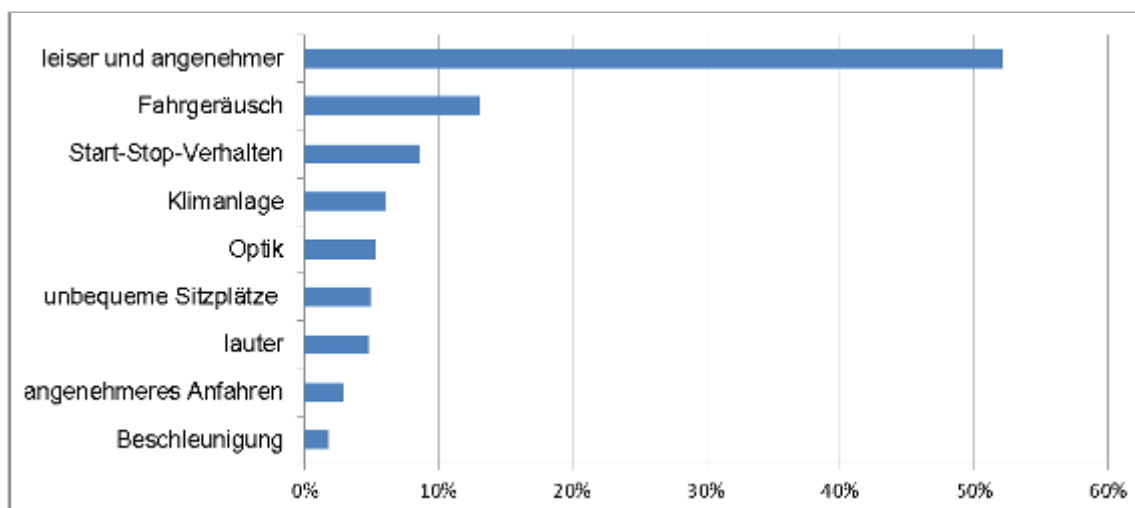
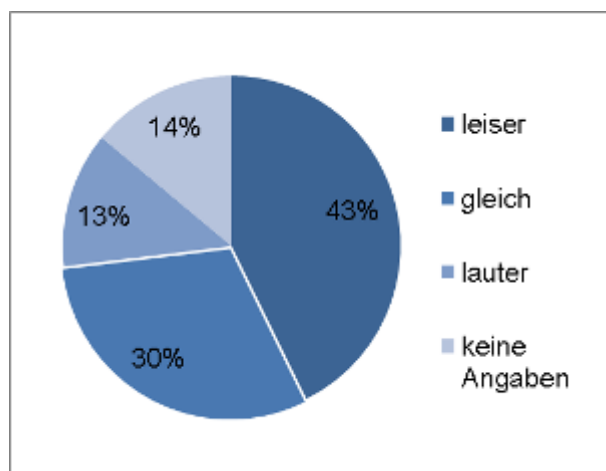


Abbildung 44 Unterschied zwischen einem Hybridbus und konventionellem Bus

In Abbildung 44 sind die größten von den Fahrgästen wahrgenommenen Unterschiede zwischen einem Hybridbus und einem konventionellen Bus dargestellt.

65% der Fahrgäste gaben an, bereits mit einem Hybridbus gefahren zu sein. 61% erkennen den Unterschied zu einem konventionellen Bus sofort bzw. nach einer gewissen Zeit (n = 1.587).

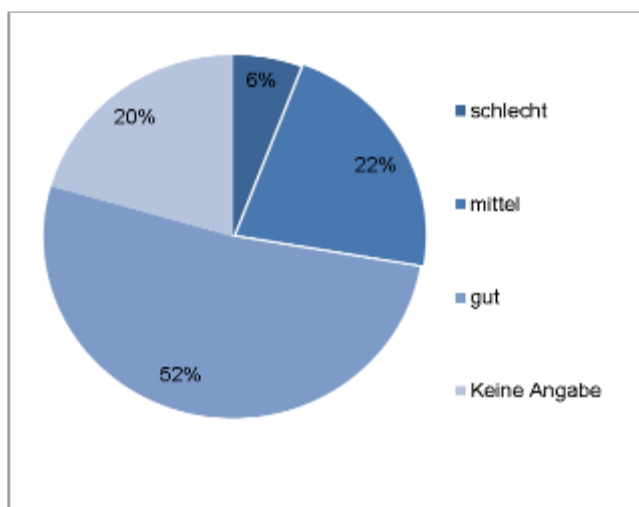
Wie in Abbildung 45 abzulesen ist, empfinden 43% der Fahrgäste (n = 1.487) die Geräusentwicklung des Dieselmotors im Vergleich zu einem normalen Bus als leiser. Nur 13% der Befragten nehmen die Geräusentwicklung als lauter wahr. Bei einem Vergleich der Geräusentwicklung von einem Dieselhybridbus mit einem normalen Bus, finden 57% der Passanten den Hybridbus leiser (n=676). 56% der Fahrgäste empfinden die Geräusentwicklung im Inneren eines Hybridbusses im Vergleich zu einem Dieselbus als leiser. Dieses Ergebnis deckt sich mit dem Resultat der vorangegangenen Frage.



**Abbildung 45** Geräusentwicklung Dieselmotor vs. konventioneller Bus

Dieses Ergebnis deckt sich mit dem Resultat der vorangegangenen Frage.

Die Vibrationen im Inneren des Busses werden von 54% der Fahrgäste als gering/schwach empfunden, 37% stellen keinen Unterschied fest. Lediglich 6% empfinden die Vibrationen als hoch/stark. 2% der Befragten machten keine Angaben darüber (n = 1.581).



**Abbildung 46** Bewertung der Außengestaltung durch die Passanten

2% der Befragten machten keine Angaben darüber (n = 1.581).

52% der Passanten (siehe Abbildung 46) finden Gefallen an dem Design der Außengestaltung (n=224). Es wurde mit Natur und Umwelt, Freiheit und Schönheit in Verbindung gebracht. Trotzdem bietet das Design der Hybridbusse sicherlich noch Optimierungspotential um noch mehr Passanten und auch Fahrgäste für die neue Technologie zu sensibilisieren.

22% der Fahrgäste und 35% der Passanten kannten den Begriff Hybridbus nicht. Durch Öffentlichkeitsarbeit, Bewusstseinsbildung und Schulungen könnte der Bekanntheitsgrad erhöht und die Akzeptanz für Hybridbusse noch weiter gesteigert werden.

## 6.5 Aus- und Weiterbildung von Fachpersonal

Die Entwicklung einer neuen Technologie bedarf notwendigerweise einer umfassenden Aus- und Weiterbildung der damit befassten Mitarbeiter bereits in einer frühen Phase. Der Umfang der Informationsvermittlung hängt dabei davon ab, wie intensiv die jeweilige Mitarbeitergruppe mit der Technik selbst in Berührung kommt.

Neben dem Aufbau von Know-How in Forschung und Entwicklung in Industrie und Wissenschaft, ist auch die Ausbildung von Fahrern und Wartungspersonal von Bedeutung. Hier gilt es, frühzeitig Programme zu entwickeln.

Die Anschaffung von Bussen mit Hybridtechnologie im Rahmen des BMVBS-Projektes „Modellregion Elektromobilität“ bedeutete für die Verkehrsbetriebe gleichzeitig, dass auch ein erweiterter Aufwand an Schulungen und Weiterbildung für die Mitarbeiter berücksichtigt werden musste. Zu Projektbeginn stand noch nicht fest, wie die bestehenden Regelwerke, z. B. die BGI 8686 „Qualifizierung für Arbeiten an Hochvoltsystemen in Fahrzeugen“, in die Praxis umgesetzt werden können bzw. wie und wer die fahrzeugspezifischen Umfänge schulen kann. Für die Hybridbusaktivitäten in Deutschland wurde daher unter der Schirmherrschaft des VDV in Zusammenarbeit mit der VBG Hamburg eine VDV-Mitteilung für die Instandhaltung von Hybridfahrzeugen erstellt (Nr. 8002), die im August 2010 veröffentlicht wurde.

Der Qualifizierungsbedarf richtet sich stark nach der geplanten Instandhaltungstiefe und der Eingangsqualifikation der Mitarbeiter. Folgende Graphik beschreibt den Qualifizierungsvorgang:

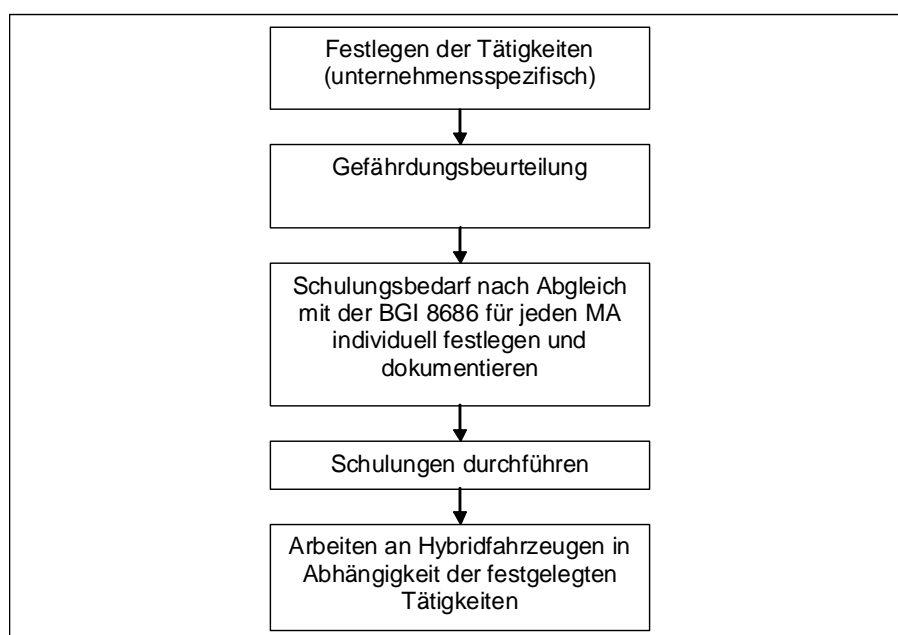


Abbildung 47 Qualifizierung der Werkstattmitarbeiter

## **Unfallverhütung**

Die Pflicht zur Unfallverhütung liegt in erster Linie beim Unternehmer. Seine Aufgabe ist es, die Sicherheit der Angestellten zu gewährleisten. Der Unternehmer hat demnach dafür Sorge zu tragen, dass anfallende Arbeiten an der Hochvolt-Anlage nur durch qualifizierte Mitarbeiter durchgeführt werden. Des Weiteren sind eindeutige Arbeitsanweisungen im Umgang mit HV-Systemen erforderlich.

Fehlfunktionen einzelner Hochvolt-Komponenten können sowohl bei Betrieb des Fahrzeugs als auch bei der Instandsetzung bzw. Wartung ein hohes Gefährdungspotenzial darstellen. Der Betrieb von Hybridfahrzeugen erfolgt mit Spannungen von derzeit bis zu 750 Volt und Strömen von mehreren Hundert Ampere. Technische Schutzmaßnahmen, die schon bei der Entwicklung der Hochvoltfahrzeuge ergriffen worden sind, die z.B. im Falle einer Störung selbstständig das HV-System abschalten, ersetzen nicht den qualifizierten Facharbeiter.

Es ist dem Unternehmer möglich, einige seiner Pflichten zur Unfallverhütung auf entsprechend qualifizierte betriebliche Vorgesetzte zu übertragen. Dieser Vorgang ist zu dokumentieren.

Zu den übertragbaren Aufgaben zählen nach der BGI / GUV-I 8686

- Aufsicht und Kontrolle
- Gefahrenabwehr
- Meldung an den nächsten Vorgesetzten
- Durchführen von Maßnahmen zur Arbeitssicherheit
- Erstellen von Anweisungen zur Arbeitssicherheit

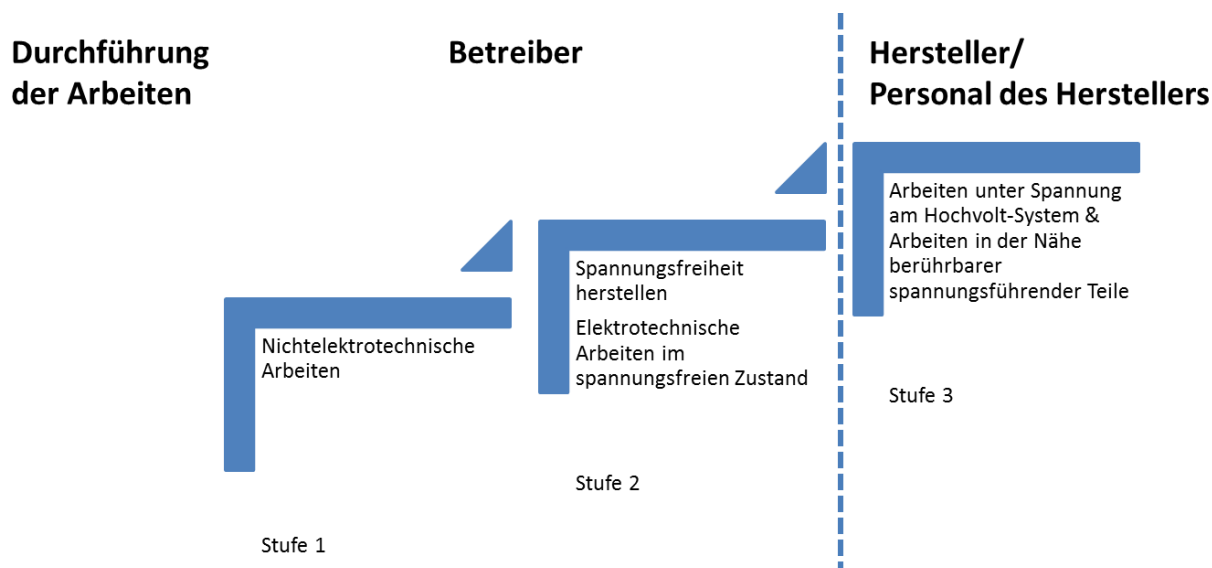
## **Qualifizierung der Mitarbeiter/innen**

Die Befähigung zur Übernahme dieser Aufgaben kann durch entsprechende berufliche Qualifizierung erworben werden.

Am Beispiel des Qualifizierungskonzeptes der Stuttgarter Straßenbahnen (SSB AG) werden an dieser Stelle Qualifizierungsmaßnahmen dargestellt, die in gleicher oder ähnlicher Form auch bei anderen Verkehrsbetrieben durchgeführt wurden bzw. in Zukunft durchgeführt werden können. Die Stuttgarter Straßenbahnen gründete keine Spezialabteilung für die Hybridbusse, sondern integrierte die Hybridbusse in den üblichen Werkstattablauf. Diese Ent-

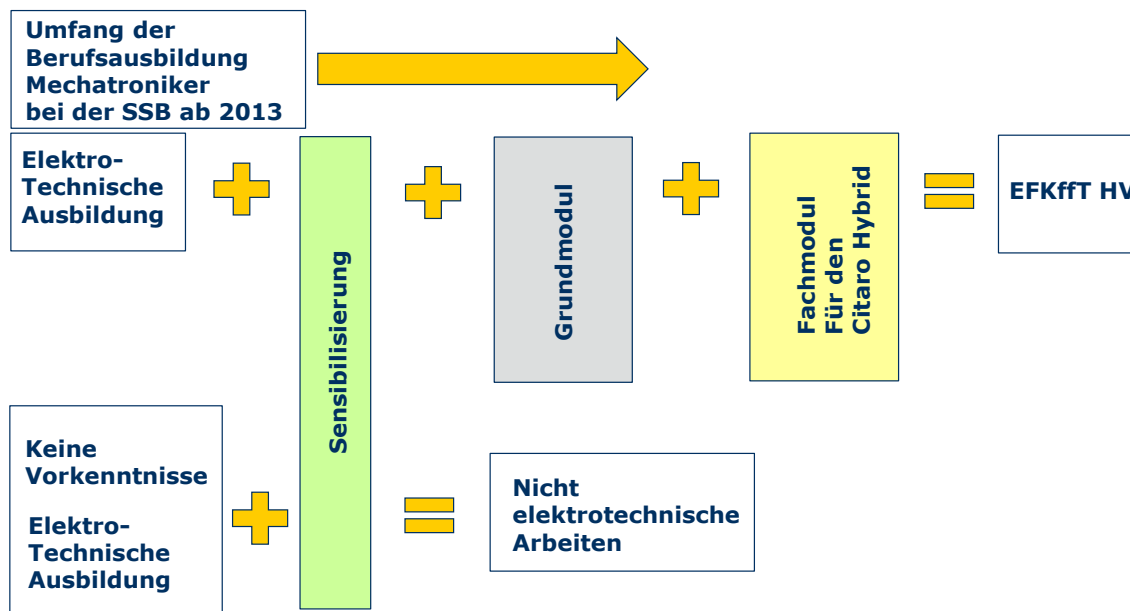
scheidung hatte zur Folge, dass Mitarbeiter aus allen Bereichen der Instandhaltung, Wartung und des Fahrfertigmachens entsprechenden Qualifizierungsbedarfe aufwiesen.

Basierend auf dem Stufenplan der BGI 8686 (s. Abbildung 48), wurden bei der SSB AG daher folgende Maßnahmen getroffen:



**Abbildung 48** Stufenplan der BGI 8686

Arbeiten der Stufe 1, gemäß BGI 8686 (alle nicht-elektrotechnischen Arbeiten), an einem Fahrzeug mit HV-System, sollten weiterhin von dem gesamten Werkstattpersonal der SSB AG durchgeführt werden können. Aus dieser Festlegung erfolgte ein Qualifizierungsbedarf für alle Mitarbeiter außerhalb des Fahrdienstes für den Hybridbuseinsatz vorgesehenen Betriebshofes zu einer Weiterbildung zu einer „elektrotechnisch unterwiesenen Person“. Dieses Qualifizierungskonzept ist angelehnt an die BGI 8686 und an das Qualifikationskonzept des Hybridfahrzeugherstellers, im Falle im Falle der SSB AG ist das die Firma EvoBus



**EFKffT HV heißt:**  
**Nur die von Daimler für den Hybridbus geschulten Arbeiten dürfen durchgeführt werden.**

Abbildung 49 Qualifizierungskonzept Beispiel SSB AG

Die Qualifikation der Stufe 2, gemäß BGI 8686 („Elektrofachkraft für festgelegte Tätigkeiten HV“) wurden durch den Hersteller durchgeführt. Die Sensibilisierung der Mitarbeiter, die nicht zur Elektrofachkraft Kraftfahrzeug weitergeschult wurden, wurde von einem entsprechend fortgebildeten Mitarbeiter des Verkehrsbetriebes selbst durchgeführt. Die hierfür erstellten Unterlagen wurden hausintern hergestellt und durch Bilder aus den eigenen Fahrzeugen ergänzt, so dass hier ein direkter Bezug zu den Fahrzeugen hergestellt werden konnte.



Abbildung 50 Unterlagen Sensibilisierung Hochvoltssystem

Da die SSB AG unter anderem auch KfZ-Mechatroniker selbst ausbildet, wurde hier in enger Zusammenarbeit mit der IHK Stuttgart vereinbart, bereits in die Berufsausbildung der Mechat-

roniker, die ab 2013 ihren Abschluss machen, sowohl die Sensibilisierungsinhalte als auch die Inhalte des elektrotechnischen Grundmoduls zu integrieren. Dies ermöglicht, dass zukünftige Fachkräfte bereits theoretisch auf die Herausforderungen des Elektroantriebs vorbereitet sind und sie dann „lediglich“ ein Fachmodul für den jeweils im Haus vorhandenen Fahrzeugtyp benötigen. Bei dem Fachmodul werden die Elektrofachkräfte für festgelegte Tätigkeiten noch einmal genau auf die speziellen Gefahrenpotentiale an dem jeweiligen Fahrzeugtyp hingewiesen und geschult. Dies reduziert in der Praxis den Weiterbildungsaufwand von 5 Tagen auf ca. 1,5 Tage.

## 6.6 Maßnahmen zur Werkstattumrüstung

Die Wartung und Instandhaltung der Hybridbusse erfordert eine Anpassung bzw. Auf- oder Umrüstung der Werkstattausrüstung und des Betriebsablaufs, da nicht alle Mitarbeiter den gleichen Qualifizierungsgrad haben.

Da sich bei fast allen Hybridfahrzeugen ein großer Teil der Technik (z.B. Energiespeicher, Wechselrichter) auf dem Fahrzeugdach befindet, ist ein geeigneter Arbeitsstand erforderlich.

Für mechanische Arbeiten in der Nähe von HV-Komponenten ist außerdem folgende Sicherheitsausrüstung zu verwenden.

- Warnschilder gegen unbeabsichtigtes Wiedereinschalten der HV-Anlage
- Sicherheitshandschuhe
- Schutzbrille ( Augen und Gesichtsschutz )
- Isolierte Schuhe
- Isoliertes Werkzeug
- Material zum Abdecken von HV-Komponenten

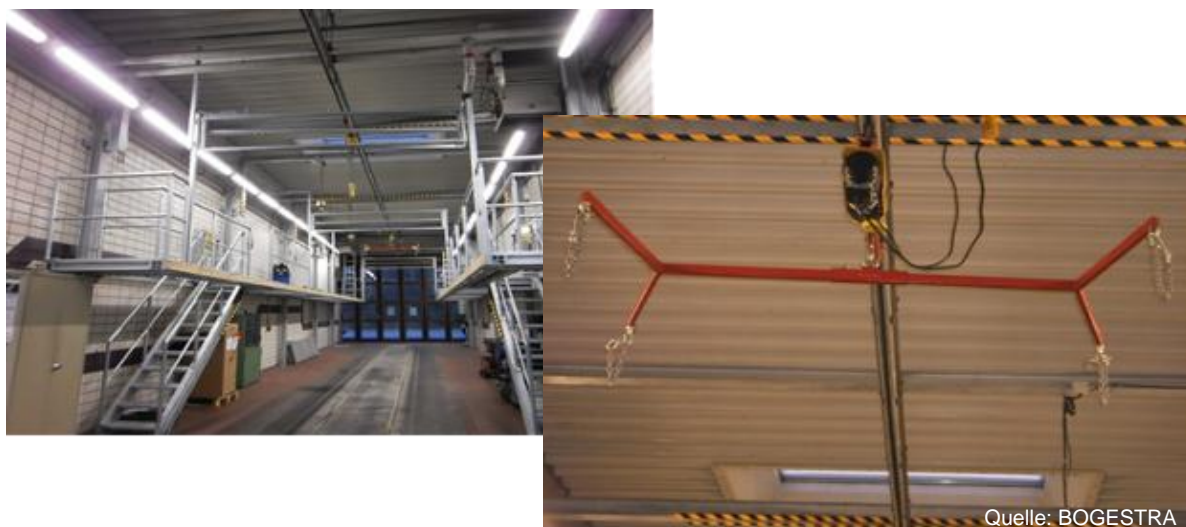


Abbildung 51 Arbeitsplatz für Hybridbusse (Bsp. Bochum -Gelsenkirchener Straßenbahnen AG)

Im Rahmen der einzelnen Projekte wurden an mehreren Standorten die Werkstätten für die veränderten Wartungsanforderungen für die Hybridbusse angepasst. Grundsätzlich besteht die Möglichkeit die Wartung entweder durch eine Vertragswerkstatt des Herstellers vornehmen zu lassen oder die Wartungsarbeiten in der eigenen Werkstatt durchzuführen. Im ersten Fall sind die erforderlichen Anpassung in der Werkstatt minimal, im zweiten Fall ergibt sich entsprechend ein Bedarf für Umbaumaßnahmen, Werkzeuganschaffungen, Ersatzteilverhaltung, Schulungen etc. Diese sind im Einzelfall zu prüfen.

Auf Grund der teilweise erst kurzen Einsatzzeit der Dieselhybridbusse und der mit den Herstellern vereinbarten Garantiezeit und –leistungen, sind die Aufwendungen zur Werkstatturnrüstung noch in den Anfängen bzw. teilweise erst in der Planung. Da während der Garantiezeit auch einfache Arbeiten am Hybridbus – je nach Ausgestaltung des Vertrages – noch von den Herstellern übernommen werden, wurden bisher nicht in allen Werkstätten Umrüstungen und Schulungen durchgeführt. Einen Überblick über den derzeitigen Stand der Werkstatturnrüstungen und eine Einschätzung zu den Kosten geben nachfolgende Tabellen.

Tabelle 5 Werkstattumrüstungen Bremen, Hamburg, Rhein-Ruhr

Modellregion	Bremen/Oldenburg	Hamburg	Rhein-Ruhr				
Organisation	BSAG	Hamburger Hochbahn / Fahrzeugwerkstätten Falckenried GmbH	DSW 21	SWK Mobil GmbH	Stadtwerke Neuss	Verkehrsgesellschaft Ennepe-Ruhr mbH	WSW mobil GmbH
Umbaumaßnahmen Werkstatt	Dacharbeitsbühne, Elektrische Ausstattung, Absperrmittel	Vorhandene Infrastruktur Wasserstoff-Hybridwerkstatt, ausgestattet mit Dacharbeitsplatz, Deckenkrananlage, Vorrichtungen zur Montage v. Achsen u. Hochvoltbatterie	Mobiler und festmontierter Dacharbeitsstand, mobile Arbeitsbühne		Hocharbeitsstand geplant für 2012		Nutzung der vorhandenen Absturzsicherung.
Anschaffungen	Diagnosegeräte, Notebooks, Isolationsmessgeräte	MB-Stardiagnose, Isolationstester, div. Werkzeuge zur Bearbeitung von Hochvoltkabeln und Komponenten	Messgerät f. Prüfung Potentialausgleich & Isolationswiderstand, Duspol f. Prüfung Spannungsfreiheit, Diagnosesoftware Hersteller	Vorgeschriebene Leiter, Absperrung, Hinweisschilder, Spannungsprüfer, Batterieschlüssel		Anschaffung von Diagnosetools für die im Bus verbauten Komponenten (Türen, Multiplexer, Knickschutz)	Prüf- und Diagnosegeräte (vom Hersteller (Hess) gestellt)
Ersatzteillager / zusätzl. Bürofläche		Hybridkomponenten: nur geringe Vorhaltung; Standardkomponenten: Zentrallager	Auffüllung des Ersatzteillagers mit Verschleißteilen wie Spiegel und Reifen				Während Garantiezeit keine Ersatzteilverhaltung geplant
Umbaudauer Werkstatt		ca. 6 Monate	7 Monate	3 Monate			
Schulung von Mitarbeitern					Qualifizierung der ersten Mitarbeiter mittels Lehrgänge		
Investitionskosten (Schätzung)	60.000 €	k.A.	30.000 €	20.000 €	Hocharbeitsstand: ca. 20.000 €, Qualifizierung: ca. 1000-2000 € /Mitarbeiter		

**Tabelle 6** Werkstattumrüstungen Rhein-Main, Sachsen, Stuttgart, München

Modellregion	Rhein-Main	Sachsen		Stuttgart	München
<b>Organisation</b>	HEAG mobilo GmbH	DVB AG	LVB AG	Stuttgarter Straßenbahnen AG	Stadtwerke München GmbH
<b>Umbaumaßnahmen Werkstatt</b>	Fahrbare Dacharbeitsbühne	Einbau stationärer Dacharbeitsstand 18 m, 2 mobile Dacharbeitsstände für Heck bzw. linke Fahrzeugseite, Absturzsicherung	Nutzung des bereits im Jahr 2007 eingerichteten Dacharbeitsstandes, keine weiteren Investitionen bislang.	Dacharbeitsstand	Sanierung des Betriebshofes inkl. Arbeitsstand für Hybridbusse geplant
<b>Anschaffungen</b>	Diagnosetool des Herstellers	Diagnosegeräte, Messgerät für Isolation und Potenzialausgleich, HV-isoliertes Werkzeug, Spezialwerkzeug, Absperrständer mit Aufrollbändern, Warnschilder		Isolationsmessgerät	
<b>Ersatzteillager/ zusätzl. Bürofläche</b>		z. Zt. noch keine Bevorratung			
<b>Umbaudauer Werkstatt</b>	4 Monate	6 Monate		4 Monate	
<b>Schulung von Mitarbeitern</b>					Schulung zweier Mitarbeiter zur EFFT.
<b>Investitionskosten (Schätzung)</b>	22.000 €	35.000 €		60.000 €	Sanierung Betriebshof: ca. 50.000-100.000 €; Schulungen Werkstattpersonal: ca. 20.000,- € jährlich

## 7 Ausblick und Empfehlungen

Mit diesem Bericht der Plattform *Innovative Antriebe Bus* liegen die ersten systematisch erfassten Erkenntnisse zu Praxistauglichkeit, Einsatzreife, Kraftstoffverbrauch, Klimaschutzeffekten und zur Akzeptanz von Hybridbussen vor. Wenn auch die Daten sich überwiegend auf einen noch kurzen Zeitraum von drei bis zwölf Monaten Einsatzzeit der Hybridbusse beziehen, wurde damit eine gute Grundlage für eine erste Bewertung der Hybridtechnologie geschaffen. Die ermittelten Optimierungspotenziale bilden einen hervorragenden Ausgangspunkt für zielgerichtete weitere Entwicklungsschritte.

Im Mittelpunkt stehen dabei in den nächsten Jahren unterschiedliche Ziele und Maßnahmen bei den verschiedenen Herstellern, wie zum Beispiel die kontinuierliche Verbesserung bzw. Verstärkung der Kraftstoffreduktion, die Weiterentwicklung der Nebenaggregate für den Hybridbuseinsatz, Analysen von Fahrzeugausfällen zur Verbesserung der Komponenten und somit zur Verbesserung der Verfügbarkeiten sowie die Verbesserung der Wartungsroutinen und der Zugänglichkeit der Fahrzeugkomponenten.

Die Hybridtechnologie stellt neue Anforderungen an die technische Betreuung der Fahrzeuge. Dies umfasst unter anderem die Aus- und Weiterbildung der technischen Mitarbeiter in den Verkehrsunternehmen. Die Ausweitung des Betriebs von Hybridbussen führt jedoch nicht nur zu einem wachsenden Bedarf an entsprechend ausgebildetem Fachpersonal, erforderlich sind auch didaktisch und fachlich geeignete Ausbildungsinhalte und -einrichtungen für Hochschulen, Berufsschulen und Weiterbildungsinstitutionen.

Die Erprobung der Fahrzeuge in den Modellregionen Elektromobilität war und ist ein wichtiger Schritt beim Aufbau eines Marktes für Hybridbusse. Die im Rahmen der Busplattform dokumentierten Erfahrungen verdeutlichen die Potenziale der Hybridtechnologie und geben ein positives Signal in Richtung Politik und an weitere potenzielle Nutzer.

Zum jetzigen Zeitpunkt sind die technischen Entwicklungen noch bei weitem nicht abgeschlossen und es gibt weiteren Klärungsbedarf, wie die verschiedenen Formen des Hybridantriebs jeweils im Betrieb am besten eingesetzt werden können. Klar ist, welchen nennenswerten Einfluss das Einsatzprofil eines Hybridfahrzeugs auf die entsprechenden Einsparpotenziale hat. Die Planung des Einsatzes der Hybridbusse sollte in enger Abstimmung zwischen Betreiber und Hersteller erfolgen, um das Potential der Hybridtechnologie bestmöglich zu nutzen. Die beteiligten Hersteller konnten zudem schon während der Testphase Optimierungspotenziale an Fahrzeugen feststellen, die mitunter in späteren Fahrzeugauslieferungen bereits umgesetzt wurden. Zur Erhöhung der Planungs- und Investitionssicherheit sowohl bei künftigen

Nutzern als auch bei der Fahrzeugindustrie, werden auch in der nächsten Phase der Marktvorbereitung zweckgebunden weitere Förderinitiativen benötigt.

Aus Sicht der in der Busplattform teilnehmenden Verkehrsunternehmen und Bushersteller wird eine Fortführung der Datenerhebung bei den in Betrieb befindlichen Bussen als sinnvoll erachtet. Daraus ließen sich noch aussagekräftigere Informationen hinsichtlich der Auswertekriterien ableiten. Der Weiterbetrieb der Busse über die Programmlaufzeit hinaus wird bei den Verkehrsbetrieben umgesetzt und auf Seiten des Zuwendungsgebers gewünscht. Das ermöglicht den so wichtigen Gewinn von weiteren Praxiserfahrungen durch den Betrieb der Technologie im täglichen Einsatz. So kann z.B. die neue Technologie noch besser in die Abläufe und die Einsatzplanung bei den Betreibern integriert werden.

Wegen der teilweise kurzen Betriebsphase sind derzeit noch keine belastbaren Aussagen zur Wirtschaftlichkeit des Einsatzes von Hybridbussen möglich. Eine Verlängerung der Datenerhebung wäre daher auch hilfreich, um verlässlichere Daten auch zu Betriebs- und Wartungskosten dieser ersten Fahrzeuggeneration zu erhalten, ebenfalls wesentliche Daten mit Impulsen für die Entwicklung des Marktes.

Der Einsatz der Hybridbusse im Linienbetrieb stärkt die Wahrnehmung der Hybridtechnologie bei Fahrgästen und Entscheidern auf regionaler Ebene. Eine Fortsetzung der Betriebsphase und der Kommunikation durch geeignete Informationsmaßnahmen seitens des Bundes ist notwendig, um eine breitere Akzeptanz zu sichern und emissionsarme Busse als selbstverständlichen Qualitätsstandard im Busverkehr zu etablieren. Die Hybridtechnologie besitzt dabei wegen ihrer Klima- und Umweltfreundlichkeit und ihrer geringen Geräusche das Potenzial, neue Kunden für den ÖPNV zu gewinnen und die Nachfrage nach klimafreundlichen Verkehrsangeboten und -fahrzeugen zu erhöhen. Entsprechende nachfrageabhängige Skaleneffekte können einen Beitrag zum Erreichen wirtschaftlicherer Preise von Hybridbussen leisten.

Die bisher positive Resonanz auf die Demonstrationsprojekte auf nationaler und internationaler Ebene und die Ergebnisse der Arbeit der Busplattform belegen die Leistungsfähigkeit der hiesigen Busindustrie und der Antriebshersteller, die Innovationsbereitschaft der deutschen Verkehrsunternehmen, die Bedeutung der Hybridtechnologie für den Klimaschutz und die Wertschöpfung in Deutschland. Es ist auch ein Nachweis für den Erfolg des Konzepts der Plattform als Forum für den kontinuierlichen Austausch technischer und betrieblicher Daten zwischen den Betreibern und Herstellern. Nicht zuletzt weist es auch den Erfolg des Förderprogramms der Bundesregierung Deutschland als Leitmarkt und Leitanbieter von Elektromobilität und innovativen Antrieben weiter zu stärken aus.

## Anhang I Einzelkriterien Datenerfassung

### Einzelkriterien je Themenfeld

Art	Einheit	Frequenz	Kommentare
<b>a. Effizienz</b>			
<b>a.1. Kraftstoffverbrauch</b>			
Konkrete Messungen	l/100km	Siehe Rahmenbedingungen im Anhang	Dezidierte Messungen auf Linien gemäß Rahmenbedingungen in Anhang III für Hybridbus und konventionellen Referenzbus
Dauertestverbrauch	l/100km	Täglich <sup>15</sup> /monatlich <sup>15</sup> /monatlich	Über die jeweilige Tankdatenerfassung der Verkehrsbetriebe (Durchschnitt je km) idealerweise strecken(kategorie) bezogen, Information zur Beladung soweit verfügbar
<b>a.2. Energieeinsatz</b>			
a.2.1 Rekuperierte Energie aus Batterie/Speicher	kWh	Einzelmessung	bemessen in NRW/VRR. Daten werden exemplarisch aus dem VRR Begleitforschungsprojekt durch ika zur Verfügung gestellt. (in Abstimmung mit den Herstellern)
a.2.2 Gesamtfahrtrienenergie	kWh	Einzelmessung	bemessen in NRW/VRR. Daten werden exemplarisch aus dem VRR Begleitforschungsprojekt durch ika zur Verfügung gestellt. (in Abstimmung mit den Herstellern)

Art	Einheit	Frequenz	Kommentare
<b>b. Ökologie und Klimaschutz</b>			
<b>b.1. Reduktion von Emissionen</b>			
b.1.1 Reduktion CO <sub>2</sub>	g/km		Wird berechnet auf der Basis des Kraftstoffverbrauches. Datengrundlage sind die Verbräuche aus a.1. Erfolgt automatisch in SoFi.
b.1.2 Feinstaub/PM	g/km	Einzelmessung	Routenbezogene Werte werden in NRW und Stuttgart gemessen (separate Messfahrten, nicht im Linieneinsatz). NRW und Stuttgart werden die Daten in Abstimmung mit den Herstellern freigeben
b.1.3 NO <sub>x</sub>	g/km	Einzelmessung	Siehe b1.2.
b.1.4 Schall		Einzelmessung	Messungen der Innen- und Aussengeräusche erfolgen in NRW durch ika (aufwändiges Verfahren mit Messfahrten ohne Fahrgäste, Fokus auf Wahrnehmung durch Fahrgast/Passanten). weiterhin wird die Geräuschwahrnehmung als qualitative Abfrage im Rahmen einer Umfrage erfasst (siehe d. Akzeptanz) – Messung erfolgt nicht nach gesetzlichen Normen
<b>b.2 Ökologische Gesamtbilanz</b>			
CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , PM und weitere		Berechnung	Betrachtung des gesamten Lebenszyklus des Busses, basierend auf Herstellerangaben und Verbrauchsdaten sowie Emissionsmessungen in NRW und Stuttgart. Für die Lebensdauer der Busse bzw. einzelnen Komponenten werden Vorgaben entsprechend marktreifen Produkten angenommen.
<b>c. Praxistauglichkeit , Einsatzreife</b>			
c.1. Täglicher Einsatz	Std/Tag	täglich	Die täglichen Einsatzstunden werden von den Verkehrsbetrieben erfasst und via Internet in SoFi eingegeben

<sup>15</sup> Für die tägliche Erfassung von Betriebsdaten wird das webbasierte Softwaretool SoFi eingesetzt.

c.2. Betriebsstatus			
c.2.1 Betrieb, Linie	Auswahl	2x täglich	Die Betriebsstatus wird 2 mal pro Tag von den Verkehrsbetrieben erfasst vormittags und nachmittags) und in SoFi eingegeben.
c.2.2. Betrieb, Sonderfahrt	Auswahl	2x täglich	
c.2.3. Kein Betrieb, technische Probleme am innovativen Antriebsstrang/Komponenten	Auswahl	2x täglich	
c.2.4. Kein Betrieb, technische Probleme am Standardfahrzeug	Auswahl	2x täglich	
c.2.5. kein Betrieb, geplante Wartung	Auswahl	2x täglich	
c.2.6. Kein Betrieb, Planungsgründe	Auswahl	2x täglich	
c.3. Anzahl Fahtabbrüche auf Linien wegen Schaden an innovativen Komponenten	Anzahl	täglich	Die Anzahl der Fahtabbrüche auf Linien werden von den Verkehrsbetrieben erfasst; und in SoFi eingegeben
c.4. Fahtabbrüche	Anzahl/ 1000 km	kontinuierlich	Die Anzahl der Fahtabbrüche bezieht sich lediglich auf innovative Komponenten. Sie werden von den Verkehrsbetrieben erfasst und in SoFi eingegeben

Art	Einheit	Frequenz	Kommentar
<b>d. Akzeptanz</b>			
e.1. Bewertung durch Fahrer/in	Fragebogen	2 x im Projekt	Siehe Anhang II
e.2. Akzeptanz Kunden/Nichtkunden	Fragebogen	2 x im Projekt	Siehe Anhang II

## Anhang II Rahmenbedingungen für Zwillings tests

### Ermittlung der Kraftstoffersparnis von Hybridbussen in den BMVBS – Modellregionen

Rahmenbedingungen für den Fall, dass von Betreiber und BMVBS Vergleichstests an Hybridfahrzeugen gewünscht werden:

1. Zwillings test (ein Fahrzeug folgt dem- Anderen in Sichtweite ohne sich gegenseitig zu beeinflussen mit Fahrzeug und Fahrerwechsel , werktags, 1x Hauptverkehrszeit, 1x Nebenverkehrszeit, trockene Fahrbahn, vorhandene Linie (Auswahl gemeinsam mit Betreiber und OEM), Einsetz- und Aussetzstrecken werden nicht mitgemessen.
2. Definition des Referenzfahrzeugs gemäß BMVBS-Vorgabe und in Abstimmung mit den Beteiligten. Falls kein vergleichbares Referenzfahrzeug verfügbar ist, können nicht vergleichbare Ergebnisse aus der Datenbank „Busplattform“ entfernt werden.
3. Alle Auswertungen und Messdaten werden in Kopie auch dem betreffenden Hersteller mitgeteilt. PE ist demnach auch nur berechtigt, Daten an entsprechend Zugriffsberechtigte weiter zu geben.
4. Rahmenbedingungen (Zyklusprofil, Höhenprofil, Haltestellenabstand, Durchschnittsgeschwindigkeit (über Fahrzeit und Gesamtzeit) Wetter,..) erfassen und protokollieren inkl. Software- und Hardwarestand des Fahrzeugs. Datenaufbereitung derart, dass vergleichbare Linien einfach identifiziert werden können.
5. Klimaanlage & Standheizung ausgeschaltet.
6. Beladung 3 t für Solofzg., 4,5 t für Gelenkfgz. (gemäß BMVBS-Förderprogramm).
7. Haltedauer an Haltestelle ohne Kneeling, mind. Haltedauer 10 sec., Empfehlung Türen aus Ablaufgründen (Vermeidung von Fahrgastzustieg) geschlossen zu halten.
8. SOC muss ausgeglichen sein, d.h. gleicher Ladezustand des Energiespeichers vor und nach der Messfahrt. SOC Kompensation gemäß SAE J2711 bzw. ECE-R101 muss durchgeführt werden.
9. Ermittlung des Kraftstoffverbrauchs durch Auswiegen des zu installierenden Messtanks oder andere geeignete Messeinrichtungen (z.B. Durchflussmesser).
10. Streubreite des Messergebnisses mit ausweisen:  
4 Messfahrten (jeweils für Haupt- und Nebenzeiten), Abweichung jeder Einzelfahrt vom Mittelwert < 5% (wenn möglich 2%)
11. Geschulter Fahrer auf ihm bekannter Linie.

## Anhang III Zwillingsstest Bremen

Eckdaten:

- Für die Messungen wurden immer dieselben 2 Fahrer eingesetzt.
- Messungen Zwillingsstest Start und Ende jeweils in Huckelriede (HUC).
- Jede Haltestelle wurde angefahren mit einer Verweilzeit von 10 Sekunden
- Durchfluss-Messanlage wurde in beiden Fahrzeugen von EvoBus installiert.
- Bei den Messungen am 21.09.2011 (Messung 1 - 4) wurden die Zusatzheizgeräte stillgelegt, die Klimaanlage der Fahrzeuge waren an beiden Tagen ausgeschaltet.
- Vor Messbeginn (Messfahrt 1- 4 und 5 - 8) wurde eine Warmfahrt (16,8 km) durchgeführt.

## Anhang IV Fragebögen

### A) Fragebogen Busfahrer

#### Hinweise zum Ausfüllen des Fragebogens

Bei den meisten Fragen müssen Sie lediglich eines der vorgegebenen <b>Kästchen ankreuzen</b>	ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>
Bei einigen Fragen werden <b>Abstufungen</b> der Antwortmöglichkeiten eingesetzt	Sehr wenig <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> sehr viel
In diesen Fällen tragen Sie bitte <b>Ziffern</b> ein, z.B. Monatsangaben oder das Alter in die Felder ein	<input type="text"/>
Bei einigen Fragen haben Sie die Möglichkeit, eine Antwort in <b>eigenen Worten</b> zu formulieren	_____ _____
Besonderheiten zur Antwortmöglichkeiten werden in kursiver Schrift angegeben	- <i>Mehrfachnennung</i> – - <i>bitte nur eine Nennung</i> -

Falls Sie Fragen kommentieren wollen, oder bei bestimmten Fragen ausführlichere Antworten geben möchten, können Sie das auf der letzten Fragebogenseite tun.

**Die Auswertung erfolgt anonym, Sie müssen nirgendwo Ihren Namen eingeben.**

Sollten Fragen zum Verständnis des Fragebogens aufkommen, können Sie uns jederzeit ansprechen!

Herzlichen Dank für Ihre Mitarbeit und viel Spaß beim Ausfüllen des Fragebogens!!

### Fahrefahrung

1. Busfahrer seit  Jahren
2. Bei den Verkehrsbetrieben seit  Jahren

### Erfahrung mit Hybridbus

3. Einsatzzeit mit dem Hybridbus an ca.  Tagen  
 - *Abschätzung ist ausreichend* - insgesamt ca.  Stunden

4. War die Umstellung auf den Hybridbus schwierig? ja   
 Nein

5. Wobei mussten Sie sich ggf. umstellen? \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

### Selbsteinschätzung der Schulung zum Hybridbus

6. In welchem zeitlichen Umfang wurden Sie in die Benutzung der Hybridbusse unterwiesen? an ca.  Stunden

7. Wer hat Sie in der Benutzung der Hybridbusse unterrichtet?  
 \_\_\_\_\_

8. Haben Sie Anmerkungen zu der Schulung?  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

9. Haben Sie an anderen Schulungen teilgenommen?

- nein
- ja, zu sparsamen Fahren
- ja, zu reibungsfreiem Fahren
- ja, ein Rutschtraining  
(Schnee, Eis, etc.)
- Ja, zu defensivem Fahren
- Ja, zum Verhalten an Bushaltestellen
- Ja, andere \_\_\_\_\_

Allgemeine Anforderungen an das Bedienverhalten bei der Umstellung

10. Unterscheidet sich der Hybridbus im Bedienverhalten von einem Dieselbus?

- ja
- nein

11. Wobei mussten Sie sich ggf. umstellen?

- Frage zu tagesbezogenen Umstellungen -

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

- Frage zu tagesbezogenen Umstellungen -

12. Wie oft kam es vor, dass Sie während eines Einsatztages von einem Diesel- auf den Hybridbus wechseln mussten (und umgekehrt)?

nie

selten

häufig

regelmäßig

13. Wie empfanden Sie ggf. die Umstellung?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## Fahrverhalten und weitere Merkmale des Hybridbusses

### Anfahren

14. Unterscheidet sich das Anfahren bei dem Hybridbus gegenüber dem Anfahren mit einem normalen Dieselbus?

ja   
nein

wenn ja, wie?

---



---

### Beschleunigung

15. Wie empfinden Sie die Beschleunigung des Fahrzeugs, insbesondere auch bei vielen Fahrgästen?

sehr gut     sehr schlecht

16. Empfinden Sie Unterschiede beim Beschleunigen, wenn der Dieselmotor bereits läuft gegenüber dem Beschleunigen, wenn sich der Dieselmotor beim Anfahren erst zuschaltet?

- Frage nur bei Parallelhybrid -

ja   
nein

wenn ja, welche?

---



---

17. Unterscheidet sich das Zuschalten des Dieselmotors zum Elektromotor von einem normalen Schaltvorgang?

- Frage nur bei Parallelhybrid -

ja   
nein

wenn ja, wie?

---



---

### Bremsen

18. Unterscheidet sich das Bremsverhalten des Hybridbusses von einem Dieselbus?

ja   
nein

wenn ja, wie?

---



---

19. Welche Bremsmethode ist Ihnen für den täglichen Betrieb lieber, das hauptsächlich Bremsen über das Fahrpedal oder die übliche Bremsmethode über das Bremspedal??

lieber Bremsen über Fahrpedal   
lieber Bremsen über Bremspedal

### Fahrerarbeitsplatz

20. Wie beurteilen Sie den Fahrerarbeitsplatz des Hybridbusses (Bewegungsraum, Anordnung von Schaltern und Anzeigen, Ablageflächen)?

---



---



---

### Speicherfüllstandsanzeige

21. Wie gelungen empfanden Sie die Füllstandsanzeige bzw. Ladegradanzeige der Batterie oder der SuperCaps?

nicht gut       neutral       gut

Begründung

---



---

22. Haben Sie Ihr Fahrverhalten entsprechend der Anzeige angepasst?

Nie       selten       häufig       regelmäßig

23. Wie weit lässt der Fahrplan eine Anpassung der Fahrweise an den Batterie-Ladezustand bzw. der Ladezustand der SuperCaps zu?

gar nicht möglich     
  kaum möglich     
  gut möglich

### Fahrgastraumklimatisierung

24. Wie beurteilen Sie die Fahrgastraumklimatisierung?

Nicht gut     
  neutral     
  gut

Begründung:

---



---

### Geräuschverhalten

25. Wie empfanden Sie die Geräuschentwicklung im Inneren des Fahrzeugs verglichen mit einem Dieselbus?

leiser     
  gleich     
  lauter

26. Sind Ihnen ggf. besondere Geräusche aufgefallen?

ja   
 nein

27. Falls ja, können Sie diese einer der nachfolgenden Kategorien zuordnen?

- Mehrfachnennung möglich -

Tickern   
 Brummen   
 Heulen   
 Pfeifen   
 Fiepen   
 Quietschen   
 Klappern   
 Zischen

Weitere Bemerkungen:

---

---

28. Wie empfinden Sie die Geräuschentwicklung des Dieselmotors, verglichen mit einem normalen Dieselbus?

leiser

gleich

lauter

---

29. Wie beurteilen Sie die Einschalthäufigkeit des Dieselmotors bei diesem Hybridbus?

niedrig

mittel

hoch

Weitere Bemerkungen:

---

---

---

30. Wie beurteilen Sie in diesem Zusammenhang das Start – Stop – Verhalten des Dieselmotors bei diesem Hybridbus bezüglich des Komforts?

schlecht  
(unkomfortabel)

mäßig

gut  
(komfortabel)

---

### **Vibrationen im Fahrgastraum**

31. Wie beurteilen Sie die Vibrationen im Inneren des Busses?

gering/schwach

kein Unterschied  
zu einem normalen  
Bus

hoch/stark

## Störungen/Fehler

32. Traten während Ihrer Einsatzfahrt Fehler bzw. Störungen am Hybridsystem auf?

 ja 

 nein 

Wenn ja, wie oft (Schätzung) und welche?

 mal

---



---

## Vergleichende Beurteilung des Hybridbusses

33. Entscheiden Sie bitte im Folgendem bei jedem Beurteilungskriterium, ob Sie den Hybridbus im Vergleich zum Dieselbus „schlechter“, „gleich“ oder „besser“ fanden.

Fahrverhalten

schlechter

gleich

besser

Anfahren




Beschleunigen




Bremsen




Lenkverhalten




Kurvenverhalten




Geradeausfahrt



Fahrkomfort

schlechter

gleich

besser

Vibrationen




Geräuschbelastung




Klimaregelung



Beurteilung der Handhabung/Bedienung

schlechter

gleich

besser

Fahren/Lenken




Anzeigen u. Bedienelemente




Innenraumüberwachung




Fahrgastabfertigung

### Beobachtungen/Rückmeldungen von Fahrgästen

34. Welche Änderungen haben Sie von Fahrgästen bekommen, die mit den Merkmalen des Hybridbusses zusammenhängen?

\_\_\_\_\_

### Angaben zur Person

1. Geschlecht

weiblich

männlich

2. Alter

18-30

31-40

41-50

51-60

>60

### Anregungen und Vorschläge für die Weiterentwicklung

3. Welche Anregungen und Verbesserungsvorschläge haben Sie zur Weiterentwicklung des Hybridbusses?

Bemerkungen:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Vielen Dank für Ihre Teilnahme!**

## B) Fragebogen Fahrgäste im Hybridbus

Fragebogen 2	Fahrgäste - im Hybridbus
<b>1 Allgemeines zum Fragebogen</b>	
<p><b>Intro für den Interviewer / Motivation für den Befragten:</b>            "Mein Name ist xxx. Ich bin vom Verkehrsbetrieb yyy im Rahmen eines Forschungsprojektes zum Thema Elektromobilität unterwegs. Ich würde Ihnen gerne einige Fragen zu den neuen Dieselhybridbussen stellen, denn Ihre Bewertung - aus Sicht des Passanten - hilft uns, und ist sehr wichtig für das Ergebnis. Keine Angst, Sie brauchen keinerlei technisches Verständnis.</p> <p>Der Fragebogen wird ca. 5 Minuten in Anspruch nehmen, deshalb die Frage: <b>wieviele Haltestellen fahren Sie noch mit?</b></p> <p><b>Wenn weniger als 3 Haltestellen:                      ABBRUCH!</b>  <b>Ab 4 Haltestellen:    INTERVIEW</b></p>	
<b>2 Allgemeine Einstellung</b>	
<p>Was verbinden Sie mit dem Begriff "Hybrid"? (Sie können auch mehrere Antworten geben)</p> <p><i>(Die befragte Person soll hier die vorgegebenen Antworten <b>nicht</b> vorgelesen bekommen um unbeeinflusst zu antworten)</i></p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 30%;"></div> <div style="width: 65%;"> <input type="checkbox"/> kenne ich nicht  <input type="checkbox"/> umweltschonend  <input type="checkbox"/> teuer  <input type="checkbox"/> kraftstoffsparend  <input type="checkbox"/> unausgereift  <input type="checkbox"/> unzuverlässig  <input type="checkbox"/> sinnvolle neue Technologie  <input type="checkbox"/> sonstiges: _____            _____            _____         </div> </div>	
<b>3 Auffällige Unterschiede</b>	
<p>Sind Sie schon vorher einmal mit einem Hybridbus gefahren?</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <input type="checkbox"/> nein         <input type="checkbox"/> ja         <input type="checkbox"/> weiß nicht       </div>	
<p>Wenn ja: Merkt man Ihrer Meinung nach, dass man einen Hybridbus fährt?</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <input type="checkbox"/> nein         <input type="checkbox"/> ja, sofort         <input type="checkbox"/> ja, mit der Zeit       </div>	
<p>Wenn ja, wodurch / welche Unterschiede?</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	
<b>3.1 Komfort (Geräusche und Schwingungen)</b>	
<p><u>Geräuschverhalten</u></p> <p>Wie empfinden Sie die Geräuschentwicklung im Inneren des Fahrzeugs verglichen mit einem Dieselbus?</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <input type="checkbox"/> leiser         <input type="checkbox"/> gleich         <input type="checkbox"/> lauter       </div>	
<p>Sind Ihnen ggf. besondere Geräusche aufgefallen?</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <input type="checkbox"/> ja         <input type="checkbox"/> nein       </div>	
<p>Falls ja, können Sie diese einer der nachfolgenden Kategorien zuordnen?</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="width: 30%;"> <input type="checkbox"/> Tickern (1)  <input type="checkbox"/> Pfeifen (4)  <input type="checkbox"/> Klappern (7)         </div> <div style="width: 30%;"> <input type="checkbox"/> Brummen (2)  <input type="checkbox"/> Fiepen (5)  <input type="checkbox"/> Zischen (8)         </div> <div style="width: 30%;"> <input type="checkbox"/> Heulen (3)  <input type="checkbox"/> Quietschen (6)         </div> </div>	
<p>Weitere Bemerkungen: _____</p>	

Wie empfinden Sie die Geräuscentwicklung des Dieselmotors, verglichen mit einem normalen Bus?

leiser                       gleich                       lauter

Wie beurteilen Sie die Einschalthäufigkeit des Motors bei diesem Hybridbus?

niedrig                       mittel                       hoch

Weitere Bemerkungen: .....

Wie beurteilen Sie in diesem Zusammenhang das Start-Stop-Verhalten des Dieselmotors bei diesem Hybridbus bezüglich des Komforts?

schlecht (unkomfortabel)                       mäßig                       gut (komfortabel)

Vibrationen im Fahrgastraum

Wie beurteilen Sie die Vibrationen im Inneren des Busses?

gering / schwach                       kein Unterschied zu einem normalen Bus                       hoch / stark

---

*"...noch ein paar letzte allgemeine Fragen zur Person..."*

**4 Angaben zur Person**

An wievielen Tagen in der Woche nutzen Sie öffentliche Verkehrsmittel?

selten                       regelmäßig

Wenn regelmäßig, dann:                       beruflich / Schule                       privat

Können Sie mir die Anzahl der Tage pro Woche nennen (ca.)

> 4                       2 bis 4                       < 2

Könnten Sie Ihr Alter in eine der Kategorien einordnen?

Bitte Einordnung in die nebenstehenden Kategorien

<18                       18-30                       31-40  
 41-50                       51-60                       >60

Geschlecht                       weiblich                       männlich

**Vielen Dank für Ihre Teilnahme!**

**5 Vom Interviewer auszufüllen**

Wo saß die interviewte Person im Bus?

Vorderer Busteil  
 Mittlerer Busteil (nur bei Gelenkbussen)  
 Hinterer Busteil

Wie voll war der Bus zum Zeitpunkt des Interviews

Voll (fast alle Sitz- und die meisten Stehplätze besetzt)  
 mittel (Sitz- und Stehplätze ca. 1/2 bis 2/3 besetzt)  
 leer (Sitz- und Stehplätze weniger als 1/3 besetzt)

Datum: \_\_\_\_\_  
Uhrzeit: \_\_\_\_\_

## C) Fragebogen Passanten an der Bushaltestelle

Fragebogen 3	Fahrgäste / Passanten - an Bushaltestelle
<b>1 Allgemeines zum Fragebogen</b>	
<p><b>Intro für den Interviewer / Motivation für den Befragten:</b>  <i>"Mein Name ist xxx. Ich bin vom Verkehrsbetrieb yyy im Rahmen eines Forschungsprojektes zum Thema Elektromobilität unterwegs. Ich würde Ihnen gerne einige Fragen zu den neuen Dieselhybridbussen stellen, denn Ihre Bewertung - aus Sicht des Passanten - hilft uns, und ist sehr wichtig für das Ergebnis. Keine Angst, Sie brauchen keinerlei technisches Verständnis. Der Fragebogen wird maximal 5 Minuten in Anspruch nehmen."</i></p>	
<b>2 Allgemeine Einstellung</b>	
<p>Was verbinden Sie mit dem Begriff "Hybrid"?</p> <p><i>(Die befragte Person soll hier die vorgegebenen Antworten <b>nicht</b> vorgelesen bekommen um unbeeinflusst zu antworten)</i></p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 40%;"></div> <div style="width: 55%;"> <input type="checkbox"/> kenne ich nicht  <input type="checkbox"/> umweltschonend  <input type="checkbox"/> teuer  <input type="checkbox"/> kraftstoffsparend  <input type="checkbox"/> unausgereift  <input type="checkbox"/> unzuverlässig  <input type="checkbox"/> sinnvolle neue Technologie  <input type="checkbox"/> sonstiges: .....            .....            .....         </div> </div>	
<b>3 Auffällige Unterschiede</b>	
<p>Sind Sie schon einmal mit einem Hybridbus gefahren?</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <input type="checkbox"/> nein         <input type="checkbox"/> ja         <input type="checkbox"/> weiß nicht       </div>	
<p><i>"...ein Kernaspekt unserer Studie ist das Thema (Außen-)Geräusch..."</i></p>	
<b>3.1 Geräuschbelastung / Außengeräuschverhalten</b>	
<p>Fühlen Sie sich durch den Straßenlärm belästigt?</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <input type="checkbox"/> nein         <input style="background-color: #d9e1f2;" type="checkbox"/> ja         <input type="checkbox"/> weiß nicht       </div>	
<p>Wenn ja, zu welchem Grad?</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <input type="checkbox"/> stark         <input style="background-color: #d9e1f2;" type="checkbox"/> mäßig         <input type="checkbox"/> gering       </div>	
<p>Welche Fahrzeuggruppen empfinden Sie als besonders störend? <b>(LKW, Bus, Kraftrad, PKW)</b></p>	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <input type="checkbox"/> LKW         <input type="checkbox"/> (Linien-)Bus         <input type="checkbox"/> Kraftrad         <input type="checkbox"/> PKW       </div>	

*"Sprechen wir nun über Linienbusse..."*

Wie beurteilen Sie die Außengeräusch von Linienbussen?

- stark / d.h. laut     
  mäßig / d.h. wie der übrige Straßenverkehr     
  gering / d.h. leise

Sind Ihnen im Außengeräusch Unterschiede bei der An- und Abfahrt von Bussen an Haltestellen aufgefallen?

- nein       ja

Wenn ja, welche? .....

*"...sprechen wir nun speziell über den Hybridbus..."*

Geräuschverhalten

Wie empfinden Sie die Geräuschentwicklung dieses Busses, verglichen mit einem normalen Bus?

- leiser       gleich       lauter

Wenn ja, welche? .....

Sind Ihnen ggf. besondere Außengeräusche aufgefallen?       ja       nein

- 

Falls ja, können Sie diese einer der nachfolgenden Kategorien zuordnen?     

- Tickern (1)       Brummen (2)       Heulen (3)  
 Pfeifen (4)       Fiepen (5)       Quietschen (6)  
 Klappern (7)       Zischen (8)

Weitere Bemerkungen:

- .....

*"...noch ein paar letzte allgemeine Fragen zur Person..."*

- 

**4 Angaben zur Person**

An wievielen Tagen in der Woche nutzen Sie öffentliche Verkehrsmittel?

- selten              
              
 regelmäßig

Wenn regelmäßig, dann:

- beruflich / Schule       privat

Können Sie mir die Anzahl der Tage nennen       > 4

2 bis 4  
 <  
 2

Könnten Sie Ihr Alter in eine der Kategorien einordnen?

*Bitte Einordnung in die nebenstehenden Kategorien*

<18                       18-30                       31-40  
 41-50                       51-60                       >60

Geschlecht

weiblich                       männlich

**Vielen Dank für Ihre Teilnahme!**

**5 Vom Interviewer auszufüllende Informationen**

Datum:

Uhrzeit:

## Anhang V Auswertung der Fragebögen