

*Session 5**Julian Kadar, Peter Wasserscheid, Lars Schnieder*

Einsatz flüssiger organischer Wasserstoffträger in Schienenfahrzeugen

Kadar, Julian¹, Wasserscheid, Peter¹, Schnieder, Lars²¹Forschungszentrum Jülich GmbH, Helmholtz Institute Erlangen-Nürnberg
for Renewable Energy²ESE Engineering und Software-Entwicklung GmbH

Der Schienenverkehr leistet bereits heute einen wesentlichen Beitrag zum umweltfreundlichen Transport von Gütern und trägt zur ressourcenschonenden Mobilität im Alltag bei. Die Leistungsfähigkeit soll zukünftig weiter ausgebaut werden, die Strategie dabei ist klar: Weg von fossilen Brennstoffen und hin zu erneuerbaren Energien. Für die Triebfahrzeuge auf der Schiene bedeutet dies zunächst einmal den Einsatz von elektrischen Antrieben. Ihr Einsatz ist jedoch nicht flächendeckend möglich.

Unzureichende Elektrifizierung erfordert alternative Antriebskonzepte

Der Elektrifizierungsgrad des deutschen Schienennetzes erlaubt zurzeit als auch in naher Zukunft keine ausschließliche Energieversorgung der Triebfahrzeuge über Oberleitung oder Stromschiene. Der Elektrifizierungsgrad beträgt aktuell rund 61,5 % des Streckennetzes bei einer Betriebslänge (nur DB Netz) von 33.401 km (Stand 2021) [1]. Auf das gesamte deutsche Eisenbahnnetz gesehen ist der Elektrifizierungsgrad noch geringer. Deutschland bewegt sich damit im europäischen Mittelfeld. Die Kosten für eine vollständige Streckenelektrifizierung ohne Umstellung des rollenden Materials wurden von der Bundesnetzagentur vor einigen Jahren mit rund 28 Mrd. EUR veranschlagt. Aufgrund der aktuellen Randbedingungen (u. a. gestiegene Rohstoff- und Energiepreise) ist dieser Wert jedoch noch deutlich zu niedrig angesetzt. Es wird also dauern, bis die Vollelektrifizierung tatsächlich umgesetzt werden kann. Priorisierungen für die nachträgliche Elektrifizierung von Strecken mit hoher Nachfrage und strategischer Bedeutung gibt es bereits seit Längerem [2]. Soll ein emissionsfreier bzw. stark emissionsreduzierter Bahnverkehr auf nicht-elektrifizierten Strecken erzielt werden, erfordert dies alternative Antriebskonzepte.

Prinzip LOHC-basierter Wasserstoffspeicherung und -freisetzung

Als flüssige organische Wasserstoffträger (englisch: liquid organic hydrogen carriers, LOHC) werden organische Verbindungen bezeichnet, die Wasserstoff durch chemische

Session 5

Julian Kadar, Peter Wasserscheid, Lars Schnieder

Reaktion aufnehmen und wieder abgeben können. LOHC ermöglichen es also, Wasserstoff in einer Flüssigkeit speichern. Diese kann anschließend sicher und unkompliziert in großen Mengen gelagert und transportiert werden. LOHCs können daher als Speichermedien für Wasserstoff in mobilen Anwendungen wie Schienenfahrzeugen verwendet werden. Prinzipiell kann jede ungesättigte Verbindung (organische Moleküle mit C-C Doppel- oder Dreifachbindungen) bei Hydrierung Wasserstoff aufnehmen. Jedoch erfüllen nur manche Verbindungen auch alle notwendigen Eigenschaften zur Nutzung als Speichermedium:

- *Umkehrbarkeit der Wasserstoffaufnahme:* Entscheidend für die Anwendbarkeit als LOHC ist die Umkehrbarkeit der Wasserstoffaufnahme bei technisch sinnvollen Bedingungen. Prinzipiell ist jede ungesättigte Kohlenwasserstoff-Verbindung in der Lage, durch Hydrierung Wasserstoff aufzunehmen. Lediglich zyklische organische Verbindungen erlauben jedoch eine vollständige Wasserstofffreisetzung bei Temperaturen von unter 300 °C.
- *Flüssiger Aggregatzustand während der Lagerung und Logistik:* Um eine einfache Handhabung (Pumpbarkeit u. a.) zu gewährleisten, ist der flüssige Aggregatzustand wichtig. [3] Das heißt, dass sowohl ein Festwerden bei winterlichen Temperaturen zu vermeiden ist, als auch ein Verdampfen an heißen Sommertagen. Hierbei ist zu beachten, dass ein LOHC-System im Laufe des Prozesses in verschiedenen Formen bzw. Hydriergraden vorliegt: der dehydrierten (wasserstoffarmen bzw. entladenen) Form, der hydrierten (wasserstoffreichen bzw. beladenen) Form und teilhydrierten Formen. Je nach Hydriergrad besteht das LOHC-System also aus einer Mischung von nicht-, teil-, oder voll-hydrierten Trägermolekülen. [4]
- *Temperatur- und Zyklenstabilität:* Da ein LOHC recycelt, d. h. immer wieder neu mit Wasserstoff be- und entladen wird, sollte möglichst wenig Zersetzung auftreten. Dabei ist neben den hohen Temperaturen im Prozess auch die Anwesenheit katalytisch-aktiven Materials während der Hydrierung und Dehydrierung zu beachten. Die LOHCs Benzyltoluol und Dibenzyltoluol werden unter ihren Handelsnamen Marlotherm LH und Marlotherm SH industriell als Wärmeträgeröle eingesetzt und sind daher gut im dauerhaften Einsatz bei hohen Temperaturen untersucht und haben sich hierfür etabliert. Für eine hohe Raum-Zeit-Ausbeute der verfahrenstechnischen Schritte ist es wichtig, dass das LOHC in der Flüssigphase verbleibt. Bei diesem feststoffkatalysierten Prozess bietet eine Flüssigphase bei hohen Temperaturen den Vorteil, dass mögliche schwersiedende

*Session 5**Julian Kadar, Peter Wasserscheid, Lars Schnieder*

Nebenprodukte fortlaufend vom Katalysator abgewaschen werden und somit eine Verkokung des Katalysators verhindert wird. [5]

In der Literatur werden folgende aromatische LOHC-Systeme als besonders wichtig beschrieben: Toluol/Methylcyclohexan, Benzyltoluol/Perhydrobenzyltoluol und Dibenzyltoluol/Perhydrodibenzyltoluol. [6, 7] Insbesondere die letzten beiden Systeme zeichnen sich durch ihre niedrigen Dampfdrücke aus.

Verfahren der LOHC-basierten Wasserstoffspeicherung und -freisetzung

Das LOHC-Verfahren besteht aus den zwei wesentlichen Verfahrensstufen der Hydrierung und der Dehydrierung:

- *Verfahrensschritt der Hydrierung:* Zur Aufnahme von Wasserstoff reagiert die dehydrierte Form des LOHCs (eine ungesättigte, meist aromatische Verbindung) in einer Hydrierungsreaktion mit dem Wasserstoff. Die Hydrierung ist eine exotherme Reaktion und wird bei erhöhten Drücken (ca. 20 - 30 bar) und Temperaturen von ca. 150 - 200 °C in Gegenwart eines heterogenen Katalysators durchgeführt. Im Falle der aktuell bevorzugten LOHC-Systems Benzyltoluol/Perhydrobenzyltoluol können so 6,2 Gewichtsprozent H₂ gespeichert werden. Dabei wird die korrespondierende gesättigte Verbindung gebildet, die bei Umgebungsbedingungen gelagert beziehungsweise transportiert werden kann. Der Verfahrensschritt der Hydrierung findet nicht auf dem Schienenfahrzeug statt, sondern an Orten mit hohem Vorkommen an erneuerbaren Energien, wie z.B. bei schottischen Windparks oder äquatornahen Photovoltaikanlagen. Die weltweite Logistik des LOHCs geschieht in Tanks, Schiffen, LKWs und Umfüllstationen, die bereits für Dieselkraftstoffe genutzt werden, da diese mit nur geringen Modifikationen kompatibel sind. Das beladene Trägermedium kann anschließend in einen Tank des Schienenfahrzeugs gefüllt werden.
- *Verfahrensschritt der Dehydrierung:* Wird der Wasserstoff wieder benötigt, wird die nun hydrierte, wasserstoffreiche Form des LOHCs dehydriert, wobei der Wasserstoff wieder aus dem LOHC freigesetzt wird. Diese Reaktion ist endotherm und erfolgt bei erhöhten Temperaturen (250 - 320 °C) wieder in Gegenwart eines heterogenen Katalysators. Zur Steigerung der Effizienz sollte die im heißen, aus der Freisetzungseinheit austretenden, Stoffstrom enthaltene Wärme auf den kalten, in die Freisetzungseinheit eintretenden, Stoffstrom aus wasserstoffreichem LOHC übertragen werden, um den Energiebedarf für dessen Vorwärmung vor der Reaktion gering zu halten. Der Verfahrensschritt der

Session 5

Julian Kadar, Peter Wasserscheid, Lars Schnieder

Dehydrierung findet zusammen mit der Verstromung des freigesetzten Wasserstoffs in einer Brennstoffzelle auf dem Schienenfahrzeug statt.

Abbildung 1 zeigt den gesamten Verlauf der LOHC-Technologie von der Quelle der Energie inklusive Elektrolyse und Hydrierung bis hin zum Verbraucher inklusive Dehydrierung und Brennstoffzelle. Dabei ist auch der Kreislauf mit der Rückführung des LOHCs zur Quelle und die Wiederbeladung des LOHCs mit Wasserstoff verdeutlicht. Die Rückführung kann mit denselben Transportmitteln stattfinden, wie die Versorgung.

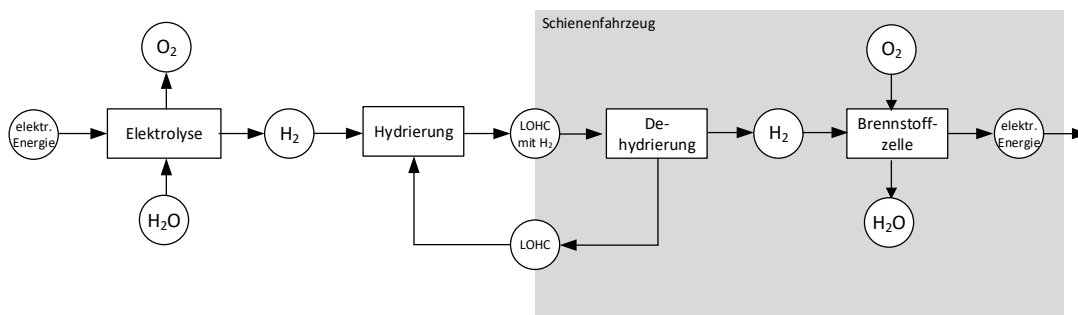


Abbildung 1: Schema eines LOHC-Verfahrens zur Speicherung und Wiederfreisetzung von elektrischer Energie für ein Schienenfahrzeug

Die LOHC-Technologie ermöglicht es, Energiequellen und Verbraucher sowohl zeitlich, als auch örtlich voneinander zu entkoppeln. Aufgrund der Kompatibilität aller LOHC-Komponenten zu Diesel-Tanks kann die bestehende Infrastruktur mit nur geringen Modifikationen weiter genutzt und so auch im Maßstab einer weltweiten Nutzung kostengünstig eine LOHC-Wasserstoff-Energieinfrastruktur aufgebaut werden. Diese erlaubt die Einbindung von Regionen mit hohem Potential für die Erzeugung von grünem Wasserstoff und dessen Nutzung z.B. im Schienenverkehr auf nicht elektrifizierten Strecken. Den Vergleich zu bereits weiter verbreiteten Wasserstoffspeichertechnologien, wie hochverdichtetem Wasserstoff oder tiefkalt verflüssigtem Wasserstoff (LH₂), aber auch lokal CO₂ emittierende Technologien, wie Methanol und Fischer-Tropsch-Diesel zieht Runge et.al. in einer im Jahr 2020 veröffentlichten Studie. Betrachtet wird die gesamte Wertschöpfungskette von der Erzeugung über die Wandlung zur Speicherung bis hin zur Verwertung. Sieben auf dem Globus verteilte Standorte, die sich für eine nachhaltige Erzeugung von Wasserstoff eignen, werden in die Studie einbezogen. Von diesen ausgehend werden die Aufwände für die gesamte Wertschöpfungskette von Erzeugung über Transport per Schiff und LKW bis hin zu den H₂-Tankstellen und der lokalen Kompression für die Befüllung von 700 bar-Fahrzeugen evaluiert. Für den

*Session 5**Julian Kadar, Peter Wasserscheid, Lars Schnieder*

Transport von LOHC können leicht modifizierte (e.g. Dichtungswerkstoffe an Pumpen und Ventilen) Tanklager, Tankschiffe und Tanklaster der bestehenden Diesel-Infrastruktur verwendet werden. Für LH₂ hingegen müssen spezielle Schiffe und LKW-Trailer, die sich insbesondere auf die Investitionskosten auswirken, gebaut werden. Der Vergleich zwischen diesen beiden Wasserstoffverteilungstechnologien und dem konventionellen Diesel wird anhand eines Anwendungsbeispiels gezogen: Ein LKW wird von der globalen Energiequelle bis hin zum durchschnittlichen Verbrauch über 100 km betrachtet. Während Diesel etwa 15 €/100 km kostet, werden für LOHC und LH₂ Kosten von gleichermaßen jeweils 28 bis 48 €/100 km fällig – maßgeblich abhängig von der Transportstrecke und dem Produktionsland. [8] Bei Verwendung der LOHC-Technologie könnte jedoch etwa ein Viertel der Kosten eingespart werden, wenn an Tankstellen das H₂ nicht für 700 bar Fahrzeuge komprimiert, sondern das LOHC direkt in Fahrzeuge getankt und das H₂ auf diesen drucklos freigesetzt und in Brennstoffzellen verstromt wird. Dieses Konzept soll, anhand eines Schienenfahrzeugs im Folgenden näher beleuchtet werden.

Vorteile der Anwendung des LOHC-Prinzips bei Schienenfahrzeugen

Das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie fördert die Erforschung und Entwicklung der Liquid-Organic-Hydrogen-Carrier (LOHC)-Technologie für den mobilen Einsatz am Beispiel der Schienenfahrzeugtechnik am Helmholtz-Institut Erlangen-Nürnberg. Das Fördervolumen beträgt insgesamt über 28 Mio. €. In dem Projekt geht es unter anderem darum, die Apparate, die für die Freisetzung des Wasserstoffs aus LOHC-Systemen benötigt werden, für mobile Anwendungen weiterzuentwickeln. Hierfür werden Erfahrungen, die in technischen Laboraufbauten gesammelt wurden, in verschiedenen Stufen zunächst in Laboraufbauten skaliert und entsprechend den Anforderungen für den Bahnbetrieb angepasst. Mit dem Einsatz der LOHC-Technologie in Schienenfahrzeugen eröffnen sich die folgenden Vorteile:

- Ermöglichen eines emissionsfreien Betriebs von Zügen auf nicht elektrifizierten Strecken.
- Verlängerung der Reichweite der von batterieelektrischen Fahrzeugen um ein Vielfaches.
- Vereinfachung der Logistik der Anlieferung und Betankung von Wasserstoff, dadurch, dass das störanfällige mechanische Verdichten des Wasserstoffs an den Tankstellen auf 700 bar umgangen wird. [9]

*Session 5**Julian Kadar, Peter Wasserscheid, Lars Schnieder*

Anordnung des LOHC-PowerPacks im Versuchsträger

Im Förderprojekt wird der LOHC-basierte Wasserstoffantrieb auf einem „Tender“ in Form eines LOHC-PowerPacks realisiert. Dieses versorgt im Zugverbund eine Lokomotive mit elektrischer Energie für die Traktion. Die Komponenten sind hierbei in ISO-Containern untergebracht. Dieser Ansatz hat die folgenden Vorteile:

- *Bereitstellung der Traktionsenergie an ein bereits zugelassenes Schienenfahrzeug:* Im Projekt wird ein bereits zugelassenes Schienenfahrzeug (Lokomotive) eingesetzt. Die zusätzlichen Komponenten für die Bereitstellung und Aufbereitung der Traktionsenergie befinden sich außerhalb des Schienenfahrzeugs in einem „Tender“. Hieraus ergeben sich lediglich für die Auslegung der Bereitstellung und Aufbereitung der Traktionsenergie durch das Projekt zu berücksichtigende Randbedingungen. Für das Schienenfahrzeug sind bereits im Rahmen der Zulassung erforderlichen Funktionsnachweise erbracht worden und bleiben unverändert erhalten.
- *Anordnung der Komponenten für die Bereitstellung und Aufbereitung der Traktionsenergie auf einem zugelassenen Güterwaggon („Tender“):* Im Projekt wird ein bereits zugelassener vierachsiger Containertragwagen verwendet. Für den zugelassenen Güterwaggon sind bereits im Rahmen der Zulassung alle nach erforderlichen Funktionsnachweise erbracht worden und bleiben unverändert erhalten.
- *Anordnung der technischen Aggregate in standardisierten Gehäusen (ISO-Container):* Damit kann auf genormte Großraumbehälter aus Stahl zurückgegriffen werden, die ein einfaches und schnelles Verladen, Befördern, Lagern und Entladen von Gütern bei der Bahn ermöglichen. Die Anordnung in Container ermöglicht auch einen flexiblen Übergang von der Laborumgebung auf den Versuchsträger für die praktische Erprobung im Bahnumfeld.

Abbildung 2 verdeutlicht das hier vorgestellte LOHC-PowerPack mit seinen Hauptkomponenten anhand einer 3D-Skizze. Hierbei sind die Tanks, die gesamte Verfahrenstechnik zur Freisetzung von Wasserstoff und dessen anschließende Verstromung übersichtlich dargestellt. Die einzelnen Hauptkomponenten werden nachfolgend in ihrem verfahrenstechnischen Zusammenhang beschrieben.

Session 5

Julian Kadar, Peter Wasserscheid, Lars Schnieder

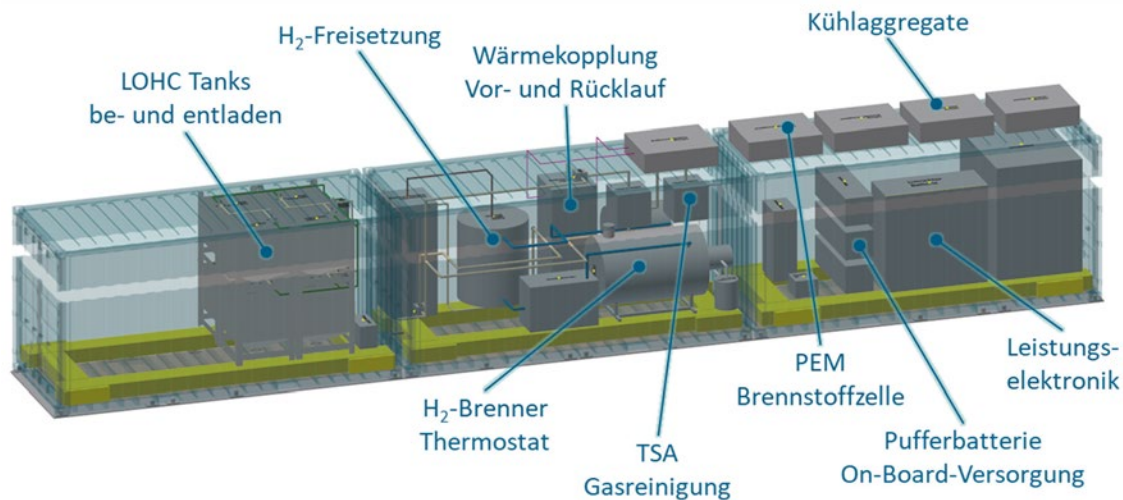


Abbildung 2: 3D-Skizze des LOHC-PowerPack

Der Container auf der linken Seite dient der *Traktionsenergiemitführung*. Das LOHC wird auf diesem Versuchsträger in herkömmlichen Edelstahl-IBC-Tanks mitgeführt, welche so miteinander verbunden sind, dass sie zunächst das beladene und später das entladene LOHC aufnehmen. Ziel dieser Baugruppe ist die emissionsfreie Übertragung und Speicherung der für den Betrieb des Schienenfahrzeugs erforderlichen Traktionsenergie im Rahmen spezifizierter Grenzen und im ausreichenden Maß. Die LOHC-Kapazität kann, je nach Anwendungsfall, durch die Anzahl der IBC-Tanks – unabhängig von der Leistung des Freisetzungssapparats – skaliert werden. In geplanten Demonstrator ist mit 6 m³ (entspricht knapp 6 Tonnen) LOHC ausreichend Energie für 8 Stunden Fahrbetrieb mit durchschnittlich 150 kW Traktionsleistung vorgesehen. Für die gleiche Kapazität müssten etwa 13 Flaschenbündel mit je 12x300 bar mitgeführt werden, welche in Summe etwa 19 m³ Volumen umfassen und etwa 19 Tonnen wiegen würden. [10] Im Gegensatz zu Gasflaschen für Wasserstoff sind die IBC-Tanks für LOHC drucklos gefüllt und sind aufgrund des hohen Flammpunkts und der hohen Zündtemperatur des verwendeten LOHC-Systems nicht entzündbar. Hieraus ergibt sich eine sichere Anwendung.

Der mittlere Container dient der *Traktionsenergiefreisetzung und -wandlung*. Hier wird der Wasserstoff mittels des oben beschriebenen Verfahrens in einer katalytischen Reaktion aus dem beladenem LOHC freigesetzt. Die für diese Wärme-verbrauchende Reaktion erforderliche Wärme wird direkt aus dem freigesetzten Wasserstoff entnommen

*Session 5**Julian Kadar, Peter Wasserscheid, Lars Schnieder*

und mit Hilfe eines Brenners über einen Thermalölkreis dem Wasserstoff-Freisetzungsprozess zugeführt. Der Apparat für die Wasserstofffreisetzung ist auf die Leistung der Brennstoffzelle abgestimmt, um diese im Fahrbetrieb durchgehend mit Wasserstoff versorgen zu können und eine Wandlung in elektrische Traktionsenergie sicherzustellen.

Der rechte Container dient der *Traktionsenergieanpassung*. Die aus der Brennstoffzelle freigesetzte elektrische Energie von 200 kW dient der Traktion der Lokomotive. Dafür wird das Spannungsniveau im LOHC-PowerPack an den Hochvolt-Zwischenkreis der Lokomotive angepasst und an diese übertragen. Ein kleiner Teil der Energie wird für die Versorgung der Steuerungstechnik an Bord des LOHC-PowerPacks entnommen und über Wechselrichter auf 230 V bzw. 400 V gewandelt.

Für den robusten Betrieb soll mit Kooperationspartnern neben der mechanischen Konstruktion und verfahrenstechnischen Auslegung auch eine ausgefeilte Steuer- und Regelungstechnik entwickelt werden. Der gesamte Antriebsstrang von LOHC-Tanks über LOHC-H₂-Freisetzer und H₂-Aufreinigung bis hin zu Brennstoffzelle und Spannungswandlern muss unter den besonderen technischen und betrieblichen Randbedingungen des Bahnbetriebs ausgelegt werden. Hierbei sind auch umfassende technische und (zulassungs-)rechtliche Anforderungen für die Integration flüssiger organischer Wasserstoffträger in Schienenfahrzeuge zu berücksichtigen.

Ausblick

Zukünftige Forschungsaktivitäten richten sich auch auf die Betrachtung der im Rahmen dieser Technologie erreichbaren Wirkungsgradkette. Die aktuell verfügbaren Werte beziehen sich nur auf einzelne Schritte im Labormaßstab und müssen im Zuge des Realbetriebs um Messungen zur Wärmekopplung und den Verbrauch der Anlagenperipherie ergänzt werden. Weiterhin wird an einer weiteren Optimierung der verfahrenstechnischen Abläufe geforscht und eine Verkleinerung bzw. Zusammenführung der einzelnen Geräte und Schritte beabsichtigt, so dass es im Zuge einer künftigen Industrialisierung möglich erscheint, die Komponenten des LOHC-PowerPacks in eine Lokomotive integrieren zu können.

Literatur

- [1] Daten und Fakten 2021 – Deutsche Bahn, <https://www.deutschebahn.com/resource/blob/7537106/7d38dfcb4de528171002c09ae29ba705/DuF2021-data.pdf>, 11.09.2022 11:32

Session 5

Julian Kadar, Peter Wasserscheid, Lars Schnieder

-
- [2] Allianz pro Schiene, <https://www.allianz-pro-schiene.de/themen/umwelt/elektromobilitaet/>, 11.09.2022 11:53
 - [3] Müller, K., Stark, K., Emel'yanenko, VN., Varfolomeev, MA., Zaitsau, DH., Shoifet, E., et al.. Liquid Organic Hydrogen Carriers: Thermophysical and Thermochemical Studies of Benzyl- and Dibenzyl-toluene Derivatives. *Ind Eng Chem Res* 2015;54:7967–76. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.5b01840>
 - [4] G. Do, P. Preuster, R. Aslam, A. Bösmann, K. Müller, W. Arlt and P. Wasserscheid. *React. Chem. Eng.*, 2016, 1, 313. <https://doi.org/10.1039/C5RE00080G>
 - [5] Jorschick, H., Preuster, P., Dürr, S., Seidel, A., Müller, K., Bösmann, A., et al.. Hydrogen storage using a hot pressure swing reactor. *Energy Environ Sci* 2017;10:1652–9. <https://doi.org/10.1039/C7EE00476A>.
 - [6] Zhang, X., He, N., Lin, L., Zhu, Q., Wang, G., Guo, H. Study of the carbon cycle of a hydrogen supply system over a supported Pt catalyst: methylcyclohexane–toluene–hydrogen cycle. *Catalysis Science & Technology* 2020;10:1171–81.
 - [7] Brückner, N., Obesser, K., Bösmann, A., Teichmann, D., Arlt, W., Dungs, J. and Wasserscheid, P. (2014), Evaluation of Industrially Applied Heat-Transfer Fluids as Liquid Organic Hydrogen Carrier Systems. *ChemSusChem*, 7: 229-235. <https://doi.org/10.1002/cssc.201300426>
 - [8] Runge, P., Sölch, C., Albert, J., Wasserscheid, P., Zöttl, G., Grimm, V. Economic comparison of electric fuels produced at excellent locations for renewable energies: A scenario for 2035. Available at SSRN 3623514 2020.
 - [9] https://h2-mobility.de/wp-content/uploads/2023/02/H2M_IAC-AnnualReport2022_2023-02-01.pdf
 - [10] Linde Wasserstoff 3.0 Produktdatenblatt (Stand 11.08.2016)

Session 5

Julian Kadar, Peter Wasserscheid, Lars Schnieder

Autoren



Dr.-Ing. Kadar, Julian

Teamleiter „Leistungsdichte Apparate für die stoffliche Wasserstoffspeicherung“

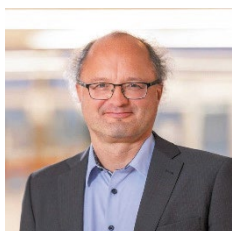
Helmholtz-Institut Erlangen-Nürnberg für Erneuerbare Energien (HI ERN)

Cauerstr. 1, 91058 Erlangen, Deutschland

Telefon: +49 151 46385620

E-Mail: j.kadar@fz-juelich.de

Webseite: www.hi-ern.de



Prof. Dr. Wasserscheid, Peter

Gründungsdirektor

Helmholtz-Institut Erlangen-Nürnberg für Erneuerbare Energien (HI ERN)

Cauerstr. 1, 91058 Erlangen, Deutschland

Telefon: +49 2461/61-4499

E-Mail: p.wasserscheid@fz-juelich.de

Webseite: www.hi-ern.de



Prof. Dr.-Ing. habil. Schnieder, Lars

Geschäftsführer (Chief Executive Officer, CEO)

ESE Engineering und Software-Entwicklung GmbH

Am Alten Bahnhof 16, 38122 Braunschweig, Deutschland

Telefon: +49 170 7712863

E-Mail: lars.schnieder@ese.de

Webseite: www.es.de