



## TransHyDE-Projekt Sichere Infrastruktur

### Teilvorhaben Werkstoffprüfung und -modellierung zur Auslegung sicherer Bauteile in Wasserstoff-Transportsystemen

#### Sachbericht zum Verwendungsnachweis Teil I: Kurzbericht

---

Stand:	30.09.2025	
Einreichungsdatum (TIB):	30.09.2025	DOI:10.24406/publica-5065
Partnerin/Partner:	Fraunhofer Institut für Werkstoffmechanik IWM, Bericht Nr. 1161/2025	
Autorin/Autor:	Dr. Thorsten Michler	
Laufzeit des Vorhabens:	04/2021 – 03/2025	
Fördertitel:	Verbundvorhaben TransHyDE_FP2: Sichere Infrastruktur – Teilvorhaben Werkstoffprüfung und -modellierung zur Auslegung sicherer Bauteile in Wasserstoff-Transportsystemen	
Förderkennzeichen:	03HY202F	
Disclaimer:	<i>Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorin/beim Autor/den Autoren.</i>	

---

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



Finanziert von der  
Europäischen Union  
NextGenerationEU

## Inhaltsverzeichnis

I. Ursprüngliche Aufgabenstellung .....	3
II. Vormaliger Stand des Wissens .....	3
III. Ablauf des Vorhabens .....	4
IV. Wesentliche Ergebnisse .....	4

## I. Ursprüngliche Aufgabenstellung

Die Auslegung von Bauteilen und Komponenten für industrielle Anwendungen erfolgt in der Regel nach anwendungsspezifischen Richtlinien. Beispiele sind das deutsche AD2000-Merkblatt für Druckbehälter, die europäische EIGA 100/03/E für Druckbehälter, das deutsche DVGW-Merkblatt G409-M-2020 für Rohre und Pipelines, die europäische Druckbehälternorm EN 13445. Alle dieser Richtlinien enthalten Hinweise, dass Bauteile für Wasserstoffanwendungen besondere Anforderungen hinsichtlich Werkstoffwahl und/oder Wandstärke erfüllen müssen. Sie geben jedoch dem Konstrukteur wenige bis keine Anweisungen, wie diese besonderen Anforderungen erreicht werden können, um ein Bauteil kosteneffizient und anwendungssicher zu konstruieren. In der EN 1594-2020 wird auf die amerikanische ASTM B31.12 verwiesen. Darin sind erste Ansätze zu einer wasserstoffgerechten Auslegung zu finden. Dies führt zu teuren und schweren Konstruktionen, mit denen eine Wasserstoffwirtschaft nicht zufriedenstellend aufgebaut und betrieben werden kann. Anhand von zwei Beispielen (use cases), die zwei unterschiedliche Einsatzbereiche in der H<sub>2</sub>-Wertschöpfungskette repräsentieren, wird eine Vorgehensweise erarbeitet, die Wasserstofftauglichkeit („H<sub>2</sub> Readiness“) von Bauteilen und Komponenten zu bewerten und Maßnahmen abzuleiten, diese für einen Einsatz unter reinem Wasserstoff zu befähigen. Die gewählten Beispiele (Pipelines und Kraftwerkskomponenten) sind repräsentativ für einen Großteil der in der H<sub>2</sub>- Infrastruktur eingesetzten Komponenten. Die Arbeiten des Fraunhofer IWM sind in folgende Arbeitspakete unterteilt:

AP2 Bauteilauslegung und –simulation für dauerhaften Anlagenbetrieb

AP3 Materialdaten und –modelle zum Bau und Betrieb sicherer H<sub>2</sub>-Transportsysteme

AP5.1 Werkstoffprüfung (expt.) für zuverlässige Bauteile

AP5.2 Werkstoffmodellierung (theo.) für zuverlässige Bauteile

AP6 Charakterisierung und Optimierung von insbesondere Stählen im Kontakt mit H<sub>2</sub>

## II. Vormaliger Stand des Wissens

Wasserstoff kann aufgrund seiner geringen Molekül- bzw. Atomgröße in nahezu alle Materialien eindringen, wenn die Oberflächeneigenschaften diese physikalische bzw. chemische Wechselwirkung zulassen. Dabei können vor allem bei Stählen verschiedene Arten der sogenannten Wasserstoffversprödung mit negativen Auswirkungen auf die strukturmechanische Festigkeit von Bauteilen auftreten. Bei deren Verwendung für H<sub>2</sub>-Gasnetze führen die in Werkstoffgefügen zu erwartenden mittleren Volumenkonzentrationen an Wasserstoffatomen zur derzeit verfolgten, sehr konservativen schädigungsmechanischen Lebensdauerauslegung von Wasserstoffleitungen. Für eine ressourcenschonende Auslegung sind hohe lokale Anreicherungen, vor allem an geometrischen Kerben und mikrostrukturellen Grenzflächen und Risspitzen im Hinblick auf das werkstoffmechanische Verhalten zu bewerten. Die hierfür erforderlichen Auslegungskriterien sind nur sehr rudimentär entwickelt. Gerade in der Hochlaufphase einer Wasserstoffwirtschaft werden Leitungen auch als Pufferspeicher mit eingeschränkten Druckschwankungen genutzt. Für eine Versorgungssicherheit werden zusätzlich Speicherkapazitäten durch Kavernen sowie Behälter- oder Röhrenspeicher vorzusehen sein. Die in deren Anwendung auftretenden, nennenswerten zeitlichen Schwankungen und räumlichen Gradienten sowohl im Gasdruck als auch in der Gastemperatur würden in der schädigungsmechanischen Auslegung zu einer deutlichen Einschränkung der zu erwartenden Lebensdauer oder der ausnutzbaren Speicherkapazität führen. Für einen zukünftigen, sowohl

unfallsicheren als auch ressourcenschonenden Betrieb der Infrastruktur müssen daher verschiedene, auf die Anwendung angepasste Auslegungskonzepte erarbeitet und weiterentwickelt werden. Entsprechende Qualifizierungs- und Abnahmekriterien werden vom materialwissenschaftlichen Verhalten bestimmt. All diese Aspekte galt es zu untersuchen. Die Entwicklung der Auslegungskonzepte erfolgte anhand von Materialprüfungen im Labor. Die Verifizierung der Konzepte erfolgte an konkreten Anlagen, indem gezielt Komponenten für die im Vorhaben geplanten Anlagen ausgelegt, eingesetzt und (vor- oder nach-) untersucht wurden. Dazu war es sinnvoll, die erworbenen Erkenntnisse auf bereits im Einsatz befindliche Infrastruktur aus dem Transport und der Verteilung von Erdgas anzuwenden. Um repräsentative Ergebnisse aus dieser erweiterten Fragestellung zu erzielen, war es notwendig, diese Transformation an einem realen Gasnetz umzusetzen. Das Ziel war und ist die Umstellung von Erdgasnetzen auf einen Betrieb mit 100 % Wasserstoff.

### III. Ablauf des Vorhabens

Das Vorhaben wurde gemäß der geplanten Arbeitspakete bearbeitet. Alle Projektziele wurden erreicht. Die Detailergebnisse können dem Sachbericht zum Verwendungsnachweis Teil II: Langfassung entnommen werden.

### IV. Wesentliche Ergebnisse

Die wesentlichen Ergebnisse können wie folgt zusammengefasst werden:

- Der Transport von Wasserstoff in Pipelines ist sicher möglich. Die Auslegung von Wasserstoffpipelines nach den Regelwerken DVGW G464 oder ASME B31.12 ist konservativ.
- Für die Wasserstoffspeicherung in Druckbehältern existiert noch keine Auslegungsrichtlinie. Das deutsche AD2000-Merkblatt oder die europäische Druckbehälterrichtlinie EN13445 müssen in den kommenden Jahren um den Anwendungsfall Wasserstoff erweitern werden.
- Hohlzugproben können zum zuverlässigen und kostengünstigen Screening von Werkstoffen zur Wasserstoffempfindlichkeit eingesetzt werden.
- Zum Generieren von Werkstoffdaten für die ermüdungsfeste Auslegung können Hohl-LCF-Proben eingesetzt werden.
- Ein Autoklav zur Risswachstums- und Bruchzähigkeitsprüfung in Hochdruckwasserstoff wurde konstruiert, gebaut und in Betrieb genommen.
- Wenn Wasserstoff-Autoklaven zur Messung von Werkstoffdaten konstruiert werden, sollten diese auf ein spezielles Messverfahren optimiert sein, um Prüfkosten zu sparen.
- Mikroproben können zur Charakterisierung der Werkstoffeigenschaften von kleinen Bauteilen oder Schweißnähten verwendet werden und liefern für die Dimensionierung verwendbare Daten.
- Finite-Elemente-Methoden (FEM) in Kombination mit repräsentativen Volumenelementen (RVEs) und statistischen Volumenelementen (SVEs) ermöglichen eine prädiktive Einschätzung des Materialverhaltens unter Wasserstoffbedingungen.
- Die metallurgische Optimierung der Mikrostruktur zur Verringerung der Wasserstoffversprödung von Stählen ist nur in einem sehr begrenzten Umfang möglich.