



Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R

Kompetenzzentrum Brennstoffzelle Rheinland-Pfalz

*Ihr F&E-Partner für
Brennstoffzellenanwendungen*

Gregor Hoogers

g.hoogers@umwelt-campus.de





Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R

Arbeitsgebiete

- Lithiumionen-Batterien (Alterung, Diagnostik, System)
- Membranbrennstoffzellen und -systeme
- Elektrolyseure (Materialforschung, Systemtechnik)
- Redox-Flow-Zellen (Materialforschung, Sensorik)
- Elektronik (DC/DC-Wandler, mobile Datenerfassung)



Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R

Arbeitsgebiete

- Lithiumionen-Batterien (Alterung, Diagnostik, System)
- Membranbrennstoffzellen und -systeme
- Elektrolyseure (Materialforschung, Systemtechnik)
- Redox-Flow-Zellen (Materialforschung, Sensorik)
- Elektronik (DC/DC-Wandler, mobile Datenerfassung)



Lithiumionen-Batterien

- Zyklisierung, Alterungsuntersuchungen und Modellierung von kommerziellen Fahrzeugbatterien
- automatisierte Demontage von Batteriefahrzeugen und Fahrzeugbatterien

(Prof. Dr.-Ing. Vette-Steinkamp)

- definierte Herstellung von Pouch-Zellen für Untersuchungen an:

LiCoO_2 , NMC 622, NMC 811



Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R

Lithiumionen-Batterien

- Zyklisierung, Alterungsuntersuchungen und Modellierung von kommerziellen Fahrzeugbatterien
- automatisierte Demontage von Batteriefahrzeugen und Fahrzeugbatterien

(Prof. Dr.-Ing. Vette-Steinkamp)

- definierte Herstellung von Pouch-Zellen für Untersuchungen an:

LiCoO_2 , NMC 622, NMC 811



VEHICLE : Hybridisierung von Lithium-Ionen-Akkus mit Superkondensator: Ein Ansatz für den Betrieb von Reluktanzmotoren in Fahrzeugantrieben
VERBESSERUNG DER ENERGIESPEICHERSYSTEME FÜR ELEKTROFAHRZEUGE

VEHICLE : Source de stockage hybride batterie Li-ion / supercondensateurs avec une machine synchrone à réluctance variable pour les véhicules électriques
PERFECTIONNEMENT DES SYSTÈMES DE STOCKAGE D'ÉNERGIE DES VÉHICULES ÉLECTRIQUES



Hochschule Karlsruhe
Technik und Wirtschaft
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

INSA INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
STRASBOURG

Trier University
of Applied Sciences

H O C H
S C H U L E
T R I E R



UNIVERSITÉ DE NANTES



**Sheffield
Hallam
University**



a
sense
for
IEE
innovation



Dépasser les frontières :
projet après projet.
Der Oberrhein wächst zusammen,
mit jedem Projekt



Fonds européen de développement
régional (FEDER)
Europäischer Fonds für regionale
Entwicklung (EFRE)



Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R

Internationales Projekt VEHICLE

Ziele:

- Verlängerung der Batterielebensdauer durch Hybridisierung mit Superkondensatoren
- Verwendung einer Antriebstechnik ohne Permanentmagnetmotoren (Vermeidung seltener Erden)
- besseres Verständnis der Belastungsfaktoren für die Batteriealterung
- Formulierung eines deterministischen Modells zur weiteren Optimierung des Gesamtsystems



Lithiumionen-Batterien

- Zyklisierung, Alterungsuntersuchungen und Modellierung von kommerziellen Fahrzeugbatterien
- automatisierte Demontage von Batteriefahrzeugen und Fahrzeugbatterien

(Prof. Dr.-Ing. Vette-Steinkamp)

- definierte Herstellung von Pouch-Zellen für Untersuchungen an:

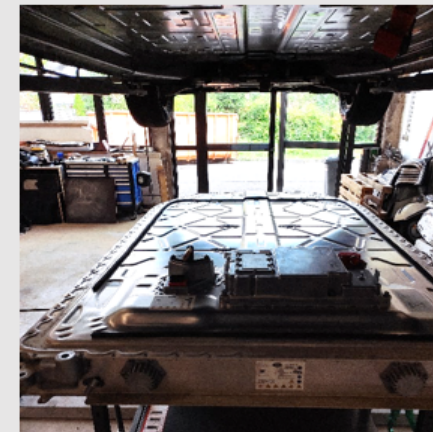
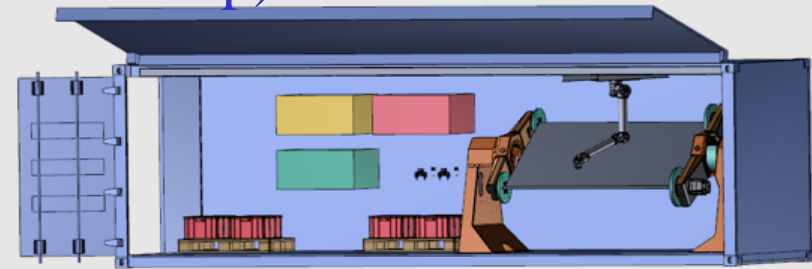
LiCoO_2 , NMC 622, NMC 811



Demontage von Fahrzeugbatterien

(Prof. Dr. Matthias Vette-Steinkamp)

- Wir brauchen ein Geschäftsmodell
 - Wer betreibt das Demontagesystem?
 - Wo werden die Systeme aufgebaut?
 - Wie teuer darf die Dienstleistung sein?
- Technische Funktionen
 - Geeignet für verschiedene Produkte, Varianten und Generationen
 - Hohe Zykluszeit (ca. 36 Module à 12 Zellen pro Batterie)
 - Sichere und ergonomisches Design
 - Es muss auch für Werkstätten mit wenig oder keiner Automatisierungserfahrung geeignet sein.



Es gibt bereits erste Ansätze. Allerdings handelt es sich dabei eher um Laborversuche und Experimente und sind nicht für hohe Stückzahlen geeignet.



Lithiumionen-Batterien

- Zyklisierung, Alterungsuntersuchungen und Modellierung von kommerziellen Fahrzeugbatterien
- automatisierte Demontage von Batteriefahrzeugen und Fahrzeugbatterien

(Prof. Dr.-Ing. Vette-Steinkamp)

- definierte Herstellung von Pouch-Zellen für Untersuchungen an:

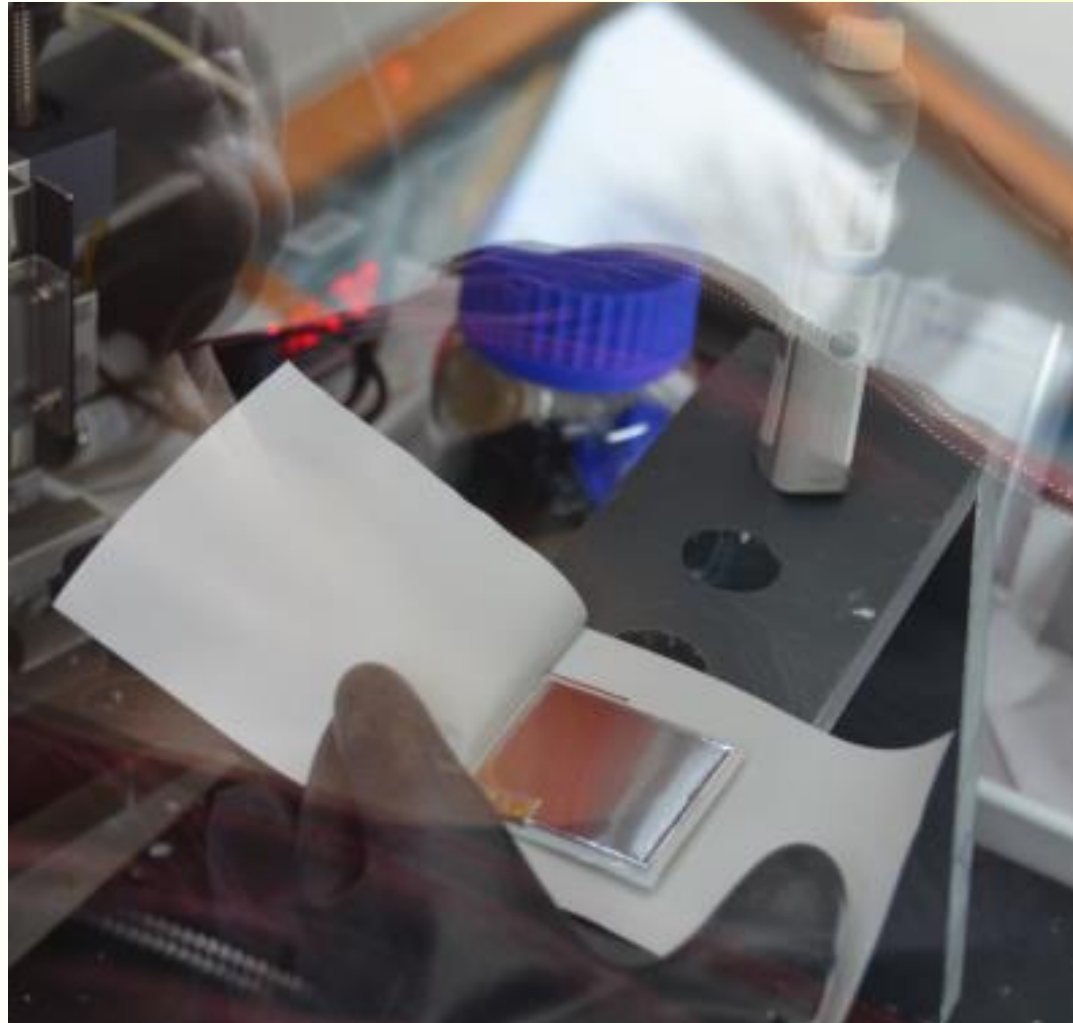
LiCoO_2 , NMC 622, NMC 811



Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R

Lithium-Ion Batteries – Cell Assembly





Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R

Arbeitsgebiete

- Lithiumionen-Batterien (Alterung, Diagnostik, System)
- **Membranbrennstoffzellen und -systeme**
- Elektrolyseure (Materialforschung, Systemtechnik)
- Redox-Flow-Zellen (Materialforschung, Sensorik)
- Elektronik (DC/DC-Wandler, mobile Datenerfassung)



Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R

Membranbrennstoffzellen und Systeme

- Komponentenentwicklung mit Projektpartnern
 - Platten
 - Elektroden
 - MEA
- System-Peripherie
 - Kompressoren
 - Sensoren
 - Leck- und Funktionstestung



Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R

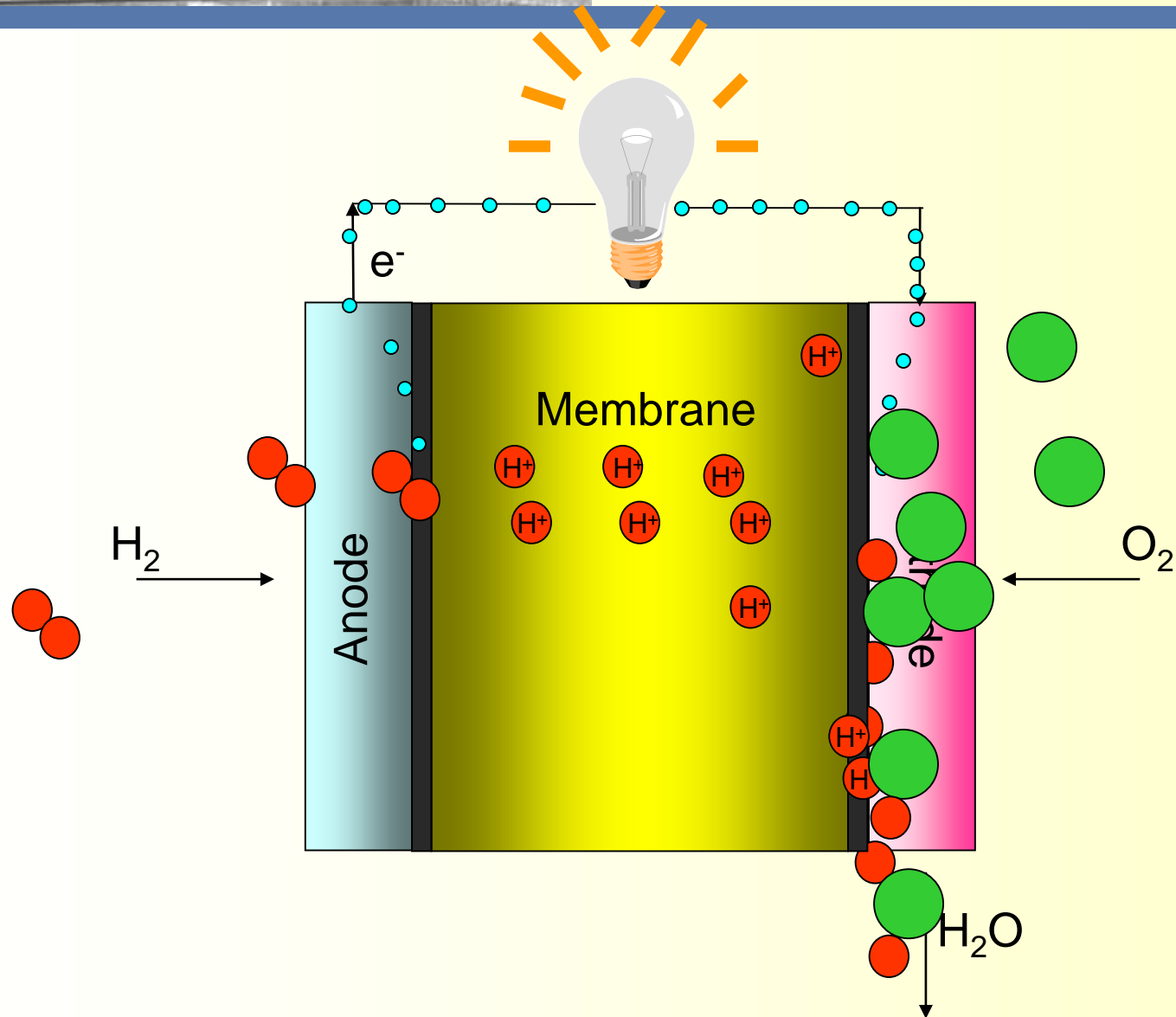
Membranbrennstoffzellen und Systeme

- Systementwicklung mit Projektpartnern
 - Systementwurf und Komponentenauswahl
 - Stacktestung
 - Reformertechnik
 - Alkoholische Brennstoffzellen
- Grüne Kraftstoffe
 - elektrochemische Erzeugung von Flüssigkraftstoffen



Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R





Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R

Membrane Electrode Assembly - MEA



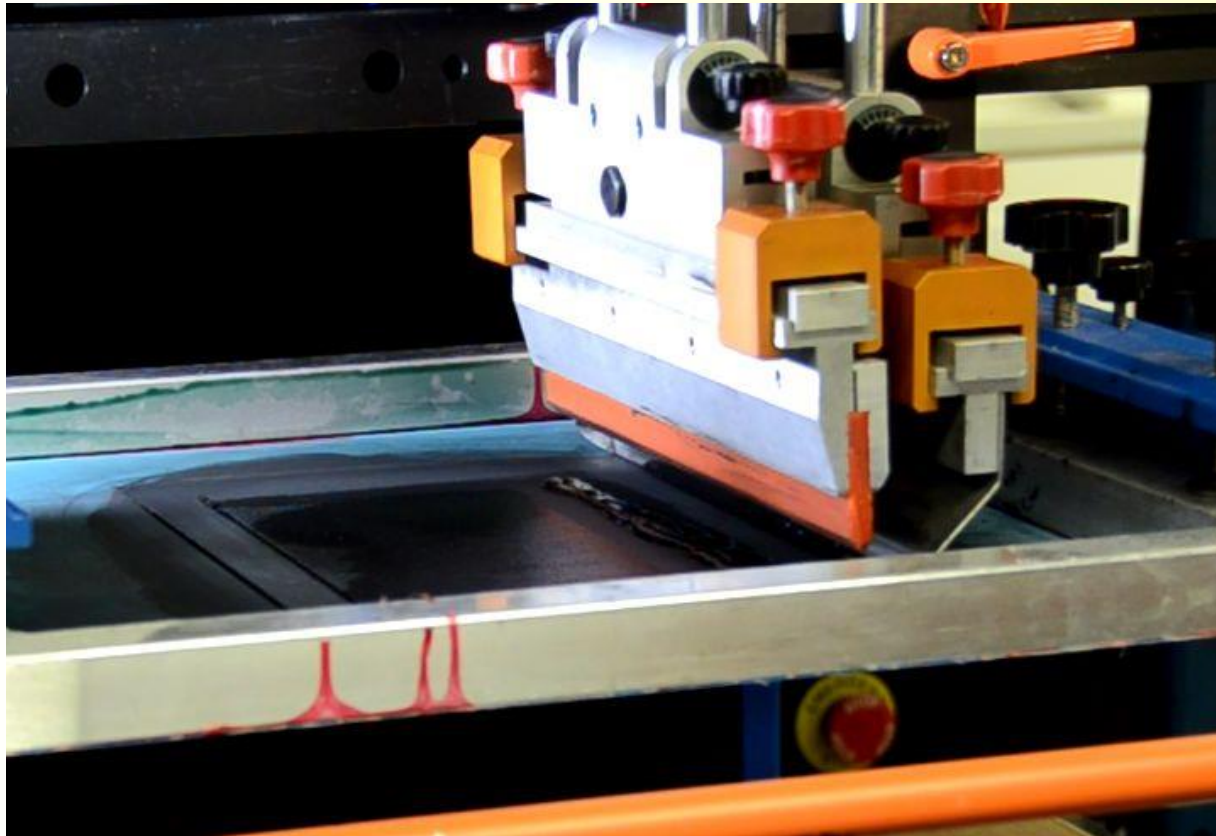
Photograph: V. Loos , UCB Fuel Cell Laboratory



Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R

Electrode Printing



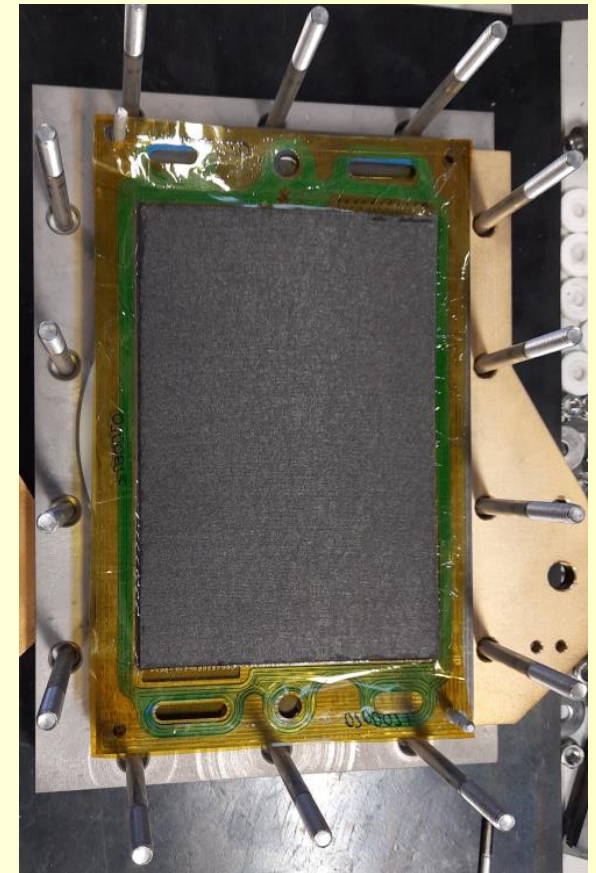
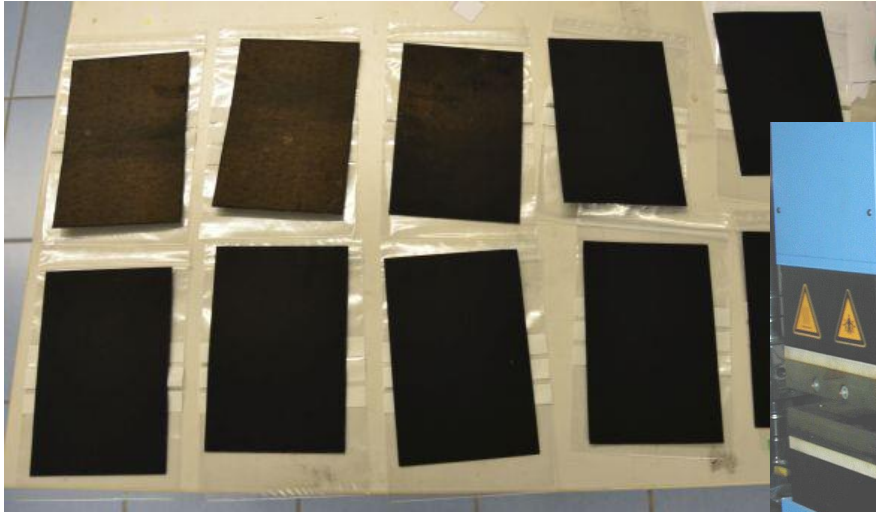
Photograph: V. Loos , UCB Fuel Cell Laboratory



Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R

Elektroden- und MEA-Fertigung



Kompetenzzentrum



Brennstoffzelle



Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R

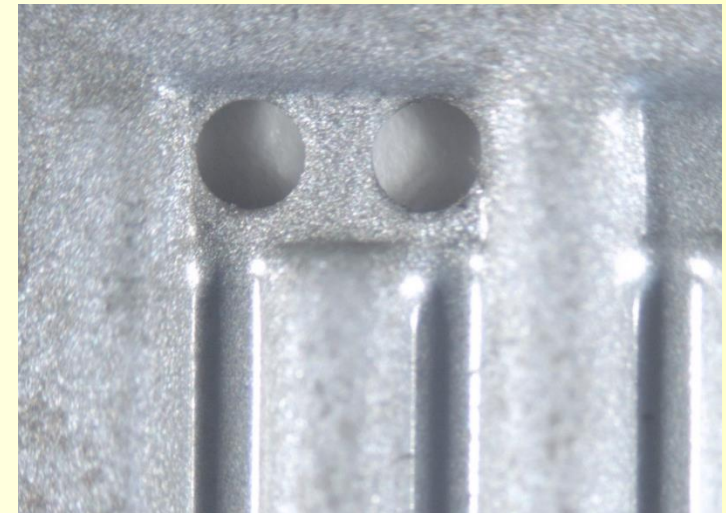
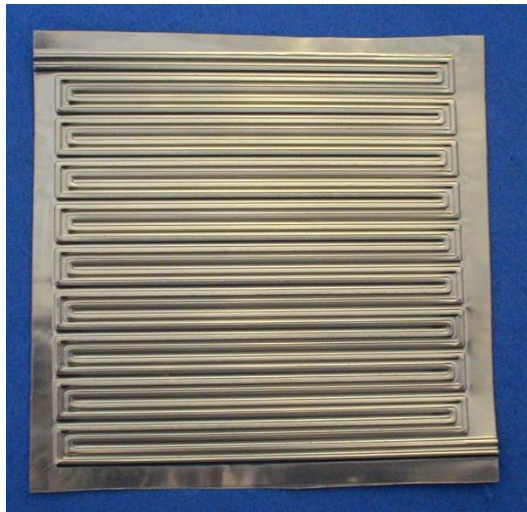
Metallic Flow Fields

- Stamping of flow fields into stainless steel foils



LOCH

Wolfgang Loch e.K.



- Corrosion resistance demonstrated by 400 h life test in H₂PEM and DMFC

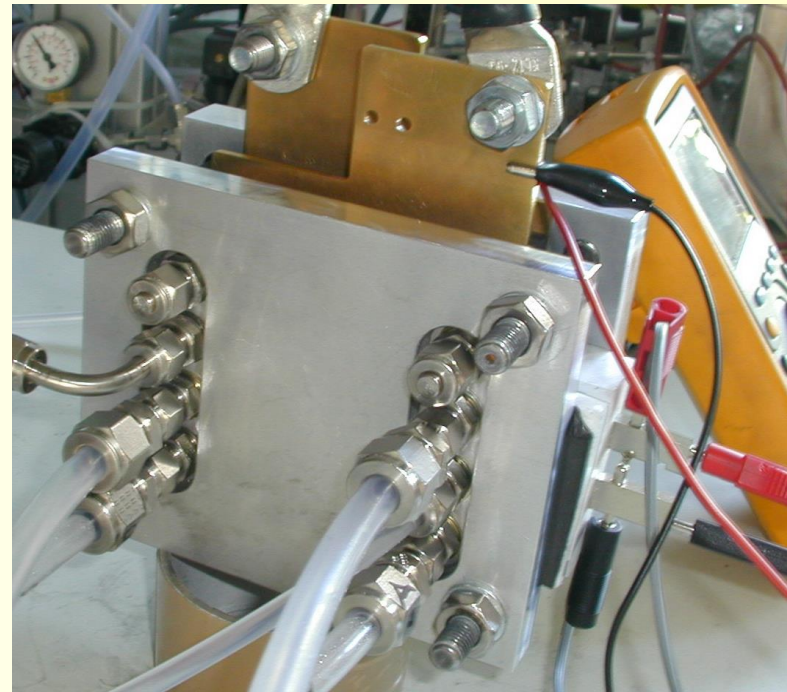
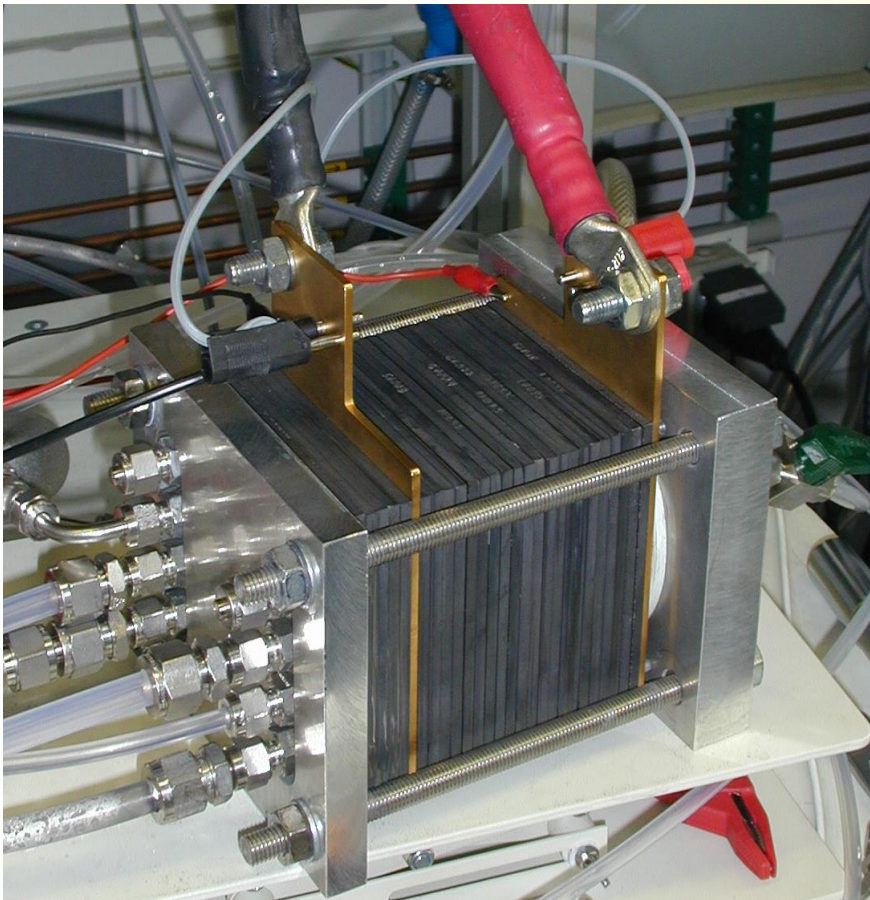


Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R

Stacks and single cells

- different compression concepts
- internal or external humidification





Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R

Vorhandene elektronische Lasten

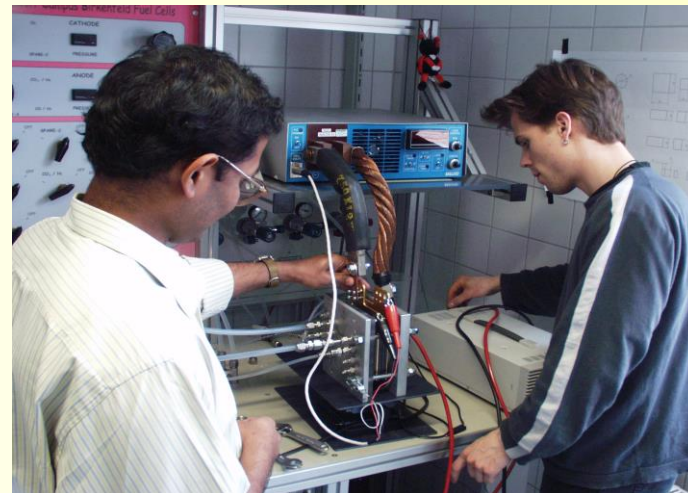
6 kW



20W



1 kW



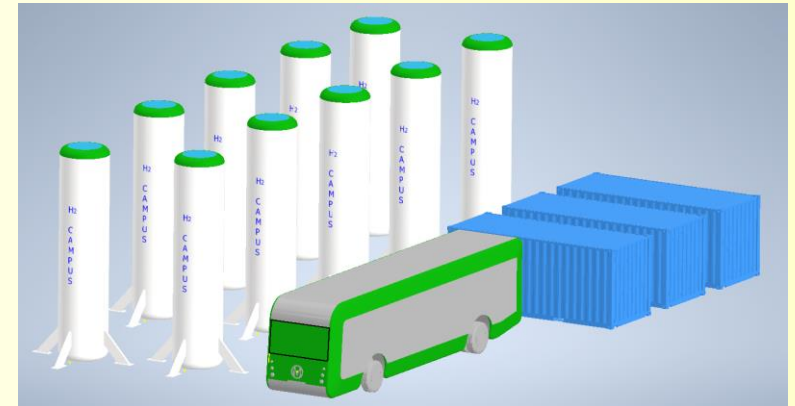


Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R

Infrastruktur am Umwelt-Campus

Anlagen	Dimensionierung
Elektrolyseur	24 kg H ₂ /Tag
Brennstoffzelle	2 x 30 kW
H ₂ -Speicher	310 kg
O ₂ -Speicher	250 kg
H ₂ -Tankstelle	350 bar, 30kg/d
Brennstoffzellenbus	ca. 35kg (Tankkapazität, Reichweite > 300 km)





Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R

Ausbau zum Test- und Anwendungszentrum

Wasserstoffversorgung, Kühlung etc. gesichert

Es fehlen nur wenige Komponenten:

- Elektronische Belastungseinheit für 150kW
- gleichzeitig für Batterieentladung verwendbar!



Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R

Anwendungen der Brennstoffzelle im Nutzfahrzeugsektor

- zentraler Antrieb (Wasserstofftank)
- nur Bordenergie (Wasserstoff, Alkohol, ...)



Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R

Vorteile

- Nullemission lokal (Innenbereich!)
 - Beispiel: Gabelstapler etc.
- Bereitstellung elektrischer Bordenergie ohne (große) Lärmentwicklung



Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R

Beispiele aus dem LKW-Segment und Bewertung



Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R

Kanadisches LKW-Projekt (Alberta) mit Ballard Power Systems

- 3 Ballard-BZ
- (insg. 210kW)
- 700km
Reichweite
- 64 t



Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R

Toyota

- 2 Mirai-BZ
- 482km
Reichweite
- 12kWh
Batterie



Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R

LKW-Vision - Hyundai

Sie sprechen viel von Haltbarkeit der Komponenten – das ist natürlich die Pflicht. Aber wie sieht es mit den Preisen aus? Normale Menschen können sich ein Wasserstoffauto heute jedenfalls nicht leisten. Der Mirai kostet rund 80.000 Euro und Ihr Nexa soll in Deutschland bei knapp unter 70.000 Euro landen.

Der Preis für Brennstoffzellenautos wird auf den von batterieelektrischen Fahrzeugen fallen, sobald wir weltweit ein Produktionsvolumen von einigen zehntausend erreicht haben. Das streben wir mit der Kooperation gerade an und wird unserer Vorstellung nach in nur wenigen Jahren passieren. Interessant dabei ist: Wenn batterieelektrische Autos 700 Kilometer weit kommen sollen – also dieselbe Reichweite bieten sollen wie Wasserstoffautos heute - kosten sie wegen der hohen Batteriepreise gleich viel. Und

wenn wir nicht von einem Fahrzeug mit rund zwei Tonnen Gewicht sprechen, sondern von Bussen mit eher zwölf Tonnen, dann ist die Brennstoffzelle im Vergleich zur Batterie schon bei einer Reichweite von 100 Kilometern im Preis ebenbürtig. Bei Lkw mit 40 Tonnen liegt die Grenze sogar bei 50 Kilometer. Insbesondere China ist in diesem Bereich sehr aktiv. Dort gibt es bereits rund zehn Firmen, die an Wasserstoff-Lkw und -bussen arbeiten.



Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R

Hyundai Fuel Cell Trucks



Source: Hyundai



Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R

Hyundai Fuel Cell Trucks



- 7 Hochdrucktanks mit 32kg H₂
- Betankungsdauer: acht bis 20 Minuten

Source: Hyundai



Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R

Hyundai Fuel Cell Trucks

Gross Vehicle Weight	36 ton (combined)
Range	400 km
Torque	3.400 Nm
Power total	350 kW
Fuel cell capacity	190 kW (2x95)
Fuel cell manufacturer	Hyundai
H2 Storage	34,51 kg @ 350 bar
Status	Planned 1.600 by 2025
Battery	73,2 kWh

Source: Hyundai



Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R

Energy storage mass

Chevrolet EV Lithium ion battery
pack 60 kWh – 436kg

Toyota Mirai hydrogen fuel cell
114 kWh - fuel cell 56kg and
hydrogen tanks 87kg



Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R

Vergleich Speichersysteme

(am Beispiel 40t LKW, 400km Reichweite)

	Diesel	H2-Verbrenner	Brennstoffzelle	Batterie
Verbrauch auf 100km	ca. 33 l	10,8kg	8,1kg	ca. 150kWh
Verbrauch [kWh/100km]	360	360	270	150
Reichweite [km]	400	400	400	400
Energiebedarf für Reichweite [kWh]	1440	1440	1079	600
Masse Energiespeicher [kg]	121	1099	823	4360
Betankungsleistung MW (5min)	17,3	17,3	12,9	7,2
Betankungsleistung MW (15min)	5,8	5,8	4,3	2,4
Betankungsleistung MW (60min)	1,4	1,4	1,1	0,6

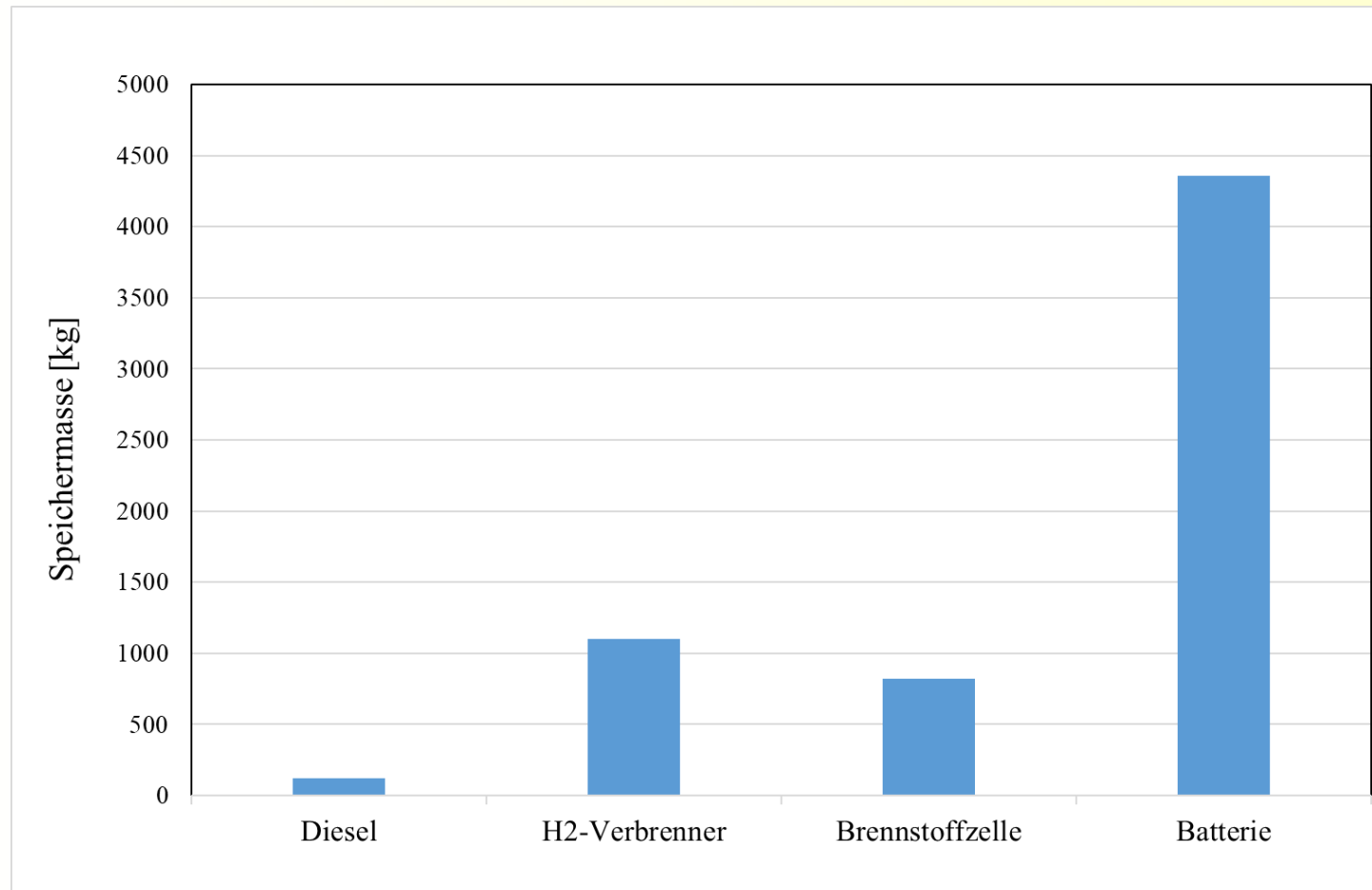


Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R

Vergleich Speichersysteme

(am Beispiel 40t LKW, 400km Reichweite)





Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R

Energie und Leistung - Einheiten

- Leistung:

Watt (W) = Joule pro Sekunde, also Energie pro Zeit

- Energie:

Joule (J) oder Wattsekunden (Ws) bzw.
Kilowattstunden (kWh)

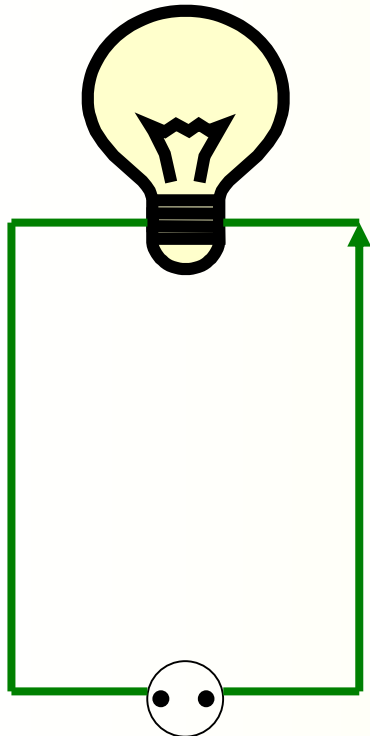


Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R

Energie und Leistung - Beispiele

Leistung	→	Betrieb	→	Energiemenge
100 W		10 Stunden		1000 Wattstunden





Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R

Energie und Leistung - Beispiele

Leistung	←	Betankung	←	Energiemenge
26 MW		1 Minute		50 Liter Super
<i>Megawatt</i>				431 kWh
= 26.000kW !				



Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R

Wasserstoff-Betankung

5kg Wasserstoff in ca. 5 min = 2 MW

Source: Shell

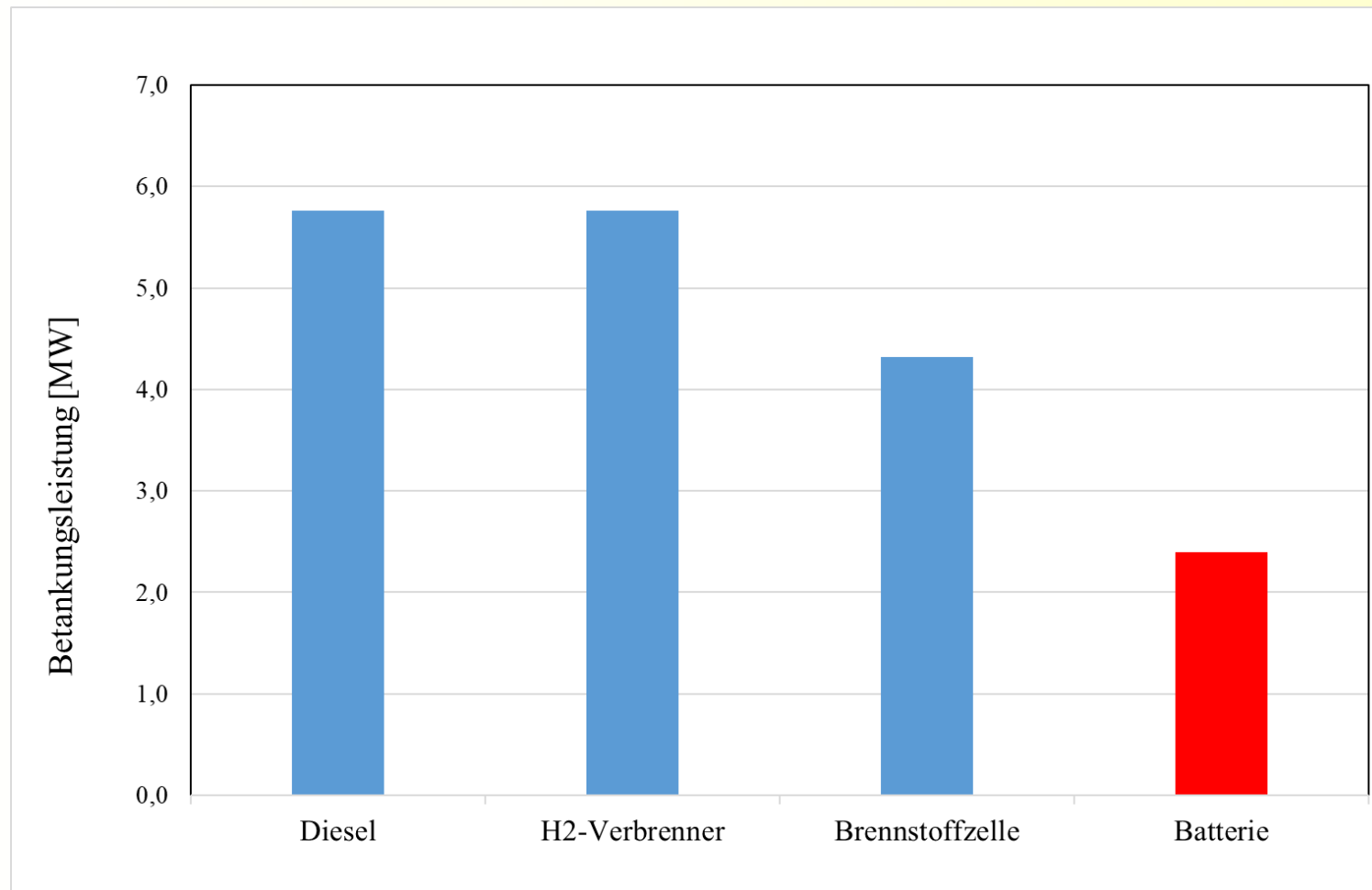


Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R

Vergleich Speichersysteme

(40t LKW, 400km Reichweite, 15min Betankung)



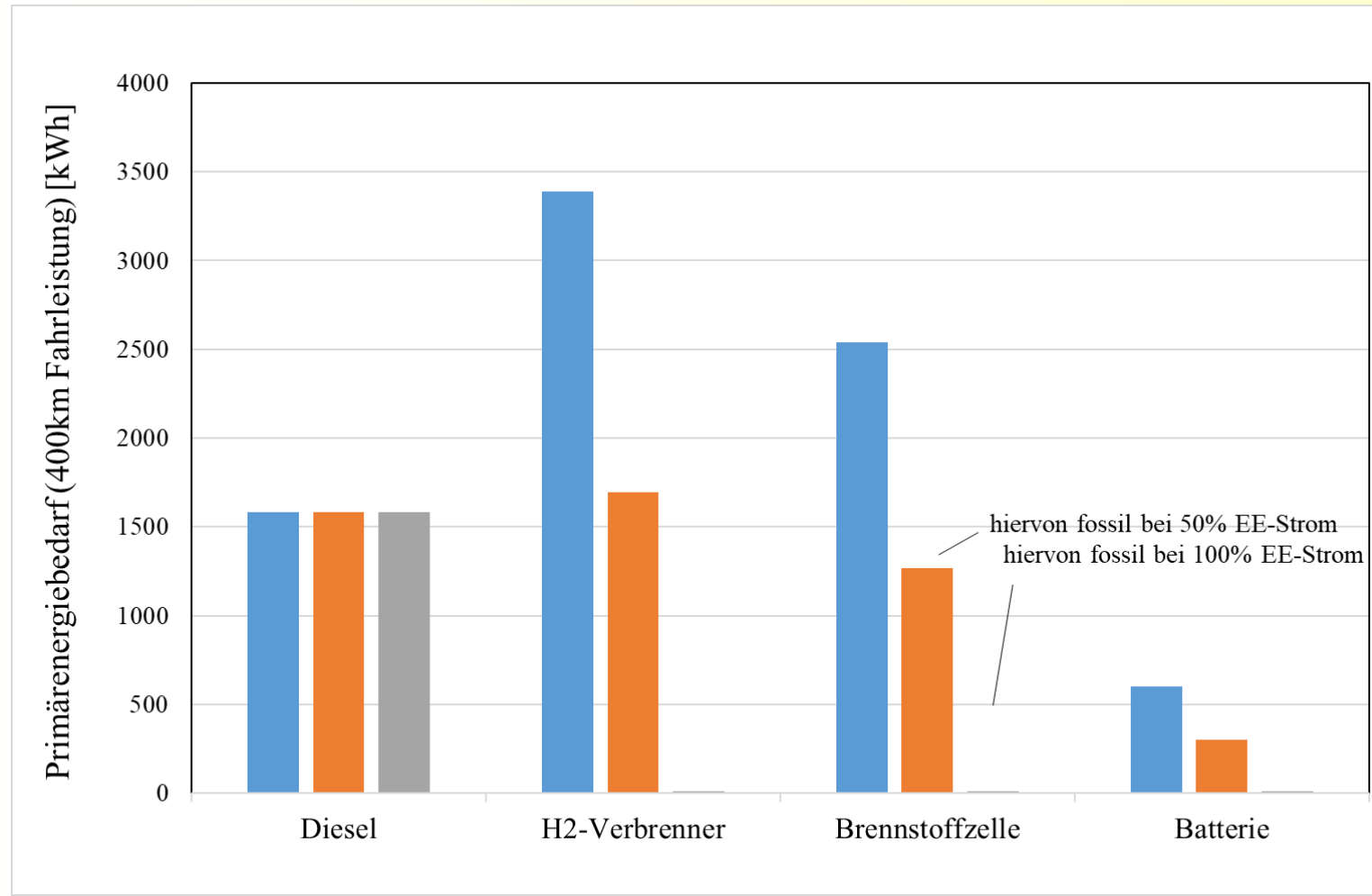


Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R

Vergleich Speichersysteme

(am Beispiel 40t LKW, 400km Reichweite)





Fazit

Energiewende erfordert Lösungen für LKW, Bus, Baumaschinen etc.

Welche Kriterien sind für die jeweilige Anwendung wichtig?

- Energieeffizienz
- CO₂-Neutralität
- Abgasemissionen
- Schallemissionen
- elektrische/mechanische Energie nötig?
- ...



Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R

Fazit

Weitere Brennstoffzellen-Anwendungen:

Bordenergie

- Kühlaggregat
- Klimatisierung

Weitere Kraftstoff-Optionen:

- elektrochemische Herstellung von Kraftstoffen aus CO_2 und EE



Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R

Team:

Kontakt:

Hochschule Trier
Umwelt-Campus Birkenfeld
Prof. Dr. Gregor Hoogers
Kompetenzzentrum Brennstoffzelle
Rheinland-Pfalz
Campusallee 9916
55768 Neubrücke

Tel. 06782-171250
g.hoogers@umwelt-campus.de

Finanzielle Unterstützung:

- hauptsächlich Industrie
- BMBF & NIP
- (in der Vergangenheit) Landesministerien