

Auslegung von Fahrzeug-angepassten H₂-Sorptionspeichern

A. Wörner
 A. Brinner
 K. Hinot
 DLR Stuttgart
 antje.woerner@dlr.de

Eine gesellschaftliche Schlüsselfrage der Zukunft ist die langfristige Sicherung der Mobilität ohne Abhängigkeit vom Erdöl. Ein weltweit verfolgter Lösungsansatz ist es mittel- bis langfristig regenerativ erzeugten Wasserstoff als den einzig alternativen Kraftstoff zu verwenden.

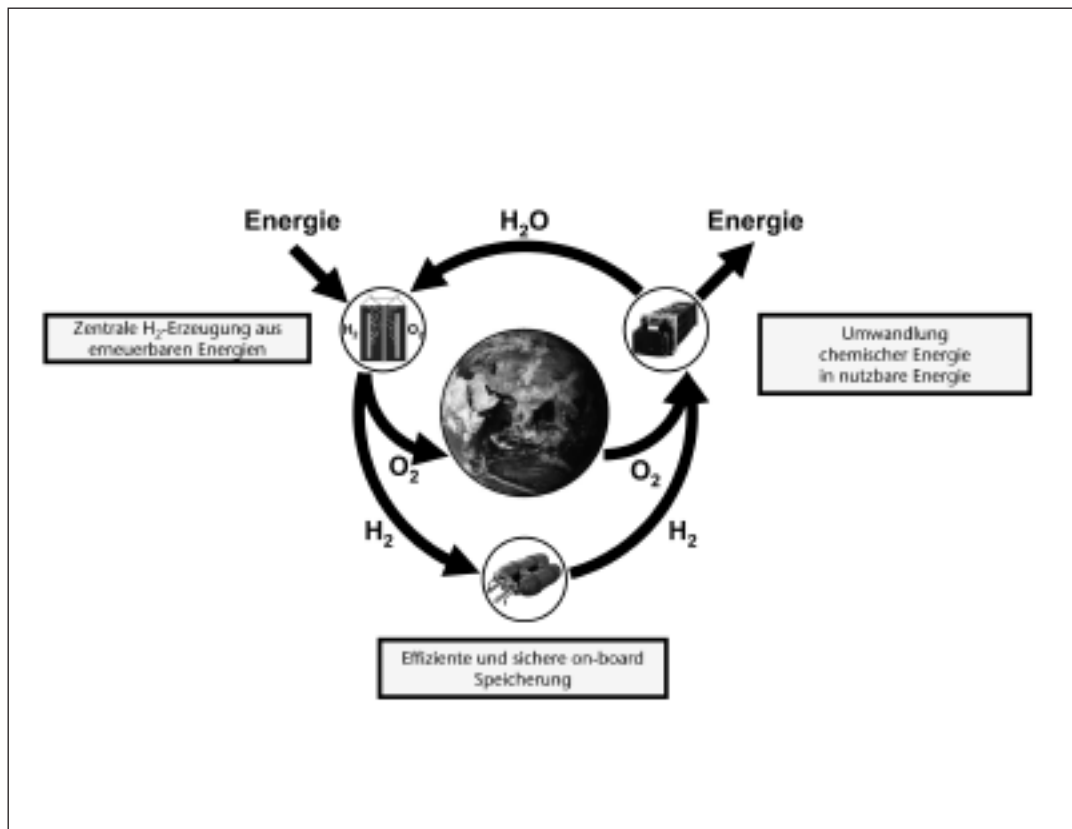
Die Strategie der namhaften europäischen Fahrzeughersteller ist hinsichtlich der Spezifikationen für derartige Fahrzeuge uneinheitlich. Es hat sich aber die Tendenz durchgesetzt, sowohl für Brennstoffzellenfahrzeuge (DC, Ford, Volvo, PSA Peugeot Citroen etc.) und als auch für den Verbrennungsmotor (BMW) die Wasserstoffherzeugung außerhalb (off-board) des Fahrzeugs zu verlegen. Damit bekommt die Komponente „Wasserstoffspeicher“ im Fahrzeug eine heraus-

ragende Bedeutung, die eine akzeptable Reichweite gewährleisten muss.

Markteintrittsbarrieren für den Einsatz von Wasserstoff in Fahrzeugen sind nur zu überwinden, wenn es gelingt, kostengünstige Wasserstoff-Speichersysteme zu entwickeln, die eine vergleichbare Reichweite ermöglichen, wie sie die Kunden von heutigen Fahrzeugen gewohnt sind.

Neben Druck- und Flüssigwasserstoffspeichern sind Metallhydride aufgrund ihrer hohen volumetrischen Energiedichte vielversprechende Kandidaten zur reversiblen Speicherung von Wasserstoff. Ihre prinzipielle Eignung konnte bereits in den achtziger Jahren im Flotten-

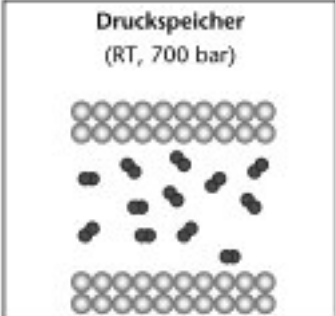
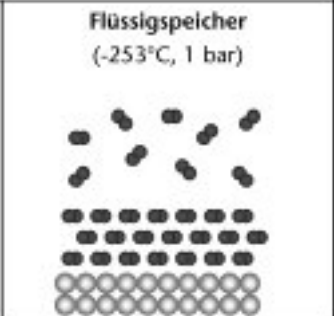
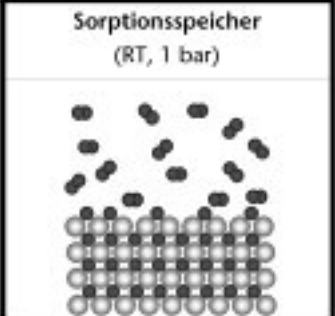
Wasserstoff als Energieträger



versuch nachgewiesen werden. Hohe Materialkosten und Speichergewichte bei niedrigen gravimetrischen Energiedichten führten jedoch dazu, dass die Weiterentwicklung von Hydridspeichern nicht forciert wurde.

Erst mit der Entwicklung der Brennstoffzellentechnologie rückte der Wasserstoff als alternativer Kraftstoff und die Frage der H₂-Speicherung Mitte der 90er Jahre wieder in den Fokus. Die ehrgeizigen Ziele, die speziell das DOE zeitlich gesetzt hat, und die ausgesprochene Absicht der Fahrzeughersteller den Kunden alltagstaugliche und wirtschaftliche Brennstoffzellenfahrzeuge ab 2015 zur Verfügung zu stellen, macht die Entwicklung und Demonstration neuer Speichersysteme bis zu diesem Zeitpunkt erforderlich.

→ **Energiedichte:** 1 kg H₂ ↔ 2.8 kg Benzin ☺
 1 Nm₃ H₂ ↔ 0.34 l Benzin ☹

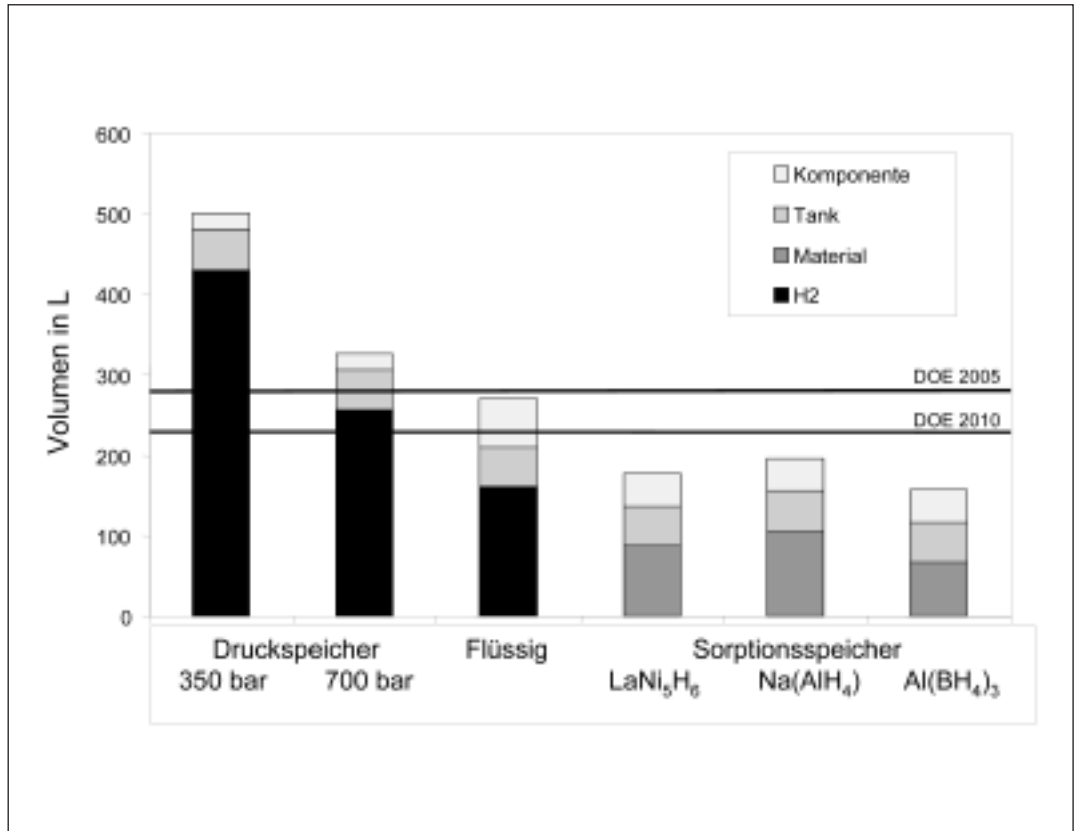
Druckspeicher (RT, 700 bar)	Flüssigspeicher (-253°C, 1 bar)	Sorptionsspeicher (RT, 1 bar)
		

→ **DOE-Ziele 2010:** volumetrische H₂-Dichte: 4.5 kg/100 l
 gravimetrische H₂-Dichte: 6 wt%
 Zeit für Befüllung: < 5 min

Technologien zur Wasserstoffspeicherung

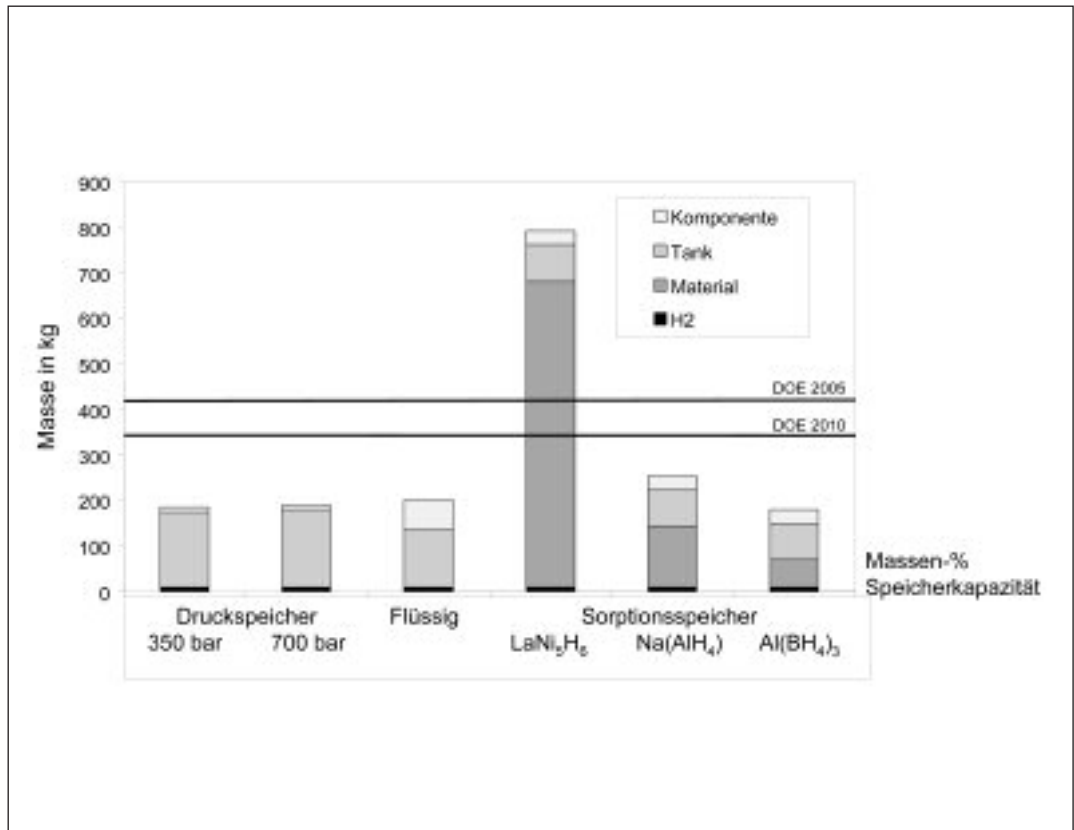
Vergleich von Speichertechnologien

Volumen des Speichertanks (10 kg H₂ für 700 km Reichweite)



Vergleich von Speichertechnologien

Masse des Speichertanks (10 kg H₂ für 700 km Reichweite)



Bottlenecks der Speicher-Technologien

DOE-Ziele (2010)	Druckspeicher (RT, 700 bar)	Flüssigspeicher (-253°C, 1 bar)	Sorptionsspeicher (RT, 1 bar)
Energiedichte → Reichweite			
vol.	-	-	+
grav.	+	+	-
Dynamik	+	+	-
Standverluste	-	-	+
Komponente im System	-	-	-

Als Ziel der DLR-Arbeiten zur Wasserstoffspeicherung sollen eine H₂-Speicherkapazität von gravimetrisch $\geq 6\%$ und volumetrisch $\geq 4,5 \text{ kg}/100 \text{ l}$ für das Tanksystem unter Berücksichtigung der Randbedingungen – Fahrzeugintegration, Wasserstoffbefüllung und Sicherheits- und Zulassungsstandards – erreicht und somit die Ziele der EU und des DOE für 2010 erfüllt werden.

Der Fokus dieser Arbeiten liegt auf den Sorptionsspeichern. Deren Forschungsbedarf umschließt zum einen die Entwicklung neuer Speichermaterialien mit hoher Kapazität und niedriger Sorptionstemperatur, die gleichzeitig eine ausreichende Kinetik aufweisen. Diese werden über eine Kooperation im Rahmen der Helmholtzgemeinschaft am FZK untersucht. Das DLR befasst sich mit der Speicherauslegung unter Berücksichtigung eines verbesserten internen Wärme- und Stofftransports im Speicherbett, der durch ein effizientes Wärmemanagement erreicht werden kann. Dadurch sind eine schnelle Beladung und die kontrollierte Entladung des Wasserstoff-Speichertanks möglich. Experimentelle Untersuchungen spezifischer Laborspeicher und kommerzieller Hydridspeicher in einer H₂-Testanlage werden in Kombination mit Modellbildung und Simulation zur Auslegung Fahrzeug-angepasster Wasserstoff-Sorptionsspeicher verwendet.

Forschungsbedarf für
H₂-Sorptionspeicher

→ **Speichermaterialien**

neue Nanomaterialien mit hoher Kapazität
Sorptionsstemperatur <100 °C
schnelle Kinetik

→ **Fahrzeugintegration**

Fahrzeug-angepasste Behältergeometrie
Fahrzeug- und verfahrenstechnische Integration
Sicherheit / Betankung

Forschungsbedarf für
H₂-Sorptionspeicher

→ **Speichermaterialien**

neue Nanomaterialien mit hoher Kapazität
Sorptionsstemperatur <100 °C
schnelle Kinetik

→ **Speicherauslegung**

Verbesserung des internen Wärme- und Stofftransports
effizientes Wärmemanagement
schnelle Beladung / kontrollierte Entladung

→ **Fahrzeugintegration**

Fahrzeug-angepasste Behältergeometrie
Fahrzeug- und verfahrenstechnische Integration
Sicherheit / Betankung

H₂-Speicher-
Testanlage METHYS

- **Niedertemperatur-Metallhydride (T: 10-85°C, P: 1-25 bar)**
- **flexible Speichertanks (45 bis 450 NI H₂-Speicherkapazität)**
- **Testbedingungen:**
 - Beladung / Entladung bei konstantem Druck oder konstantem Massenstrom
 - externe Beheizung / Kühlung (2.25 kW)



- **Labortank**
 - 125 cm³ Speichervolumen
 - Befüllung mit unterschiedlichen Metallhydrid-Materialien (AB₅, AB₂, Alanat, etc.)
 - Messung des Temperaturprofils im Bett und des Druckverlustes über das Bett (Bestimmung der effektiven Wärmeleitfähigkeit und der Permeabilität)
- **Kommerzielle Speichertanks**
 - AB₅ mit zylindrischer Geometrie (300 NI H₂-Speicherkapazität)
 - andere ...



H₂-Speichertanks

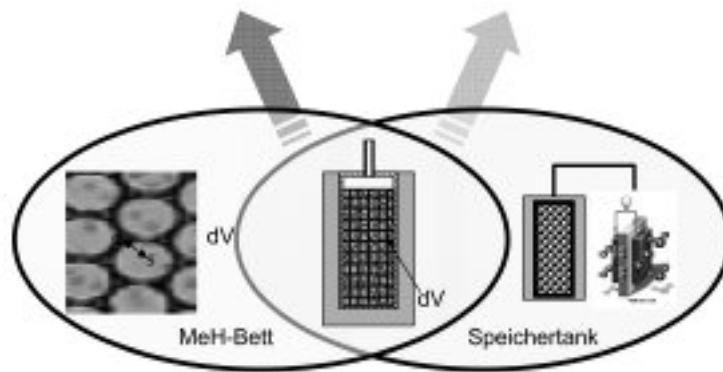
Modellbildung und Simulation

→ Wärme- und Stofftransport im Metallhydrid-Bett

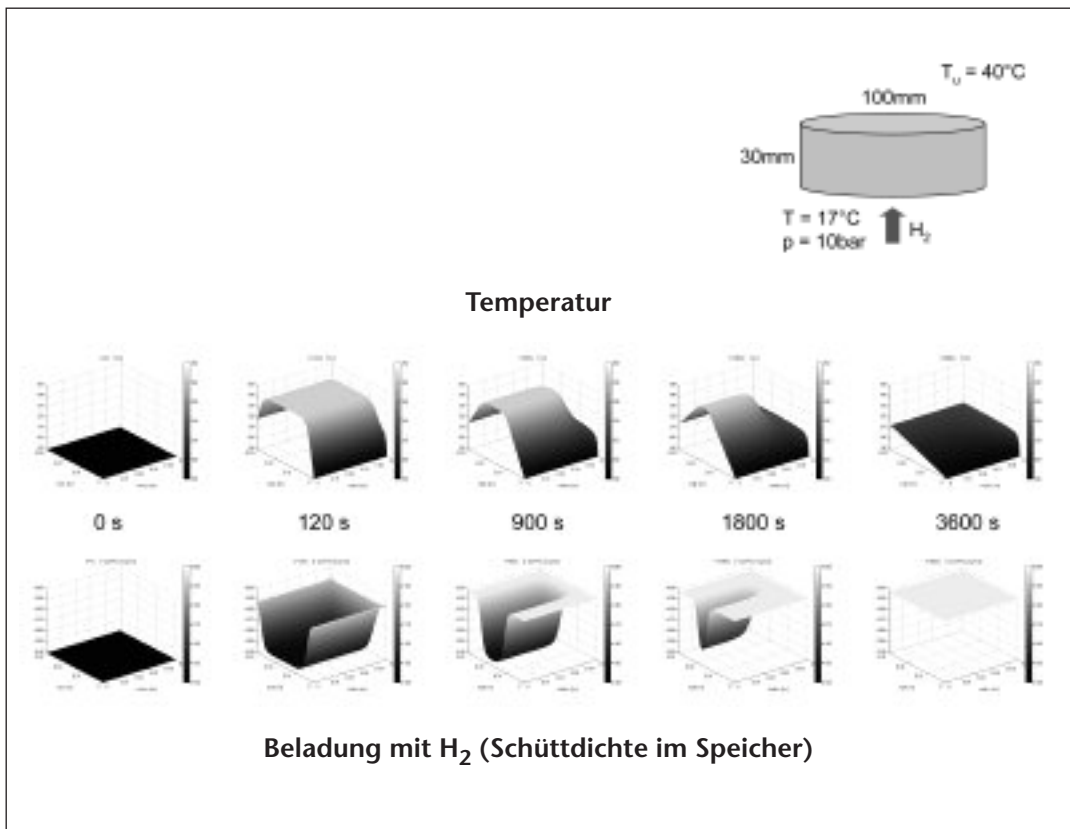
- Identifikation und Bestimmung der wichtigen Einflussgrößen (Wärmeleitfähigkeit, Permeabilität, Kinetik)

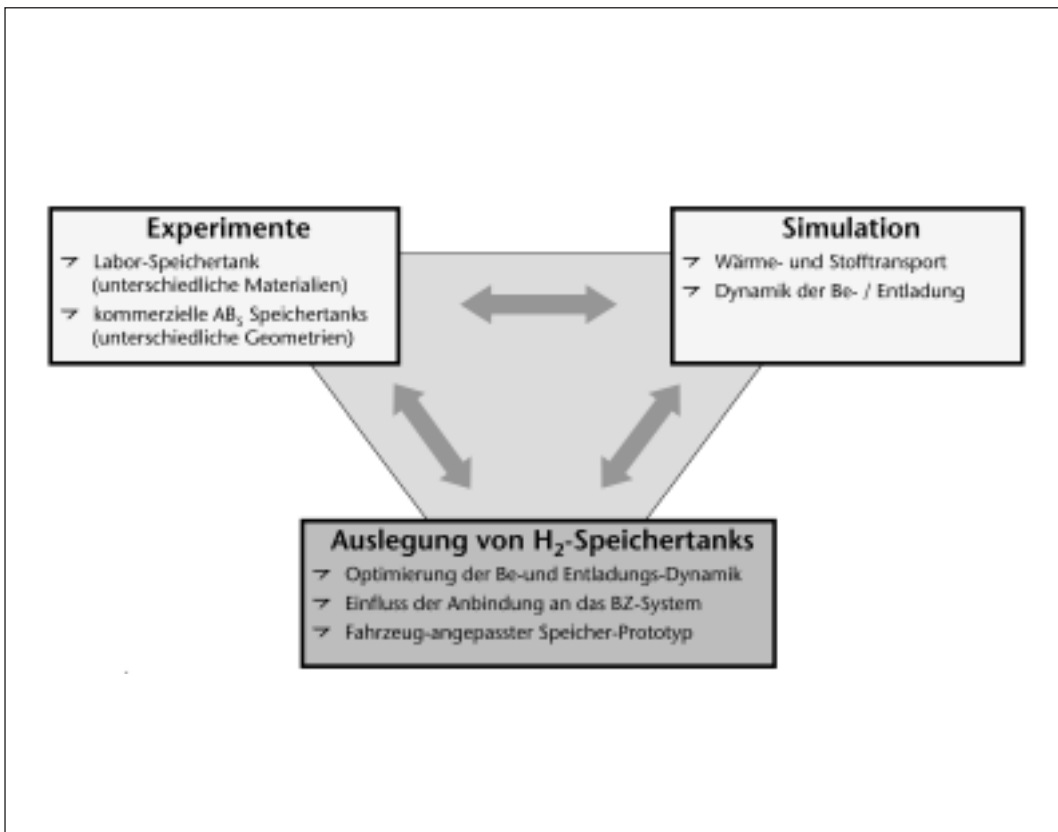
→ Dynamik der Be- und Entladung des Speichers

- Wärme- und Stofftransport
- Wärmemanagement
- Anbindung an BZ-System



Ergebnisse für Laborspeicher (Modell basierend auf Jemni, Nasrallah 1995)





*Fahrzeug-angepasstes
Design von
Hydridspeichern*

Die fahrzeugtechnische und verfahrenstechnische Integration derartiger Speicher in ein Gesamtsystem wird am DLR anhand des Brennstoffzellenprüfstands HyLite® 20 untersucht. Dabei wird eine substantielle Kostenreduktion der H₂-Versorgung von Fahrzeug-Brennstoffzellensystemen durch die deutliche Verringerung der Komponentenanzahl angestrebt. Gleichzeitig werden sicherheitstechnische Aspekte berücksichtigt, die für eine spätere Zulassung zwingend erforderlich sind. Die Entwicklungsplattform HyLite® bietet anschließend die einzigartige Möglichkeit verbesserte Speichersysteme in einem Fahrzeug-Prototyp zu testen.

Forschungsbedarf für
H₂-Sorptionsspeicher

→ **Speichermaterialien**

neue Nanomaterialien mit hoher Kapazität
Sorptionstemperatur <100 °C
schnelle Kinetik

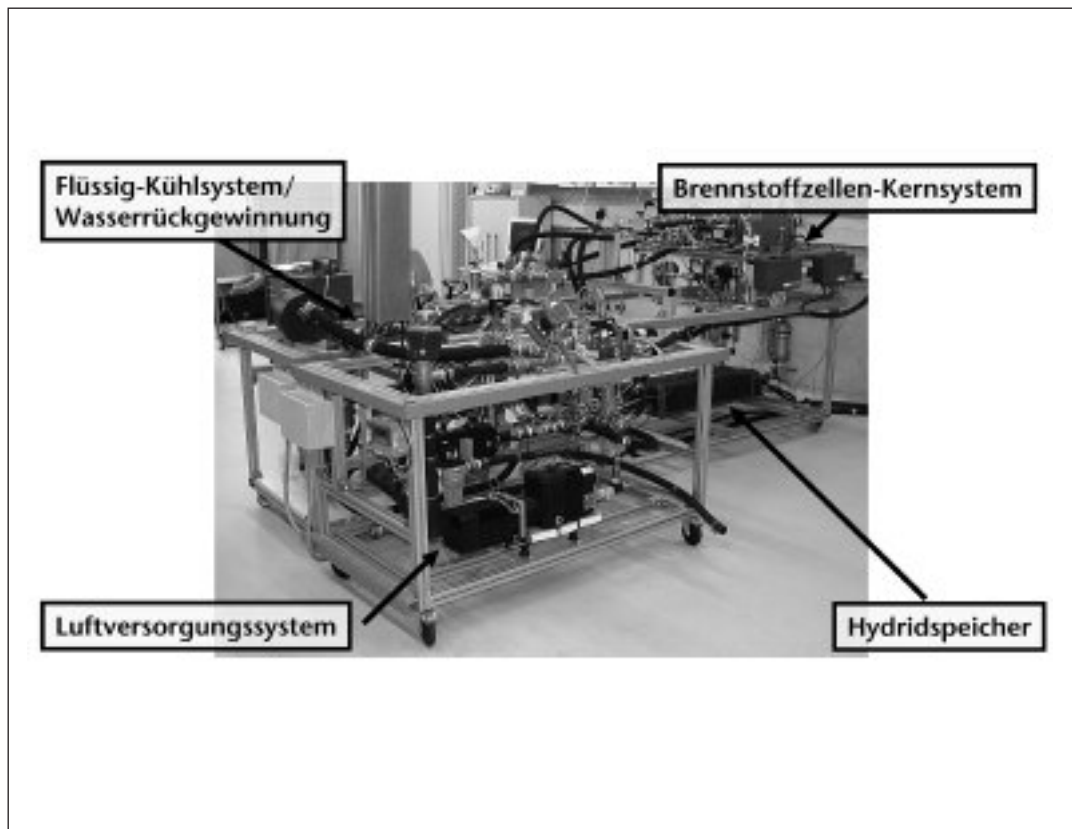
→ **Speicherauslegung**

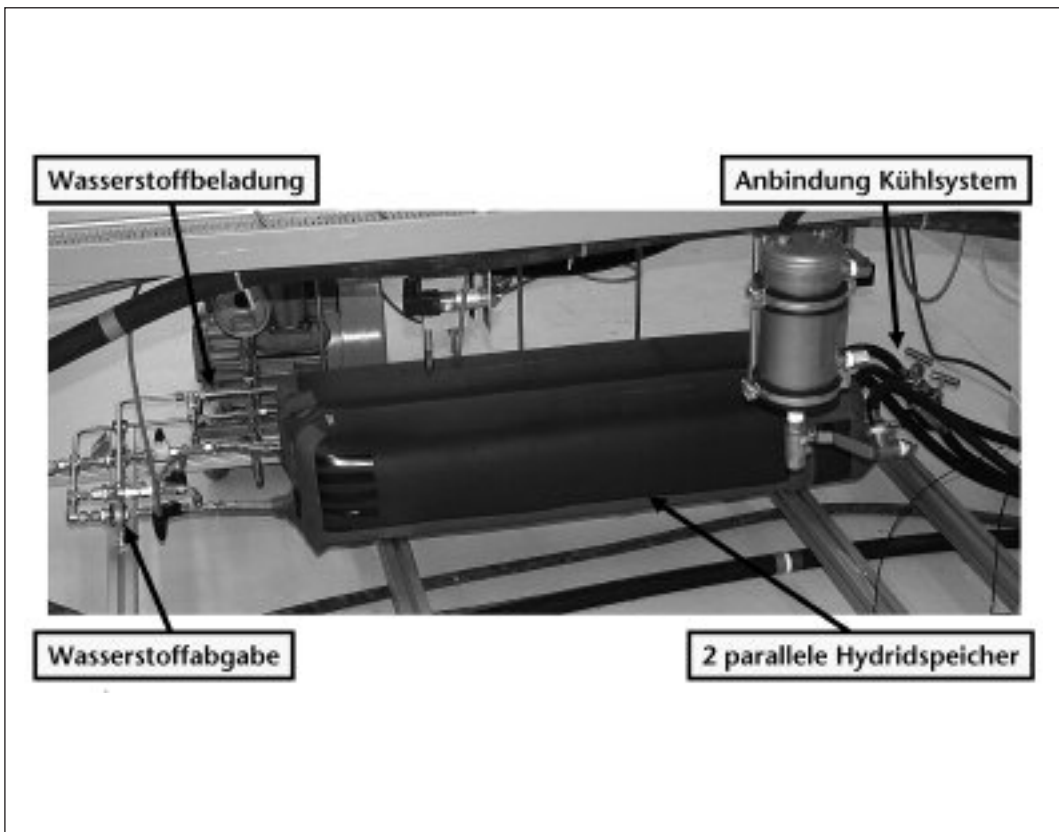
Verbesserung des internen Wärme- und Stofftransports
effizientes Wärmemanagement
schnelle Beladung / kontrollierte Entladung

→ **Fahrzeugintegration**

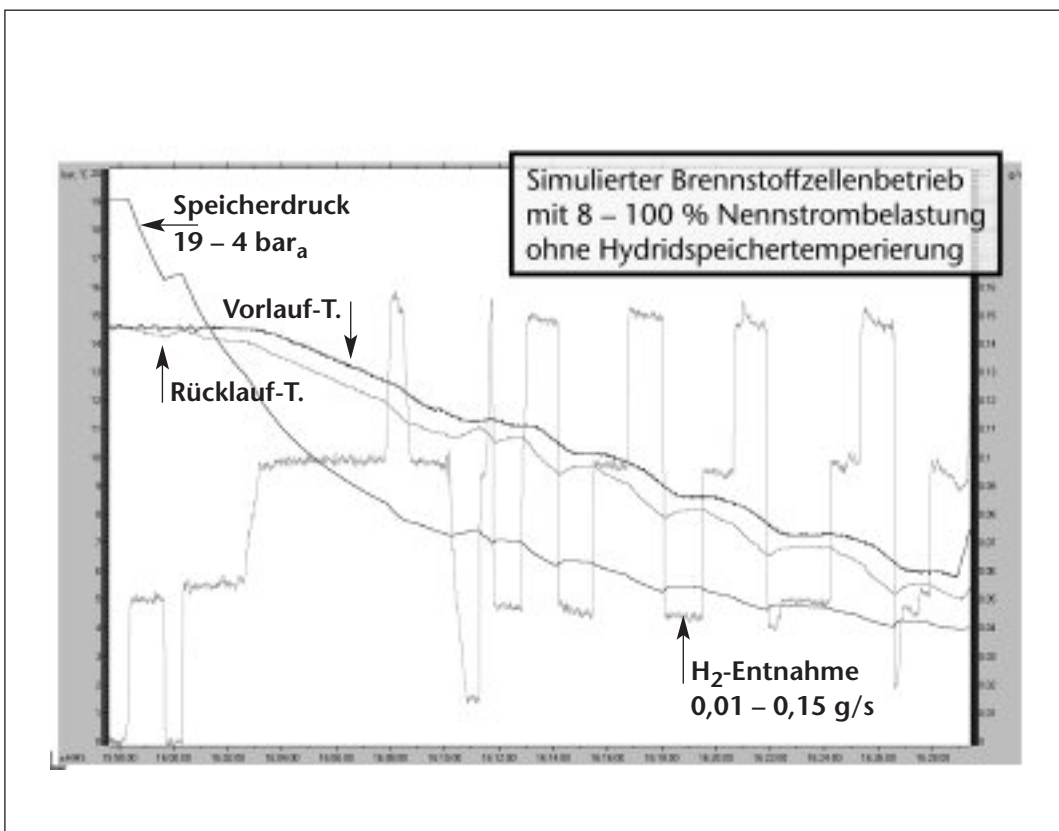
Fahrzeug-angepasste Behältergeometrie
Fahrzeug- und verfahrenstechnische Integration
Sicherheit / Betankung

Verfahrenstechnische
Integration von
Hydridspeichern
im Brennstoffzellen-
prüfstand HyLite® 20





Betriebstechnische Integration von Hydridspeichern im Brennstoffzellen-prüfstand HyLite® 20



Erste dynamische Betriebsversuche im Brennstoffzellen-prüfstand HyLite® 20

Sicherheitstechnische Integration von Hydridspeichern als Tanksystem in ein Fahrzeug

Geprüfte Sicherheitseinrichtung

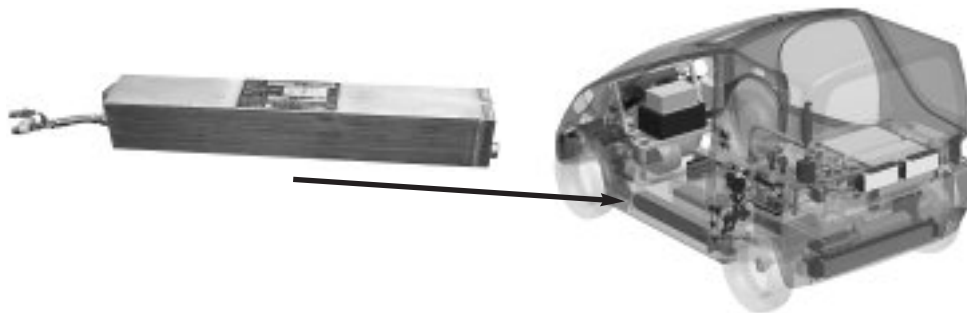
- Übertemperatursicherung
- EM-Abschaltventil
- Durchflussbegrenzung
- Manuelle Abschaltung
- Berstsicherung



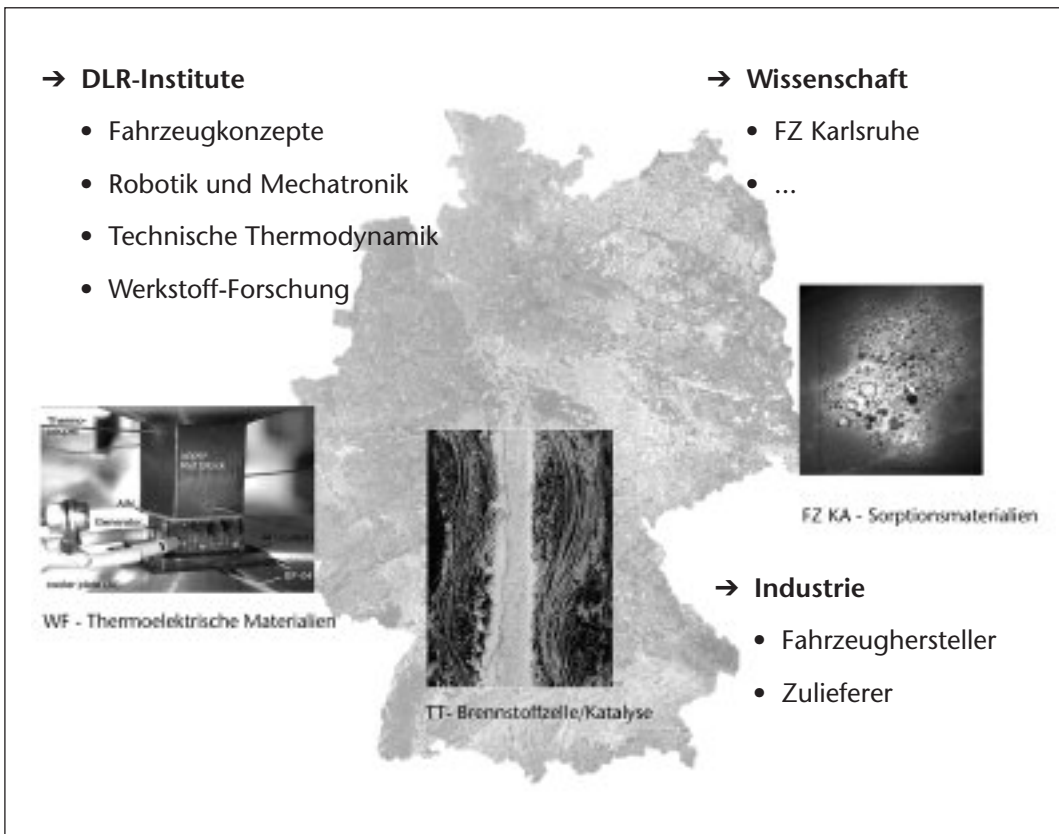
Prüfling auf Druckflasche mit Prüfsiegel



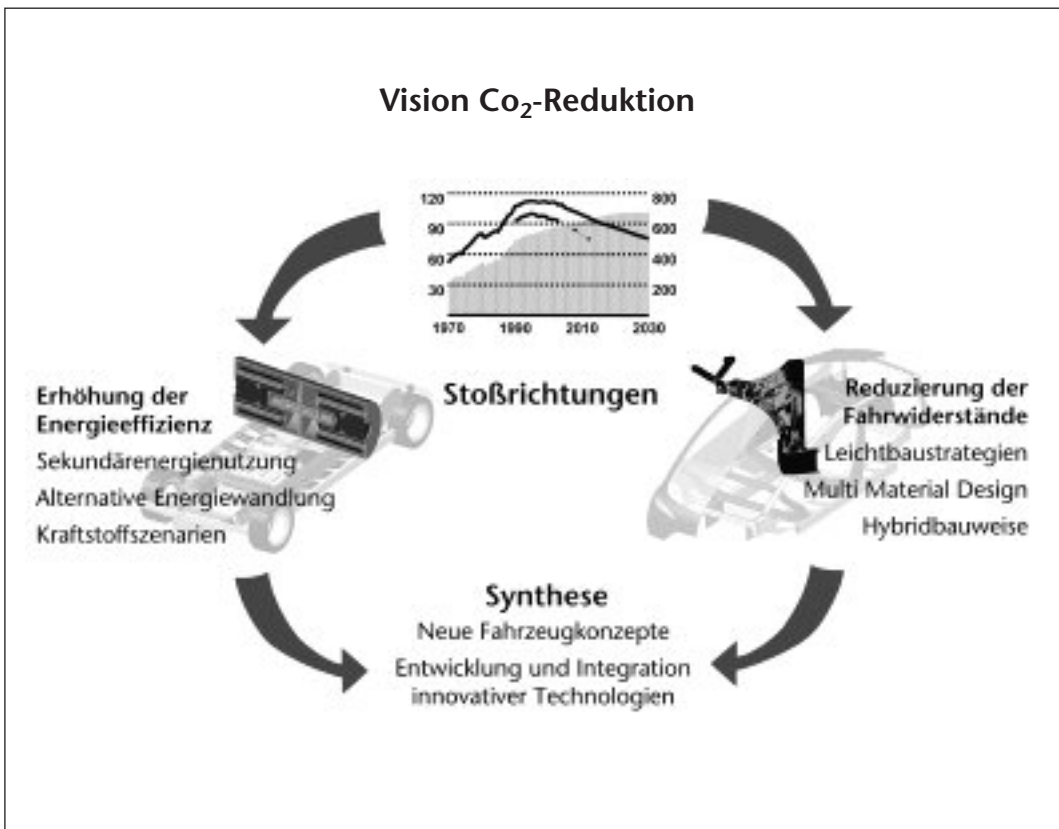
Speicherintegration mit fahrzeugangepasster Geometrie in die Entwicklungsplattform HyLite®



- | | | |
|-------------------------------|-------------------------------|----------------------|
| • Leichte Alu-Hülle | • Masse MeH | 29 kg |
| • Niederdruckbetrieb 6-30 bar | • Masse Speicher | 51 kg |
| • Internes Wärmemanagement | • Rev. H ₂ -Inhalt | 0,423 kg |
| • Formvariabilität | • Ladedruck | 19 bar _a |
| • Geprüfte Sicherheit | • Entladedruck | 2,7 bar _a |



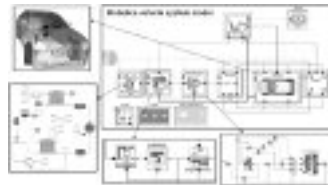
Fahrzeugebene –
Projekt „Fahrzeug-
energiesysteme“



Projekt „Fahrzeug-
energiesysteme“ –
Motivation

Projekt „Fahrzeug-energiesysteme“ – Ziele

- Einsatz effizienter, emissionsarmer Energiewandler
 - Fahrzeugtaugliche Brennstoffzellensysteme mit hohem Systemwirkungsgrad
 - Freikolbenlineargenerator
- Erschließung ungenutzter Energieströme im Fahrzeug
 - Sekundärenergienutzung
- „On-Board“-Speicherung kohlenstoffarmer Kraftstoffe
 - Sorptionsspeicher für Wasserstoff
- Neue Methoden zur Systemsimulation auf Basis objektorientierter Simulationssprachen



Fazit

Forschungsbedarf Fahrzeug-angepasste Sorptionsspeicher

- Von allen Speichertechnologien haben Sorptionsspeicher das größte Potenzial.
- Neben dem Materialaspekt besteht für die technische Umsetzung des Tanksystems (Wärmemanagement, verfahrenstechnische Integration der Komponente ins System) großer Forschungsbedarf.
- Diese Fragestellungen lassen sich nur im Verbund lösen.