

Nachhaltiges Konzept zur dezentralen Wasserstoffproduktion

Sustainable Solution for Decentralised Hydrogen Production

Viktor Hacker, Sebastian Bock, Robert Zacharias

Die zukünftige Nutzung von Wasserstoff in Brennstoffzellenanwendungen wird von der flächendeckenden Verfügbarkeit von nachhaltig produziertem Wasserstoff abhängen. Zur dezentralen Erzeugung von Wasserstoff aus lokal verfügbaren Ressourcen wurde ein Verfahren zur kombinierten Wasserstoffproduktion und -reinigung entwickelt. Im Mai wurde die Forschung mit dem Houskapreis für wirtschaftsnahen Forschung prämiert.

Brennstoffzellensysteme erzeugen hocheffizient und mit niedrigen oder ohne Emissionen elektrische Energie und Wärme. Der Wirkungsgrad von Brennstoffzellen ist weitgehend von der Baugröße unabhängig. Daher bietet diese Technologie auch die Möglichkeit, dezentral – vor Ort beim Kunden bzw. bei der Kundin – elektrischen Strom mit erneuerbaren Energieträgern (zum Beispiel Biogas) herzustellen.

Brennstoffzellenfahrzeuge und auch Brennstoffzellenkraftwerke zur Hausenergieversorgung werden mit Wasserstoff betrieben. Die Nachhaltigkeit und die Umweltbelastung durch die Stromerzeugung werden maßgeblich durch den Primärenergieträger zur Produktion von Wasserstoff beeinflusst. Gegenwärtig werden mehr als 90 Prozent des weltweiten Wasserstoffbedarfs durch die Umwandlung fossiler Rohstoffe gedeckt, wodurch der Ausstoß des klimaschädlichen Kohlendioxids nicht unterbunden, sondern nur an die Produktionsstätte von Wasserstoff verlagert wird. Lange Transportwege von zentralen Produktionsanlagen zum Anwender bzw. zur Anwenderin in Kombination mit der vergleichsweise geringen Speicherdichte von Wasserstoffspeichern verlangen nach neuen, innovativen Lösungen.

Chemical-Looping Hydrogen

Schon im 19. Jahrhundert wurde der Eisen-Dampf-Prozess patentiert und zur Erzeugung von Wasserstoff für Luftschiffe eingesetzt. Aus diesem >

The dimension of hydrogen utilisation in future fuel-cell applications largely depends on the widespread availability of hydrogen produced from renewable resources. A process to use local available renewables for decentralised hydrogen production on-site was invented at TU Graz. This combined hydrogen production and purification method was honoured with the Houska award in May 2017 for industry-related research.

Fuel-cell systems produce electrical power and heat in a highly efficient system with or without minor direct harmful emissions. The efficiency of fuel-cells does not depend on the stack size, and for this reason hydrogen is proposed as energy carrier for the on-site allocation of electrical energy from renewable primary energy sources.

Fuel-cell electric vehicles (FCEV) and fuel-cell power stations for home use are possible applications which make use of hydrogen for power generation. The sustainability and environmental effects are largely influenced by the production method from primary energy sources. Today, carbon dioxide emissions from hydrogen utilisation are just shifted towards the place of hydrogen production since more than 90% is produced from fossil hydrocarbons. Long shipping distances from centralised production plants to the consumer in combination with the comparatively low-energy density of hydrogen storage solutions require new, innovative solutions.

Hydrogen production with chemical looping systems

In the early 19th century the steam-iron process was patented for the production of hydrogen for airship travel. This process was very inefficient since it consisted of only one step carried out in a blast furnace utilizing coal for heat generation and as reducing agent. Within the last 17 years of research and development at Graz University of Technology, starting with Christian Doppler (CD) and Research Studios Austria (RSA) programs, this process >



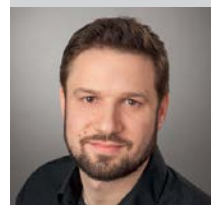
Viktor Hacker ist Leiter der interdisziplinären Forschungsgruppe Brennstoffzellen und Wasserstoffsysteme.

Viktor Hacker is head of the interdisciplinary research group fuel cells and hydrogen systems.



Sebastian Bock arbeitet seit 2016 als Universitäts-Projektassistent an der Entwicklung der Komponenten und des Gesamtsystems des Chemical-Looping-Hydrogen-Verfahrens zur Wasserstoffherzeugung.

Sebastian Bock has been working since 2016 as a university project assistant on the development of the prototype system of the chemical looping hydrogen process for hydrogen production.



Robert Zacharias arbeitet seit 2016 an seiner Dissertation in der Forschungsgruppe Brennstoffzellen und Wasserstoffsysteme mit dem Schwerpunkt Materialentwicklung zur Wasserstoffherzeugung.

Robert Zacharias has been working since 2016 on his PhD thesis in the research group Fuel Cells and Hydrogen Systems with a focus on material development for hydrogen production.

Abbildung 1:
Projektgruppe Wasserstoff-
systeme unter der Leitung
von Viktor Hacker.

Figure 1:
Project team of the Fuel-Cell
and Hydrogen Systems Group
supervised by Viktor Hacker.



© Lunghammer – TU Graz

einstufigen, ineffizienten Prozess, der im Hochofen mit Kohle betrieben wurde, entstand im Rahmen der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten an der TU Graz im Rahmen eines Christian Doppler Labors und eines Research Studios Austria (im Rahmen einer FFG-Förderung) ein effizientes Verfahren basierend auf erneuerbaren Energieträgern. Das Verfahren wird vom Kooperationspartner zum Produkt weiterentwickelt.

was able to be transformed into an efficient, contemporary method for hydrogen production from renewable hydrocarbons. Because of this exceptional experience in fixed-bed chemical looping systems, the Fuel Cell and Hydrogen Systems Group became the scientific partner in a cooperative project of making this unique process ready for the market.

Abbildung 2:
Grundlagenforschung zur
kontinuierlichen Weiterentwick-
lung des innovativen Systems
zur Wasserstofferzeugung.

Figure 2:
Fundamental research for a
continuous development
of the innovative hydrogen
production system.



© ICVT – TU Graz

Der zyklische Prozess basiert auf der Umsetzung von erneuerbaren Kohlenwasserstoffen, wie zum Beispiel Biogas, im Dampfpreformer unter Zugabe von Wasserdampf zu einem Synthesegas. Das Synthesegas reduziert bei Temperaturen zwischen 600 und 1.000°C ein Metalloxid. Im nachfolgenden

The process is based on the conversion of renewable hydrocarbons, e.g. biogas or bioethanol, which are converted to a synthesis gas in a steam reformer. This gas reduces a metal oxide in a temperature range between 600°C to 1000°C. In a subsequent process step the metal is reoxidized with steam and pure hydrogen is released from this reaction. The fixed-bed operation was evaluated to be the best case within the scope of a decentralised hydrogen production system. The coupling and integration of the two process steps in a compact reactor permits the design of efficient small-scale systems for decentralised on-site hydrogen production.

Abbildung 3:
Betrieb des Prototyps in
enger Zusammenarbeit mit
dem Industriepartner.

Figure 3:
Operation of the prototype
plant in intensive cooperation
with industrial partners.



© ICVT – TU Graz

Decarbonised hydrogen society

The long-term stability of the oxygen carrier material used for the cyclic reduction and oxidation played a crucial role for economic feasibility in the industrial process. Iron was chosen as an oxygen carrier because of its outstanding properties in terms of reactivity and oxygen-exchange capacity. It further provides an easy and safe manipulation at a reasonable price for industrial use. Extensive material tests were conducted to accomplish the challenges of long-term stability. Different high-melting metal oxides were tested as additives to achieve a high cycle stability and maintain the reactivity throughout the period of application. The tests are carried out ex-situ for several hundred cycles to prove the material suitability. Afterwards, selected samples are tested for their mechanical strength and oxygen-exchange capacity in special lab systems.

Prozessschritt wird durch die Oxidation des Metalloxids mit Wasserdampf hochreiner Wasserstoff freigesetzt. Das Verfahren erlaubt unterschiedliche Möglichkeiten der Prozessführung. Der Festbett-Reaktor wurde als beste Option für die dezentrale Wasserstoffproduktion ausgewählt. Die Koppelung und Integration aller Prozessschritte in der kompakten Reaktoreinheit erlaubt dabei den Bau von kleinen, effizienten Anlagen für die dezentrale Vor-Ort-Produktion von Wasserstoff.

Dekarbonisierte Mobilität

Die Entwicklung der langzeitstabilen Kontaktmasse zur Wasserstofferzeugung war ein notwendiges Kriterium für die wirtschaftliche Darstellung des neuen Verfahrens. Für den Einsatz eisenbasierter Materialien als reaktive Schüttung sprechen die hohe Austauschkapazität, die einfache Handhabung des ungiftigen Materials und der geringe Preis. Durch umfangreiche Testserien konnten die Herausforderungen im Bereich der Zyklenstabilität durch die Zugabe hochschmelzender Additive bewältigt werden. Die Charakterisierung und Reaktivität verschiedener Mischungen wird zuerst in ex-situ-Lebensdauer-Tests über mehrere hundert Zyklen nachgewiesen. Anschließend werden ausgewählte Materialkombinationen in Laborsystemen auf Austauschkapazität und mechanische Stabilität untersucht.

Neben der Materialforschung wurde in Kooperation mit Industriepartnern die Komponentenentwicklung und die Prozessoptimierung am Institut für Chemische Verfahrenstechnik und Umwelttechnik durchgeführt. Im Rahmen der Gesamtsystemanalyse rückt die Möglichkeit der prozessintegrierten CO₂-Abtrennung immer mehr in den Fokus. Innovative Ansätze ermöglichen dabei die Sequestrierung des reinen Kohlendioxidstroms im Prozess.

Das Verfahren wurde von der TU Graz kommerziell verwertet und wird nun vom Wirtschaftspartner in Kooperation mit der Arbeitsgruppe zu einem kommerziellen Produkt entwickelt.

Als Anerkennung der engen Kooperation mit der Industrie und der wissenschaftlichen Leistung wurde die Arbeitsgruppe Brennstoffzellen und Wasserstoffsysteme unter der Leitung von Viktor Hacker mit dem Houska-Anerkennungspreis 2017 sowie dem Houska-Publikumspreis ausgezeichnet. ■



© ICVT – TU Graz

Abbildung 4:
Materialforschung zur Verbesserung von Reaktivität und Stabilität der eingesetzten Kontaktmasse.

Figure 4:
Materials research to improve reactivity and stability of the carrier material.

In addition to research on materials, process development is conducted in cooperation with industrial partners to optimise the process conditions and the system design at the Institute of Chemical Engineering and Environmental Technology. The research team is particularly focusing on carbon dioxide sequestration. Innovative approaches enable the process-integrated separation of a pure carbon dioxide stream to be used in carbon capture and storage (CCS) systems.

The hydrogen production method was commercialized by Graz University of Technology in cooperation with the research group and has now been realized as a commercial product.

In May 2017, Viktor Hacker and his research team were recognised with the prestigious Houska award. The committee appreciated the scientific development of the hydrogen production system from the basic idea all the way to the realization at industrial scale with intensive cooperation with Austrian industrial partners. ■

Abbildung 5:
Forschungsreaktor für die Analyse des Gesamtsystems.

Figure 5:
Analysis of combined system in prototype reactor.



© ICVT – TU Graz