

Ökonomische und ökologische Analyse des grünen Wasserstoffs: Wann lohnen sich mobile Anwendungen mit klimaneutral herge- stelltem H₂? (Masterarbeit)

Autor: Max Hackelbörger
Erstprüfer: Univ.-Prof. Dr.-Ing Aaron Praktiknjo
Betreuung: Christina Kockel, M. Sc.

Kurzfassung

Zunehmend schärfere gesetzliche Vorgaben zur Einhaltung der Klimaschutzziele erfordern einen weltweiten Ausbau der Erneuerbaren Energien. Dabei wird die Einbindung fluktuierender Energiequellen wie Windkraft und Solarenergie in das Energiesystem zu einer der zentralen Herausforderungen. Um das zeitlich und statistisch stark schwankende Stromangebot der erneuerbaren Energien zu puffern und diese zu speichern, wird grüner Wasserstoff in den drei Energiesektoren Wärme, Strom und Mobilität zukünftig eine Schlüsselrolle einnehmen. Speziell bei der Dekarbonisierung des Mobilitätssektors bietet grüner Wasserstoff in Kombination mit einem Brennstoffzellenantrieb einen ökonomisch und ökologisch vielversprechenden Lösungsansatz.

Das Ziel dieser Arbeit besteht darin, eine ganzheitliche Analyse von grünem Wasserstoff durchzuführen und dabei zukünftig relevante Wasserstoffanwendungen im Mobilitätssektor zu identifizieren. Weiterhin soll die Rolle von grünem Wasserstoff in der Mobilitätswende anhand von ökonomischen und ökologischen Auswirkungen bewertet werden.

Um diese Ziele zu erreichen, wurden in einem ersten Schritt Technologiepfade einer grünen Wasserstoffwirtschaft identifiziert. Weiterhin wurden Herausforderungen sowie Rahmenbedingungen für den Aufbau einer solchen Wasserstoffwirtschaft aufgezeigt. In einem zweiten Schritt wurde ein Modell zur ganzheitlichen Analyse und Bewertung von grünem Wasserstoff in brennstoffzellenbetriebenen LKW entwickelt. Dazu wurde die ökologische Modellierung in Form einer Cradle-to-Cradle-Ökobilanz und die ökonomische Modellierung mit Hilfe der Annuitätenmethode und eines TCO-Ansatzes durchgeführt.

In einer Szenarioanalyse wurden ein kurzfristiges Szenario 2025, ein mittelfristiges Szenario 2030 und ein langfristiges Szenario 2030+ definiert. Mit Hilfe von Sensitivitätsanalysen wurden die Parameter mit dem stärksten ökonomischen und ökologischen Einfluss identifiziert und in Form von Szenariobändern in den Szenarien variiert. Die ökonomischen und ökologischen Ergebnisse der Szenarioanalyse wurden in CO₂-Vermeidungskosten gegenüber Diesel-LKW als Referenztechnologie überführt. Dabei hat sich gezeigt, dass grüner Wasserstoff in Brennstoffzellen-LKW in allen Szenarien ökologische Vorteile bietet. In dem kurz- und mittelfristigen Szenario wurden jedoch Mehrkosten in Höhe von 150 % - 200 % gegenüber Diesel-LKW ermittelt. Erst im langfristigen Szenario kommt es zur Kostenparität. Durch Investitions- und Betriebskostenförderungen kann die Kostenparität bereits im mittelfristigen Szenario erreicht werden.

Abstract

More stringent legal requirements to comply with climate protection goals require a worldwide expansion of renewable energies. In this context, the integration of fluctuating energy sources such as wind power and solar energy into the energy system is becoming one of the central challenges. To buffer the temporally and statistically highly fluctuating electricity supply from renewable energies and to store them, green hydrogen will take on a key role in the three energy sectors of heat, electricity and mobility in the future. Especially in the decarbonisation of the mobility sector, green hydrogen in combination with a fuel cell powertrain offers an economically and ecologically promising solution approach.

The aim of this master thesis is to conduct a holistic analysis of green hydrogen and thereby identify future relevant hydrogen applications in the mobility sector. Furthermore, the role of green hydrogen in the mobility transition will be evaluated based on economic and ecological effects.

To achieve these goals, the first step was to identify technology paths of a green hydrogen economy. Furthermore, challenges and framework conditions for the development of such a hydrogen economy were highlighted. In a second step, a model was developed for the holistic analysis and evaluation of green hydrogen in fuel cell-powered trucks. For this purpose, the ecological modelling was carried out in the form of a cradle-to-cradle life cycle assessment and the economic modelling with the help of a TCO approach.

In a scenario analysis, a short-term scenario 2025, a medium-term scenario 2030 and a long-term scenario 2030+ were defined. With the help of sensitivity analyses, the parameters with the strongest economic and ecological influence were identified and varied in the scenarios in the form of scenario bands. The economic and ecological results of the scenario analysis were converted into CO₂ avoidance costs compared to a diesel truck as a reference technology. It has been shown that green hydrogen in a fuel cell truck offers ecological advantages in all scenarios. However, in the short- and medium-term scenario, additional costs of 150 % - 200 % were calculated compared to the diesel truck. Only in the long-term scenario does cost parity occur. Due to investment and operating cost subsidies, cost parity can already be achieved in the medium-term scenario.