

Brennstoffzellen für mobile Anwendungen

Status und Entwicklungstrends

Dr.-Ing. Jörg Karstedt, Koordinator Emobility

6. Wissenschaftsforum Mobilität, Duisburg, 8.5.2014

- ZBT GmbH
- Motivation und Grundlagen
- Status Brennstoffzellen in mobilen Anwendungen
- BREEZE: Automotive Stackentwicklung am ZBT

- ZBT GmbH
- Motivation und Grundlagen
- Status Brennstoffzellen in mobilen Anwendungen
- BREEZE: Automotive Stackentwicklung am ZBT

Zentrum für BrennstoffzellenTechnik:

- Forschung und Entwicklung in den Bereichen Brennstoffzellen-, Wasserstoff- und Batterietechnologie
- Anwendungsorientierte Forschung in enger Kooperation mit der Industrie
- Unabhängiger Entwicklungsdienstleister
- Ca. 100 festangestellte Mitarbeiter und 40 Studenten

Infrastruktur:

- 1200 m² Laborbereich
- Flexible Teststandsarchitektur mit umfangreicher Messtechnik und Analytik
- 3 Klimakammern incl. Shock/Shaker
- Erstes akkreditiertes Prüflabor für Brennstoffzellen
- 120 m² Spritzgusslabor
- Automatisierte Pilotproduktionslinie



Project supported by the European Funds for
Regional Development and the Region of North
Rhine-Westphalia, Germany

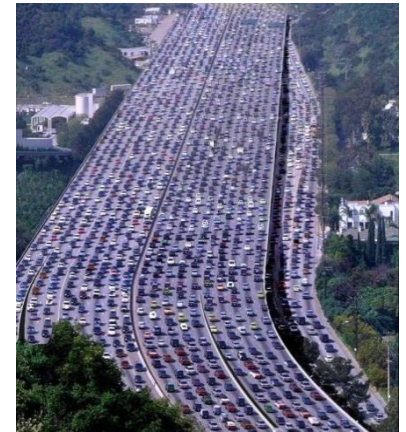


- ZBT GmbH
- Motivation und Grundlagen
- Status Brennstoffzellen in mobilen Anwendungen
- BREEZE: Automotive Stackentwicklung am ZBT

- Die Weltbevölkerung wächst um 35 % von 6.8 Mrd. (2009) auf 9.2 Mrd.¹
- Die Urbanisierung steigt um 38 % von 51 % (2010) auf 70 %²
- Der weltweite Energiebedarf wächst von 2007 bis 2050 um 84 %³
- Die Anzahl der PKW steigt um 250 % von 840 Mio. (2010) auf 2.1 Mrd.⁴
- Nach aktuellen Trends werden die weltweiten transportbedingten CO₂-Emissionen bis 2050 um 80 % wachsen⁴

Herausforderungen:

- **Reichweite der fossilen Primärenergieträger**
- **Versorgungssicherheit**
- **Klimaschutz**



Elektromobilität mit Brennstoffzellen: H₂ und Strom: Erneuerbare Energieträger für den Transportsektor

Nachhaltigkeit

- Einsatz erneuerbarer Energien
- Keine CO₂ Emissionen
- Speicherung fluktuierender EE
- Integration des Transportsektors in ein erneuerbares Gesamtenergiekonzept

Lebensqualität

- Keine Schadgasemissionen
- Niedrige Geräuschemissionen
- „Saubere“ Infrastruktur



Quelle: CEP

Wirtschaft

- Energieträger mit nationaler Wertschöpfungskette
 - Erdölimporte Deutschland 2012: 60 Mrd. €
- Keine Importabhängigkeit
- Versorgungssicherheit

Mobilität

- Fahrleistung
- Reichweite
- Nachtankzeit

- ZBT GmbH
- Motivation und Grundlagen
- **Status Brennstoffzellen in mobilen Anwendungen**
- BREEZE: Automotive Stackentwicklung am ZBT

Marktübersicht 2012

- 45.700 Brennstoffzellensysteme (+86% gegenüber 2011)
- 167 MW installierte Leistung
- Wachstum insbesondere im stationären Bereich:
125 MW installierte Leistung (+53 % gegenüber 2011)
- Mobile Anwendungen insbesondere im Demoflottenbereich
- 208 Wasserstofftankstellen weltweit in Betrieb
- Asien und Nordamerika dominieren den Markt



Elektromobilität mit Brennstoffzellen: Aussagen der OEMs zur Markteinführung

Toyota:

- Absatzziele: ab 2015 ca. 5.000- 10.000 Fahrzeuge/Jahr
- Ca. 500 Entwickler arbeiten an der Brennstoffzellentechnologie
- Weitere BZ-Aktivitäten Toyota-Gruppe:
 - Brennstoffzellenbusse (Hino)
 - Brennstoffzellengabelstapler (Toyota Industries)
 - Brennstoffzellen-BHKWs (Aisin Seiki)
 - Wasserstofftankstellen (Toyota Tsusho)
- “Compared to battery-electrics, the rate of cost reduction we have seen in fuel cell-electric technology has been staggering” Bob Carter, senior vice president TMS



Hyundai:

- 2013 - 2015: 1.000 ix 35 Brennstoffzellenfahrzeuge
- Absatzziele: ab 2015 10.000 Fahrzeuge/Jahr
- Leasing: \$2.999 Anzahlung, \$499/Monat incl. Kraftstoff und Wartung



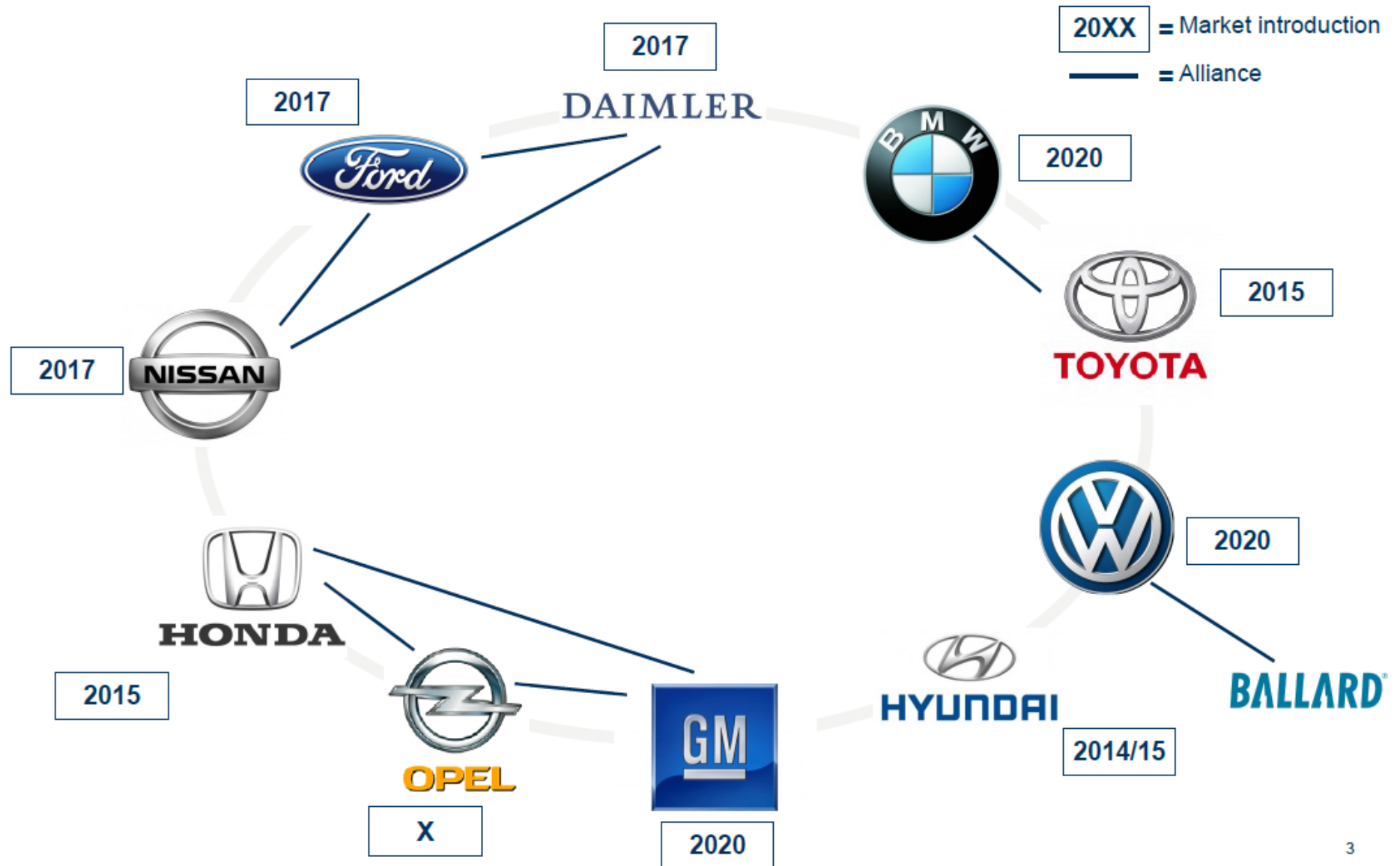
Honda:

- Markteinführung der neuen Fahrzeuggeneration in 2015 in Japan, USA und Europa (Takanobu Ito, President and CEO)





Elektromobilität mit Brennstoffzellen: Kooperationen der OEMs





Elektromobilität mit Brennstoffzellen: Gewicht und Volumen unterschiedlicher Antriebsstrangoptionen

**Gewicht und Volumen unterschiedlicher Antriebsstrangtechnologien
für ein Fahrzeug mit 500km Reichweite:**

	Diesel	Plug-In Hybrid	BEV ²⁾	FCV ³⁾
Packaging				
Energiespeicher- ung (Art + Gewicht)	Tank 45 kg	Tank, Batterie (14,6 kWh) } 180 kg E-Range 70 km	Batterie (100kWh) 830 kg E-Range 500 km	H ₂ -Tank, Batterie (1,4 kWh) } 131 kg E-Range 2-5 km
Energieübertragung (Art + Gewicht)	ICE } 215 kg Transmission	E-Motor, Getriebe, Konverter } 275 kg ICE, Generator, Konverter	E-Motor, Getriebe, Konverter } 147 kg	E-Motor, Getriebe, Konverter, HV DC/DC FC System } 276 kg
Gewicht Antriebsstrang (AS)	 260 kg	 455 kg	 977 kg	 407 kg
Volumen AS	125 l	319 l	760 l	480 l

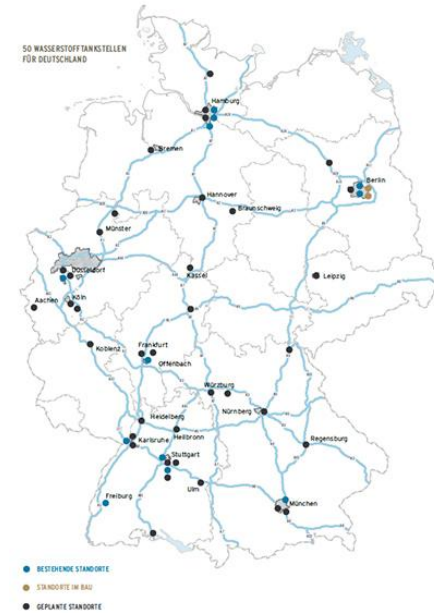
Wasserstoffinfrastruktur

Produktion/Verteilung:

- 22 Mrd. Nm³ jährliche Produktion von Industriewasserstoff (entspricht dem Bedarf von ca. 15 Mio. BZ-Fahrzeugen)

Tankstellen:

- Infrastrukturkosten für BZ-Fahrzeuge vergleichbar mit Ladeinfrastrukturkosten für Batteriefahrzeuge (BEVs) oder Plug-In Hybride (PHEVs):
 - BZ-Fahrzeuge: 1,5 ct/km¹
 - BEVs / PHEVs: 1,5-2,5 ct/km¹



H₂ Mobility Initiative

Action plan for the construction of a hydrogen refuelling network in Germany by 2023

~400

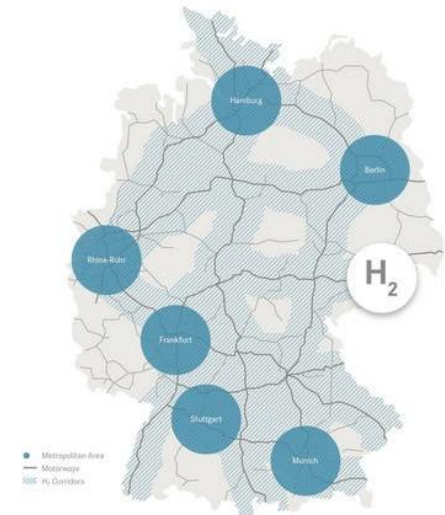
Stations
will Germany's public hydrogen refuelling network cover by 2023.

~90

Kilometers
lie between the H₂ filling stations on the motorways around the metropolitan areas by 2023

>10

H₂ filling stations
will be available in each metropolitan area from 2023



- ZBT GmbH
- Motivation und Grundlagen
- Status Brennstoffzellen in mobilen Anwendungen
- **BREEZE: Automotive Stackentwicklung am ZBT**

Elektromobilität mit Brennstoffzellen

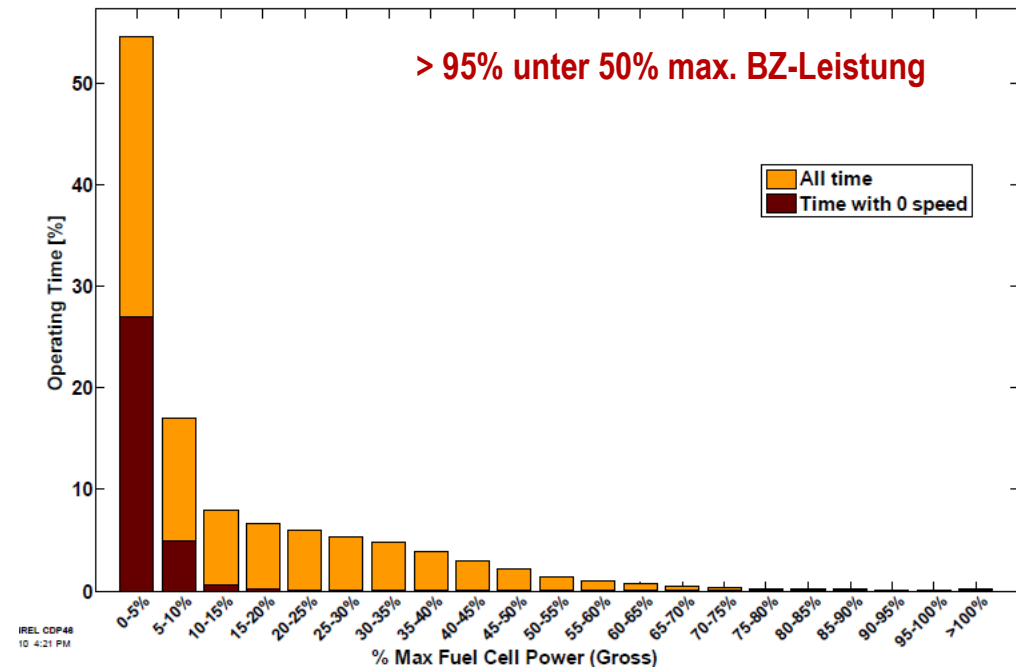
Betriebserfahrungen aus der National FCEV Learning Demo (USA)

Programm:

- Dauer 7 Jahre
- 4 OEMs, 183 BZ-Fahrzeuge,
2 Generationen Brennstoffzellenfahrzeuge
- 5.8 Mio. km, 500.000 Einzelfahrten
- 25 Tankstellen, > 150.000 kg H₂

Real-World Nutzungsdaten:

- Niedrige Lastpunkte dominieren BZ-Betrieb
 - Maximale BZ-Leistung wird nur selten abgefragt
 - Nur ein kleiner Anteil der elektrischen Energie wird bei hohen Systemleistungen bereitgestellt
 - Aber: Die maximale Stackleistung ist der entscheidende Kostentreiber im BZ-System
- **Signifikantes Kostenreduktionspotential durch Downsizing des BZ-Systems**





Elektromobilität mit Brennstoffzellen: Fahrzeugkonzepte BEV, FCEV, Brennstoffzellen Range-Extender



source: Toyota

Batteriefahrzeug

source: Toyota

Batterie/Brennstoffzellenhybrid

source: FEV

Brennstoffzellen Range-Extender

Emissionsfrei Geräuscharm Div. Energieträger			
Batteriesystem BZ-System	Hochenergie, > 15 kWh -	Hochleistung, ~ 1.5 kWh Hohe Dauerleistung, > 80 kW	Hochenergie, ~ 10 kWh Low-Cost, ~ 30 kW
Vorteile	▪ Höchste Wirkungsgrade TTW ▪ Niedrige Betriebskosten ▪ Privates Nachladen	▪ Konventionelle Reichweite, Komfort und Nachtankzeit ▪ Hohe Dauerleistung	▪ Konventionelle Reichweite, Komfort und Nachtankzeit ▪ Niedrige Betriebskosten ▪ Privates Nachladen
Herausforderungen	▪ Einschränkungen Reichweite, Ladezeiten, Komfort ▪ Öffentliche Ladeinfrastruktur	▪ Hohe Ausbaustufe H₂-Infrastruktur ▪ Höhere Betriebskosten	▪ Mittlere Ausbaustufe H₂-Infrastruktur ▪ Begrenzte Dauerleistung
Designkriterien Batterie BZ-System	▪ Reichweite ▪ -	▪ Spitzenleistung ▪ Dauerleistung	▪ Optimierte TCO ▪ Max. Dauergeschwindigkeit
Anwendungen	▪ Innerstädtisch	▪ Hochleistung, Langstrecke (>120km/h, SUVs)	▪ Hohe Reichweiten bei niedrigen Betriebskosten

Elektromobilität mit Brennstoffzellen: Fahrzeugkonzepte Range-Extender



BMW i3

- 21,6 kWh Batterie, 130-160 km AER
- 25 kW Verbrennungsmotor, elektr. Kopplung Antriebsstrang
- + hoher Anteil batterieelektrischer Betrieb
- hohe Batteriekosten, Schadstoff und Geräuschemissionen im Verbrennungsmotorbetrieb

Nachtanken



BREEZE Range Extender

- 12 kWh Batterie, 80 km AER
- 30 kW Brennstoffzellensystem
- + Reines Elektrofahrzeug mit voller Nutzbarkeit für den Endkunden, emissionsfrei auch im Langstreckenbetrieb

Nachtanken



Proton Motor/Smith

- 80 kWh Batterie, charge-depleting Betrieb
- 7 kW Range-Extender
- Range-Extender kann insbesondere für definierte Nutzfahrzeuganwendungen die erforderliche Batteriekapazität verringern

Nachladen

Elektromobilität mit Brennstoffzellen: BREEZE – Entwicklung eines Brennstoffzellen Range-Extenders

BREEZE: Brennstoffzellen Range-Extender für batterieelektrische Fahrzeuge

- Emissionsfrei auch im Range Extender Betrieb
- Signifikante NVH-Vorteile gegenüber verbrennungsmotorischen Range-Extendern
- Hoher Wirkungsgrad
- Abwärme zur Kabinenklimatisierung
- Reduktion Batteriekapazität
- Nachtanken in ca. 3 min



Project Partners:



With financial support from:

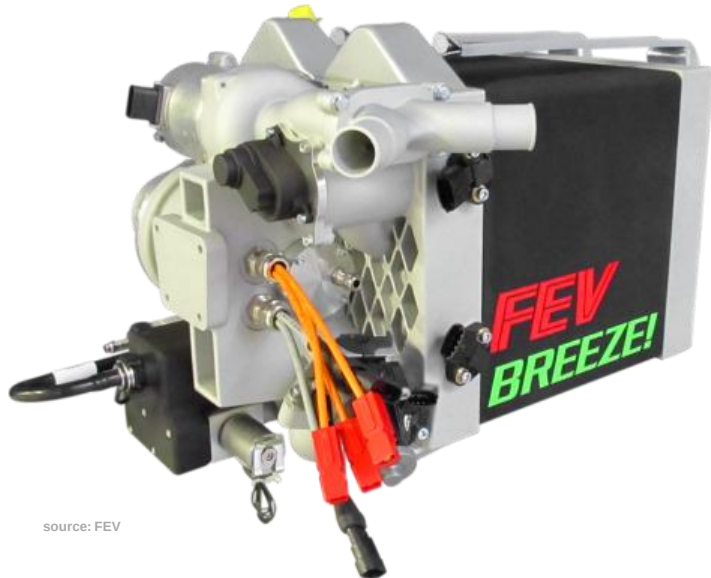


EUROPÄISCHE UNION
Investition in unsere Zukunft
Europäischer Fonds
für regionale Entwicklung

Ministerium für Wirtschaft, Energie,
Bauen, Wohnen und Verkehr
des Landes Nordrhein-Westfalen



Elektromobilität mit Brennstoffzellen: BREEZE – Spezifikation Brennstoffzellensystem



System:

Abmessungen: 750x520x400mm

Gewicht: 80-100kg

Kraftstoff: Wasserstoff 350bar (opt. 700bar)

Nachtankzeit: 3 min.

- Hochsetzsteller auf Batteriespannungsniveau
- Wasser/Glykol Kühlkreislauf mit automotive Komponenten
- Elektrische angetriebener automotive Verdichter

Stack:

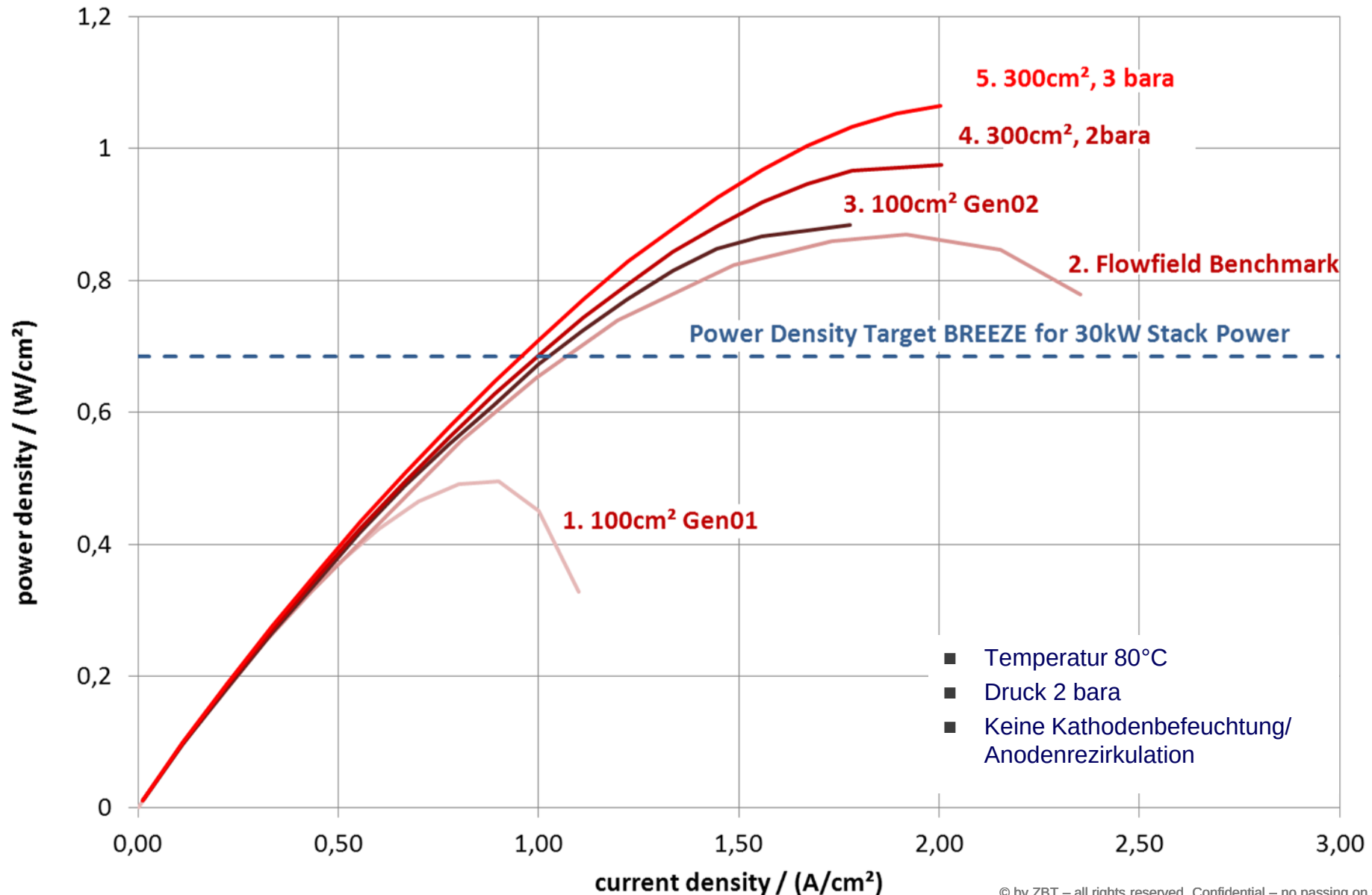
Stackleistung: 33kW, 325A, 100V bei Nennlast

Betriebstemperatur: 80°C

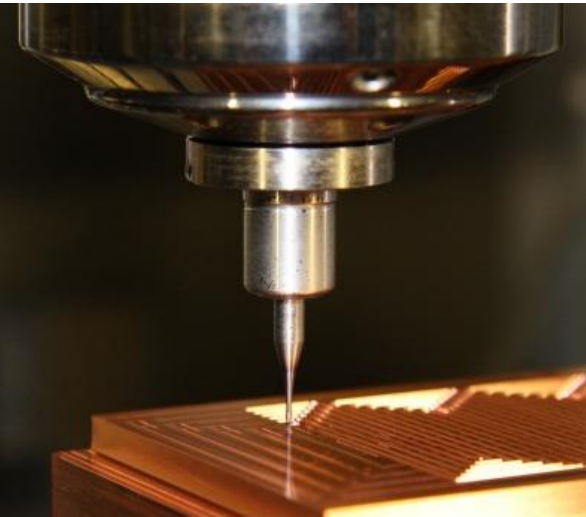
Betriebsdruck: 2 bar(a)

Cell pitch: <1,5mm

- Metallische Bipolarplatten
- Keine Kathodenbefeuchtung
- Gegossene Aluminium-Endplatten mit integrierten Balance-of-Plant Komponenten

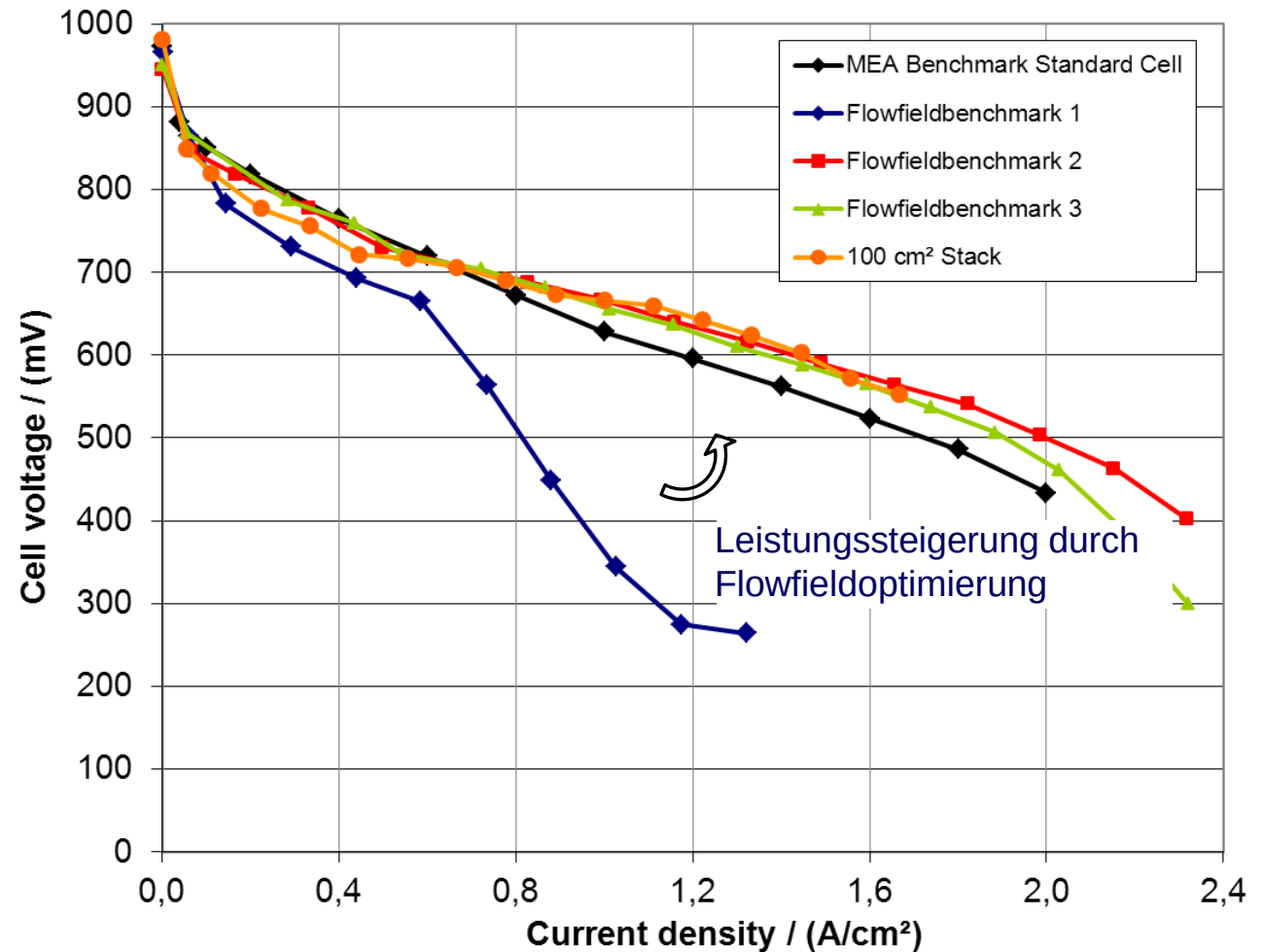


Elektromobilität mit Brennstoffzellen: BREEZE – RP Flowfieldoptimierung



ZBT Flowfieldoptimierung:

- CFD Simulation
- RP Produktion von Flowfields
- Benchmarking von Flowfields in standardisierter Testzelle
- Reduktion der Werkzeugkosten und der Entwicklungszeit für Bipolarplattendesigns

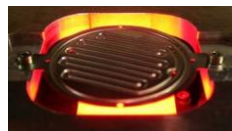
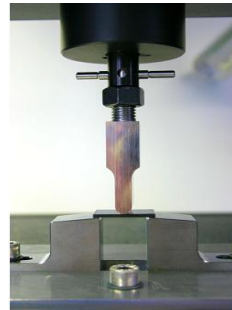




Elektromobilität mit Brennstoffzellen: Benchmarking von Bipolarplatten am ZBT

US DOE Bipolar Plate Performance Guidance 2009

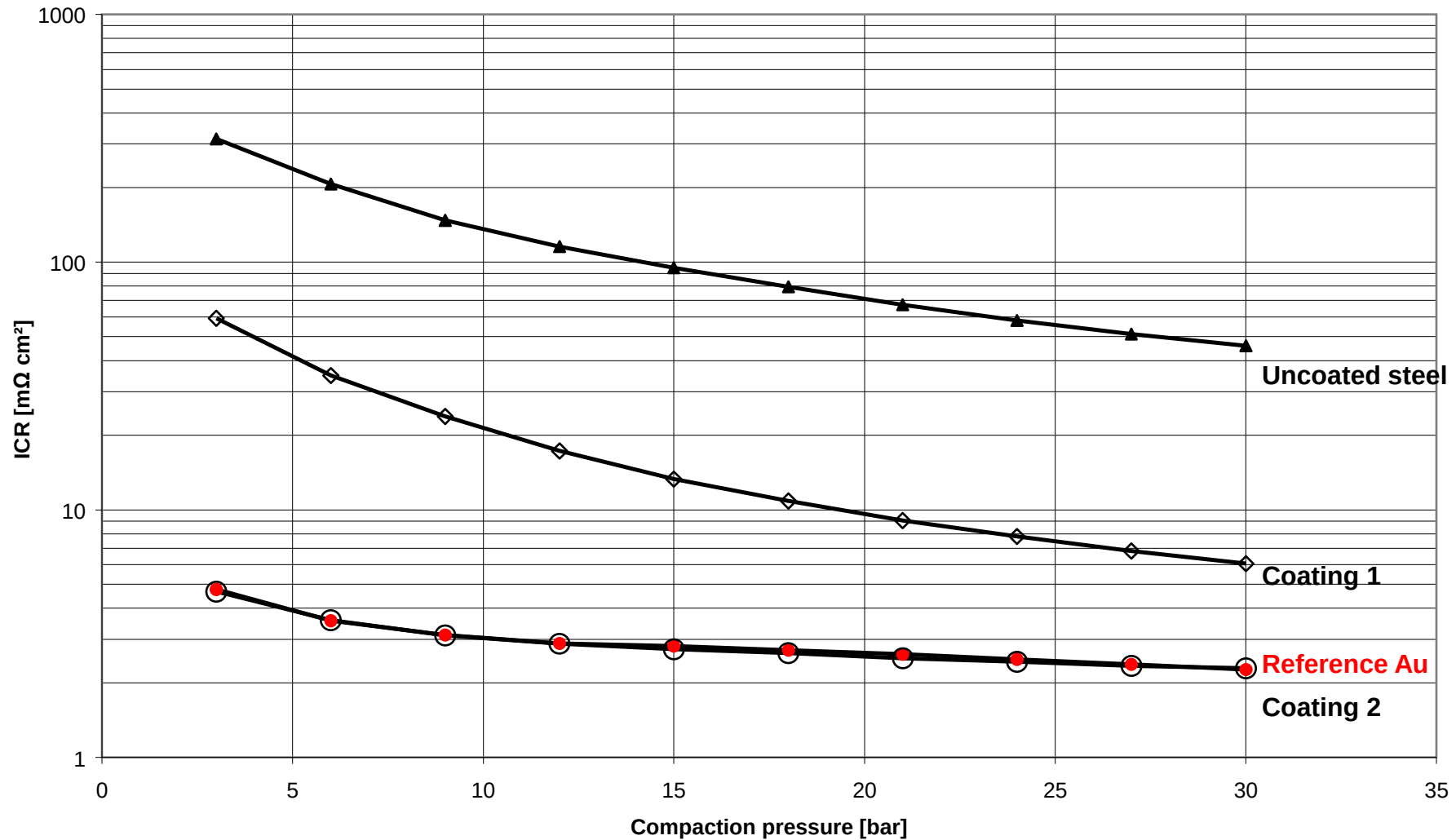
Eigenschaften	Einheit	Wert	Infrastruktur ZBT
Zugfestigkeit - ASTM D638	MPa	>41	✓
Biegefestigkeit - ASTM D790	MPa	>25	✓
Elektrische Leitfähigkeit	S cm ⁻¹	>100	✓
Korrosionsstrom	μA cm ⁻²	<1	✓
Kontaktwiderstand	mΩ cm ²	<20	✓
Permeabilität Wasserstoff	cm ³ (cm ² s) ⁻¹	<2·10 ⁻⁶	✓
Gewicht	kg/kW	<0.4	✓
Dichte - ASTM D792	g cm ⁻³	<5	✓
Thermische Leitfähigkeit	W (m K) ⁻¹	>10	✓
Kerbschlagfestigkeit - ASTM D-256	J m ⁻¹	>40.5	-



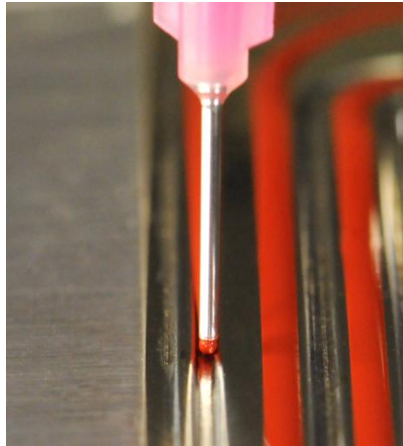
source: Antunes, R.A., Oliveira, M. C. L., Ett, G. et al. 2010. International Journal of Hydrogen Energy 35 (2010) 3632-3647

Elektromobilität mit Brennstoffzellen: Charakterisierung von Beschichtungen für Bipolarplatten

Interfacial contact resistance of uncoated and coated,
hydroformed stainless steel bipolar plates

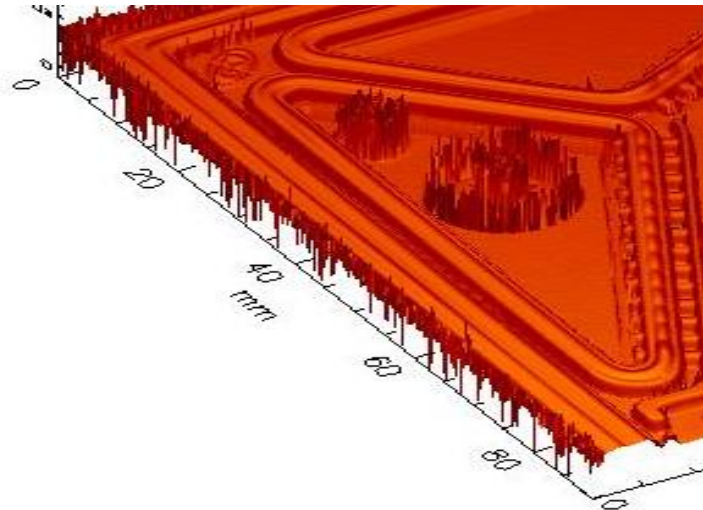


Elektromobilität mit Brennstoffzellen: Entwicklung von Dichtungstechnologie für automotive Stacks



Dispensertechnologie für Prototypen/Kleinserie

- Dichtigkeit validiert bis zu 5 bara mit metallischen Bipolarplatten
- Realisierung komplexer Dichtungsdesigns (unterschiedliche Kanaltiefen, komplexe Konturen)
- Anpassung der Maschinenparameter und der Materialmischung für optimale Dichtungsperformance
- Detaillierte Analyseverfahren zur Vermessung der Dichtungsgeometrien stehen am ZBT zur Verfügung



Erforschung Siebdruckdichtungen als kostengünstiges Applikationsverfahren für größere Stückzahlen

Elektromobilität mit Brennstoffzellen: In-Situ Testing von Brennstoffzellenstacks am ZBT

- Charakterisierung/Mapping von Betriebsparametern
- Betriebsstrategieoptimierung
- Alterungsuntersuchungen, Lebensdauertests
- Automatisierter Zyklusbetrieb
- Schadgasuntersuchungen
- Klimatests



maximum power [kW]	0,1	0,5	1	2	3	5	7	20	50
operating pressure [bar(g)]	< 1	< 3	< 1	< 1	< 1	< 1	< 3	< 3	< 3
humidification	dynamic	dynamic	dynamic	dynamic	-	-	-	-	optional
minimum voltage [V]	>= 0	>= 0	> 2	> 3	> 3	> 5	> 10	> 15	> 5
maximum current [A]	20	200	200	200	200	300	600	900	2000
anode gas	ref., H ₂ , MeOH	ref., H ₂	ref., H ₂	ref., H ₂	ref., H ₂	ref., H ₂	ref., H ₂	H ₂	H ₂
cooling	air	air, liquid	air, liquid	liquid	liquid	liquid	liquid	liquid	liquid

All data is subject to change, other configurations and higher power possible on request.

"ref.": reformat gas on anode: gas mixable from H₂, CO, CO₂, N₂

- Um signifikante CO₂ Reduktionen im Transportsektor zu erreichen ist langfristig eine Diversifikation der Antriebstechnologien erforderlich
- Elektromobilität ermöglicht eine Diversifikation der Primärenergieträger, den Einsatz erneuerbarer Energien im Transportsektor und lokal emissionsfreies und geräuscharmes Fahren
- Brennstoffzellen können insbesondere aufgrund hoher Reichweiten und kurzer Nachtankzeiten das Anwendungsspektrum und die Marktakzeptanz von Elektromobilität erweitern
- Brennstoffzellen Plug-In Hybridfahrzeuge ergänzen die konventionellen „Full-Power“ Brennstoffzellenfahrzeuge, der Fokus liegt auf TCO und Ausbaustufe der Wasserstoffinfrastruktur
- ZBT bietet in Kooperation mit industriellen Partnern Entwicklungsdienstleistungen für Elektromobilität und brennstoffzellenbasierte Antriebsstränge

Vielen Dank!

Kontakt:

Dr.-Ing. Jörg Karstedt
j.karstedt@zbt-duisburg.de
+49 (0)203/7598-1178
www.zbt-duisburg.de