

# Forschungsperspektive:

Einsatz synthetischer Kraftstoffe in Industrie- und Gasmotoren

30. September 2021



## EE4InG

Energieeffizienz für Industrie  
und Gewerbe



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT



KIT  
Karlsruher Institut für Technologie

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

## **Projektleitung**

Prof. Dr.-Ing. Eberhard Abele

Jessica Walther

Technische Universität Darmstadt  
Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW)  
Eugen Kogon Straße 4  
64287 Darmstadt

Tel. + 49 (6151) 16 20478

Fax + 49 (6151) 16 20087

info@ptw.tu-darmstadt.de

## **Verfasser der vorliegenden Untersuchung:**

Prof. Dr.-Ing. Jörg Sauer (IKFT)

Philipp Haltenort (IKFT)

Prof. Dr.-Ing. Matthias Weigold (PTW)

Jessica Walther (PTW)

Kontakt:

Institut für Katalysatorforschung & -technologie (IKFT)

Hermann-von-Helmholtz-Platz 1

76344 Eggenstein-Leopoldshafen

+49 721 608-22401

[j.sauer@kit.edu](mailto:j.sauer@kit.edu)

Die Forschungsperspektive ist entstanden aus einem Fachgespräch mit Experten des Lehrstuhls für nachhaltige Mobile Antriebssysteme der TU München, des Instituts für Verbrennungskraftmaschinen und Fahrzeugantriebe der TU Darmstadt sowie der Arbeitsgemeinschaft Power-to-X for Applications des VDMA.

---

## Inhaltsverzeichnis

---

Inhaltsverzeichnis .....	3
Abbildungsverzeichnis .....	3
Abkürzungsverzeichnis .....	3
1. Einführung.....	1
2. Analyse zu Forschungsaktivitäten .....	1
3. Forschungsthemen .....	2
3.1. Systemische Effizienz .....	2
3.2. Infrastruktur und Verfügbarkeit .....	3
3.3. Applikationen.....	3
3.4. Optimierung der motorischen Performance .....	4
4. Zusammenfassung und Ausblick.....	5
Literaturverzeichnis.....	7

---

## Abbildungsverzeichnis

---

Abbildung 1: Ergebnis der bibliometrischen Analyse zu synthetischen Kraftstoffen in Scifinder. ....	1
---	---

---

## Abkürzungsverzeichnis

---

THG

Treibhausgas

---

## 1. Einführung

---

Synthetische Kraftstoffe sind gasförmige oder flüssige Energieträger, die aus Konversionsprozessen fossiler oder erneuerbarer Ressourcen hergestellt werden können (Cleveland 2006). Dabei liegt innerhalb der Prozessketten das intermediären Synthesegas, welches im Folgenden zu den gewünschten Produkten konvertiert wird. Ausgewählte synthetische Kraftstoffe gelten dabei als Drop-in-Lösung, da sie in ein bestehendes Kraftstoffsystem eingespeist werden können. Der Mechanismus der Treibhausgas (THG)-Minderung erfolgt dabei durch eine Substitution von fossilen Energieträgern. Für Biokraftstoffe (Biodiesel, Ethanol, Biogas) konnte dieser Effekte bereits im Mobilitätssektor demonstriert werden (Fritz et al. 2016).

---

## 2. Analyse zu Forschungsaktivitäten

---

Für den Bereich der Industrie- und Gasmotoren (im Umfeld von Industrie und Gewerbe) stellen synthetische Kraftstoffe eine Möglichkeit zur Reduzierung des THG-Ausstoßes dar. Neben der vorteilhaften Drop-in-Charakteristik ermöglichen einige synthetische Kraftstoffe jedoch auch Performancevorteile im Bereich ihrer Effizienz und Emissionscharakteristik (Damyanov et al. 2018; Gill et al. 2011; Härtl et al. 2017). Für das ehemalige Forschungsfeld Industrie- und Gasmotoren wird daher eine Perspektive für die gegenwärtigen Forschungsaktivitäten zu synthetischen Kraftstoffen entwickelt. Es erfolgt zunächst eine bibliometrische Analyse zu synthetischen Kraftstoffen. Die Recherche wurde auf *Scifinder.cas.org* durchgeführt und nutzte die Suchbegriffe *synthetic fuel*, *synfuel* und *e fuel als Oder-Verknüpfung*. Das Ergebnis dieser Recherche ist in Abbildung 1 dargestellt und zeigt die Anzahl der Publikationen von 2000 bis 2020 in grün sowie den Anteil der vielzitierten Publikationen (mehr als 10 Zitierungen) in blau. Die grüne Kurve indiziert dabei die generellen Forschungsaktivitäten. Die blaue Kurve zeigt an, ob die Publikationen auch aktiv gelesen und im Kontext weiterer Arbeiten behandelt werden. Dabei ist zu beachten, dass die vielzitierten Publikationen immer einen gewissen Nachlauf von 2 bis 3 Jahren zu den Publikationen haben. Dies ist ebenfalls mit beim Abflachen der Kurve in Abbildung 1 für die Jahre 2018 bis 2020 zu beachten.

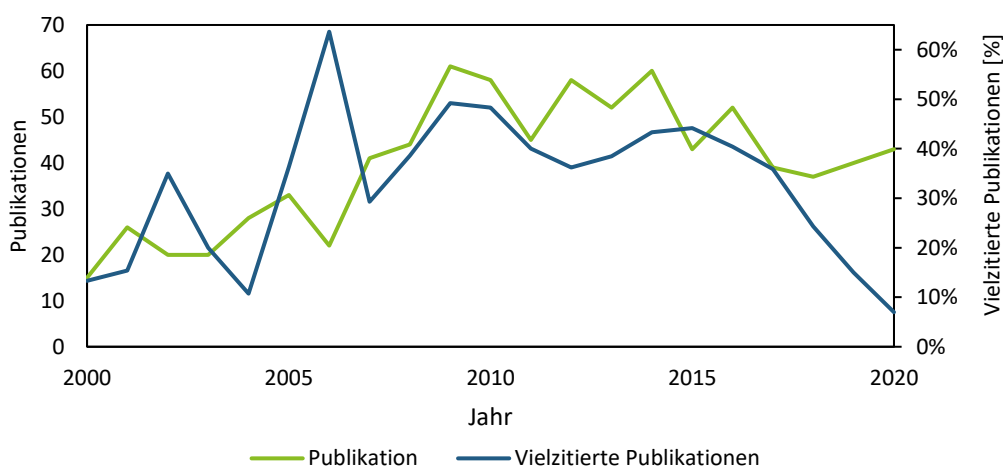


Abbildung 1: Ergebnis der bibliometrischen Analyse zu synthetischen Kraftstoffen in Scifinder.

Aus Abbildung 1 ist zu entnehmen, dass die Anzahl der jährlichen Publikationen von 2000 bis 2010 zugenommen hat. Seitdem werden jedes Jahr zwischen 40 bis 60 Fachartikel publiziert. Entsprechend der Zunahme an Publikationen erscheint die Anzahl der vielzitierten Publikationen zwischen 2000 und 2010 hochvolatil. Für den Zeitraum von 2010 bis 2018 kann dieser Anteil aber auf 35 bis 50 % abgeschätzt werden. Zu synthetischen Kraftstoffen bestehen daher folglich Forschungstätigkeiten. Dabei werden neue Erkenntnisse entwickelt und veröffentlicht. Gleichzeitig erfolgt eine aktive Auseinandersetzung mit den bereits publizierten Ergebnissen.

Zur Interpretation der bibliometrischen Analyse müssen jedoch einige Aspekte berücksichtigt werden. Zunächst unterscheiden sich synthetische Kraftstoffe hinsichtlich ihres molekularen Aufbaus voneinander. Hierdurch existiert eine große Anzahl von denkbaren Wertschöpfungsketten mit unterschiedlichen Herstellverfahren. Dabei führt auch der motorische Einsatz der verschiedenen Kraftstoffe zu spezifischen Vor- und Nachteilen. Synthetische Kraftstoffe sollten daher nicht pauschal betrachtet werden, sondern entsprechend ihrer individuellen Herstellung und motorischen Verbrennung. Weiterhin befinden sich zahlreiche Kraftstoffkonzepte noch im Bereich rein konzeptioneller Betrachtungen. Untersuchungen an diesen Konzepten zielen auf eine Kraftstoffnutzung ab, werden jedoch nicht direkt mit einem Einsatz als synthetische Kraftstoffe assoziiert. Es kann daher angenommen werden, dass die Suchbegriffe *synthetic fuel*, *synfuel* und *e fuel* nicht das gesamte Forschungsgeschehen aufgefasst haben. Die Analyse nach Abbildung 1 kann daher als grundsätzlicher Überblick verstanden werden.

---

### 3. Forschungsthemen

---

Der Betrieb von Industrie- und Gasmotoren mit synthetischen Kraftstoffen ist ein gegenwärtiger Forschungsgegenstand und wird durch unterschiedlichste Perspektiven in einer großen Anzahl von Applikationen betrachtet. Für eine Erfassung aktueller und relevanter Forschungsthemen erfolgten daher Experteninterviews. Hierbei wurden vier Hauptcluster für die Betrachtung des Einsatzes synthetischer Kraftstoffe identifiziert. Demnach stellt die **systemische Effizienz** einen wichtigen Aspekt dar. Hierbei werden die Ressourcennutzung, Prozessketten und die Antriebseffizienz unterschiedlicher technologischer Optionen auf der Mikroebene einer Applikation analysiert. Hinsichtlich der makroskopischen Betrachtung muss jedoch auch die notwendige **Infrastruktur und Verfügbarkeit** von Kraftstoffen berücksichtigt werden, da hierdurch die praktische Umsetzbarkeit einer Energieversorgung beeinflusst wird. Daraus ergeben sich **Applikationen**, in welchen verbrennungsmotorische Anwendungen über besondere Vorteile und Eigenschaften verfügen. Der Einsatz von synthetischen Kraftstoffen kann dann zur **Optimierung der Gesamtpformance** beitragen. Im Folgenden werden die einzelnen Cluster näher beschrieben.

#### 3.1. Systemische Effizienz

Die Gewinnung von erneuerbaren Ressourcen, deren Konvertierung zu Energieträgern und die Nutzung dieser in Industrie- und Gasmotoren ist vor dem Hintergrund eines möglichst effizienten Einsatzes von regenerativen Energien ein wichtiger Aspekt zukünftiger

Mobilitätslösungen. Es besteht daher ein starkes wissenschaftlichen Interesse hinsichtlich dieser Fragestellung (Schemme et al. 2020). Wird dabei ein Benchmarking gegenüber einer batterieelektrischen Mobilität durchgeführt, bestehen zumeist Nachteile verbrennungsmotorischer Systeme. Dies trifft im Besonderen zu, wenn neben dem motorischen Wirkungsgrad auch die Konversionsverluste einer Kraftstoffherstellung berücksichtigt werden. Dabei ist anzumerken, dass hinsichtlich der motorischen Performance bereits ein hohes Effizienzniveau erreicht wurde. Die dabei vorliegenden effektiven Wirkungsgrade von ca. 50% können durch inkrementelle Verbesserungen nur noch geringfügig gesteigert werden. Eine signifikante Erhöhung der effektiven Effizienz von Verbrennungsmotoren erscheint daher unwahrscheinlich.

### **3.2. Infrastruktur und Verfügbarkeit**

Eine infrastrukturelle Betrachtung zum Betrieb von Industrie- und Gasmotoren mit synthetischen Kraftstoffen muss aus zwei Perspektiven erfolgen. Zunächst kann ein motorischer Betrieb einen wichtigen Beitrag zur energetischen Versorgung beitragen und durch sein schnelles Laständerungsverhalten als Reserveaggregat oder als Flexibilisierungslösung genutzt werden. Hierdurch können wichtige Aufgaben innerhalb von Energieversorgungssystemen wahrgenommen werden. Eine weitere Betrachtungsebene stellt die Versorgung einer energietechnischen Einrichtung mit Energieträgern dar. Insbesondere flüssige Kraftstoffe besitzen hierbei Vorteile aufgrund ihrer guten Transport- und Lagerfähigkeit. Dabei muss berücksichtigt werden, dass im Bereich von Brenn- und Kraftstoffen große Unterschiede hinsichtlich der Spezifikation und Qualität in verschiedenen Ländern vorliegen. Mobile Systeme müssen daher in der Lage sein, mit verschiedenen Kraftstoffqualitäten zu funktionieren. Diese Herausforderung besteht dabei auch im Bereich der internationalen Schifffahrt des Verkehrssektors. Eine resiliente Performance stellt dabei einen wichtigen Vorteil motorischer Systeme dar. Hierdurch können Energieträger unterschiedlicher Qualitäten eingesetzt werden und ermöglichen eine Flexibilisierung der Energieversorgung. Für den Einsatz synthetischer Kraftstoffe stellt dies im Besonderen einen relevanten Vorteil dar, da hierdurch eine breite Spezifizierung möglich ist. Zudem stellen geringfügige Verunreinigungen durch Fremdatome (S, Cl, N) für Industriemotoren in dem Fall keine signifikante Beeinträchtigung ihrer Funktionsfähigkeit dar. Dabei müssen die nachgeschalteten Abgasbehandlungssysteme zwar angepasst werden, eine Beeinträchtigung der primären Funktion, wie Elektrodenvergiftungen von Brennstoffzellen, erfolgt jedoch nicht.

### **3.3. Applikationen**

Durch die flexible und robuste Charakteristik verbrennungsmotorischer Systeme werden trotz einer zunehmenden Relevanz der Elektrifizierung von Antriebssträngen weiterhin zahlreiche Anwendungen bestehen, welche auf die Verbrennung von Kraftstoffen zurückgreifen. Dies trifft beispielsweise auf den Bereich der Arbeits- und Transportmaschinen außerhalb des Verkehrssektors zu. Effizienzsteigerungen im motorischen Betrieb sind dabei nur geringfügig zu erwarten. Der Einsatz synthetischer Kraftstoffe aus nachhaltiger Herstellung kann jedoch die Treibhausgasemissionen des Maschinenbetriebs deutlich absenken. Aufgrund ihrer hohen Energiespeicherdichte erscheint dabei die Nutzung flüssiger Kraftstoffe vorteilhaft. Werden

dabei synthetische Kohlenwasserstoffe eingesetzt besteht i. d. R. nur eine geringfügige Veränderung der Handhabung und Infrastruktur. Für große Einzelverbraucher wie Schiffe oder stationäre Motoren wäre auch der Einsatz von kohlenstofffreien Energieträgern denkbar. Wasserstoff oder Ammoniak können hierbei eingesetzt werden, erfordern jedoch einen veränderten Antriebsstrang, Infrastruktur und abgestimmte Sicherheitseinrichtungen. Die Vermeidung entsprechender Umrüstungen ist hierbei eine Motivation für gezielte Untersuchungen zum Einsatz synthetischer Kraftstoffe in aktuellen Serienaggregaten. Diese Forschungsansätze zur Drop-in-Fähigkeit besitzen eine hohe Relevanz hinsichtlich der Investitionsintensität, mit welcher die Senkung von Treibhausgasemissionen verbunden ist. Dabei wird ermöglicht, bestehende motorische Systeme weiter zu verwenden und eine deutliche Emissionsminderung zu bewirken. Da dies auch für die Flottenentwicklung des Verkehrssektors eine hohe Relevanz besitzt, können gewonnene Erkenntnisse in vielfacher Hinsicht genutzt werden.

Es besteht neben der reinen Verwendbarkeit eines synthetischen Kraftstoffs auch die Notwendigkeit, motorische Optimierungen für dessen Einsatz durchzuführen. Dies trifft im Speziellen zu, wenn die Nutzung unterschiedlicher Kraftstoffe angestrebt wird. Multi-fuel-Systeme ermöglichen die gleichzeitige Nutzung verschiedener Kraftstoffe. Alternativ können Multi-fuel-Injektoren zur Einbringung verschiedener Kraftstoffe durch eine intelligente Adaption des Einspritzverhaltens genutzt werden. Beide Konzepte ermöglichen eine deutliche Flexibilisierung hinsichtlich des motorischen Betriebs. Weiterhin kann die Wahl des Kraftstoffs auch einen Einfluss auf die Emission lokal wirkender Schadstoffe besitzen. Der Einsatz von Oxygenatkraftstoffen wie den Oxymethyldimethylethern ermöglicht hierbei eine Reduzierung der motorischen Rußemissionen. Gleiches kann durch die Reduktion des Aromatenanteils in maßgeschneiderten Fischer-Tropsch- oder Methanol-to-Gasoline-Kraftstoffen bewirkt werden. Hierdurch stellen diese synthetischen Kraftstoffe interessante Alternativen für Applikationen dar, welche nur bedingt auf eine Abgasnachbehandlung zurückgreifen können. Dies trifft im Besonderen für Kleinmotoren in Handgeräten, Arbeitsmaschinen und mobilen Generatoren zu. Darüber hinaus kann der Aufwand der Schadstoffentfernung aus den Abgasen von synthetischen Kraftstoffen reduziert werden. Hierdurch besteht auch ein Effizienzpotenzial für die Gesamtbetrachtung des verbrennungsmotorischen Antriebsstrangs. Eine weitere Applikation mit dem Bezug zu einer effizienten Energienutzung besteht in der motorischen Verwertung von Prozessgasen als Alternative zur Verbrennung in Fackeln. Hierdurch kann eine kalorische Nutzung der Abgase erfolgen und die gesamtsystemische Effizienz gesteigert werden. Die zusätzliche Beimischung von synthetischen Kraftstoffen (z.B. als Zündöl) in diese Abgasverwertung ermöglicht dabei eine Stabilisierung des Brennverhaltens und eine Verminderung des Emissionsaufkommens, wodurch weitere Vorteile in der nachgeschalteten Abgasnachbehandlung resultieren.

### **3.4. Optimierung der motorischen Performance**

Die aufgezeigten Applikationen verdeutlichen, dass verbrennungsmotorische Systeme auch in Zukunft eine hohe Relevanz besitzen werden und vom Einsatz synthetischer Kraftstoffe profitieren können. Hierbei bestehen jedoch gegenwärtig Optimierungspotenziale und Ansätze, welche einen Beitrag zur industriellen Energieeffizienz leisten können. Demnach wären Forschungsvorhaben zur Ausweitung von Betriebsfenstern und deren Optimierung ein wichtiger Aspekt. Der verminderte Ausstoß von Schadstoffemissionen und die dadurch

realisierbaren Optimierungspotenziale im Bereich der Abgasnachbehandlung könnten neben einem Effizienzgewinn auch wichtige Beiträge im Bereich des Gesundheitsschutzes und der Investitionskostenreduktion bewirken. Dabei sollte auch die Perspektive der Kraftstoffherstellung berücksichtigt werden, um vorteilhafte Struktur-Wirkungs-Effekte und möglichst effiziente Syntheseverfahren zu erhalten. Werden neuartige chemische Verbindungen als potenzielle Kraftstoffe eingesetzt, ist die Untersuchung der Materialverträglichkeit ein zentraler Aspekt hinsichtlich der Drop-in-Fähigkeit. Auch die Nach- und Umrüstung von Motoren sollte eine Fragestellung der applikationsorientierten Forschung sein. Großmotoren verfügen über Betriebsdauern von bis zu 20 Jahren, werden dabei jedoch periodisch gewartet und überholt. Die Anpassung der motorischen Spezifikationen im Rahmen der bestehenden Wartungsintervalle könnten daher zur Abstimmung auf andere Einsatzstoffe genutzt werden. Dies würde eine Minderung der Treibhausgasemissionen durch die Zuführung nachhaltig hergestellter synthetischer Kraftstoffe ermöglichen. Dieser Ansatz könnte auch für den Bereich des Schiffverkehrs eine hohe Relevanz besitzen, da hierbei Aggregate in einem Dauerbetrieb über mehrere Jahre genutzt werden. Bereits geringfügige Effizienzsteigerungen könnten daher zu relevanten energetischen aber auch monetären Vorteilen führen. Darüber hinaus bestehen für neuartige Kraftstoffsysteme zahlreiche Anforderungen hinsichtlich ihrer Kraftstoffeigenschaften. Hierzu zählen die Viskositäten, Schmierfähigkeiten, Zünd- und Flammpunkte, aber auch Eigenschaften der Zündbeständigkeit bzw. der Klopfestigkeit. Die Untersuchung von synthetischen Kraftstoffen bezüglich ihrer physikochemischen Eigenschaften und Kraftstoffdaten stellt damit einen weiteren relevanten Forschungsgegenstand dar.

---

#### **4. Zusammenfassung und Ausblick**

---

Dieses Dokument skizziert die Vorteile, welche die Nutzung synthetischen Kraftstoffen im Bereich von Industrie- und Gasmotoren bewirken können. Aufgrund des breiten Anwendungsspektrums und der unterschiedlichen Kraftstoffkonzepte besteht dabei eine hohe technische Diversität. Die Identifikation geeigneter Kombinationen von Kraftstoff und Applikation kann daher bereits eine erste Herausforderung darstellen. Diese Fragestellung und die anschließende motorische Abstimmung für einen effizienten motorischen Betrieb sollten Gegenstand zukünftiger Forschungsvorhaben sein. Aus der Perspektive der Energieeffizienz in Industrie und Gewerbe muss dabei berücksichtigt werden, dass die Elektrifizierung und die Direktnutzung von Wasserstoff - sowohl im Verbrennungsmotor als auch in der Brennstoffzelle – in einigen Fällen denkbare Alternativen darstellen. Für verbrennungsmotorische Systeme bleibt jedoch der Vorteil der direkten und robusten Nutzung von flüssigen Kraftstoffen. Eine vollständige Substitution verbrennungsmotorischer Systeme erscheint aus applikationsspezifischen, infrastrukturellen oder versorgungstechnischen Aspekten unwahrscheinlich. Flüssige und gasförmige Kraftstoffe werden daher auch zukünftig für den Betrieb von Industriemotoren benötigt. Der Einsatz synthetischer Kraftstoffe kann in diesen Fällen zur Steigerung der systemischen Effizienz, der Reduzierung des Schadstoffausstoßes und der Absenkung der Treibhausgasemissionen beitragen. Bei vollständig nachhaltig erzeugten Kraftstoffen ist die THG-Reduktion auf gleichem Niveau wie bei batterieelektrischen Systemen. Wissenschaftliche Fragestellungen hinsichtlich dieser Aspekte sollten daher



weiterhin im Rahmen von Forschungsvorhaben im Bereich grundlegender Betrachtungen und der Applikationsforschung unterstützt und gefördert werden.

---

## Literaturverzeichnis

---

- Cleveland, C. J. (Ed.). (2006). *Dictionary of energy* (1st ed.). Amsterdam, Heidelberg: Elsevier.
- Damyantov, A., Hofmann, P., Geringer, B., Schwaiger, N., Pichler, T., & Siebenhofer, M. (2018). Biogenous ethers: production and operation in a diesel engine. *Automotive and Engine Technology*, 3, 69–82. doi:10.1007/s41104-018-0028-x.
- Fritz, D., Heinfellner, H., Lichtblau, G., Pölz, W., & Schodl, B. (2016). *Ökobilanz alternativer Antriebe: Fokus Elektrofahrzeuge* (Report / Umweltbundesamt, REP-0572). Wien: Umweltbundesamt GmbH.
- Gill, S. S., Tsolakis, A., Dearn, K. D., & Rodríguez-Fernández, J. (2011). Combustion characteristics and emissions of Fischer–Tropsch diesel fuels in IC engines. *Progress in Energy and Combustion Science*, 37, 503–523. doi:10.1016/j.pecs.2010.09.001.
- Härtl, M., Gaukel, K., Pélerin, D., & Wachtmeister, G. (2017). Oxymethylenether als potenziell CO<sub>2</sub>-neutraler Kraftstoff für saubere Dieselmotoren Teil 1: Motorenuntersuchungen. *MTZ - Motortechnische Zeitschrift*, 78, 52–59. doi:10.1007/s35146-016-0170-9.
- Lichtblau, G., Pölz, W., Sigrid, S., & Winter, R. *Ökobilanzen ausgewählter Biotreibstoffe: Erstellt im Rahmen des Projekts "Biotreibstoffe - Potentiale, Risiken, Zukunftsszenarien"* (Reports). Wien.  
<https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0360.pdf>. Accessed 26 July 2021 (besucht am 30.09.2021).
- Schemme, S., Breuer, J. L., Köller, M., Meschede, S., Walman, F., Samsun, R. C., et al. (2020). H<sub>2</sub>-based synthetic fuels: A techno-economic comparison of alcohol, ether and hydrocarbon production. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45, 5395–5414. doi:10.1016/j.ijhydene.2019.05.028.