schaufenster elektromobilität
Eine Initiative der Bundesregierung

BAYERN – SACHSEN ELEKTROMOBILITÄT VERBINDET

Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik

DVB DRESDNER VERKEHRSBETRIEBE AG

Effizienzsteigerung von elektrisch angetriebenen Stadtbussen

Praxisbericht aus dem Schaufenster Elektromobilität Bayern/Sachsen

Dresden, 10.12.2015

Gefördert durch:

Die Bundesregierung

Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie

Freistaat SACHSEN

Koordiniert durch:

Bayern Innovativ

saena Sächsische Energieagentur GmbH

I Kurzvorstellung Linie 79, Pilotlinie 64

II Elektrobus-Linie 79

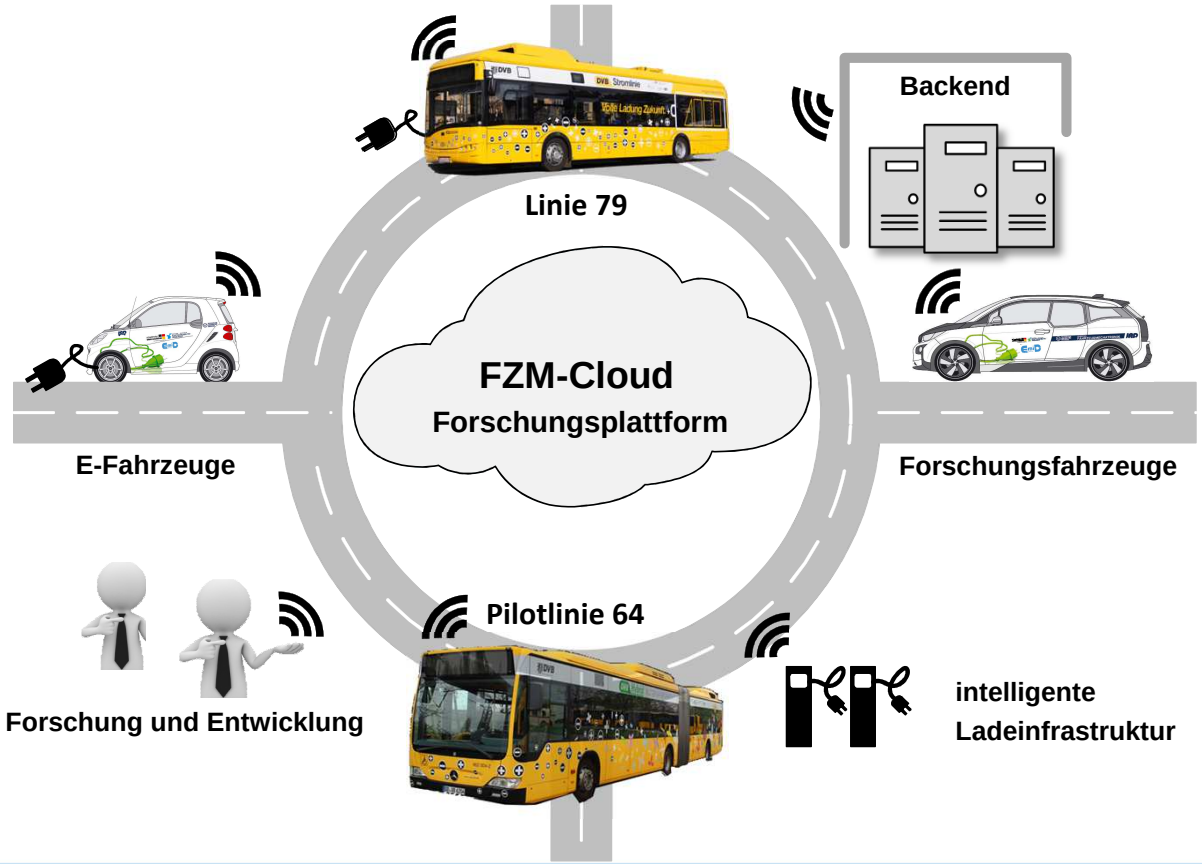
III Pilotlinie 64 - IAD

IV Pilotlinie 64 - ILK

Kurzvorstellung

	Elektrobus-Linie 79	*Pilotlinie 64*
Fahrzeug	Solaris Urbino 12 electric, 12 m	Mercedes Benz Citaro G BlueTec Hybrid, 18 m
Technologie	Batterieelektrisches Fahrzeug mit elektrischer Warmwasserheizung	Serieller Hybrid mit 4 Zylinder Dieselmotor
Projektschwerpunkt	**Maximierte Lebensdauer der Traktionsbatterie**	**Effizienzsteigerung des Gesamtfahrzeugs**
Impression	Fahrzeug an Hochstromladestation	Fahrzeug im Betriebshof (Dresden Gruna)

Einordnung in die FZM-Versuchsplattform



Daten

- FMS (v, …)
- IBIS (Linieninformation)
- DILAX (Anz. Fahrgäste)
- GPS
- **BMS (SOC, U, I, T, …)**

I Kurzvorstellung Linie 79, Pilotlinie 64

II Elektrobus-Linie 79

III Pilotlinie 64 - IAD

IV Pilotlinie 64 - ILK

Timeline Elektrobus-Linie 79

Q4/2012 Planung

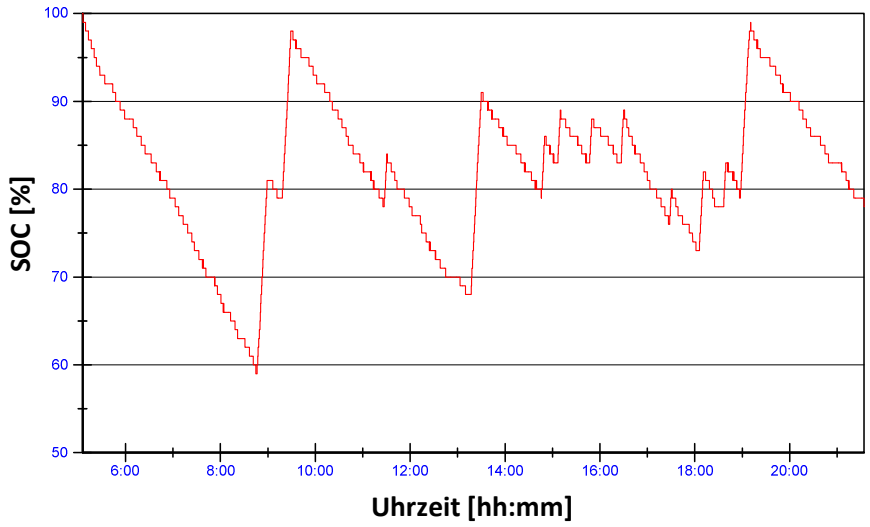
- Start Vorabplanung zur Auslegung von Traktionsbatterie und Ladeinfrastruktur

Q2/2015 Linienbetrieb

- Aufnahme regulärer Linienbetrieb
- Messdatenerhebung im Fahrzeug

Planung vs. Linienbetrieb

	Planung	*Linienbetrieb*
Max. Ladeleistung am Wendepunkt (kW)	180	≤ 200
Nutzbarer Energieinhalt der Batterie (kWh)	144	≈ 170
Netto-Ladedauer am Wendepunkt (min)	≈ 3	≈ 6,5
Anzahl tägliche Ladevorgänge	≤ 41	≤ 25
Energieverbrauch Fahrzeug (kWh/km)	1,2 – 1,9	1,1 – 1,7



Timeline Elektrobus-Linie 79

Q3/2012 Planung

- Start Vorabplanung zur Auslegung von Traktionsbatterie und Ladeinfrastruktur

Q2/2015 Linienbetrieb

- Aufnahme regulärer Linienbetrieb
- Messdatenerhebung im Fahrzeug

Q1/2016 Optimierung

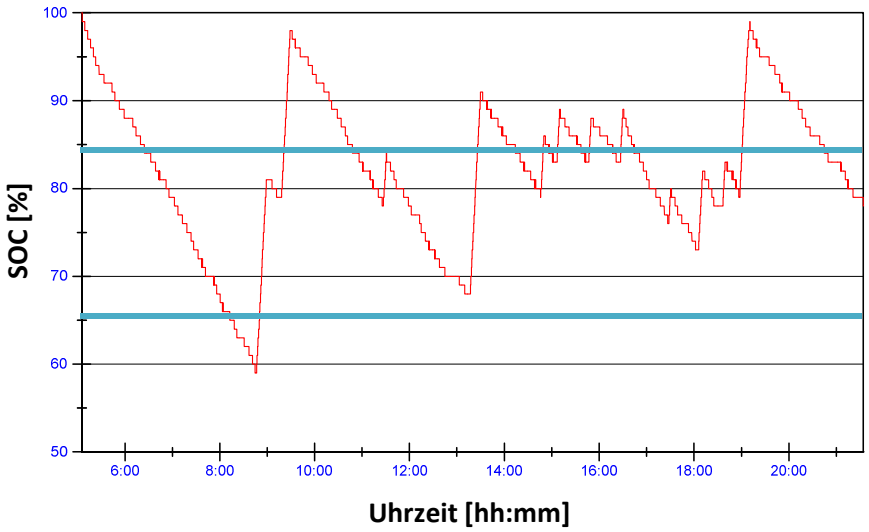
- Anpassung Ladeparameter
- Visuelle Unterstützung des Fahrers

Optimierung

- Laufende Untersuchungen an Batteriezellen zu kalendarischer/zyklischer Alterung
- Belastungszyklen im Labor nach Vorbild realer Stromverläufe und Temperaturen im Linienbetrieb

  ➔Definition festes SOC-Intervall

- Einhaltung des Intervalls durch dynamische Anpassung des Ladestroms
- Parameterübergabe an BMS
- Zusätzlich:
  Optische Ladeempfehlung an Fahrer



I Kurzvorstellung Linie 79, Pilotlinie 64

II Elektrobus-Linie 79

III Pilotlinie 64 - IAD

IV Pilotlinie 64 - ILK

Einleitung Pilotlinie 64 - IAD

Motivation:

- Behaglichkeit der Fahrgäste ist sehr energieaufwändig → im untersuchten Hybridbus rund siebenfacher Heizölverbrauch
- Fahrer beeinflusst die Fahrzeugeffizienz sehr stark
- Linienanforderungen sind meist im Vorfeld bekannt und können prognostiziert werden

Ziele:

1. **Erhöhung der Energieeffizienz durch eine intelligente, vorausschauende Steuerung sowie ein hocheffizientes Beheizungs- und Klimatisierungs-, Nebenverbraucher- sowie Fahrerunterstützungskonzept**
2. Kompensation der Zusatzmasse und Verbesserung der Energieeffizienz durch Leichtbau des Fahrzeugs

Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik

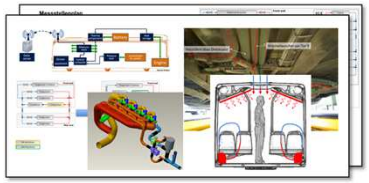
Timeline Pilotlinie 64 - IAD

Q4/2013 Planung
- **Voruntersuchung, Planung**
- Auslegung Messsystem
- Machbarkeitsuntersuchung der einzelnen Maßnahmen

Q3/2014 Messbetrieb
- **Integration Messtechnik / Potentialuntersuchung**
- Beginn der Messaufzeichnung auf der Linie 64
- Auslegung effizienzsteigernder Komponenten

Q1/2016 Optimierung
- **Einbau effizienzsteigernder Komponenten**
- Aufbau eines Fahrerunterstützungsprüfstandes
- Effizienzsteigernde Nebenverbraucher

Q3/2016 Linienbetrieb
- **Intelligentes, vorausschauendes Energiemanagement**
- Senken des Kraftstoffbedarfs für Antrieb und Heizung
- Bewertung der Ergebnisse


Planung

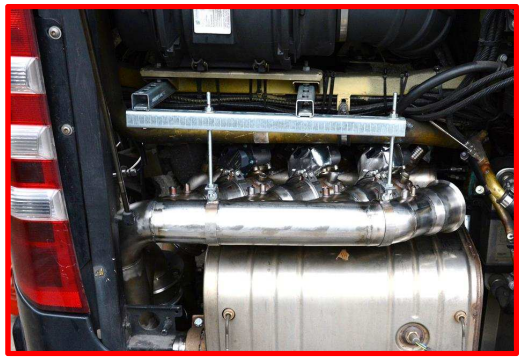
Messtechnik

Wärmepumpe

Energie-management

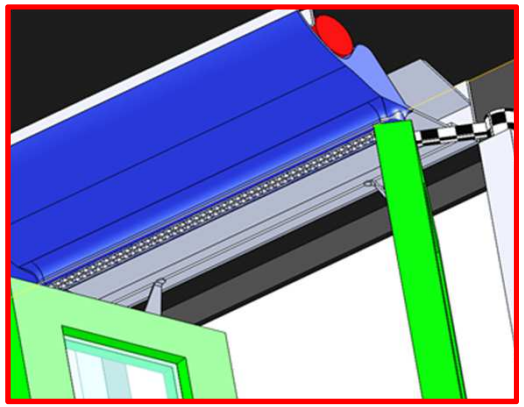
Schlüsseltechnologien Pilotlinie 64 - IAD

Wärmepumpe



Abgaswärmetauscher

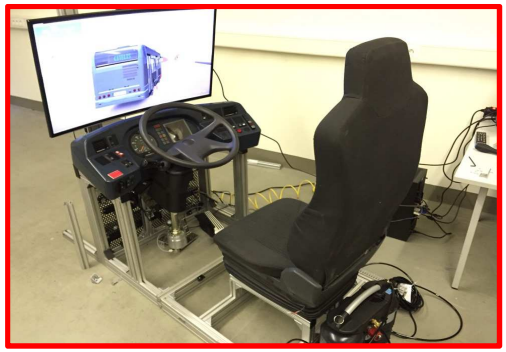
Heizstrahler



Luftwand-Anlage

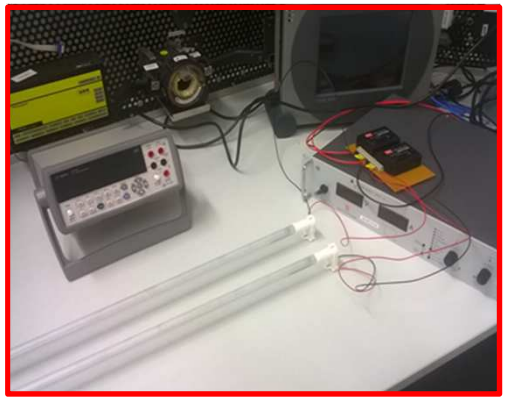
- ✓ Prototypische Wärmepumpe
  - ✓ Auslegung/Dimensionierung
  - ✓ Entwicklung und Aufbau durch Spheros GmbH
  - ✓ Inbetriebnahme 10/2015
- ✓ System zur Abgaswärmenutzung für die Unterstützung der Innenraumheizung ausgelegt und aufgebaut
- ➢ Test des behaglichen Einsatzes von Heizstrahlern im Bus im Winter 2015/16
- ➢ Effizienzuntersuchung einer prototypischen Luftwand-Anlage im Bus im Winter 2015/16

Schlüsseltechnologien Pilotlinie 64 - IAD

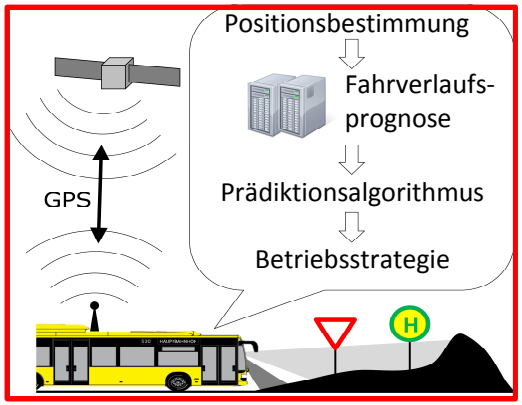


Optische/haptische Fahrerunterstützung

Erweitertes Druckluftsystem



Adaptive LED-Beleuchtung



Vorausschauendes Energiemanagement

- ✓ Fahrererlebnisprüfstand wurde konzeptioniert und aufgebaut
  → Steht hier auf der Konferenz
- ✓ Erste Erweiterung des Druckluftsystems eingebaut
- ➢ 2. Phase: Effiziente Steuerung des Druckluftkompressors in energetisch günstigen Zeitpunkten
- ➢ Entwicklung eines adaptiven LED-Beleuchtungssystems für den ÖPNV
- ✓ Modellbildung zur Optimierung der Betriebsstrategie
- ➢ Optimierung der Betriebsstrategie mit Dynamischer Programmierung

I Kurzvorstellung Linie 79, Pilotlinie 64

II Elektrobus-Linie 79

III Pilotlinie 64 - IAD

IV Pilotlinie 64 - ILK

Einleitung Pilotlinie 64 - ILK

Motivation:

- Forschung und Entwicklung an NFZ-Leichtbaurädern unter Berücksichtigung der industriellen Serienanforderungen
- Verbesserung der ökologischen Effizienz durch Verbrauchseinsparungen an Hybridbussen und Erhaltung der Personenbeförderungskapazität
- Bearbeitung ausgewählter Forschungsschwerpunkte zu den Stichworten hybride Verbindungstechnologie, Fertigung für die Serie und bauteilspezifische Prüftechnologien

Ziele:

1. Erhöhung der Energieeffizienz durch eine intelligente, vorausschauende Steuerung sowie ein hocheffizientes Beheizungs- und Klimatisierungskonzept
2. Kompensation der Zusatzmasse und Verbesserung der Energieeffizienz durch Leichtbau des Fahrzeugs

IAD

Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik

Timeline Pilotlinie 64 - ILK

Q4/2013 Konzeption und Konstruktion

- Umfangreiche Werkstoffcharakterisierung
- Bewertung von mehr als 10 verschiedenen Radvarianten
- Entscheidung zur Umsetzung eines Hybrid-Leichtbaurads mit metallischen Radstern und CFK-Felgenbett

Ab Mitte 2014 Optimierung und Fertigung

- Optimierung der Bauteilgeometrie mit Hilfe von FEM-Simulationen der Hybridstruktur und korrespondierenden Verbindungstechnik
- Seriennahe Fertigung unter Nutzung neuartigster Preformingtechnologien (zum Patent angemeldet)

Ab 2016 Erprobung und Pilotbetrieb

- Standardisierte Prüfstandversuche und Sonderprüfungen für NFZ-Leichtbauräder
- Fahrerprobung und Feldtests auf ausgewiesenen Prüfgeländen zur Vorbereitung des Pilotbetriebs

Strukturmechanische Bauteilanalyse

Highlights Pilotlinie 64 - Konzeptstudie

		Konzept-Nr.	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12	
Eigenschaftsgröße	Bedeutung	Gewichtung	Wert	gew. Wert	Wert	gew. Wert	Wert	gew. Wert	Wert	gew. Wert	Wert	gew. Wert	Wert	gew. Wert	Wert	gew. Wert	Wert	gew. Wert	Wert	gew. Wert	Wert	gew. Wert	Wert	gew. Wert	Wert	gew. Wert
Lebensdauer	Reifenmontage Missbrauchsfälle	5,0%	3	0,15	2	0,1	2	0,1	2	0,1	3	0,15	3	0,15	2	0,1	3	0,15	3	0,15	2	0,1	3	0,15	3	0,15
Masse	Felge, Insert, Verschraubung	10,0%	4	0,4	4	0,4	4	0,4	3	0,3	4	0,4	3	0,3	2	0,2	1	0,1	0	0	2	0,2	2	0,2	4	0,4
Mediale und thermische Beständigkeit	Salz, Wasser	8,0%	2	0,16	2	0,16	2	0,16	2	0,16	2	0,16	2	0,16	2	0,16	2	0,16	2	0,16	2	0,16	2	0,16	2	0,16
Statische Festigkeit		7,0%	3	0,21	2	0,14	2	0,14	3	0,21	3	0,21	3	0,21	2	0,14	2	0,14	2	0,14	2	0,14	3	0,21	3	0,21
Schwingfestigkeit		7,0%	3	0,21	2	0,14	2	0,14	2	0,14	3	0,21	3	0,21	2	0,14	2	0,14	2	0,14	2	0,14	3	0,21	3	0,21
Kosten		20,0%	2	0,4	2	0,4	2	0,4	1	0,2	2	0,4	2	0,4	2	0,4	2	0,4	1	0,2	2	0,4	4	0,8	2	0,4
Montageaufwand	Befestigung an Nabe, Einbringung Ventil	8,0%	2	0,16	2	0,16	2	0,16	2	0,16	2	0,16	2	0,16	2	0,16	2	0,16	2	0,16	2	0,16	1	0,08	2	0,16
Komplexität Felge	Einzelteilfügung, Verschraubungen	10,0%	3	0,3	2	0,2	1	0,1	1	0,1	2	0,2	3	0,3	1	0,1	2	0,2	1	0,1	2	0,2	2	0,2	2	0,2
Fertigungsaufwand	einteilig, mehrteilig, Trennebene, Dichtungsaufwand	15,0%	2	0,3	2	0,3	2	0,3	1	0,15	2	0,3	2	0,3	0	0	2	0,3	1	0,15	2	0,3	4	0,6	2	0,3
Einsatz von Norm- und Zukaufteilen	Radbolzen, Muttern, Zentrierringe	5,0%	3	0,15	2	0,1	2	0,1	2	0,1	3	0,15	3	0,15	2	0,1	2	0,1	2	0,1	2	0,1	2	0,1	3	0,15
Seriennahe Umsetzung		5,0%	2	0,1	2	0,1	2	0,1	1	0,05	2	0,1	3	0,15	0	0	2	0,1	2	0,1	2	0,1	3	0,15	3	0,15
Gesamtwertung		1		2,54		2,2		2,1		1,67		2,44		2,49		1,5		1,95		1,4		2		2,86		2,49
Platzierung			2		6		7		10		5		3		11		9		12		8		1		3	

Wert	Bedeutung
0	weit unter Durchschnitt
1	unter Durchschnit
2	Durchschnitt
3	über Durchschnitt
4	weit über Durchschnitt
x	invers bewerten

Highlights Pilotlinie 64 - Konzeptstudie

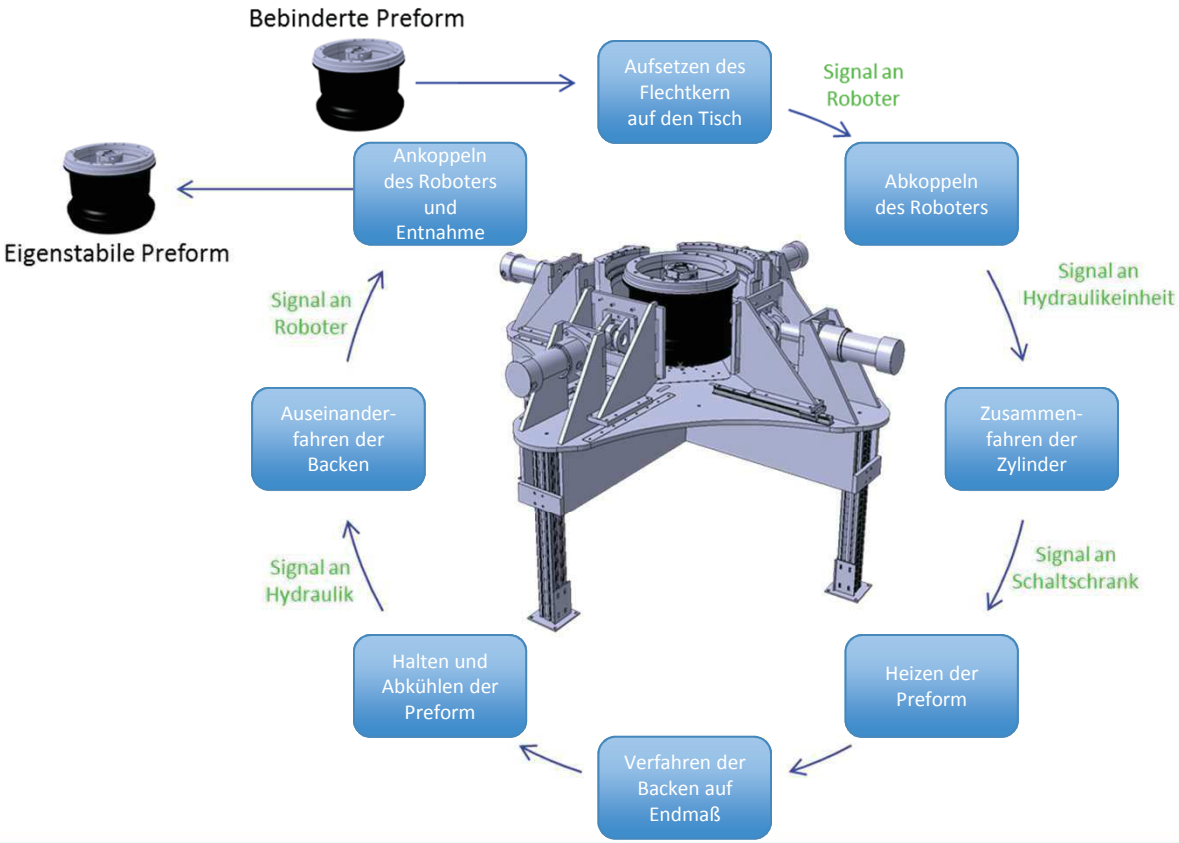
Eigenschaftsgröße	Bedeutung	Konzep Gewic	1 Wert	1 gew. Wert	2 Wert	2 gew. Wert	3 Wert	3 gew. Wert	4 Wert	4 gew. Wert	5 Wert	5 gew. Wert	6 Wert	6 gew. Wert	7 Wert	7 gew. Wert	8 Wert	8 gew. Wert	9 Wert	9 gew. Wert	10 Wert	10 gew. W	11 Wert	11 gew. Wert	12 gew. Wert
Lebensdauer	Reifenmontage Missbrauchsfälle	5,0	3	0,15		0,1	2	0,1	2	0,1	3	0,15	3	0,15	2	0,1	3	0,15	3	0,15	2	0,1	3	0,15	0,15
Masse	Felge, Insert, Verschraubung	10,0	4	0,4		0,4	4	0,4	3	0,3	4	0,4	3	0,3	2	0,2	1	0,1	0	0	2	0,2	2	0,2	0,4
Mediale und thermische Beständigkeit	Salz, Wasser	8,0	2	0,16		0,16	2	0,16	2	0,16	2	0,16	2	0,16	2	0,16	2	0,16	2	0,16	2	0,16	2	0,16	0,16
Statische Festigkeit		7,0	3	0,21		0,14	2	0,14	3	0,21	3	0,21	3	0,21	2	0,14	2	0,14	2	0,14	2	0,14	3	0,15	0,21
Schwingfestigkeit		7,0	2	0,14		0,14	2	0,14	2	0,14	3	0,21	3	0,21	2	0,14	2	0,14	2	0,14	2	0,14	2	0,2	0,21
Kosten		20,0	4	0,4		0,4	2	0,4	1	0,2	2	0,4	2	0,4	2	0,4	2	0,4	1	0,2	2	0,4	2	0,2	0,4
Montageaufwand	Befestigung an Nabe, Einbringung Ventil	8,0	2	0,16		0,16	2	0,16	2	0,16	2	0,16	2	0,16	2	0,16	2	0,16	2	0,16	2	0,16	2	0,16	0,16
Komplexität Felge	Einzelteilfügung, Verschraubungen	10,0	3	0,21		0,2	1	0,1	1	0,1	2	0,2	3	0,3	1	0,1	2	0,2	1	0,1	2	0,2	3	0,21	0,2
Fertigungsaufwand	einteilig, mehrteilig, Trennebene, Dichtungsaufwand	15,0	3	0,21		0,3	2	0,3	1	0,15	2	0,3	2	0,3	0	0	2	0,3	1	0,15	2	0,3	3	0,21	0,3
Einsatz von Norm- und Zukaufteilen	Radbolzen, Muttern, Zentrierringe	5,0	2	0,16		0,1	2	0,1	2	0,1	3	0,15	3	0,15	2	0,1	2	0,1	2	0,1	2	0,1	4	0,8	0,15
Seriennahe Umsetzung		5,0	3	0,3		0,1	2	0,1	1	0,05	2	0,1	3	0,15	0	0	2	0,1	2	0,1	2	0,1	1	0,08	0,15
Gesamtwertung		1	2	0,3		2,2		2,1		1,67		2,44		2,49		1,5		1,95		1,4		2	2	0,2	2,49
Platzierung			3	0,15	6		7		10		5		3		11		9		12		8		4	0,6	3
			2	0,1																			2	0,1	
				2,54																			3	0,15	
			2																					2,86	
																							1		

Wert	Bedeutung
0	weit unter Durchschnitt
1	unter Durchschnit
2	Durchschnitt
3	über Durchschnitt
4	weit über Durchschnitt
x	invers bewerten

Monolithisches Leichtbaurad

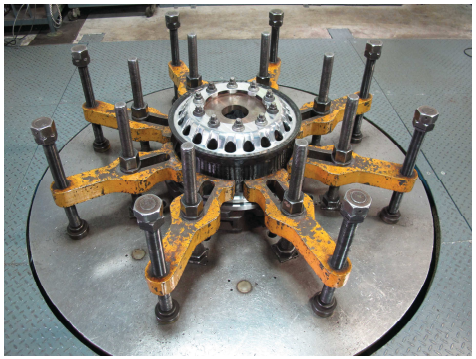
Hybrides Leichtbaurad

Highlights Pilotlinie 64 - Preformingtechnlogie: Ablauf



Highlights Pilotlinie 64 - Erprobung des Leichtbaurads

Erprobung



Biegeumlaufprüfung

Abrollprüfung

schaufenster elektromobilität
Eine Initiative der Bundesregierung

BAYERN – SACHSEN
ELEKTROMOBILITÄT
VERBINDET

IAD

Institut für
Leichtbau und
Kunststofftechnik

DVB
DRESDNER VERKEHRSBETRIEBE AG

vlnr: *Hr Zieschank (DVB AG)*
Staatsminister Dulig (SMWA)
Prof. Bäker (IAD)
Dr. Werner (TKCC)
Prof. Modler (ILK)