

# Wasserstoff aus Biomasse



**DBFZ**

Dr. Franziska Müller-Langer  
franziska.mueller-langer@dbfz.de

Dr. Peter Kornatz  
peter.kornatz@dbfz.de

Dr. Jörg Kretzschmar  
joerg.kretzschmar@dbfz.de

Marcel Pohl  
marcel.pohl@dbfz.de

**KIT**  
Prof. Dr. Jörg Sauer  
j.sauer@kit.edu

Dr. Katharina Stoll  
ina.stoll@kit.edu

**UFZ**  
Dr. Heike Sträuber  
heike.strauber@ufz.de

## Ausgangslage

Der strategische Rahmen zur Erzeugung von Wasserstoff aus Biomasse wird durch die Nationale Wasserstoffstrategie Deutschlands sowie die europäische Wasserstoffstrategie vorgeben.

Während die nationale Wasserstoffstrategie Biomasse als Quelle für die Wasserstoffherzeugung nur randständig erwähnt („...biobasierte Verfahren zur Wasserstoffherzeugung...“), wird im europäischen Kontext Biomasse als Quelle erneuerbaren Wasserstoffs explizit aufgeführt. Im Rahmen der nationalen Umsetzung der Europäischen Erneuerbare-Energien-Richtlinie (REDII) in die Treibhausgasminderungsquote (THG-Quote) im Verkehr ist Wasserstoff aus biogenen Rest- und Abfallstoffen als fortschrittlicher Biokraftstoff zugelassen und kann für Inverkehrbringer für Mengen oberhalb des jährlich festgelegten energetischen Mindestanteils für fortschrittliche Biokraftstoffe 2-fach angerechnet werden.

Als Ressourcenbasis sind v. a. bislang ungenutzte biogene Rest- und Abfallstoffe von Interesse; hierbei sei insbesondere auf den Beitrag von Brosowski et al. in diesem Tagungsband verwiesen.

Nachfolgend wird sich mit dem Ziel einer Übersicht über die technischen Optionen für Wasserstoff aus Biomasse beschränkt (► **Tabelle 1**) und Beispiele aus Forschung und Entwicklung (FuE) der am Beitrag beteiligten Institute vorgestellt.

## Technische Optionen für Wasserstoff aus Biomasse

Es existieren vielfältige Optionen zur Bereitstellung von Wasserstoff aus Biomasse. Sie können grundlegend in thermochemisch-katalytische und biotechnologische Verfahren untergliedert werden. Je nach Prozess ist Wasserstoff hier das Haupt- oder Nebenprodukt.

► **Tabelle 1** führt relevante Wasserstoffherzeugungstechnologien jeweils mit Technologiereifegrad (technology readiness level – TRL), Wasserstoffqualität und mögliche Einsatzperspektiven auf, ohne einen Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben.

Entscheidend für die nachhaltige Bereitstellung von Wasserstoff aus Biomasse ist die weitere Verwendung und damit erforderliche Einhaltung der Reinheitsanforderungen gemäß ISO/DIS 14687 oder DIN EN 17124.

## Beispiele aus Forschung und Entwicklung

### Hydrothermale Vergasung im überkritischen Wasser (KIT)

Überkritisches Wasser birgt ein großes Potenzial als Reaktionsmedium zur Umsetzung von verschiedenen Arten von Biomasse und ermöglicht die Produktion eines wasserstoffhaltigen Gasgemischs.

Da das Ausgangsmaterial nicht getrocknet werden muss, bleibt die Energieeffizienz des Prozesses auch mit steigendem Wassergehalt der Biomasse erhalten. Das Produktgas steht bereits unter Druck, daher wird für eine weitere Kompression wenig Energie benötigt und das enthaltene CO<sub>2</sub> lässt sich einfach abtrennen (Kruse, 2008).

Zu den bestehenden Herausforderungen der hydrothermalen Vergasung zählen die Pumpfähigkeit des Einsatzmaterials, Korrosion unter den extremen Betriebsbedingungen im Reaktor sowie Verstopfungen, die durch ausgefallene Salze und Koks bzw. Teere hervorgerufen werden (Boukis und Stoll, 2021).

### Methanpyrolyse von Biogas oder Erdgas in flüssigem Metall (KIT)

Bei der Methanpyrolyse (auch Methan cracken) kann Wasserstoff ohne CO<sub>2</sub>-Emissionen erzeugt werden. Der Kohlenstoff – massebasiert das Hauptprodukt des Prozesses – wird in Pulverform abgetrennt und kann als Rohstoff genutzt werden. Kombiniert mit einer Biogasanlage stellt die Methanpyrolyse somit einen möglichen BECCS/U-Ansatz (bioenergy with carbon capture and storage/utilization) dar. Zur nachhaltigen Bereitstellung der Hochtemperaturwärme kann der Prozess mit Solarthermie mit Strahlungsbündelung gekoppelt werden (Roeb et al., 2020).

Am KIT wird die Methanpyrolyse in mit Flüssigmetall gefüllten Blasensäulen untersucht (Stoppel et al., 2017). Alternative Prozesse behelfen sich mit Plasmafackeln oder katalytisch wirksamen Oberflächen zur Methanpyrolyse (Schneider et al., 2020). Aktuell wird an der Skalierung des Prozesses gearbeitet und Herausforderungen wie der Druckbetrieb und die hochwertige Verwendung des Kohlenstoffs adressiert. Zudem ist für den praktischen Einsatz der Prozesskette der Einfluss von Spurengasen aus dem Biogasprozess auf die Standzeit (Einsatzdauer) der angewandten Pyrolysetechnik zu klären.

Wasserstoff via	TRL Gesamtkette heute	Anwendungsbereiche des erzeugten Wasserstoffs	Perspektiven / Relevanz
Biogas-Reformierung	6–8	Nach Aufbereitung als Reinstwasserstoff anwendbar	Als dezentrale Annex an Biogasanlagen
Biomethan-Reformierung	8	Analog Wasserstoff aus Erdgasdampfreformierung	Co-Processing mit Erdgas denkbar in eher zentralen Anlagen
Dunkelfermentation	5	Wasserstoff fällt als Gemisch mit CO <sub>2</sub> an. Nur nach Aufbereitung als Reinstwasserstoff anwendbar	Dezentral im Verbund bzw. als Vorstufe von Biogasanlagen oder anderen biotechnologischen Prozessen
Biophotolyse	3–4	Wasserstoff fällt als Gemisch mit CO <sub>2</sub> an. Nur nach Aufbereitung als Reinstwasserstoff anwendbar	Dezentral als stand-alone oder in Kombination mit Dunkelfermentation (nur indirekte Biophotolyse)
Vergasung	5–7	H <sub>2</sub> -reiche Synthesegase für Produktsynthesen und/oder Prozesswärme; Anwendung als Reinstwasserstoff nur nach Aufbereitung	In verschiedenen Gesamtkonzepten denkbar
hydrothermale Vergasung	5	Energiereiches Produktgasgemisch aus H <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> und CO <sub>2</sub> ; nur nach Aufbereitung als Reinstwasserstoff nutzbar	Thermochemische Verwertung von Schlämmen und nasser Rest-biomasse: Dezentrale Produktion von H <sub>2</sub> durch Kombination von SCWG & Reformierung
Methanpyrolyse	4	(Nach Aufbereitung) als Reinstwasserstoff anwendbar	Wasserstoffherzeugung aus Biogas: Aktuell einziger Weg, um ohne CCS aus CH <sub>4</sub> CO <sub>2</sub> -frei H <sub>2</sub> erzeugen zu können – es sind sogar „negative Emissionen“ via CCS möglich.

Tabelle 1

### Vergleich der Wasserstoffherzeugungstechnologien aus Biomasse: Perspektiven und Relevanz

SCWG: Supercritical Water Gasification  
CCS: Carbon Capture and Storage

#### Wasserstoff via anaerober (Dunkel-)Fermentation (UFZ / DBFZ)

Im Bereich der mikrobiologischen Erzeugung von Wasserstoff aus Biomasse verfügt die Dunkelfermentation über einen vergleichsweise hohen Entwicklungsstand (► *Tabelle 1*).

Das Potenzial liegt in der kombinierten stofflichen und energetischen Nutzung von Biomasse, da im Prozess neben Wasserstoff auch organische Säuren entstehen. Neben kurzkettigen Fettsäuren, wie z. B. Essig- und Buttersäure, können auch höherwertige mittelkettige Fettsäuren (z. B. Capronsäure) durch gezielte Prozessführung mittels mikrobieller Kettenverlängerung erzeugt werden (Lambrech et al., 2019). Wasserstoff fällt in diesem Fall als Nebenprodukt an.

Wesentliche Herausforderungen bei der Hochskalierung bestehen in der Aufrechterhaltung der Prozessstabilität (Vermeidung der Methanogenese) und der Entwicklung von integrierten Konzepten, bei denen alle Produkte aus dem Prozess wirtschaftlich genutzt werden.

#### Weitere FuE-Themen

Neben diesen FuE-Beispielen gibt es eine Reihe von FuE-Themen für Wasserstoff aus Biomasse, die sich auf die Kernpunkte Potenziale (u. a. Ressourcen und Produkte), Technologien (u. a. integrierte Konversions- und Aufbereitungstechnologien mit besonderem Fokus auf sektorübergreifende Technologien und

Anlagenkonzepte), Anwendung (u. a. Systemdienstleistung und Einsatzfelder) sowie System- und Technologiebewertung beziehen.

#### Fazit

Zusammenfassend ist zu konstatieren, dass Wasserstoff aus Biomasse dort, wo es sinnvoll ist, einen nachhaltigen Beitrag zum Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft leisten kann. Er bietet ergänzende Wertschöpfungsmöglichkeiten, v. a. im dezentralen Kontext (z. B. für kommunale Wasserstoffnutzung im Verkehr).

Unter adäquater Berücksichtigung der Kostenfaktoren für Biomasse und dem Wert des biogenen Kohlenstoffs können sich Verfahren für Biowasserstoff v. a. zur Behandlung von biogenen Abfall-/Reststoffen als Alternative zur Entsorgung eignen.

Allen Verfahren gemein ist die Aufreinigung des Wasserstoffs gemäß den Qualitätsanforderungen für die nachfolgende Anwendung. Kurzfristig ließe sich Biowasserstoff v. a. durch bekannte Verfahren über Reformierung von methanreichen Gasen (z. B. Biogas) herstellen. Perspektivisch sind auch fermentative und thermo-chemische Verfahren denkbar.

Wasserstoff und Biomethan aus biogenen Rest- und Abfallstoffen treten in diesem Zusammenhang als Wettbewerber auf. Der schlussendliche Anwendungspfad muss neben der Abwägung technischer und infrastruktureller Voraussetzungen immer unter dem

Aspekt der THG-Bilanz der gesamten Anwendungskette bewertet werden. Da Biomasse die einzige erneuerbare Kohlenstoffquelle darstellt, ist die Erzeugung von Wasserstoff aus Biomasse immer mit der komplementären Verwendung der Biomasse zur Bereitstellung biogener Kohlenstoffverbindungen abzuwägen.

Vor diesem Hintergrund bietet sich vor allem die Nutzung von erneuerbarem, elektrolytisch hergestelltem Wasserstoff in Kombination mit biobasierten Kohlenstoffverbindungen für die Synthese von Basischemikalien oder Kraftstoffen im Rahmen von Power-to-X Verfahren (kurz SynBioPTx) an.

Zudem ließe sich Biowasserstoff in kombinierten Verfahren zu methanreichen Gasen mischen (z. B. Biohythan), welche beispielsweise als brennbares Gas für Prozessenergie im Hochtemperaturbereich Anwendung finden könnten.

## Literatur

- Lambrecht, J., Cichocki, N., Schattenberg, F., Kleinsteuber, S., Harms, H., Müller, S., Sträuber, H. (2019): Key subcommunity dynamics of medium-chain carboxylate production. *Microbial Cell Factories* 18, 92.
- Boukis, N., Stoll, I. K. (2021): Gasification of biomass in supercritical water, challenges for the process design – lessons learned from the operation experience of the first dedicated pilot plant. *Processes* 9, 455.
- Roeb, M., Brendelberger, S., Rosenstiel, A., Agrafiotis, C., Monnerie, N., Budama, V., Jacobs, N. (2020) Wasserstoff als ein Fundament der Energiewende Teil 1: Technologien und Perspektiven für eine nachhaltige und ökonomische Wasserstoffversorgung. sonstiger Bericht verfügbar unter: <https://elib.dlr.de/137796/>
- Kruse, A. (2008): Supercritical water gasification. *Biofuels, Bioproducts & Biorefining* 2.
- Stoppel, L., Fehling, T., Geißler, T., Baake, E., Wetzel, T. (2017): Carbon dioxide free production of hydrogen. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 228 (2017), Nr. 1, No. 12016.
- Schneider, S., Bajohr, S., Graf, F., Kolb, T. (2020): Verfahrensübersicht zur Erzeugung von Wasserstoff durch Erdgas-Pyrolyse. *Chemie Ingenieur Technik* 92 (8)