

Ermittlung europaweiter Kraftstoffbedarfe für den Flugverkehr sowie für die Containerschifffahrt mit einem Wirtschaftlichkeitsvergleich CO₂-neutraler Schiffsantriebe

Christoph Zink, Fraunhofer Institut IEE, Kassel
Christoph.Zink@iee.fraunhofer.de

Keywords: CO₂-Recycling, Powerfuels, Decarbonisation

1 Motivation und Hintergrund

Um einer Klimakatastrophe entgegenzuwirken, wurde die Senkung des Ausstoßes von Treibhausgasen von den Vereinten Nationen als Ziel beschlossen. Für eine erfolgreiche Energiewende ist es nötig die Energieversorgung aller Sektoren möglichst CO₂-neutral zu gestalten. In vielen Bereichen ist es sinnvoll eine direktelektrifizierung zu realisieren. In Verbindung mit regenerativ erzeugtem Strom können somit klimafreundliche Lösungskonzepte, beispielsweise im Bereich des PKW-Verkehrs durch Elektrofahrzeuge oder der Wärmebereitstellung im Eigenheim durch Wärmepumpen umgesetzt werden. Da es jedoch Bereiche gibt, bei denen eine Elektrifizierung nach aktuellen Stand der Technik in naher Zukunft nicht umsetzbar sind, können für die Substituierung von fossilen Kraftstoffen grüner Wasserstoff oder weitere Wandlungsprodukte verwendet werden. Im Fokus steht hierbei vor allem der internationale Transportsektor.

Um die Seeschifffahrt zu dekarbonisieren, werden in der aktuellen Diskussion viele unterschiedliche Alternativen zur herkömmlichen Antriebstechnik untersucht. Neben dem Wechsel des Treibstoffs werden ebenfalls neuartige Energiewandlungssysteme diskutiert. Kraftstoffseitig stehen unter anderem die Verwendung von regenerativem Wasserstoff, Ammoniak, Methanol, FT-Kraftstoff oder Methan zur Diskussion. Für die Wandlung werden herkömmliche Kolbenmotoren, Turbinen oder Brennstoffzellen betrachtet. Alle Pfade haben gemeinsam, dass für die Umsetzung technische und/oder wirtschaftliche Hürden zu überwinden sind. Ein großes Teilproblem stellt bei der Verwendung von regenerativ und auf Kohlenstoff basierenden Kraftstoffen, wie beispielsweise Methanol oder Fischer-Tropsch-Kraftstoff die Bereitstellung des für die Produktion notwendigen CO₂ bzw. Kohlenstoffs dar. In wissenschaftlichen Studien werden hierfür kurzfristig vor allem die Verwendung von Punktquellen, also CO₂ aus nicht substituierbaren industriellen Prozessen und langfristig größtenteils die Verwendung von Direct-Air-Capture Anlagen vorgesehen [1]. Diese scheiden CO₂ aus der Umgebungsluft ab und stellen diese für die PtX-Produktion bereit. Aufgrund der geringen CO₂-Konzentration in der Umgebungsluft führt die erforderliche Luftvolumenbewegung sowie der Bedarf an verfahrenstechnische Prozessenergie jedoch zu zusätzlichen anfallenden Energiebedarfen und Investitionskosten.

Ein weiterer Ansatz für die Lösung des CO₂-Quellenproblem wurde durch den Verfasser dieser Masterarbeit mitentwickelt und wird im Folgenden kurz, vorgestellt. Im Jahr 2019 wurde am Fraunhofer Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik, kurz Fraunhofer IEE, ein Dekarbonisierungskonzept zum Einsatz in der Containerschifffahrt entwickelt. Das Power-to-Cycle-Engine (P2CE) – Konzept (Abbildung 1) sieht die Verwendung von synthetisch hergestellten Kohlenwasserstoffen als Treibstoff sowie eine effiziente CO₂-Abscheidung an Bord des Schiffes vor. Das so gewonnene CO₂ kann in einem zweiten Teilsystem zur Herstellung von synthetischen Kraftstoffen wiederverwendet werden. Dadurch entfällt die zur Erzeugung der Kohlenwasserstoffe notwendige CO₂-Quelle. Die Technologie befindet sich noch im Entwicklungsstadium. Genauere Details können in der Offenlegungsschrift nachgeschlagen werden [2]. Wie auch bei den anderen Technologien zur Dekarbonisierung der Seeschifffahrt ergeben sich einige Vor- aber auch Nachteile. Neben der Entwicklung sowie dem Aufbau einer Infrastruktur, welche die Verarbeitung, Handhabung sowie Lagerung von flüssigem CO₂ sowie O₂ vorsieht, müssen ebenfalls eine Verdrängung transportieren Waren an Bord durch die Mitnahme der Flüssiggase in Kauf genommen werden. Hiergegen steht, dass Teile der konventionellen Antriebstechnik verwendet werden können ohne dabei abhängig von der Entwicklung der DAC-Technologie zu sein. An dieser Stelle ist zu erwähnen, dass die verfahrenstechnische Machbarkeit bis zu diesem Zeitpunkt noch nicht vollständig untersucht werden konnte. Die Forschung in diesem Bereich hält an.

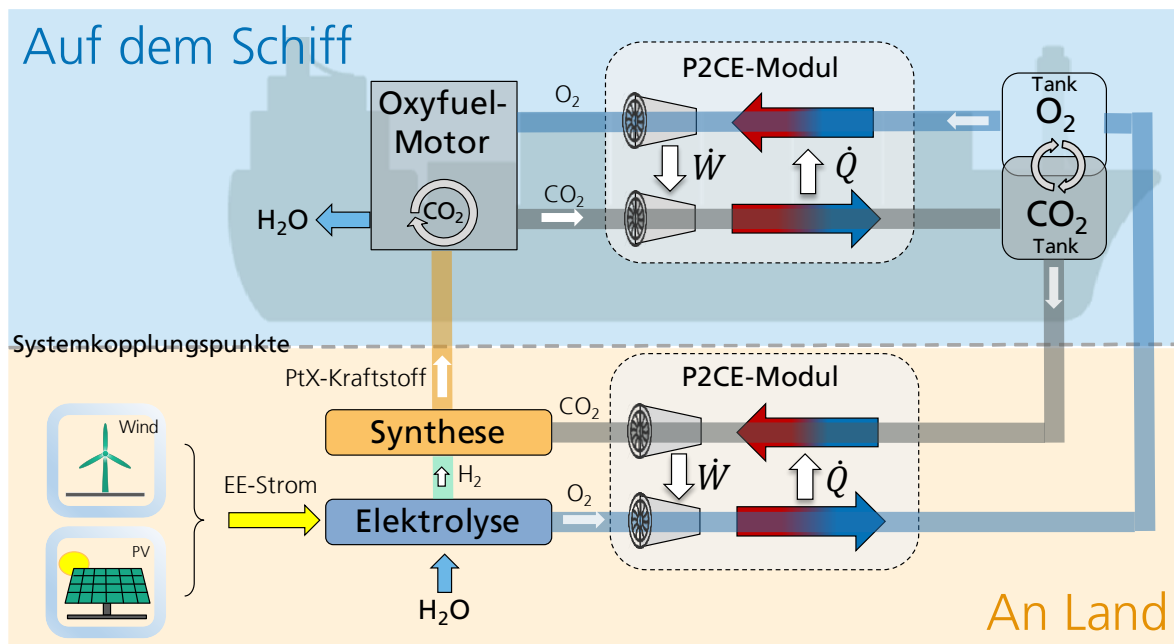


Abbildung 1: Power-to-Cycle-Engine-Konzept

2 Methodik

Die Wirtschaftlichkeit dieser neuen Erfindung zu berechnen und in einem theoretischen Modell anderen Techniken gegenüberzustellen, scheint auf den ersten Blick trivial. Wie in anderen techno-ökonomischen Studien müssen Investitionen sowie laufende Kosten einem Nutzen gegenübergestellt werden [2]. Im Fall eines Containerschiffs kann dieser auf eine genormte logistische Dienstleistung (Tonnenkilometer – tkm) bezogen werden. Da die P2CE-Technologie vorsieht den für die Verbrennung notwendigen Sauerstoff auf dem Schiff mitzuführen und das Kohlenstoffdioxid als Verbrennungsprodukt an Bord abzuspeichern, ergeben sich hieraus jedoch mehrere Herausforderungen für die Erstellung einer Wirtschaftlichkeitsberechnung. Zum einen muss die Ortsabhängigkeit der Kraftstoffproduktion berücksichtigt werden. Die Wirtschaftlichkeit der Produktion von PtX-Kraftstoff auf Basis von Wind- und Sonnenenergie ist abhängig von regionalen Gegebenheiten. Zwar können die synthetischen Energieträger an die üblichen Übergabestationen transportiert werden, jedoch ergibt sich im Falle der P2CE-Technologie eine Ortsabhängigkeit der Kraftstoffwertschöpfung. Durch die zusätzliche Überführung der Oxidationsmittel (Sauerstoff) sowie dem Kraftstoffproduktionsedukt (Kohlenstoffdioxid) für die Synthese muss die Übergabe am Produktionsstandort erfolgen. Zum anderen werden wie bereits beschrieben durch die Lagerung der Flüssiggase an Bord die transportierbaren Waren verdrängt. Die Lagertanks stehen folglich in betriebswirtschaftlicher Konkurrenz zu den verbleibenden Containern an Bord. Gegenläufig erfolgen bei der Wahl eines zu kleinen Kraftstoff bzw. O₂/CO₂-Tanks erhöhte Zeitverluste infolge häufig aufeinanderfolgender Betankungsvorgänge. Um diese Probleme zu lösen, wurden die Zeitpläne von 384 Containerschiffen mit Ladekapazitäten über 10.000 TEU (twenty-foot-unit) analysiert und einem internationalen Verkehrsnetz zugeordnet sowie in einem Fahrtenmodell über einen Zeitraum von einem Jahr fortgepflanzt. Die betrachteten Schiffe umfassen etwa 23,2 % der globalen Containerkapazität.

Mit Hilfe des Modells lassen sich die Treibstoffbedarfe der Containerschiffe ortsgenau bestimmen. In Verbindung mit gewählten PtX-Produktionsstandorten kann eine kostenoptimale Betankungsstrategie der einzelnen Schiffe abgeleitet und eine Optimierung der Kraftstofftankgröße erreicht werden. Um einen Vergleich mit der DAC basierten Kraftstoffbereitstellung zu realisieren wurden neben der Verwendung betriebswirtschaftlichen Vergleichszahlen weiterführende Faktoren, welche Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit unter realen Bedingungen haben, identifiziert und im Berechnungsmodell berücksichtigt. Dieses Vorgehen wird durch eine neuartige Methodik zur Quantifizierung der Leistungsfähigkeit von DAC-Anlagen in Abhängigkeit von Umweltbedingungen, unter Verwendung von hochaufgelösten Wetterdaten umgesetzt.

3 Resume

Durch einen techno-ökonomischen Vergleich mit dem Produktionspfad von PtX-Kraftstoffen, welcher mittels der DAC-Technologie CO₂ für die Produktion von Kohlenwasserstoffen bereitstellt, konnte eine wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit der P2CE-Technologie bestätigt werden, siehe Abbildung 2.

Diese Masterarbeit soll nicht nur die durch den Autor erfundene Technologie als möglichen Lösungsweg für die Dekarbonisierung der Seeschifffahrt unter der Verwendung von PtX-Produkten wie Methan, Methanol oder Fischer-Tropsch-Kraftstoff aufzeigen, sondern viel mehr auf die Möglichkeit eines CO₂-Recyclings innerhalb einer Kraftstoffwertschöpfungskette aufmerksam machen. Des Weiteren soll auf den enormen Forschungsbedarf im Bereich der techno-ökonomischen Analyse der CO₂-Bereitstellung innerhalb der Wertschöpfungskette der PtX-Produktion hingewiesen werden. Aktuelle Studien postulieren lediglich die Möglichkeit, industrielle Punktquellen sowie die DAC-Technologie als großtechnische CO₂-Quelle für die auf Kohlenstoff basierenden PtX-Produkte, zu verwenden. Den vorgenommenen Berechnungen der Kraftstoffkosten, liegen in einem frühen Entwicklungsstadium der DAC-Technologie optimistische Lernraten sowie ein enormer Ausbau zugrunde. Zudem werden umweltbedingte Leistungseinbußen in diesen Untersuchungen nicht betrachtet [1, 5].

Die Produktionskostenentwicklung von PtX-Kraftstoffen in Langfristszenarien, welche beispielsweise auf das Jahr 2050 abzielen, sind von der Entwicklung der Leistungsfähigkeit sowie der rückläufigen Investitionskosten des Produktionsparks abhängig. Sollte sich im Rahmen der Dekarbonisierung des internationalen Transportsektors voreilig auf einem Technologiepfad beschränkt werden, bleibt spannend zu abzuwarten ob sich die Wirtschaftlichkeit der gewählten Technologie so entwickelt wie prognostiziert.

4 Literatur

- [1] Ram M., Galimova T., Bogdanov D., Fasihi M., Gulagi, „Powerfuels in a Renewable Energy World - Global volumes, costs, and trading 2030 to 2050“, Lappeenranta, Berlin, 2020.
- [2] S. Horvath, M. Fasihi und C. Breyer, „Techno-economic analysis of a decarbonized shipping sector: Technology suggestions for a fleet in 2030 and 2040“, *Energy Conversion and Management*, Jg. 164, S. 230–241, 2018, doi: 10.1016/j.enconman.2018.02.098.
- [3] Zink C., Pfennig M., Eschmann J., WO2021083897, 2019, [online] verfügbar unter: <https://patentscope.wipo.int/search/de/detail.jsf?docId=WO2021083897&tab=PCTBIBLIO>
- [4] S. e. a. Kreidelmeyer, „Kosten und Transformationspfade für strombasierte Energieträger“, 2020. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/Studien/transformationspfade-fuer-strombasierte-energetraeger.pdf?__blob=publicationFile

5 Anhang

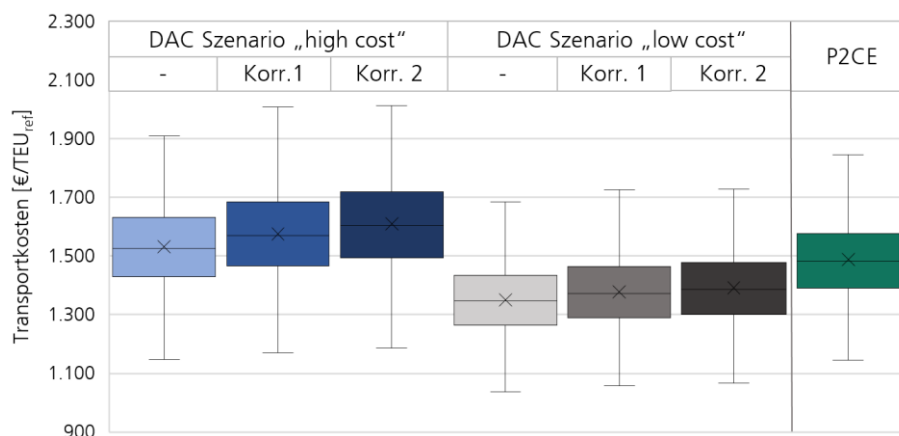


Abbildung 2: Referenzierte Transportkosten von Containerschiffen für das Jahr 2030