

Leistungszentrum-Wasserstoff Hessen

GreenMat4H₂



Leistungszentrum Wasserstoff

Grüne Werkstoffe und Technologien zur sicheren Herstellung, Speicherung / Transport und Nutzung von Wasserstoff

Effiziente und leistungsfähige Materialien sowie Systeme bilden die Basis für eine nachhaltige Wasserstoffökonomie. Die Forschungsarbeiten im Leistungszentrum verfolgen das Ziel »grüne« ressourcenschonende Werkstoffe und Technologien zu entwickeln.

Betrachtet wird dabei der gesamte Kreislauf der Wasserstoffwirtschaft von der sicheren Herstellung, Speicherung und Transport bis hin zur Nutzung. Ebenso Gegenstand der Forschungsarbeiten ist die Entwicklung von Materialien und Technologien für die Umstellung bestehender Strukturen auf Wasserstoffanwendungen in den genannten Wertschöpfungsstufen.

Entscheidend für die Arbeiten am Leistungszentrum ist die unmittelbare Übertragung der Forschungsergebnisse auf industrielle Anwendungen. Dieser Forschungstransfer wird durch das Partnernetzwerk, mit Vertretern aus Industrie und Wissenschaft und öffentlicher Hand, beschleunigt.

Als zentrale Anlaufstelle für die Wasserstoff-Wirtschaft im Rhein-Main-Gebiet und überregional ist das Leistungszentrum das Bindeglied um Materialkreisläufe der H₂-Wirtschaft nachhaltig zu schließen.

Ziele

- Entwicklung, Design und Untersuchung nachhaltiger Materialien, Werkstoffe und Systeme für Wasserstofftechnologien
- Entwicklung skalierbarer Prozesstechnologien
- Überführen der Werkstoffe und Systeme in Anwendungen für eine nachhaltige Mobilität
- Ausbildung hochqualifizierter Arbeitskräfte
- Stärkung von Hessen als Hochtechnologieland

Aktuelle Forschungsprojekte



Fraunhofer-Einrichtung für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie IWKS

Am Fraunhofer IWKS forschen über 100 Mitarbeitende, Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sowie interdisziplinäre Fachkräfte an der Entwicklung nachhaltiger und innovativer Lösungen für die Kreislaufwirtschaft. Übergeordnetes Ziel des Fraunhofer IWKS ist der verantwortungsvolle Umgang mit den Ressourcen. Durch den Einsatz nachhaltiger Materialien und die Entwicklung effizienter Verfahren und Recyclingprozesse, soll der Einsatz kritischer Rohstoffe minimiert und diese Materialien sonst möglichst lange im Kreislauf gehalten werden.

Forschungsschwerpunkt

An beiden Standorten, in Hanau und in Alzenau, arbeiten Fachteams aus der Materialwissenschaft, Chemie und Physik an Fragestellungen entlang des Wasserstoff-Lebenszyklus'. Der interdisziplinäre Ansatz ermöglicht es, nachhaltige, tragfähige und innovative Verfahren zu entwickeln und diese auch unter ökologischen und ökonomischen Kriterien zu betrachten und zu bewerten.

Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF

Fokus der Forschungsarbeiten der rund 400 Mitarbeitenden, Expertinnen und Experten unterschiedlicher Disziplinen ist die Entwicklung zuverlässiger Methoden und Prozesse und damit die Realisierung leichter, zuverlässiger (Leichtbau-)Strukturen und Systeme für die Mobilität, den Maschinenbau oder den Energiesektor.

Das Team des Fraunhofer LBF erarbeitet innovative Lösungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette, vom Werkstoff und dessen Verarbeitung, über die Realisierung des fertigen Bauteils und des komplexen Systems, bis hin zur Qualifizierung im Hinblick auf Sicherheit und Zuverlässigkeit.

Forschungsschwerpunkt

Aufgrund seiner Expertise liegt der Schwerpunkt des Fraunhofer LBF in der Bewertung der Sicherheit und Zuverlässigkeit von H₂-Systemen sowie in der Optimierung und Lebensdauerbewertung von Werkstoffen und Komponenten im Kontakt mit Wasserstoff.



Motivation

Eine nachhaltige und zuverlässige Wasserstoffwirtschaft für Hessen

Wasserstoff - ein vielfältig einsetzbarer Energieträger und eine echte Alternative zu fossilen Treibstoffen im Hinblick auf Energiewende und Klimaschutz. Studien gehen von einem Anstieg des Wasserstoffbedarfs in Deutschland auf bis zu 800 TWh in 2050 aus. Klimafreundlich hergestellter Wasserstoff ermöglicht es, die CO₂-Emissionen vor allem in Industrie und Verkehr, deutlich zu verringern, wo Energieeffizienz und die direkte Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen nicht ausreichen oder nicht möglich ist. Wasserstoff und dessen weitere Syntheseprodukte nehmen somit eine zentrale Rolle zur Treibhausgasneutralität aller energieverbrauchenden Sektoren wie bspw. Verkehr, Industrie und Gebäude ein.

Senkung des Bedarfs kritischer Materialien

Die Forschungsarbeiten der beteiligten Institute des Leistungszentrums-Wasserstoff Hessen folgen stets dem Prinzip der ganzheitlichen Betrachtung entlang des Lebenszyklus. Von der Erzeugung über Speicherung und Transport bis hin zur Nutzung von Wasserstoff müssen die eingesetzten Systeme und Komponenten vielfältige Anforderungen erfüllen. Damit verbunden ist der Einsatz von Werkstoffen, die kritische Rohstoffe enthalten und die die positive Klimabilanz von grünem Wasserstoff signifikant senken.

Lebensdauer und Sicherheit

Wie kann Wasserstoff für mobile Anwendungen im Verkehr genutzt werden? Können hierfür bestehende Infrastrukturen genutzt werden? Welche Herausforderungen hinsichtlich Zuverlässigkeit und Lebensdauer ergeben sich daraus für Wasserstoff-beaufschlagte Materialien und Systeme? Mittels individuell entwickelter Analyse- und Validierungsmethoden und den hierfür erforderlichen Infrastrukturen werden die Einflüsse von Wasserstoff unter realitätsnahen Beanspruchungen auf die Ermüdung von Materialien, Bauteilen und Komponenten ermittelt und daraus optimierte Methoden zur Lebensdauerabschätzungen abgeleitet.

Die Chance: Gesamtheitliche Betrachtung

Ziel der Forschungsarbeiten ist die Entwicklung einer Circular Economy für alle Materialkomponenten für mehr Nachhaltigkeit auf dem Gebiet des grünen Wasserstoffs. Dabei spielt die Bewertung der Materialkritikalität, von beispielweise Brennstoffzellen und deren Komponenten, und Alternativen zur Brennstoffzelle oder die Bewertung des Einflusses erhöhter Wasserstoffkonzentrationen im Gasleitungsnetz eine große Rolle. Alternativen zur Brennstoffzelle sind ebenfalls Teil der Forschung.



Wir engagieren uns für eine starke Vernetzung von Forschung, Industrie, Politik und Gesellschaft, um gemeinsam Lösungen für eine nachhaltige Wasserstoffwirtschaft zu entwickeln und damit dem Klimawandel aktiv entgegenzutreten.«

Dr. Saskia Biehl,
Leitung Division Reliability

Die Forschungsarbeiten des Leistungszentrums reichen von der Materialentwicklung über die Betrachtung einzelner Komponenten bis hin zur Analyse gesamter Systeme über die Erzeugung von Wasserstoff, dessen Speicherung und Transport bis hin zur Nutzung.



Forschungsfelder

Analytik, Simulation, Modellierung und Bewertung

Analytik

Etlche Werkstoffe werden durch die Beaufschlagung mit Wasserstoff chemisch und physikalisch beeinflusst. Die Festigkeit und Duktilität nimmt ab, es kann zu Veränderungen in der Mikrostruktur kommen, die in den schlimmsten Fällen zu Rissen oder gar Brüchen führen können. Kurz gesagt: Für viele Materialien und Werkstoffe kann Wasserstoff die Lebensdauer von Bauteilen empfindlich verkürzen. In anderen Bereichen dagegen erweist sich die Absorption von Wasserstoff in die zu behandelnde Substanz als äußerst vorteilhaft. So wird beispielsweise bei der Herstellung von hochwertigen seltenerdhaltigen Sintermagneten das Ausgangsmaterial in Form von Gussblöcken mittels Wasserstoff gezielt in ein Magnetpulver mit verbesserter Mahlbarkeit überführt.

Dem Leistungszentrum stehen mehrere Autoklaven zur Verfügung, um die Auswirkung von Wasserstoff nicht nur auf einzelne Werkstoffe, sondern auch auf komplette Verbundkörper zu untersuchen. Für Bauteile kleinerer Abmessung ist dafür ein Wasserstoff-Reaktor mit einem Druckbereich von wenigen mbar bis hin zu 100 bar vorhanden. Weitere Autoklaven erlauben die Untersuchung von Proben bis zu einem Gewicht von 25 kg, bis zu einem maximalen Druck von 10 bar

Überdruck Wasserstoff und Temperaturen bis 500 °C. Umfassende Analyseverfahren begleiten die Untersuchungen und ermöglichen eine aussagekräftige Bewertung des Ausmaßes sowie ein tieferes Verständnis dieser Veränderungsprozesse. Das Leistungsportfolio wird fortlaufend erweitert und umfasst aktuell unter anderem:

- Bestimmung des Wasserstoffgehaltes in Feststoffen und Gasen
- Makro- und mikrostrukturelle Veränderungen durch Wasserstoffbeaufschlagung
- Temperaturabhängige Effekte durch Wasserstoffbeaufschlagung
- Mikrostrukturelle Veränderungen

Wasserstoff-Anwendungen wie Brennstoffzellen und Feststoffspeicher beruhen auf Funktionsmaterialien. Im täglichen Einsatz können Schädigungen durch mechanische, thermische und elektrochemische Belastungen auftreten, die mittels hochauflösender Elektronenmikroskopie oder metallographischer Methoden sichtbar gemacht werden. Das Verständnis von Schädigungsprozessen unter den genannten Belastungen ermöglicht eine gezielte Optimierung der genutzten Materialien, Bauteile und Systeme.

Simulation

Um hohen und vielfältigen Anforderungen hinsichtlich Qualität, Sicherheit und Zuverlässigkeit an Materialien, Bauteilen und Wasserstoffsystemen gerecht zu werden, bedarf es sicherer experimenteller Entwicklungswerkzeuge und realitätsnaher digitaler Modelle. Das Ziel dabei ist, durch geeignete Modellbildungen die Prognosegüte des tatsächlichen Bauteil- und Systemverhaltens so zu erhöhen, dass u. a. die Anzahl prototypischer Systeme reduziert und physische Validierungen durch Simulationen ersetzt werden können.

Im Rahmen des Leistungszentrums entwickeln Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler moderne experimentelle, numerische und cyberphysikalische Simulations- und Validierungsmethoden. So werden für Bauteile und Systeme Umweltsimulationen unter elektrischer, thermischer und mechanischer Last auf teils spezifisch dafür entwickelten Systemen durchgeführt. Ebenso werden Systeme und Subsysteme, wie z. B. Brennstoffzellen, Batterien oder Elemente eines Elektromotors, emuliert und als virtuelle Modelle digitalisiert. Belastungsdaten, basierend auf Fahrbetriebsmessungen, werden in digitalen Simulationsumgebungen und cyberphysikalischen Prüfständen als kombinierte mechanische und elektrische Lasten eingebracht und so die einzelnen Komponenten und Systeme möglichst realitätsnah beansprucht. So können design- und auslegungsrelevante Parametervarianten mit einer hohen Genauigkeit analysiert, bewertet und ausgewählt werden, bevor physische Prototypen, z. B. von Fahrzeugen, erstellt werden.

Modellierung und Bewertung

Die Anforderungen an neue Wasserstofftechnologien sind vielfältig und werden sich zukünftig verschärfen.

Diese sind:

- Sicherheit
- Wirtschaftlichkeit / Kosten
- Umweltschutz und Ressourceneffizienz
- Technische Praktikabilität & Leistungsfähigkeit

Für die Entwicklung neuer Materialien und Werkstoffe sowie den Betrieb von Erzeugungsanlagen und Anwendungen von Wasserstoff ist es daher notwendig, dass von Anfang an alle relevanten Kriterien beachtet werden. Nur dann können Technologien bestehen und in großem Maßstab in die Praxis überführt werden. Dabei sind Aspekte der Nachhaltigkeit genauso relevant wie solche der technischen Leistungsfähigkeit. So wurde etwa ein Kriterienkatalog für die Entwicklung neuer Katalysatoren für die elektrochemische Wasserstoffelektrolyse (OER: Oxygen Evolution Reaction) am Fraunhofer IWKS in Zusammenarbeit mit der Max-Planck-Gesellschaft entwickelt.

Die Komplexität der Eigenschaften und Prozesse macht den Einsatz von digitalen Modellen notwendig. Diese erlauben es, nicht nur einzelne Prozesse, Komponenten sowie ein Gesamtsystem hinsichtlich des Materialverhaltens, des Leichtbaus oder des Produktlebenszyklus ganzheitlich zu verbessern, sondern auch bislang unbekannte physikalische Zusammenhänge aufzudecken und Wirkzusammenhänge dadurch besser zu verstehen.

Forschungsfelder

Betriebsfestigkeit, Systemzuverlässigkeit, Bauteiloptimierung

Betriebsfestigkeit

Eine wesentliche Grundvoraussetzung für die zukünftige Nutzung von Wasserstoff ist die Sicherheit des mit Wasserstoff-beaufschlagten Systems. Dies gilt sowohl für die Produktion von Wasserstoff in Elektrolyseuren, dessen Transport in Tanks sowie für die Nutzung etwa in der Mobilität, insbesondere bei Brennstoffzellensystemen zum Betrieb von Fahrzeugen zu Land, zu Wasser oder in der Luft. Die betriebsfeste Auslegung von Bauteilen und Komponenten im Kontakt mit Wasserstoff ist dabei unter Berücksichtigung von Kosten und Leichtbau von höchster Bedeutung.

Im Rahmen des Leistungszentrums werden an Wasserstoffbeaufschlagten Bauteilen etwa für Antriebskomponenten, Rohrleitungen oder Speichereinheiten Last- und Beanspruchungsanalysen zur Betriebsfestigkeits- und Lebensdauerbewertung sowie zur Analyse des zyklischen Werkstoffverhaltens durchgeführt. Die Forschungsaktivitäten im Rahmen des Leistungszentrums umfassen die Untersuchung und die Bewertung des Einflusses von Wasserstoff auf unterschiedliche metallische und polymerbasierte Werkstoffe unter Berücksichtigung von Betriebseinflüssen, z. B. Druck, Reinheit und Restfeuchtegehalt des Wasserstoffs. Ebenso berücksichtigt werden Beanspruchungen im Betrieb, wie Vibrationen und Schwingungen durch den Gasstrom sowie Auswirkungen der Temperatur, z. B. beim Tankvorgang.

Ziel ist die Bewertung der Kette von Last-Beanspruchung-Gestalt-Werkstoff-Systemzuverlässigkeit. Zum einen, um daraus Aussagen über Degradation, Lebensdauern des Gesamtsystems und einzelner Komponenten abzuleiten und zum anderen, um Optimierungspotenziale hinsichtlich Zuverlässigkeit und des Wirkungsgrads einzelner Komponenten (z. B. von Elektrolysezellen) zu ermitteln.

Systemzuverlässigkeit

Die Belastungen und Beanspruchungen von Brennstoffzellen und deren Peripherie sowie die sich daraus ergebende Lebensdauer der Komponenten in mobilen Anwendungen sind vielfach noch nicht hinreichend untersucht. Ein Schwerpunkt der Arbeiten im Leistungszentrum ist es daher, entsprechende Daten zu ermitteln und daraus Lebensdauerabschätzungen für Brennstoffzellensysteme durchzuführen.

Hierfür steht den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern eine umfassende Mess-, Analyse- und Validierungsinfrastruktur zur Verfügung. In der Kombination von Modellierung und Simulation mit experimentellen Methoden der Betriebsfestigkeits- und Zuverlässigkeitsbewertung erarbeiten die Forschenden Lösungen zur betriebsnahen, multiphysikalischen (thermisch, elektrisch und mechanisch) Validierung der Lebensdauer von z. B. Brennstoffzellen-Batterie-Systemen für Anwendungen in der Mobilität.

Die Forschungsarbeiten umfassen u. a. Korrosionsuntersuchungen, Umweltsimulationen, die Analyse von Alterungseffekten und Oxidationserscheinungen sowie deren Auswirkungen auf Lebensdauer und Wirkungsgrad des Gesamtsystems. Darüber hinaus erarbeiten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler Lösungen für die quantitative Zuverlässigkeitsbewertung von Brennstoffzellen. Hierzu werden über die probabilistische und quantitative Darstellung von Wirkzusammenhängen (FMEA) Ausfallwahrscheinlichkeiten und Sicherheitszahlen ermittelt.

Bauteiloptimierung

Für die Erzeugung, den Transport sowie die Nutzung von Wasserstoff sind zahlreiche Komponenten und Systeme im Einsatz oder müssen noch in den Einsatz gebracht werden. Um die Wasserstoffökonomie möglichst effizient zu gestalten, sind auch diese wasserstoffführenden Systeme effizient auszulegen und mit einer hohen Leistungsdichte zu versehen.

Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler bieten hierfür, basierend auf einer jahrzehntelangen Erfahrung im Bereich Bauteil- und Systemoptimierung, zahlreiche Methoden und Ansätze, um einsatz- und nutzungsspezifische Komponenten, im Hinblick auf Lebensdauer, Sicherheit und Beanspruchbarkeit zu optimieren.

Auf Basis experimenteller und numerischer Untersuchungen der Werkstoff- und Bauteilschwingfestigkeit sowie der Betriebsfestigkeitsanalysen von Transport- und Speicherkomponenten werden Lebensdauerbewertungen für kritische Bauteile durchgeführt.

Basierend auf diesen Analysen werden Optimierungspotenziale für die Bauteilauslegung von Infrastrukturelementen, Antriebskomponenten oder Systemen von Brennstoffzellen abgeleitet, z. B. hinsichtlich Geometrie oder Materialstärke.

Mithilfe dieser Erkenntnisse kann wiederum die Lebensdauer der Komponenten und Systeme erhöht werden. Durch die optimierte Bauteilauslegung wird zudem der Einsatz neuer (optimierter) Materialien die Effizienz von Brennstoffzellen positiv beeinflussen.





© Fraunhofer LBF

Forschungsfelder

Materialentwicklung, Recyclingprozesse, Sonderversuchstechnik

Materialentwicklung

Effizienz und Leistungsfähigkeit sind Grundanforderungen an Materialien, die in Wasserstofftechnologien zum Einsatz kommen. Aber wie sieht es mit deren Nachhaltigkeit aus? Ist eine Substitution durch »grünere« Materialien ohne Performanz-Verlust möglich? Und wenn nein, kann durch eine Prozess- oder Design-Änderung zumindest deren Anteil gesenkt werden?

Dies sind Fragestellungen, denen sich die Forschenden entlang des gesamten Wasserstoff-Lebenszyklus' annehmen. So werden beispielsweise Katalysatoren entwickelt, die frei von kritischen Rohmaterialien sind (bzw. deren Anteil stark reduziert ist). Im Bereich der Speicherung forschen die wissenschaftlichen Teams an Festkörperspeicher-Materialien, die hohe Speicherkapazitäten mit ausgezeichneter Kosteneffizienz kombinieren. Das Leistungszentrum kann bei der Prozessierung dabei auf Anlagen zurückgreifen, die in dieser Form in Deutschland einzigartig sind.

Alternative Methoden werden dabei ebenfalls verfolgt, wie beispielsweise die Verwertung kohlenwasserstoffhaltiger Abfallströme zur Herstellung von technologisch wertvollem

Kohlenstoffmaterial (als Feststoff) und Wasserstoff. Das Ausgangsmaterial wird hierbei durch einen schnell stattfindenden und dadurch energieeffizienten katalysatorgestützten plasma-chemischen Prozess in seine Bestandteile Wasser- und Kohlenstoff aufgespalten.



Der beschleunigte Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft erfordert nachhaltige Materialien, zuverlässige Systeme und kreislauffähige Komponenten.«

Dr. Sven Grieger,
Leitung Innovation Transfer Office

Recyclingprozesse

Angesichts der dynamischen Entwicklung in der Wasserstofftechnologie sind ressourcenschonende Materialkreisläufe sowie nachhaltige, effiziente und wirtschaftliche Technologien entlang des »Wasserstoff-Lebenszyklus'« entscheidende Aspekte der Energiewende.

In Komponenten wie Brennstoffzellen und Elektrolyseuren kommen wertvolle Materialien zum Einsatz die ein effizientes Recycling notwendig machen. Industrielle pyrometallurgische Recyclingprozesse stellen aufgrund entstehender hochgiftiger Fluorverbindungen und den damit verbundenen Reinigungsprozessen ökologisch und ökonomisch mittelfristig keine Alternative dar. Gemeinsam mit Unternehmen der industriellen Wertschöpfungskette entwickelt das Leistungszentrum-Wasserstoff Hessen maßgeschneiderte Recyclinglösungen zur Rückgewinnung dieser Technologiemarkaterialien.

Die Erforschung und Bewertung nachhaltiger Aufbereitungsprozesse orientiert sich dabei an der Optimierung der Recyclingfähigkeit hochwertiger Materialfraktionen, Edelmetallen wie Platin und Ruthenium sowie weiteren wertvollen seltenen Metallen – nach dem Prinzip der ganzheitlichen Betrachtung entlang des Produktlebenszyklus..

Sonderversuchstechnik

Die Lebensdaueranalyse für Wasserstoff-beaufschlagte Werkstoffe und Systeme bedarf komplexer Analyse- und Bewertungsmethoden; sowohl auf experimenteller als auch numerischer Seite. Dabei stellt die hohe Diffusionsfähigkeit der Wasserstoffmoleküle gängige Analysemethoden und Versuchseinrichtungen vor eine enorme Herausforderung, insbesondere, wenn erhöhte Systemdrücke im Bereich der Brennstoffzelle, der Rohrleitungssysteme oder der Wasserstoffspeicher die Grundlage für den Lebensdauernachweis bilden müssen.

Hierfür entwickeln die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler neue Analysetechnologien bzw. können auf vorhandene Sonderversuchstechnik zurückgreifen:

- Eine servo-hydraulische Prüfmaschine, die, ausgerüstet mit einem Druckautoklav bis 50 und 100 bar und einer Temperatureinrichtung, quasi-statische sowie spannungs- und dehnungsgeregelte, zyklische Versuche unter dem Medium Wasserstoff 5.0 bzw. 6.0 und bei Temperaturen von -40 °C bis +130 °C erlaubt.
- Ein Multi-Axialer-Schwingtisch (MAST) der es ermöglicht, unter kombinierten mechanischen, elektrischen und thermischen Beanspruchungen den Lebensdauernachweis etwa von Batterien oder Brennstoffzellen unter nahezu realen Einsatzbedingungen zu führen.

Leistungszentrum

GreenMat4H₂

Kontakt

Dr. Sven Grieger
Leitung Innovation Transfer Office
info@leistungszentrum-wasserstoff-hessen.de
www.leistungszentrum-wasserstoff-hessen.de

 **Fraunhofer**
IWKS



 **Fraunhofer**
LBF

