



Hochschule **RheinMain**
University of Applied Sciences
Wiesbaden Rüsselsheim

BRENNSTOFFZELLENBUSSE FÜR DAS RHEIN-MAIN GEBIET

BIRGIT SCHEPPAT/DAVID COLEMAN

H2BZ-INITIATIVE HESSEN E.V./HOCHSCHULE RHEINMAIN

09. 06.2018

UMWELTFREUNDLICHER ÖPNV MIT BRENNSTOFFZELLEN?



Hochschule **RheinMain**
University of Applied Sciences
Wiesbaden Rüsselsheim

- Ausgangssituation
- Warum gerade Wasserstoff?
- Stand des Projektes
- Aussicht



Was ist die Ausgangssituation – was ist gefordert?

- Das Rhein-Main-Gebiet ist ein gewachsener Ballungsraum mit > 5.5 Mio. Menschen.
- Am Frankfurter Kreuz kommen jeden Tag 600.000 Fahrzeuge (davon 14% Schwerlast in 2015) vorbei.
- Die Städte Frankfurt, Wiesbaden, Rüsselsheim und 7 andere konnten/können die Grenzwerte für Luftschadstoffe inklusive Nox, CO₂ bei bestimmten Wetterlagen nicht einhalten. Es drohen Fahrverbote!
- Es gibt einen „gut“ ausgebauten öffentlichen Nahverkehr (ÖPNV) und alle Landesbediensteten haben ein kostenfreies Ticket. Wie überall steigt die Anzahl an rein elektrischen Fahrzeugen und Hybridfahrzeugen erst langsam an.
- ÖPNV: die Stadt Wiesbaden verfügt z. B. heute über 253 Dieselbusse
(Euro 3 16%, Euro 4 3%, Euro 5 46 %, 35% Euro 6)
mit Umlauflängen von >200 km
, aufgrund der Topographie werden 2 kWh/km (Mittelwert aus 12 m und 18 m Busen, Fahrleistung ohne sonstige Verbraucher) benötigt.
- Wiesbaden wurde verklagt und hat gegen die Umweltstiftung verloren....Anderen Städten geht es ähnlich.

DER EUROPÄISCHE BLICK



Hochschule **RheinMain**
University of Applied Sciences
Wiesbaden Rüsselsheim

Table 1 Guiding objectives for 2030

	Indicator	Guiding objective
Decarbonization	Energy efficiency: urban passenger transport	+80% (pkm/kWh) *
	Energy efficiency: long-distance freight transport	+40% (tkm/kWh) *
	Renewables in the energy pool	Biofuels: 25% Electricity: 5%
Reliability	Reliability of transport schedules	+50% *
	Urban accessibility	Preserve Improve where possible
Safety	Fatalities and severe injuries	-60% *
	Cargo lost to theft and damage	-70% *

* Versus 2010 baseline



- Elektrobusse sind **lokal** emissionsfrei – egal ob mit Brennstoffzellen oder Batterie
- Batterietechnik und Brennstoffzellen sind komplementäre Technologien
- **Voraussetzung für die Nachhaltigkeit beider Technologien ist ein hoher Anteil EE am Strommix**
- Auf zahlreichen Strecken im ÖPNV-Busbetrieb lassen sich nur eingeschränkt Batteriebusse einsetzen



WARUM WASSERSTOFF?

- Wasserstoff ist kein Primärenergieträger, sondern muss aus Erdgas („das will keiner“) oder aus Wasser hergestellt werden.
- Wasserstoff ist ungiftig, unschädlich für Flora und Fauna und sicherheitstechnisch einfacher zu Handhaben als Kohlenwasserstoffe wie z.b. Benzin,
- Die Nutzung von Wasserstoff verringert die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern und kann **mittels Stromüberschüssen** (Wind-, PV-, Laufwasserkraftwerke) erzeugt werden. Stichwort Sektorenkopplung!
- Wasserstoff entlastet die elektrischen Netze ...und ist sehr gut speicherbar.
- Durch die Nutzung von nachhaltig erzeugtem Strom in Form von Wasserstoff wird emissionsfreie Mobilität erreicht.

E-MOBILITY IM ÖPNV



Hochschule **RheinMain**
University of Applied Sciences
Wiesbaden Rüsselsheim

BEV	HEV	FCEV
Solaris Urbino 12 electric 	EvoBus Citaro G Bluetec Hybrid 	EvoBus Citaro FuelCELL Hybrid 
Sileo bozankaya 	MAN Lion's City Hybrid 	Solaris Urbino 18,75 electric FC 
VDL Citea SLF 120 Electric 	VDL Citea SLF 120 Hybrid 	VanHool A330 FC 
EBUSCO 2.0 	Volvo 7900 Electric Hybrid 	APTS Phileas 

Quellen: eigene Aufnahmen; <http://www.daimler.com>, www.man.eu, www.bus-bild.de, Vossloh-Kiepe; modellbus.info, HA Hessen Agentur/ Eich

E-MOBILITY IM ÖPNV



Hochschule **RheinMain**
University of Applied Sciences
Wiesbaden Rüsselsheim

Davon fahren in China bereits 400.000 Stück

BEV	HEV	FCEV
Solaris Urbino 12 electric 	EvoBus Citaro G Bluetec Hybrid 	EvoBus Citaro FuelCELL Hybrid 
Sileo bozankaya 	MAN Lion's City Hybrid 	Solaris Urbino 18,75 electric FC 
VDL Citea SLF 120 Electric 	VDL Citea SLF 120 Hybrid 	VanHool A330 FC 
EBUSCO 2.0 	Volvo 7900 Electric Hybrid 	APTS Phileas 

Quellen: eigene Aufnahmen; <http://www.daimler.com>, www.man.eu, www.bus-bild.de, Vossloh-Kiepe; modellbus.info, HA Hessen Agentur/ Eich

Davon fahren in China ab 2020 > 400.000 Stück



Batterielektrischer Bus

Rein elektrisches Fahren

plus Start/Stopp und regeneratives
Bremsen

400 V;

2 - 2,4 kWh pro Kilometer

Reichweite ca. 100 - 200 km (Topographie)

12 m Bus 340kWh

18m Bus (Gelenkbus) Batterie 550 kWh

kritisch im Winter bis zu 50% für Heizung
notwendig

Brennstoffzellenbus

Brennstoffzelle plus eine kleine Batterie
für den direkten Antrieb;

plus Start/Stopp und regeneratives
Bremsen;
400 V;

1,8 kWh elektrisch pro Kilometer

Reichweite > 350 km

5 Tanks à 350 bar → 38 kg Wasserstoff
(12m Bus, Van Hool)

Abwärme der Brennstoffzelle für
Temperierung/Klima des Busses nutzbar



Batterieelektrischer Bus

Rein elektrisches Fahren
plus Start/Stopp und regeneratives
Bremsen

400 V;

Geschlossener Fahrerarbeitsplatz (Wärmeversorgung)

Ladezeiten bis zu 8 Stunden,
Zwischenladungen möglich (Pantograph)

Aufbau einer umfangreichen Ladeinfrastruktur und
Stellflächen (ungefähr Faktor 1,5)

30 % weniger Passagiere zu Dieselbus

Umbau des Stromnetzes notwendig

Brennstoffzellenbus

Brennstoffzelle plus eine kleine Batterie
für den direkten Antrieb;

plus Start/Stopp und regeneratives
Bremsen;

400 V;

Fahrerarbeitsplatz kann offen bleiben

Tankzeit nach SAE 260 ca. 12 Minuten

1 Betriebshoftankstelle 350 bar, keine
zusätzlichen Stellflächen notwendig

Passagieranzahl analog Dieselbus

Hydrogen vs. BEV

VISION industries
corp

Hydrogen Fuel Tanks

1 Kg H_2 → 33 kWh

20 Kg H_2 → 660 kWh



Batteries (Li⁺)

One (1) Battery:

3.2 V x 200 Amps → 650 Watts

Weighs 7.5 kg or 16.54 lbs.

...therefore to get the equivalent output

1,000 batteries → 16,543 lbs. (or 8.2 tons)

→ 650 kWh





Idealer Anwendungsfall für den Einsatz von E-Mobility ist der ÖPNV

- Planbar, definierte Strecken, konstante km-Fahrleistung
- Definierte Fahrzeuganzahl
- Rekuperationsanteil sehr hoch (häufiges Bremsen)
- Zentrale Tankstelle mit konstanten Absatzmengen möglich

Elektromobilität mit Wasserstoff und Brennstoffzellen bietet gegenüber reinen Batteriefahrzeugen einige Vorteile

- Höhere Reichweite (ca. 350 km)
- Kurze Betankungszeit (ca. 10 min)
- Weniger Probleme mit Heizung im Winter
- Geringeres Gewicht der Komponenten
- Geringere Herausforderungen einer Wasserstofftankstelle
- **Volle Routenflexibilität, auch bei zukünftigen Linienänderungen!**

H2Bus Rhein-Main – JIVE



Hochschule RheinMain
University of Applied Sciences
Wiesbaden Rüsselsheim

JIVE: Joint Initiative for hydrogen Vehicles across Europe

Ziele

- Einsatz von 142 H2-Bussen in 9 Städten
- 30% Kostenreduktion gegenüber heute
- Einsatz von 50% der Fahrzeuge für mind. 3 Jahre
- Aufbau der größten H2 Tankstellenkapazität in Europa
- Erreichen von nahezu 100% Tankstellenverfügbarkeit
- Demonstration der technischen Reife von Bussen und Tankstelle
- Unterstützung der weiteren Marktdurchdringung

 UK – 56 H2-Busse



 Italien – 15 H2 Busse



 Dänemark – 10 H2-Busse



 Lettland – 10 H2-Busse



 Deutschland – 51 H2-Busse



Brennstoffzellenbusse in beteiligten Städten

 Aktuelle H2-Busse

 Zukünftige H2-Busse (andere Projekte)

 Zukünftige H2-Busse (Projekt JIVE)

 Gelenkbus (Projekt JIVE)

JIVE läuft über 6 Jahre ab 2017

H2BUS RHEIN-MAIN – FAKTEN



Hochschule **RheinMain**
University of Applied Sciences
Wiesbaden Rüsselsheim

- **Partner:**

- Verkehrsverbund Mainz-Wiesbaden GmbH (VMW)
- Mainzer Verkehrsgesellschaft mbH (MVG)
- ESWE Verkehrsgesellschaft mbH (ESWE Verkehr)
- In-der-City-Bus GmbH Frankfurt am Main (ICB)
- *traffiQ* – Lokale Nahverkehrsgesellschaft Frankfurt am Main mbH (traffiQ)
- Wasserstofflabor der Hochschule RheinMain (HSRM)



- Beschaffung von **11** Brennstoffzellenbussen in der Rhein-Main Region
- Bau einer H2-Tankstelle auf dem Betriebsgeländer der ESWE Verkehr
- Ertüchtigung der bestehenden H2-Tankstelle in Frankfurt-Höchst
- Errichtung eines Kompetenzzentrums (Bus-Werkstatt) in Mainz
- Länderübergreifender Betrieb der Busse in Hessen und RLP



Eine Initiative der Unternehmen:



MAINZER
STADTWERKE



MAINZER
VERKEHRSGESELLSCHAFT

ESWE
VERKEHR

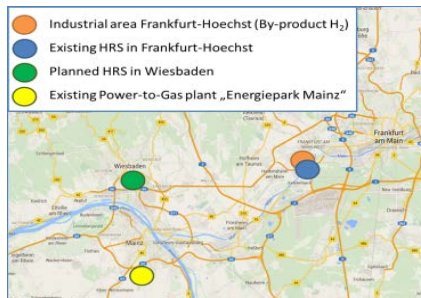


IN•DER•CITY•BUS GmbH

- Die Etablierung einer Brennstoffzellenbusflotte in Mainz, Wiesbaden und Frankfurt am Main würde zusammen mit dem Energiepark Mainz zu einer kompletten regionalen Wertschöpfungskette „vom Windrad bis zum Busrad“ entsprechend folgender Schritte beitragen:

EE-Strom → Elektrolyse → Wasserstoff → H₂-Tankstelle → BZ-Bus

- Eine ebensolche regionale Wertschöpfungskette würde in Frankfurt durch die Nutzung des On-Site H₂ aus dem Industriepark Höchst entstehen



→ Das Projekt ist mehr als ein Busprojekt:
Es demonstriert die Sektorenkopplung in der Rhein-
Main Region

H2-ERZEUGUNG IM ENERGIEPARK MAINZ



Hochschule **RheinMain**
University of Applied Sciences
Wiesbaden Rüsselsheim

- Standort: Mainz Hechtsheim
- Partner: Mainzer Stadtwerke, Linde, Siemens, Hochschule RheinMain
- Netzanbindung zu benachbarten 8 MW Windpark
- 6 MW Elektrolyse (3 stacks, je 2 MW)
- 1000 kg H₂ Speicherkapazität (33 MWh)
- 200 t H₂ Produktionsvolumen pro Jahr
 - Gasnetzeinspeisung
 - Trailerbefüllung
- Budget: 17 m€
- Förderung: ~50% (BMWi)
- Projektlaufzeit: 4 Jahre (10/2012 – 12/2017)



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

<http://www.energiepark-mainz.de/wissen/film/>

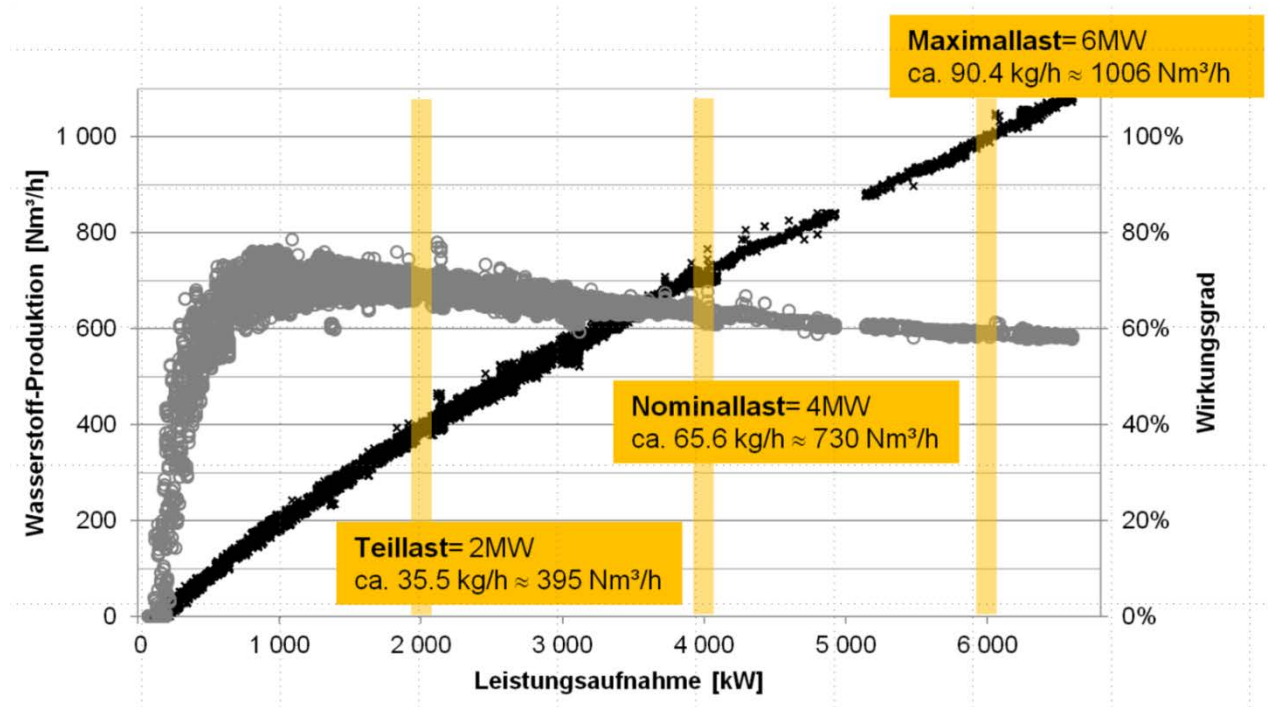
H2-Erzeugung im Energiepark Mainz



Hochschule **RheinMain**
University of Applied Sciences
Wiesbaden Rüsselsheim

Evaluation der Messergebnisse

- Gesamte Leistungsaufnahme der PtG-Anlage inkl. aller Nebenanlagen
- η bezogen auf Brennwert (3.54 kWh/Nm³)
- Datenaufnahme: Oktober 2015



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

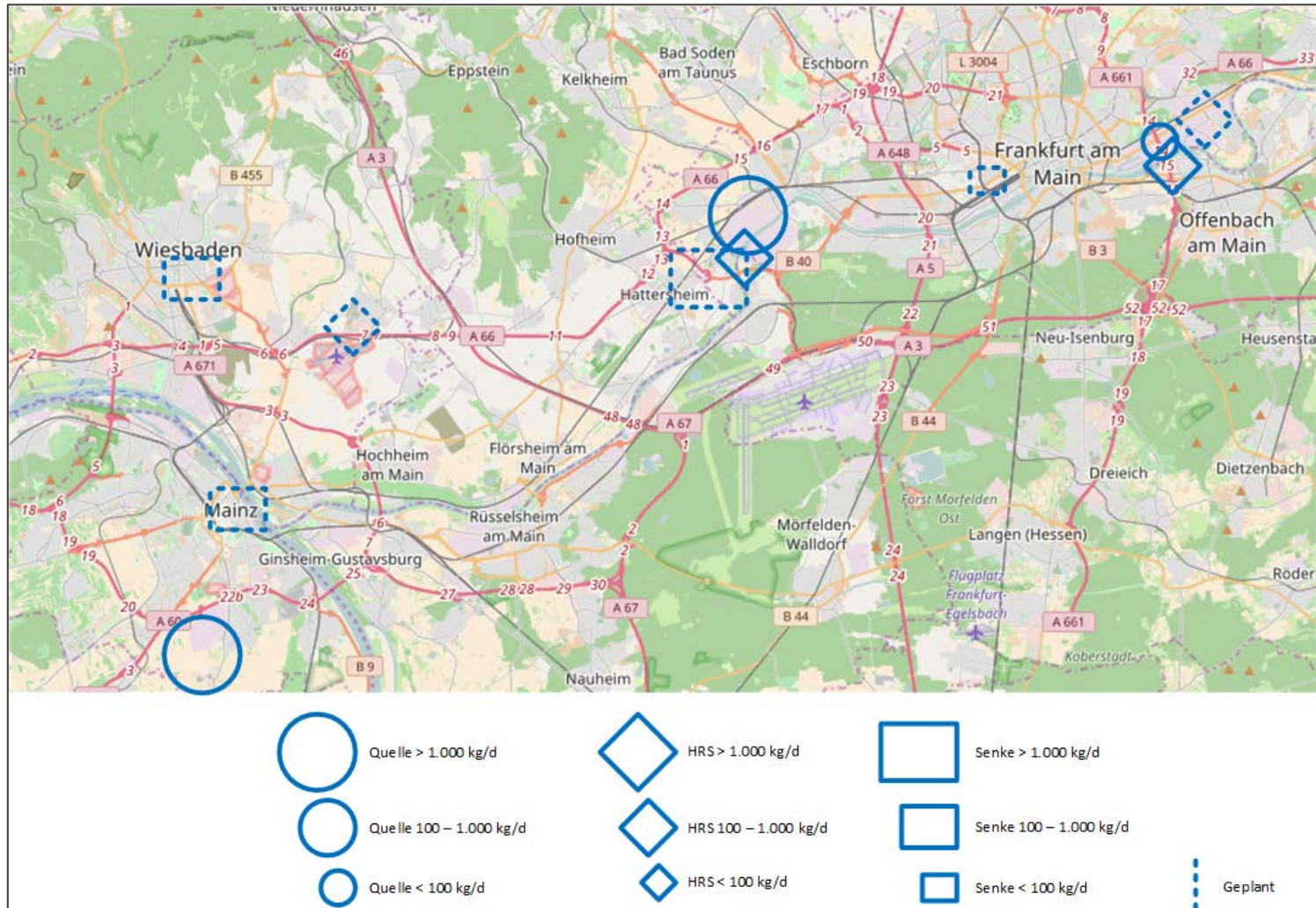
aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Quelle: Kopp et al. 2016: „Energiepark Mainz: Technical and economic analysis of the worldwide largest Power-to-Gas plant with PEM electrolysis“ WHEC 2016

H2-DISTRIBUTION



Hochschule **RheinMain**
University of Applied Sciences
Wiesbaden Rüsselsheim





Power-to-Gas ist der perfekte Sektorenkoppler

H₂ Quellen: Energiepark Mainz und Industriepark Höchst

H₂ als Treibstoff im ÖPNV ideal geeignet

Batterie und H₂BZ sind komplementäre Technologien

EU-weite Integration von BZ-Bussen in Busflotten

Große Synergiepotentiale in der Region Rhein-Main

Unsere Region bietet ideale Voraussetzungen für H₂-Wirtschaft



Hochschule **RheinMain**
University of Applied Sciences
Wiesbaden Rüsselsheim

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !



Kontakt:

Birgit Scheppat@hs-rm.de
David.Coleman@hs-rm.de

06142 – 898 4536

