

## „Potentiale von Oxymethylenether (OME) als Power-To-Liquid-Kraftstoff für saubere Dieselmotoren“

Masterarbeit von M.Sc. Maximilian Held an der Technischen Universität München

### Gesellschaftlicher Kontext

Nach drei Jahren Stagnation (2014-2016), sind im Jahre 2017 die globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Kraftstoffe auf 36,3 Gt CO<sub>2</sub> und 2018 auf ein Allzeithoch von 37,1 Gt CO<sub>2</sub> angestiegen.<sup>1-3</sup> Um die Erderwärmung auf 1,5°C zu begrenzen, verbleibt ab 2019 ein globales Emissionsbudget von 380 Gt CO<sub>2</sub>.<sup>4</sup> Mit der derzeitigen Emissionsrate ist dieses damit bereits in 10 Jahren aufgebraucht.

Der Transportsektor ist nicht nur für 20,9% der globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen verantwortlich<sup>5</sup>, seine Dekarbonisierung stellt zudem wegen der hohen geforderten Energiedichte in der mobilen Anwendung und wegen seines stetigen Nachfragewachstums eine der größten Herausforderungen der Energiewende dar.<sup>6-8</sup> Da deswegen im straßengebundenen Langstrecken- und Frachtverkehr und vor allem im Flug- und Schiffsverkehr die direkte Elektrifizierung (via Batterien) mittel- bis langfristig technologisch nicht möglich sein wird<sup>9-11</sup>, stellen erneuerbare Kraftstoffe eine Alternative zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Transportsektors dar. „Grüner“ Wasserstoff ist dabei die Grundlage aller synthetischen Kraftstoffe. Mitte Juli 2019 hat das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie dem Rechnung getragen. 20 „Reallaboren“ wurde eine Förderung zugesichert, v.a. zur industriellen Erprobung erneuerbarer Wasserstofftechnologien.<sup>12</sup> Über die „Global Alliance Powerfuels“ (initiiert durch die DENA) erhalten synthetische Kraftstoffe seit Ende 2018 auch globale Aufmerksamkeit.<sup>13</sup>

### Beitrag der Masterarbeit

Insbesondere *flüssige* synthetische Kraftstoffe bieten oft die einzige Dekarbonisierungsmöglichkeit in den genannten Sektoren. Da sie aus Wasser, CO<sub>2</sub> und erneuerbarem Strom hergestellt werden können, spricht man auch von Power-to-Liquid-Kraftstoffen (PtL). In der mit dem Nachhaltigkeitspreis der Selbach-Umweltstiftung ausgezeichneten Masterarbeit wurde das Potential des neuartigen Diesel-Kraftstoffs Oxymethylenether (OME) untersucht. OME kann nicht nur CO<sub>2</sub>-neutral hergestellt, sondern auch Ruß- und NO<sub>x</sub>-arm verbrannt werden. Während zu verbrennungsmotorischen Charakteristika von OME bereits Forschung betrieben wurde<sup>14-16</sup>, gab es in der Literatur keine umfassenden Angaben über den Wirkungsgrad der OME-Synthese. Die Masterarbeit schließt diese Lücke, indem sie alle verfahrenstechnischen Prozesse der Kraftstoffherstellung nach ihrem Energiebedarf und ihrer CO<sub>2</sub>-Bilanz analysiert. Dabei wird auch die Abscheidung von CO<sub>2</sub> aus Abgasen und aus der Luft mitberücksichtigt („carbon capture“).

Zur Einordnung von OME in den Gesamtkontext synthetischer Kraftstoffe zieht die Masterarbeit einen transparenten Vergleich zu dessen „Power-to-Fuel“ (PtF) Wirkungsgraden. Bei derzeitigen Elektrolyse-wirkungsgraden von 60% liegt der PtF-Wirkungsgrad für Methan, e-Diesel und Co. zwischen 40 und 49%. Mit 36% rangiert der PtF-Wirkungsgrad von OME zwar darunter, doch bietet er das thermodynamische Potential, alle anderen genannten Kraftstoffe in ihrer energetischen Effizienz zu übertreffen. Entkoppelt vom Elektrolysewirkungsgrad, weisen die Konkurrenten einen maximalen „Hydrogen-To-Fuel“ (HtF) Wirkungsgrad von 80-89% auf, während die Produktion von OME mit 92% darüber liegt.<sup>17,18</sup> Zusätzlich hat OME das Potential, durch seine Ruß- und NO<sub>x</sub>-arme Verbrennung die gesundheitsgefährdende Stickstoffoxid- und Feinstaub-Belastung in Großstädten<sup>19,20</sup> zu beheben.

### Wissenschaftliche Relevanz der Masterarbeit

Die Ergebnisse der Masterarbeit wurden im Januar 2019 im renommierten wissenschaftlichen Journal „Energy & Environmental Science“ veröffentlicht (Impact Factor 30,067), siehe Held et al. (2019)<sup>17</sup>. Die indirekte Elektrifizierung durch erneuerbare Kraftstoffe wie OME stellt neben der direkten Elektrifizierung von Fahrzeugen einen notwendigen Pfad zur effizienten und schnellen Dekarbonisierung des Transportsektors und damit zu effektivem Klimaschutz dar. Die Masterarbeit leistet einen Beitrag zu einer zielgerichteten und systematischen Forschung an alternativen, erneuerbaren Kraftstoffen.

## Referenzen

1. Tollefson, J. Global industrial carbon emissions to reach all-time high in 2018. *Nature* (2018). doi:10.1038/d41586-018-07666-6
2. UNEP. *Emissions Gap Report 2018*. (United Nations Environment Programme, 2018).
3. Le Quéré, C. et al. Global Carbon Budget 2018. *Earth Syst. Sci. Data* **10**, 2141–2194 (2018).
4. IPCC. *Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change*. (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2018).
5. Janssens-Maenhout, G., Crippa, M., Guizzardi, D., Muntean, M., Schaaf, E., Olivier, J.G.J., Peters, J.A.H.W., Schure, K. M. *Fossil CO<sub>2</sub> and GHG emissions of all world countries: EDGAR's Global Fossil CO<sub>2</sub> Emissions from 1990 to 2016 (EDGARv4.3.2\_FT2016 dataset)*. (Publications Office of the European Union, 2017). doi:10.2760/709792
6. OECD/ITF. *ITF Transport Outlook 2017*. (OECD, 2017). doi:10.1787/9789282108000-en
7. Held, M. et al. Current challenges for sustainable product development in the German automotive sector: A survey based status assessment. *J. Clean. Prod.* **195**, 869–889 (2018).
8. Held, M. et al. Future mobility demand estimation based on sociodemographic information: A data-driven approach using machine learning algorithms. *Swiss Transp. Res. Conf.* (2018). doi:https://www.research-collection.ethz.ch/handle/20.500.11850/266653
9. Witkamp, B., van Gijlswijk, R., Bolech, M., Coosemans, T. & Hooftman, N. *The transition to a Zero Emission Vehicles fleet for cars in the EU by 2050 Pathways and impacts: An evaluation of forecasts and backcasting the COP21 commitments*. (European Alternative Fuels Observatory, 2017).
10. Nykvist, B. & Nilsson, M. Rapidly falling costs of battery packs for electric vehicles. *Nat. Clim. Chang.* **5**, 329–332 (2015).
11. Schmidt, O., Hawkes, A., Gambhir, A. & Staffell, I. The future cost of electrical energy storage based on experience rates. *Nat. Energy* **2**, 17110 (2017).
12. BMWI. Altmaier verkündet Gewinner im Ideenwettbewerb ‚Reallabore der Energiewende‘: „Wir wollen bei Wasserstofftechnologien die Nummer 1 in der Welt werden“. *Pressemitteilung* (2019).
13. DENA. Global Alliance Powerfuels legt Leitlinien für Marktentwicklung vor. *Pressemitteilung* (2019).
14. Härtl, M., Gaukel, K., Pélerin, D. & Wachtmeister, G. Oxymethylene Ether as Potentially CO<sub>2</sub>-neutral Fuel for Clean Diesel Engines Part 1: Engine Testing. *MTZ Worldw.* **78**, 52–59 (2017).
15. Pélerin, D., Gaukel, K., Härtl, M. & Wachtmeister, G. Simplifying of the Fuel Injection System and lowest Emissions with the alternative Diesel Fuel Oxymethylene Ether. in *16th Conference: The Working Process of the Internal Combustion Engine* (Graz University of Technology, 2017).
16. Härtl, M., Seidenspinner, P., Jacob, E. & Wachtmeister, G. Oxygenate screening on a heavy-duty diesel engine and emission characteristics of highly oxygenated oxymethylene ether fuel OME1. *Fuel* **153**, 328–335 (2015).
17. Held, M. et al. On the energetic efficiency of producing polyoxymethylene dimethyl ethers from CO<sub>2</sub> using electrical energy. *Energy Environ. Sci.* **12**, 1019–1034 (2019).
18. Tönges, Y., Held, M., Härtl, M., Wachtmeister, G. & Burger, J. Increasing the energy efficiency in the production of OME fuels by using water-tolerant synthesis routes. *Chemie Ing. Tech.* **90**, 1180–1180 (2018).
19. Süddeutsche Zeitung. Ein Gesundheitsproblem, das jeden betrifft. 23.01.2019 (2019). Available at: <https://www.sueddeutsche.de/gesundheit/feinstaub-stickoxid-grenzwerte-1.4299418>.
20. Regierung von Oberbayern. *Luftreinhalteplan für die Stadt München - 6. Fortschreibung*. (2015).