

EVALUIERUNG VON WIEDERVERWERTUNGSMETHODEN FÜR WASSERSTOFF IN HALBLEITERINDUSTRIEPROZESSEN

Michael RICHTER^{1*}, Julian TRATTNER², Stefan KARTUSCH²,
Claudia KERSCHBAUMER², Dieter KOLHANEK³, Alexander TRATTNER²

Motivation und Inhalt

Um das von der internationalen Staatengemeinschaft bei der UN-Klimakonferenz 2015 in Paris beschlossene Ziel der Begrenzung der Erderwärmung auf maximal 1,5°C bezogen auf das Niveau vor der Industrialisierung zu erreichen, sind wesentliche Innovationen hinsichtlich der Transformation des derzeitigen Energieversorgungssystems notwendig [1]. Im Industriesektor muss dazu ein großer Teil der aktuell eingesetzten fossilen durch erneuerbare CO₂-emissionsfreie Energieträger ersetzt werden und die Gesamtenergieeffizienz der bestehenden Prozesse gesteigert werden. Diesem Thema widmet sich das laufende FFG-Forschungsprojekt H2Pioneer, das im Rahmen der Wasserstoffvorzeigeregion Austria Power and Gas (WIVA P&G) – die zuverlässige Versorgung der Halbleiterproduktion bei Infineon in Villach mit erneuerbarem Wasserstoff sicherstellen soll. Außerdem werden innovative und nachhaltige Konzepte für die Weiterverwertungsmöglichkeiten des wasserstoffreichen, derzeit am Standort ungenutzten, Prozessabgases ausgearbeitet und mittels einer strukturierten techno-ökonomischen Bewertung evaluiert.

In Abbildung 1 ist ein Prozessschaubild des geplanten nachhaltigen Wasserstoffkreislaufs am Halbleiterproduktionsstandort in Villach dargestellt. Wasserstoff wird mittels Stroms aus erneuerbaren Energiequellen in einer PEM-Elektrolyse (PEM = Polymerelektrolytmembran) vor Ort produziert und anschließend einer kryogenen Aufreinigungsstufe zugeführt um die geforderte Gasreinheit von 8.0 (= 99,999999 %) zu erreichen. Der hochreine Wasserstoff wird im Epitaxie-Prozess als Trägergas der für die Fertigung von monokristallinen Silizium-Wafern notwendigen Dotierstoffe (PH₃, B₂H₆, AsH₃) sowie HCl und SiHCl₃ benötigt. Derzeit wird das entstehende Abgasgemisch mit den zu je ca. 50 % vorliegenden Hauptbestandteilen Wasserstoff und Stickstoff in einem Wäscher behandelt, wodurch die Siliziumkomponenten, HCl- und Dotierstoff-Rückstände bis an die Nachweisgrenze ausgewaschen werden. Anschließend wird das Gas unter hoher Luftverdünnung an die Atmosphäre abgegeben.

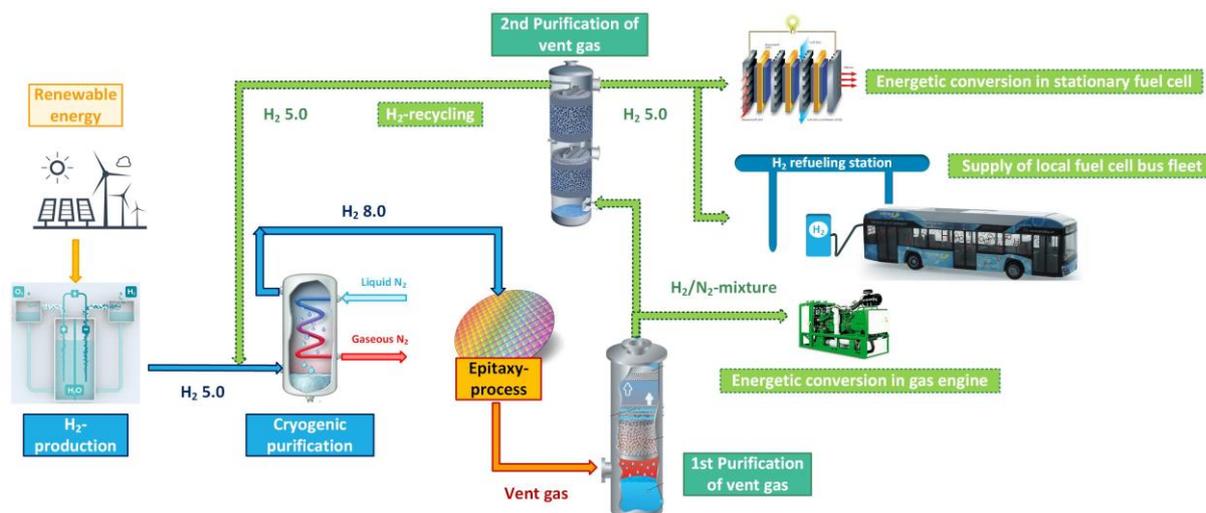


Abbildung 1: Prozessschaubild eines Halbleiterproduktionsprozesses mit erneuerbarem Wasserstoff und innovativen Abgas-Wiederverwertungsvarianten

^{1*} Michael RICHTER, HyCentA Research GmbH, Inffeldgasse 15, A-8010 Graz, +43-316-873-9520, richter@hycenta.at, www.hycenta.at

² Julian TRATTNER, Stefan KARTUSCH, Claudia KERSCHBAUMER, Alexander TRATTNER, office@hycenta.at, www.hycenta.at

³ Dieter KOLHANEK, Verbund Solutions GmbH, Europaplatz 2, A-1150 Wien, +43-50-313-52-265; dieter.kolhanek@verbund.com, www.verbund.com

Für den anfallenden Wasserstoffstrom von 300 Nm³/h werden folgende vier Verwertungsmöglichkeiten genauer betrachtet:

- 1) Energetische Verwertung in einer Verbrennungskraftmaschine (VKM), die ohne eine dem Nasswäscher nachgeschaltete Aufreinigungsstufe mit einem H₂/N₂-Gemisch betrieben werden kann
- 2) Energetische Verwertung in einer stationären Brennstoffzelle mit vorheriger Aufreinigungsstufe um die Wasserstoff-Qualität gemäß ISO 14687-2 zu erfüllen
- 3) Aufreinigung des Abgases auf die H₂-Qualität gemäß ISO 14687-2 und Verwendung im Mobilitätssektor zur Versorgung einer Brennstoffzellen-Busflotte
- 4) Aufreinigung des Abgases auf die geforderte Prozessqualität von 8.0 und Rezyklierung in den Epitaxieprozess

Methodik

Um die Verwertungskonzepte zu evaluieren wurde eine umfassende Marktanalyse sowie eine Literaturrecherche der bestehenden Technologien durchgeführt. Die Implementierung der einzelnen Prozesspfade erfolgte durch die spezifische Adaption und Modulerweiterung des am HyCentA entwickelten thermodynamischen Simulationsmodells **HYDROLYSE (HYDROgen faciLitY Simulation modEl)** [2]. Mithilfe des Modells können die optimale Anlagenkonfiguration, der Gesamtwirkungsgrad, die Wasserstoffgestehungskosten und die CO₂-Emissionseinsparungen, abhängig von der gewählten Betriebsstrategie sowie präzisen Input-Daten berechnet werden.

Ergebnisse

Die vorläufigen Ergebnisse der techno-ökonomischen Bewertung der Wiederverwertungskonzepte werden in Tabelle 1 zusammengefasst. Demgemäß erweist sich die Verwertung in einer VKM aufgrund der geringen Investitionskosten und der hohen technischen Reife als die wirtschaftlichste Option. Im Gegensatz dazu ist die stationäre Brennstoffzelle sehr investitionskostenintensiv, wodurch sich wegen des derzeit geringen erzielbaren Strompreises eine lange Amortisationszeit ergibt. Die Nutzung für Mobilitätszwecke wird ob der hohen Innovations- und Synergiepotentiale in der Region als zielführend und mittels Druckwechseladsorption als Aufreinigungsstufe als technisch und ökonomisch vielversprechend erachtet. Die mit hohen Einsparungspotentialen verbundene Rezyklierung des Wasserstoffs ist aufgrund einer derzeit fehlenden Online-Qualitätsanalytik mit einem zu hohen Risiko für die Umsetzung verbunden.

Tabelle 1: Qualitative Evaluierung der untersuchten Wiederverwertungskonzepte für wasserstoffreiches Abgas

	VKM	Brennstoffzelle	Mobilitätsanwendung	Rezyklierung
Komplexität	gering	hoch	hoch	sehr hoch
Investitionskosten	gering	hoch	sehr hoch	hoch
Einsparungspotential	gering	gering	sehr hoch	sehr hoch
Technology Readiness Level (TRL)	9	8	8	3
Innovationsgehalt	gering	hoch	hoch	sehr hoch

Danksagung

Die Autoren bedanken sich an dieser Stelle herzlich beim Klima- und Energiefonds, der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) und der Kommunalkredit Public Consulting (KPC) für die Förderung des Projekts H2Pioneer im Rahmen der FTI-Initiative „Vorzeigeregion Energie“. Ein besonderer Dank gilt außerdem den Konsortialpartnern Verbund Solutions GmbH, Infineon Technologies Austria AG, Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz und WIVA P&G für die wertvolle Zusammenarbeit bei der Realisierung des Projekts.

Referenzen

- [1] Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking. Hydrogen Roadmap Europe: A Sustainable Pathway For The European Energy Transition; 2019.
- [2] B. Staggl. Bedarfsorientiertes Optimierungsmodell für Wasserstoffinfrastrukturen im Schwerverkehr [Masterarbeit]. Graz: Technische Universität Graz; 2019.