

FVV PRIMEMOVERS. TECHNOLOGIES.

# The FVV Transfer + Networking Event | Herbst 2023

Wissens- und Technologietransfer | Neues Forschungsprogramm

12



Science for a  
moving society

## Wissens- und Technologietransfer

Die **Dekarbonisierung von Energieerzeugung und Mobilität** ist eine der dringendsten Aufgaben, denen sich die Menschheit weltweit stellen muss, um dem Klimawandel effektiv entgegenzuwirken. Mit erheblichem Aufwand entwickeln die Mitglieder der FVV-Zukunftstechnologien für eine klimafreundliche und ressourcenschonende Transformation.

Die FVV unterstützt sie auf diesem Weg durch ein internationales Forschungsnetzwerk, in dem Unternehmen, Institute und Verbände gemeinsam und vorwettbewerblich an Lösungen zur schnellstmöglichen Umsetzung der Energie-, Molekül- und Antriebswende forschen und so die Grundlagen der künftigen Mobilität schaffen. Die Forschungsprojekte decken dabei die gesamte Bandbreite an Möglichkeiten ab, die innovative Energiewandler und alternative Energieträger bieten – batterieelektrische Antriebe genauso wie die Wasserstoffnutzung in Brennstoffzellen oder thermischen Wandlern sowie andere alternative Konzepte. Die einzige Messgröße ist das Potenzial der Lösungen, das gesteckte Ziel sicher und schnellstmöglich zu erreichen. Wasserstoff bietet in diesem Zusammenhang Vorteile, denn bei seiner Nutzung wird kein CO<sub>2</sub> freigesetzt, zudem ist er gut speicher- und transportierbar.

Die FVW ist auf dem Gebiet der Wasserstoffnutzung schon seit dem Jahr 2016 aktiv und hat eine Vielzahl von Forschungsprojekten initiiert, die zu einem besseren Verständnis der komplexen Zusammenhänge bei Nutzung des Energieträgers beitragen.

Denn nicht nur in der Mobilität, auch in der Strom- und Fernwärmeerzeugung wird Wasserstoff künftig eine Rolle spielen. In welchem Umfang hängt von mehreren Faktoren ab: Zum einen von der Verfügbarkeit und den Kosten des Brennstoffs, zum anderen von der Infrastruktur wie Pipelines und Stromnetzen. Fest steht, dass Turbomaschinen auch in den kommenden Jahren einen wichtigen Beitrag zur Energieversorgung leisten werden. Unternehmen und Universitäten forschen zudem neben Wasserstoff an weiteren alternativen Energieträgern wie Ammoniak und Methanol, die jeweils eigene Vor- und Nachteile haben.

Mit dem Transfer + Networking Event im Herbst 2023 in Würzburg bot die FVW den Teilnehmerinnen und Teilnehmern wieder ein anspruchsvolles Programm zur Industriellen Gemeinschaftsforschung an Zukunftstechnologien und wie immer die Gelegenheit, sich über den Stand aktueller Forschungsprojekte zu informieren, Ergebnisse auszutauschen und das Netzwerk zu erweitern.

## Energieträger der Zukunft: Wasserstoff

// vollständige Projektdaten ab S. 17

PROJEKT 1439 · Brennstoffzellen-Verdichterauslegung

SCHWERPUNKT Entwicklungswerkzeuge EXPERTENGRUPPE Turbomaschinen

ANWENDUNGEN Straße, Wasser, Schiene

PROJEKT 1406 · Energierückgewinnung in Brennstoffzellenanwendungen

SCHWERPUNKT Werkstoffe EXPERTENGRUPPE Brennstoffzellen

ANWENDUNGEN Straße, Wasser, Luft, Schiene

PROJEKT 1442 · Wasserstoffverbrennung und Vergleich PFI/DI-Konzepte

SCHWERPUNKTE Kraftstoffe, Wirkungsgrad EXPERTENGRUPPE Motoren

ANWENDUNG Straße (Nutzfahrzeuge)

PROJEKT 1429 · CO<sub>2</sub>-neutrale Langstrecken-NFZ-Antriebe 2050 II

SCHWERPUNKT Emission, Wirkungsgrad EXPERTENGRUPPE Nachhaltige

Antriebssysteme ANWENDUNGEN Straße (Nutzfahrzeuge)

# Wasserstoff

## – Energieträger für klimaneutrale Mobilität

Bei der Nutzung von Wasserstoff in Brennstoffzellen oder Verbrennungsmotoren werden keine Treibhausgase wie CO<sub>2</sub> freigesetzt. Wenn die Energie für die Erzeugung aus regenerativen Quellen stammt, ist er als »grüner« Wasserstoff komplett klimaneutral. Damit ist sein Einsatz als Energieträger eine tragende Säule der Forschungsstrategie der FVV für künftige Antriebs-/Energiewandlungssysteme. Bei den Energiewandlern für Wasserstoff konnten mithilfe der FVV-Forschungsprojekte erhebliche Fortschritte erzielt werden.

Auf dem FVV Transfer + Networking Event | Herbst 2023 wurden in drei Sessions – **SESSION 1** Entwicklungswerkzeuge, Kraftstoffe, Werkstoffe, **SESSION 2** Orientierungsstudien, Emissionen, Wirkungsgrad + Effizienz, **SESSION 3** Turbomaschinen – zentrale Ergebnisse laufender und abgeschlossener Projekte vorgestellt.

### Brennstoffzellensysteme

Im Bereich der Brennstoffzellenanwendungen für Pkw-Antriebe steht besonders die Polymerelektrolytmembran-Brennstoffzelle (PEM-Brennstoffzelle) im Entwicklungsfokus. PEM-Brennstoffzellen arbeiten mit Wasserstoff als Energieträger für die im Stack an den katalytischen Zellflächen ablaufende elektrochemische Reaktion. Der Wasserstoff wird in der Regel aus Drucktanks bereitgestellt. Der notwendige Sauerstoff wird aus der Umgebungsluft entnommen

und mithilfe eines elektrisch angetriebenen Verdichters durch den Stack gefördert. Um den bestmöglichen Systemwirkungsgrad der PEM-Brennstoffzelle zu erzielen, müssen Dimensionierung und Betriebsstrategie von Stack und Nebenaggregaten optimal aufeinander abgestimmt sein. An die elektrisch angetriebenen Radialverdichter, die für die Aufladung eingesetzt werden, werden hohe Effizienzanforderungen gestellt. Als größter elektrischer Nebenverbraucher bietet die Ladeeinheit das größte Optimierungspotenzial. Durch eine Steigerung des Stack-

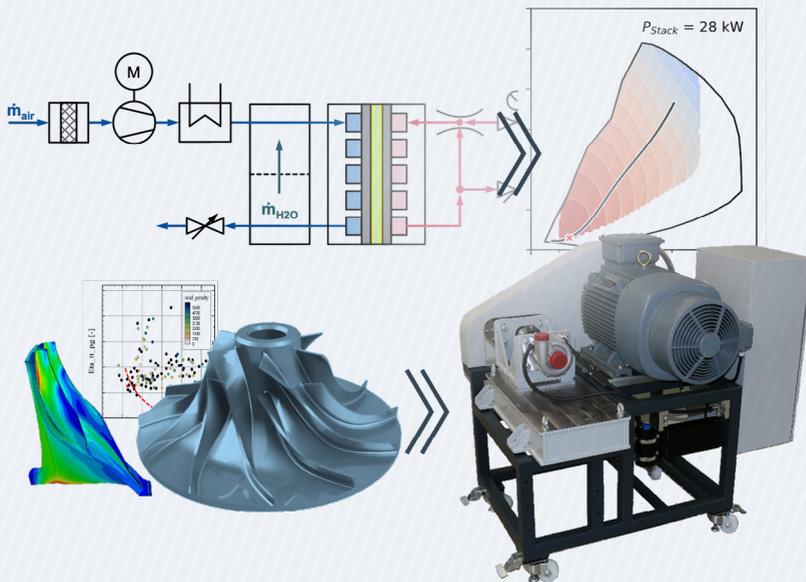


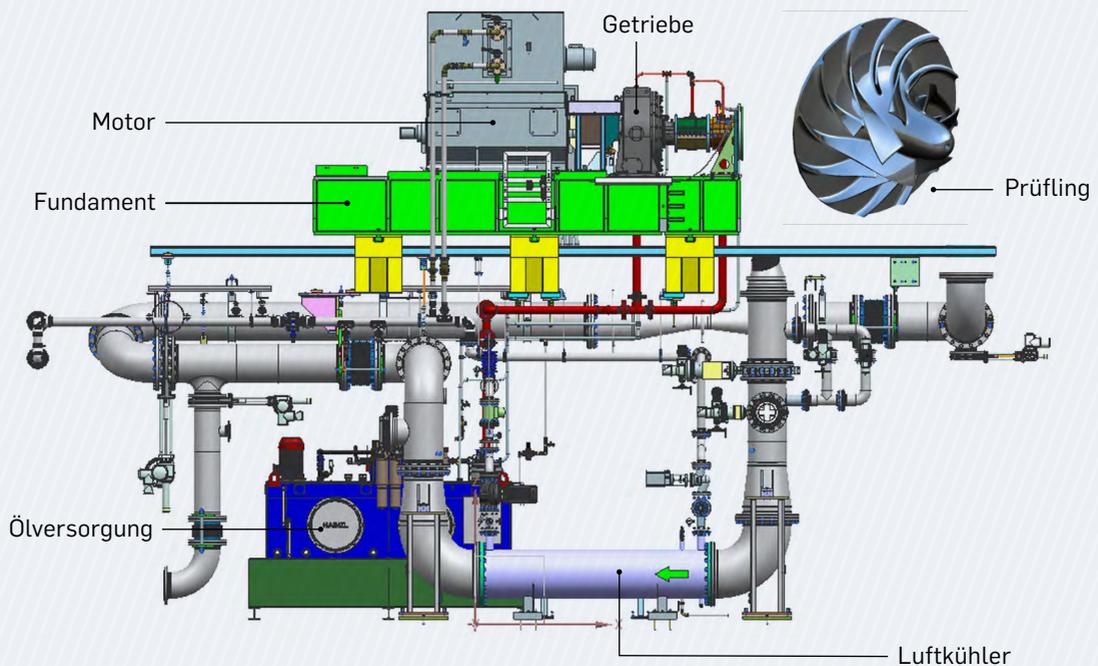
ABBILDUNG 1

## Schematische Darstellung der Projektstruktur

zur Brennstoffzellen-Verdichterauslegung // RWTH Aachen University | TME

Betriebsdrucks beziehungsweise durch eine überstöchiometrische Zufuhr der Reaktionsgase nehmen die bei der Reaktion auftretenden Verluste ab, sodass Stack-Wirkungsgrad und Leistungsdichte gesteigert werden. Aufgrund der noch geringen Stückzahlen von PEM-Brennstoffzellen kommen bei aktuellen Konzepten aus Kostengründen allerdings zumeist Radialverdichter zum Einsatz, die nicht optimal auf die Anforderungen der PEM-Brennstoffzellen abgestimmt sind. Unterschiede ergeben sich vor allem aus den geringen Drehzahlen des elektrisch angetriebenen Verdichters bei Brennstoffzellenanwendungen sowie aus dem Bedarf ölfreier Luftlager statt konventioneller Gleit- oder Wälzlager für die Verdichterwelle. Mit den Ergebnissen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz geförderten

FVV-Projekts »**Brennstoffzellen-Verdichterauslegung**« soll die Auslegung künftig vereinfacht werden. »In diesem Projekt erarbeiten wir eine Methodik, mit der Radialverdichter für PEM-Brennstoffzellen durch ein Simulationstool schnell und effizient auf die Anforderungen der jeweiligen Anwendung hin optimiert werden können«, erklärte Projektleiter Thomas Hildebrandt, Gründer des auf die Strömungssimulation in Turbomaschinen spezialisierten NUMECA Ingenieurbüros. An den Forschungen sind der Lehrstuhl für Thermodynamik mobiler Energiewandlungssysteme (TME) und das Institut für Strahlantriebe und Turbomaschinen (IST) der RWTH Aachen beteiligt. »Im ersten Schritt wurde am TME der Einfluss der Brennstoffzellen-Systemarchitektur auf das Anforderungsprofil des Aufladeaggregats identifiziert. Hierzu wurden repräsentative Systeme



**ABBILDUNG 2**  
 Prüfstand für Untersuchungen an Radialverdichtern // IST

in einer Simulation abgebildet, sodass eine einfache Bestimmung der wirkungsgradoptimalen Betriebsstrategie von System und Aufladeaggregat möglich wurde. Im zweiten Schritt wurde ein besonders herausfordernder Anwendungsfall auf Fahrzeugebene ausgestaltet und aus den Randbedingungen ein Lastenheft für die Verdichterauslegung erstellt«, sagte Julian Toussaint vom TME in seinem zusammen mit Janik Rajh vom IST gehaltenen Vortrag. Daraus aufbauend erfolgte am IST als dritter Schritt die aerodynamische Auslegung des Brennstoffzellen-Radial-verdichters. »Unsere Forschungen umfassten unter anderem die Festlegung der Optimierungs-Betriebspunkte, die Definition der Zielfunktion, die Geometrie-Parametrisierung, die Festlegung des Design-Raums und den Aufbau des numerischen Modells für

den Optimierungsprozess. Parallel zur aerodynamischen Optimierung wurde die strukturmechanische Integrität durch strukturmechanische Simulationen sichergestellt«, so Rajh. Nachdem die System- und Komponentensimulationen erfolgreich abgeschlossen sind, werden die Forschungsergebnisse derzeit anhand von Prüfstandsuntersuchungen mit Prototypverdichtern validiert. »Unsere Methodik ermöglicht damit eine kostengünstige rein rechnerische Verdichterauslegung, sodass auch kleine Serien von Brennstoffzellensystemen auf hohe Effizienz ausgelegt werden können«, fasste Hildebrandt zusammen.

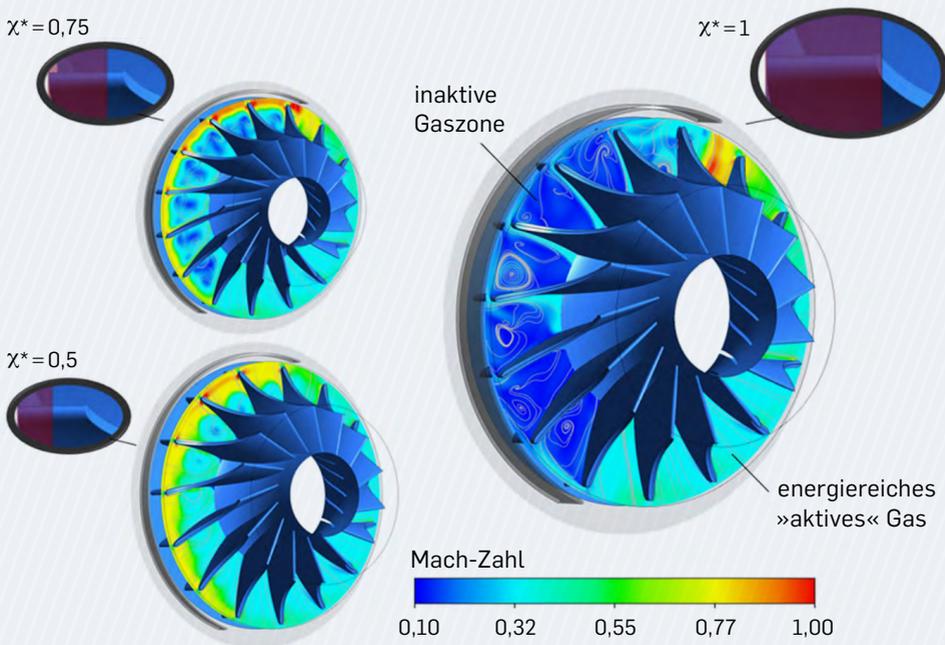


ABBILDUNG 3

Strömungssimulation der teilbeaufschlagten Turbine bei variabler Versperrung // TFD

Ein weiteres Forschungsvorhaben zur Optimierung des Kathodengaspfads bei PEM-Brennstoffzellensystemen hat das Institut für Turbomaschinen und Fluid-Dynamik (TFD) der Leibniz Universität Hannover mit dem Projekt **»Energierückgewinnung in Brennstoffzellenanwendungen«** durchgeführt. »Im Rahmen unserer Forschungen haben wir Konzepte zur Verbesserung der Leistungsdichte des Brennstoffzellensystems durch die Integration einer stromab liegenden Turbine mit aktivem Regelmechanismus entwickelt und gegenübergestellt«, so Prof. Dr. Jörg Seume, Leiter des TFD. Die Entwicklung des Rekuperationssystems begann mit der Definition der Anforderungen an ein repräsentatives Brennstoffzellensystem für Fahrzeuganwendungen und daraus abgeleitet an die Energie-

rückgewinnung. Turbinentypen mit verschiedenen Regelungsmechanismen wurden einer konzeptionellen Analyse unterzogen, um ihre Eignung im Hinblick auf die zuvor definierten Anforderungen zu bewerten. Zusätzlich zu den bereits etablierten Verfahren, wie einem separaten Ventil im Gaspfad, einer Wastegate-Turbine, einer Turbine mit variabler Geometrie (VTG) oder auch weniger verbreiteten Konzepten wie einer sogenannten »Sliding-Nozzle-Turbine« wurden dazu variabel teilbeaufschlagte Turbinen (variable partial-admission turbines, VPAT) entwickelt. Wie sich zeigte, bietet die Versperrung eines Teilsegments des Zuströmquerschnitts zur Turbine über einen axial verschiebbaren Regelring, der einen Teil des Turbinenumfangs umschließt, eine mechanisch besonders robuste und kostengünstige Variante zur Regelung. Für zwei exem-

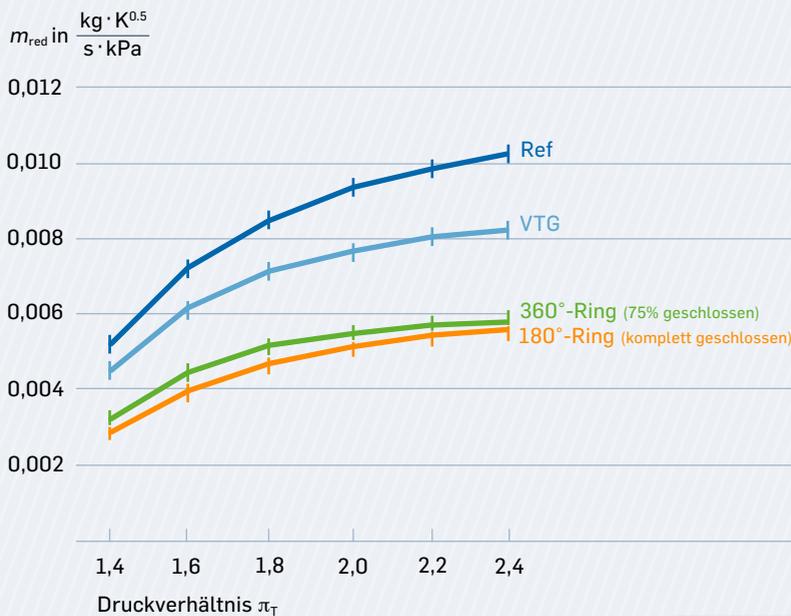


ABBILDUNG 4

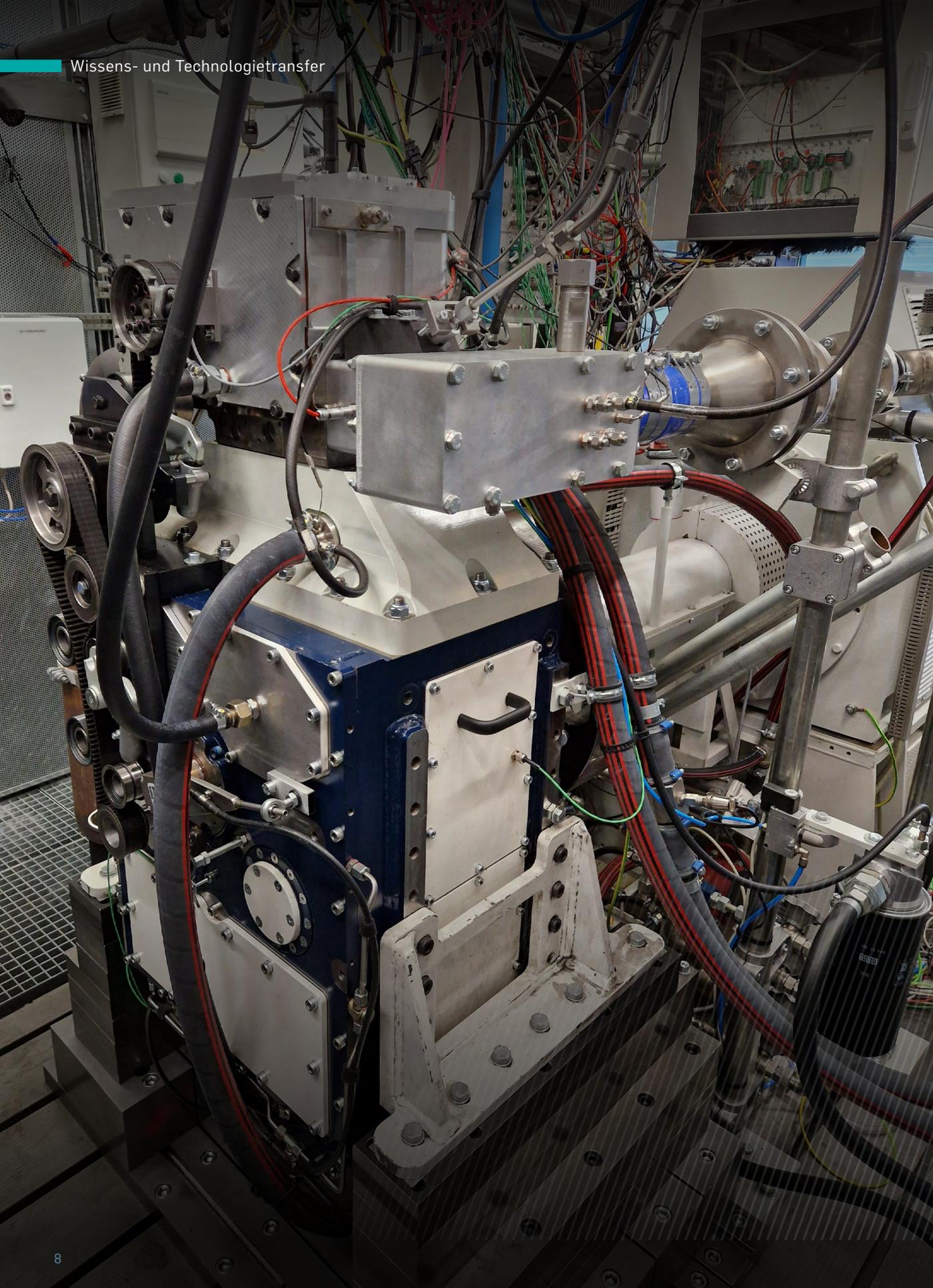
Exemplarisches Turbinenkennfeld  
mit verschiedenen Regelmechanismen // TFD



Siehe auch:  
Publikation  
»Radialverdichterforschung«,  
→ [www.fvv-net.de](http://www.fvv-net.de)

plarische Bauformen (180°-Ring und 360°-Ring) hat das TFD mögliche Einflussfaktoren analysiert und die thermodynamischen Potenziale berechnet. Die Implementierung der VPAT umfasste auch die Entwicklung eines numerischen Modells für RANS- und URANS-Simulationen. Mit diesem Modell wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, um den Einfluss der Umfangsposition des Regelrings oder der Größe des Spalts zwischen der Vorderkante des Rotors und dem Regelring zu bewerten. »Es hat sich gezeigt, dass das VPAT-Konzept im Vergleich zu anderen untersuchten Regelungen für Turbinen einen geringeren Wirkungsgrad hat. Wenn die Entwicklungspriorität auf Einfachheit, Kosteneffizienz und Robustheit liegt, bietet es jedoch Vorteile gegenüber etablierten Kontrollmechanismen«, so Seume.

Durch die chemische Reaktion in der Brennstoffzelle entsteht auf der Kathoden-seite eine große Menge an Wasser. Die der Brennstoffzelle nachgeschalteten Komponenten sind daher einer sehr hohen relativen Luftfeuchtigkeit ausgesetzt und müssen gegen Wassertröpfchen in der Strömung beständig sein. Die in diesem Projekt untersuchte Radialturbine ist so nah wie möglich an der Brennstoffzelle positioniert, um den maximalen Enthalpieunterschied auszunutzen. Das bedeutet aber auch, dass das Risiko, dass Tropfen auf das Laufrad treffen, vergleichsweise hoch ist. Als Ergänzung der VPAT-Untersuchungen wurde eine direkt in das Turbinengehäuse integrierte Tropfenabscheidung betrachtet, die das Potenzial bietet, den Aufbau und die Komplexität des Kathodenkreises weiter zu vereinfachen und somit das Gesamtsystem günstiger zu machen.



## Wasserstoff-Verbrennungsmotor

Neben der Verwendung von Wasserstoff als Energieträger in Brennstoffzellen bietet sich auch eine Nutzung in fremdgezündeten Verbrennungsmotoren zur Dekarbonisierung künftiger Fahrzeuge an. »Aufbauend auf ausgereifter Technik können Wasserstoff-Verbrennungsmotoren eine hohe Leistungsdichte, niedrige Betriebskosten und eine zuverlässige und robuste Antriebslösung darstellen, insbesondere für schwere Nutzfahrzeuge«, so Prof. Dr. Thomas Koch, Leiter des Instituts für Kolbenmaschinen (IFKM) am Karlsruher Institut für Technologie. Allerdings unterscheiden sich die physikalischen und chemischen Wasserstoffeigenschaften von denen herkömmlicher Kraftstoffe wie Benzin oder Diesel, was sowohl Herausforderungen als auch Möglichkeiten bietet. Im Forschungsprojekt »**Wasserstoffverbrennung und Vergleich PFI/DI Konzepte**« hat das IFKM die Potenziale verschiedener Gemischbildungskonzepte für Wasserstoff-Verbrennungsmotoren im Bereich der Nutzfahrzeuganwendungen analysiert. Dazu wurde ein Einzylinder-Nutzfahrzeugmotor mit einer Saugrohr- sowie Direktinblasung für den Wasserstoffbetrieb ausgerüstet und auf einem Motorprüfstand betrieben. Parallel hat das IFKM ein 3D-CFD-Simulationsmodell des Brenn-

raums aufgebaut, welches detaillierte Einblicke in die Gemischaufbereitung und Homogenisierung lieferte. Die Ausführung mit Saugrohreninblasung stellte die Vergleichsbasis für die verschiedenen Konzepte mit Direktinblasung in Bezug auf erreichbare Leistung, Wirkungsgrad und Emissionsverhalten dar. Spezieller Fokus der Untersuchungen lag hierbei auf dem Verbrennungs- und Emissionsverhalten von Saugrohr- und Direktinblasung aufgrund unterschiedlicher Homogenisierung im Brennraum. Zudem wurde analysiert, inwieweit Strahlformungskappen für den Injektor die Gemischbildung der Direktinblasung verbessern. Zu diesem Zweck wurden zwei verschiedene Kappen-geometrien ausgelegt, eine Kappe mit zentralem Loch für einen kompakten Strahl sowie eine Kappe mit vier kleineren Einzellöchern für einen diffuseren Strahl. Gegenüber der Direktinblasung zeigte die Saugrohreninblasung eine bessere Gemischhomogenisierung und eine deutlich langsamere Verbrennung, gekennzeichnet durch höheren Brennverzug und Brenndauer sowie geringere Druckgradienten, mit Vorteilen beim Wirkungsgrad sowie den Stickoxidemissionen. Allerdings war der erreichbare indizierte Mitteldruck aufgrund von Vorentflammungen auf 18 bar bei einem Ladedruck von 3,4 bar absolut limitiert. Durch die Direktinblasung mit Vierlochkappe lies sich ein indizierter Mitteldruck von 19 bar

### ABBILDUNG 5

Wasserstoffmotor auf dem Prüfstand // IFKM

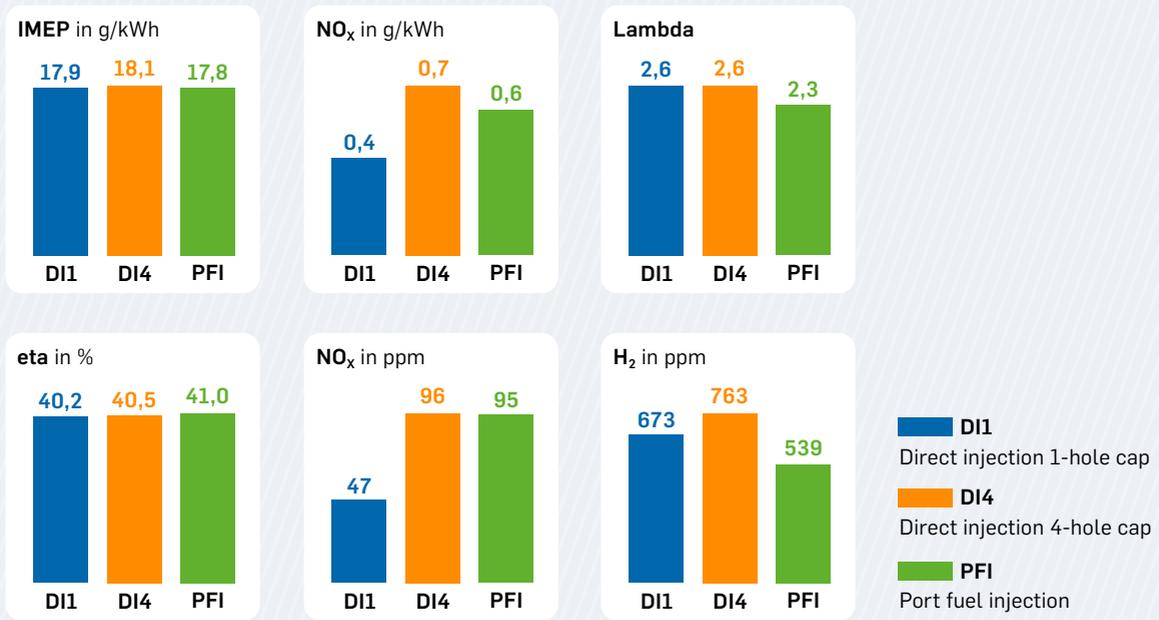


ABBILDUNG 6

Effizienz und Emissionen des Wasserstoffmotors  
mit den untersuchten Einspritzsystemen bei 18 bar Mitteldruck // IFKM

einstellen, verbunden mit vergleichsweise hohen Stickoxidemissionen, bevor auch hier Vorentflammungen auftraten. Demgegenüber zeigte das System mit Einlochkappe mit einem maximalen indizierten Mitteldruck von 20 bar die größte Lastfähigkeit und war in der untersuchten Konfiguration lediglich durch den maximalen Zylinderdruck von 180 bar begrenzt. »Insgesamt lässt sich festhalten, dass die Saugrohreinjection vor allem bei mittleren Lasten Vorteile aufgrund der homogeneren Gemischbildung bietet. Bei höheren Lasten kann die Direkteinspritzung ihre Stärken ausspielen und bietet zudem ein höheres Optimierungspotenzial im Gesamtsystem«, erklärte Koch. Aktuelle Wasserstoffmotorkonzepte basieren in der Regel auf Dieselmotoren, die entsprechend umgerüstet werden.

Aus Gründen der Praktikabilität und der Kosten wird dabei die Integration einer Saugrohr- statt einer Direkteinspritzung bevorzugt. »Die Forschungsergebnisse geben Motoren- und Fahrzeugherstellern nun ein klares Bild über die Vor- und Nachteile der beiden Lösungen. Während sich für die Nachrüstung ein Konzept mit Saugrohreinblasung anbietet, sind bei Motoren, die speziell für Wasserstoff konstruiert werden, Systeme mit Direkteinblasung sehr vielversprechend«, erklärte der Forschungsprojektleiter Dr. Reza Rezaei von IAV. »Weitere Effizienzverbesserungen beim Wasserstoffmotor könnten sich durch eine Verbindung mit intelligenten Funktionen des hochautomatisierten Fahrens ergeben, mit denen die Motorparameter prädiktiv an die Umgebung angepasst werden«, so sein Ausblick.

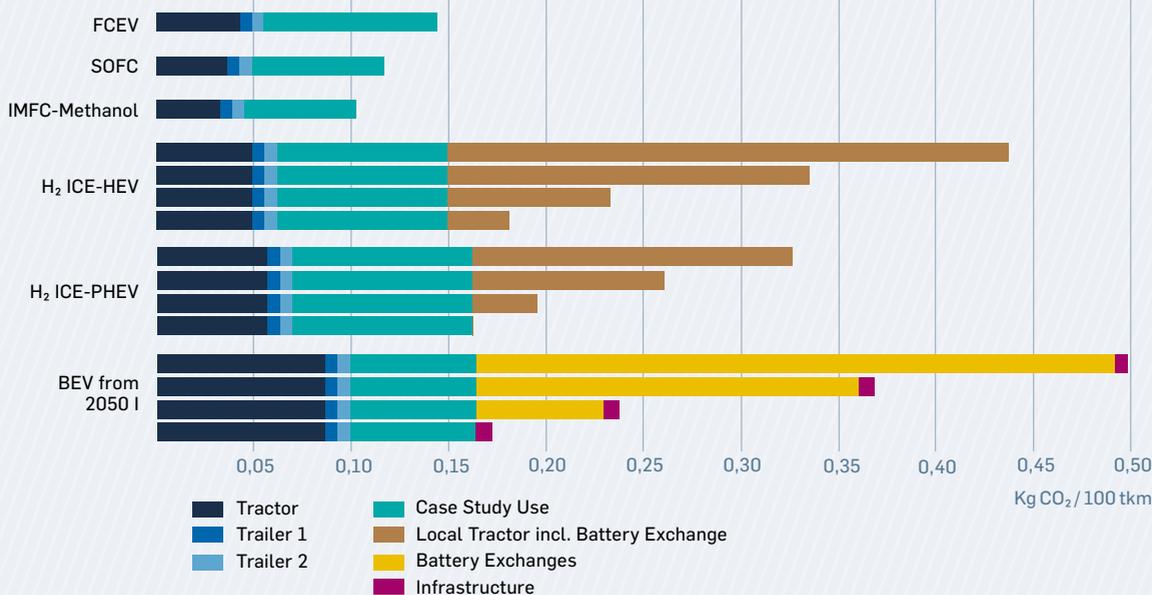


ABBILDUNG 7

Lebenszyklusanalyse einschließlich Batterietausch für die jeweilige Antriebsstrangvariante mit der besten Performance (beim »Local Tractor« des H<sub>2</sub>-ICE-HEV sowie beim H<sub>2</sub>-ICE-PHEV und beim BEV sind von oben nach unten jeweils fünf, drei, ein und kein Batteriewechsel über Lebensdauer eingerechnet) // IABP

## Das Nutzfahrzeug 2050

Im Forschungsprojekt »CO<sub>2</sub>-neutrale Langstrecken-NFZ-Antriebe 2050 II« haben das Institut für Akustik und Bauphysik (IABP) der Universität Stuttgart und IAV mögliche Antriebskonzepte künftiger Fernverkehrs-Lkw und deren Umweltauswirkungen für das Jahr 2050 untersucht. Das Projekt baut auf früheren Untersuchungen auf, bei denen Batterie-, Wasserstoff-, Oberleitungs- und verbrennungsmotorische Antriebskonzepte für schwere Lkw im Fernverkehr auf technischer und ökologischer Ebene bewertet worden waren. Das Folgeprojekt konzentrierte sich nun auf die Nutzung von Wasserstoff und Methanol als Energieträger. Untersucht wurden Brennstoffzellenantriebe mit den Kraftstoffvarianten

flüssiger organischer Wasserstoffträger (Liquid-Organic Hydrogen Carrier, LOHC), kryogener flüssiger und komprimierter Wasserstoff sowie hybride Wasserstoff-Verbrennungsmotoren, Plug-in-Hybrid-Wasserstoff-Verbrennungsmotoren und Batterie-Elektroantriebe für den Nahverkehr. Ziel der Forschungsstudie war es, verlässliche Prognosen über geeignete Antriebsstrangarchitekturen für das Jahr 2050 auf technischer, ökologischer und ökonomischer Ebene zu treffen. Dazu wurde bei IAV eine Fahrzeugsimulation durchgeführt, um Leistungsbedarf und Kraftstoffverbrauch für die verschiedenen Antriebsstrangkfigurationen zu bewerten. »Das zentrale Ergebnis der Berechnungen war, dass ein Truck mit einem Brennstoffzellensystem auf Basis einer Festoxidbrennstoffzelle (Solid Oxide Fuel Cell, SOFC) in Kombination

mit einem 700-bar-Speichersystem den geringsten Wasserstoffverbrauch aufweist. Die Anwendung von LOHC-Tanksystemen würde in unseren Betrachtungen die Gesamteffizienz des Antriebssystems verringern«, so Dr. Dennis Jünemann von IAV.

Auf den Simulationen baute eine detaillierte Lebenszyklusanalyse (Life-Cycle-Assessment, LCA) des IABP auf. Dabei wurden alle direkten und indirekten Auswirkungen auf den unterschiedlichen Stufen der Wertschöpfungskette in die CO<sub>2</sub>-Bilanz eingerechnet (Cradle-to-Wheel-Ansatz). Bei den Berechnungen sind die Forschenden von einem deutschen Strommix für das Jahr 2050 ausgegangen, der jeweils zu einem Drittel aus Wasserkraft, Photovoltaik und Windkraft besteht und zu einem CO<sub>2</sub>-Ausstoß von 11,5 g/KWh führt. Zusätzlich wurde für die Herstellung der synthetischen Kraftstoffe ein Strommix aus MENA (Middle East – Northern Africa) betrachtet, bei dem sie einen CO<sub>2</sub>-Ausstoß von 8,7 g/KWh angenommen haben. »Unter der Voraussetzung, dass die Klimaziele für das Jahr 2050 erreicht werden und CO<sub>2</sub>-neutrale Technologien verfügbar sind, ist von den wasserstoffbetriebenen Systemen die SOFC-Variante in Summe besonders zielführend, da sie geringe Treibhausgasemissionen in der Produktion aufweist und vergleichs-

weise niedrige Kosten verursacht«, sagte Andreas Geß vom IABP. Wie eine Sensitivitätsanalyse zeigte, trägt die Batterieproduktion am meisten zu den Treibhausgasemissionen bei. »Unter den im Projekt getroffenen Annahmen sind batteriebetriebene Fahrzeuge nur dann ökologisch vorteilhaft, wenn die Batterie über die prognostizierte Laufzeit des Fahrzeugs von 1,5 Millionen Kilometern nicht gewechselt werden muss. Dies unterstreicht die Notwendigkeit, die Reichweite und Lebensdauer der Batterien zu verbessern und gleichzeitig die Kosten zu minimieren«, erklärte der Leiter des Forschungsprojekts, Herbert Schneider von Isuzu Motors. »Mit den Ergebnissen liefern wir eine fundierte Bewertung aktuell diskutierter Antriebskonzepte. Die Industrie kann daraus ableiten, welche Ansätze für die eigene langfristige Antriebsentwicklung besonders zielführend sind«, meinte Schneider.

*Wie bei allen LCA-Untersuchungen zeigte sich auch bei diesem Projekt die starke Abhängigkeit der Prognosen von den Annahmen, die als Grundlage der Simulationen dienen. Um eine Vergleichbarkeit unterschiedlicher Studienergebnisse nach wissenschaftlichen Maßstäben zu gewährleisten, unterstützt die FVV daher die Standardisierung der Randbedingungen und der Methodik für LCA auf EU-Ebene.*





Siehe auch:  
**Publikation**  
**»Systemeffizienz«**  
→ [www.fvv-net.de](http://www.fvv-net.de)

#### ABBILDUNG 8

Zukunftsstudie eines wasserstoffbetriebenen  
Langstrecken-Lkw // IAV

Rund **270** Teilnehmerinnen und Teilnehmer  
beteiligten sich an regen Diskussionen

Insgesamt **21 Projekte** zu technologisch-wissenschaftlichen  
Grundlagen für Klimaneutralität und Zero-Impact-Emissionen  
in nachhaltigen Energiewandlungssystemen wurden vorgestellt

Am **14. März 2024** findet der  
nächste Transfer + Networking Event statt

# Wir halten die **Zukunft** offen

Insgesamt rund 270 Teilnehmerinnen und Teilnehmer aus Unternehmen, Forschungsstellen und Verbänden informierten sich in Würzburg über neueste Ergebnisse laufender und kürzlich abgeschlossener FVV-Forschungsvorhaben. Eine Vielzahl informativer Vorträge förderte den Wissensaustausch über Zukunftsthemen wie Dekarbonisierung, alternative Energieträger, Brennstoffzellensysteme und neue Systeme für die direkte Verbrennung von Wasserstoff (→ Seite 17: Forschungsverzeichnis). Den Teilnehmern wurden so wertvolle Unterstützung und vielfältige Anregungen für die eigenen Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten gegeben.

Um auch den künftigen Anforderungen an die Forschung gerecht zu werden, hat die FVV das Forschungsportfolio und die Forschungsgruppen neu strukturiert (→ Seite 30: Expertengruppen und Forschungsfelder (ToR)). Die von der FVV organisierte vorwettbewerbliche Industrielle Gemeinschaftsforschung (IGF) schafft damit das Fundament für die Entwicklung noch umweltverträglicherer und ressourcenschonenderer Motoren, Hybridantriebe, Brennstoffzellen, Turbinen, Kompressoren, Verdichter und den entsprechenden Energieträgern.

Live-Tagungsveranstaltungen sind nach wie vor ein wichtiges Medium zum Informations- und Gedankenaustausch und zur Erweiterung des wissenschaftlichen Netzwerks. Die nächste FVV-Transferveranstaltung wird vom 13. bis 15. März 2024 wieder in Würzburg stattfinden.



Siehe auch:  
**The FVV Transfer + Networking  
Event | Frühjahr 2024**  
→ [www.fvv-net.de](http://www.fvv-net.de)



Tagungsband R 606  
The FVV Transfer + Networking Event | Herbst 2023  
→ [www.themis-wissen.de](http://www.themis-wissen.de)

NR	THEMA FÖRDERGEBER	FORSCHUNGSSTELLEN PROJEKTLEITUNG	TAGUNGSBAND ABSCHLUSSBERICHT
1431	<b>SACI-Verbrennungssystem mit aktiver Vorkammer:</b> Untersuchung der CO <sub>2</sub> -Reduktionspotenziale eines Verbrennungssystems basierend auf der funkenunterstützten Kompressionszündung (SACI) in Kombination mit einer aktiven Vorkammer FVV	Prof. Dr. Stefan Pischinger (TME, RWTH Aachen) Prof. Dr. André Casal Kulzer (IFS, Universität Stuttgart) Prof. Dr. Alexander Heufer (PCFC, RWTH Aachen) Dr. Jonas Villforth (Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG)	R606 (S. 5–46)
1435	<b>Turbulenzmodellierung III:</b> Quasi-dimensionale Modellierung der zyklischen Schwankungen des Strömungsfelds im Brennraum mit Schwerpunkt auf Hocheffizienzmotoren (Langhubig, Hoch-turbulenz, Miller/Atkinson) FVV, BMWK/CORNET	Prof. Dr. André Casal Kulzer (IFS, Universität Stuttgart) Prof. Dr. Stefan Pischinger (TME, RWTH Aachen) Prof. Dr. Kai Herrmann (ITFE, FH Nordwestschweiz) Marinus Wieser (Bosch Engineering GmbH)	R606 (S. 47–87)
1442	<b>Wasserstoffverbrennung und Vergleich PFI/DI Konzepte:</b> Untersuchung der Charakteristiken der Wasserstoffverbrennung und Vergleich zwischen SI- und CI-Verbrennungskonzepten für HD-Anwendungen FVV	Prof. Dr. Thomas Koch (IFKM, KIT Karlsruhe) PD Dr. Reza Rezaei (IAV GmbH)	R606 (S. 88–117)
1377	<b>Wellenbohrungen:</b> Entwicklung einer Methodik für die Steigerung der Torsionsfestigkeit von Antriebswellen mit Querbohrung BMWK/IGF	Prof. Dr. Tobias Melz (Fraunhofer LBF) Prof. Dr. Thomas Bergs (WZL, RWTH Aachen) Stefan Roth (MAN Energy Solutions SE)	R606 (S. 118–133) H1346 (2023)
1402	<b>Abgasbeaufschlagte Tribosysteme:</b> Charakterisierung der Verschleißmechanismen abgasbeaufschlagter, ungeschmierter Tribosysteme BMWK/IGF	Prof. Dr. Peter Gumbsch (Fraunhofer IWM) Prof. Dr. Martin Dienwiebel (IAM-ZM, KIT Karlsruhe) Dr. Heiko Haase (Rolls-Royce Solutions GmbH)	R606 (S. 134–146)
1406	<b>Energierückgewinnung in Brennstoffzellen Anwendungen:</b> Ein Vergleich der Architekturen zur Energierückgewinnung in Brennstoffzellensystemen und der entsprechenden Turbinenkonstruktion FVV	Prof. Dr. Jörg Seume (TFD, Leibniz Universität Hannover) Dr. Dirk Jenssen (Volkswagen AG)	R606 (S. 147–182) H1347 (2023)
1463	<b>Future Mobility Dialogue:</b> Entwicklung von Kommunikationsmethoden für einen glaubwürdigen und aufmerksamkeitsstarken Wissenschaftsdialog zur Mobilität der Zukunft FVV	Prof. Dr. Andreas Welling (IWD, TH OWL Ostwestfalen-Lippe) Prof. Dr. Thomas Garbe (Volkswagen AG)	R606 (S. 183–225)
1429	<b>CO<sub>2</sub>-neutrale Langstrecken-NFZ-Antriebe 2050 II:</b> Studie zu CO <sub>2</sub> -Emissionen, Energieverbrauch und Kosten von Langstrecken-LKW mit SOFC, H <sub>2</sub> -VKM, verbrauchsoptimiertem Hybridkonzept unter Berücksichtigung zukünftiger Energiebereitstellung für 2050 FVV	Prof. Dr. Philip Leistner (IABP-GaBi, Universität Stuttgart) Herbert Schneider (ISUZU MOTORS Germany GmbH)	R606 (S. 226–260) H1344 (2023)

NR	THEMA FÖRDERGEBER	FORSCHUNGSSTELLEN PROJEKTLEITUNG	TAGUNGSBAND ABSCHLUSSBERICHT
1457	<p>› <b>Akustik von Wasserstoffhubkolbenmotoren:</b> Erfassung und Bewertung des Verbrennungsgeräusches des Wasserstoffhubkolbenmotors</p> <p>› FVV</p>	<p>› Prof. Dr. Stefan Pischinger (TME, RWTH Aachen)</p> <p>› Dr. Stefan Heuer (MAN Truck &amp; Bus SE)</p>	<p>› R606 (S. 261–290)</p>
1382	<p>› <b>Schmierölkonzept Großmotor II:</b> Wissenschaftliche Vertiefung des Verständnisses über die auf Schmierölverbrauch zurückzuführende Partikelemissionsbildung von mittelschnell laufenden Schiffsmotoren</p> <p>› FVV</p>	<p>› Prof. Dr. Michael Thiemke (HS Flensburg)</p> <p>› Prof. Dr. Gerhard Matz (IAM-Hamburg e.V.)</p> <p>› Prof. Dr. Friedrich Wirz (ASM, TU Hamburg-Harburg)</p> <p>› Dr. Udo Schlemmer-Kelling (formerly FEV Europe GmbH)</p> <p>› Dr. Tobias C. Wesnigk (formerly M. JÜRGENSEN GmbH &amp; Co. KG)</p>	<p>› R606 (S. 291–324)</p>
1391	<p>› <b>Reinigungsmechanismen im Abgaspfad:</b> On-Board-Entfernung von kohlenstoffbasierten Ablagerungen aus dem Abgaspfad von Verbrennungsmotoren</p> <p>› BMWK/IGF</p>	<p>› Prof. Dr. Sven Kureti (IEC-RT, TU Freiberg)</p> <p>› Prof. Dr. Peter Eilts (ivb, TU Braunschweig)</p> <p>› Dr. Bernhard Lüers (FEV Europe GmbH)</p> <p>› Raimund Vedder (formerly Atlanting GmbH)</p>	<p>› R606 (S. 325–359)</p>
1398	<p>› <b>TWC Einfluss auf Rußeigenschaften:</b> Untersuchung der Veränderung der Eigenschaften von Partikelemissionen eines Ottomotors in einem 3-Wege-Katalysator</p> <p>› BMWK/IGF</p>	<p>› Prof. Joachim Mayer (GFE, RWTH Aachen)</p> <p>› Prof. Dr. Stefan Pischinger (tme, RWTH Aachen)</p> <p>› Dr. Julie Le Louvetel-Poilly (Toyota Motor Europe NV/SA)</p>	<p>› R606 (S. 360–391)</p> <p>› H1345 (2023)</p>
1424	<p>› <b>Füllungsgradeinfluss:</b> Verbesserung der Effizienz schnell laufender Gleitlager durch gezielte Nutzung teilgefüllter Spalt- und Taschenbereiche am Beispiel von Radialgleitlagern</p> <p>› BMWK/IGF</p>	<p>› Prof. Dr. Hubert Schwarze (ITR, TU Clausthal)</p> <p>› Prof. Dr. Beate Bender (LPE, Universität Bochum)</p> <p>› Dr. Christoph Weißbacher (GTW Gleitlagertechnik Weißbacher GmbH)</p>	<p>› R606 (S. 392–412)</p>
1437	<p>› <b>Quetschöldämpfer II:</b> Verbesserte transiente Simulation der nichtlinearen Dynamik von quetschöldämpfergelagerten Rotorsystemen durch Berücksichtigung von Strömungs- und Reibungseffekten im Bereich der Ölzuführung und der Verdrehsicherung</p> <p>› BMWK/IGF</p>	<p>› Prof. Dr. Elmar Woschke (IFME, OVGU Magdeburg)</p> <p>› Dr. Oliver Alber (MAN Energy Solutions SE)</p>	<p>› R606 (S. 413–446)</p>
1375	<p>› <b>Bürstendichtungen – Statistische Betrachtung:</b> Anwendung statistischer Methoden zur Beschreibung des Reibungs- und Leckageverhaltens von Bürstendichtungen</p> <p>› FVV</p>	<p>› Prof. Dr. Hans-Jörg Bauer (ITS, KIT Karlsruhe)</p> <p>› Joris Versluis (MTU Aero Engines AG)</p>	<p>› R606 (S. 447–470)</p>
1453	<p>› <b>Modellierung Primär-Zerstäubung mit SPH:</b> Modellierung von Zerstäubungsprozessen von flüssigen Brennstoff mit Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) in komplexen industriellen Anwendungen</p> <p>› FVV</p>	<p>› Prof. Dr. Hans-Jörg Bauer (ITS, KIT Karlsruhe)</p> <p>› Dr. Ruud L.G.M. Eggels (Rolls-Royce Deutschland Ltd &amp; Co KG)</p>	<p>› R606 (S. 471–493)</p>

NR	› THEMA › FÖRDERGEBER	› FORSCHUNGSSTELLEN › PROJEKTLEITUNG	› TAGUNGSBAND › ABSCHLUSSBERICHT
1390	› <b>Aluminium Hochtemperaturermüdung:</b> Rechnerische Bewertung der Betriebsfestigkeit von Aluminium bei höchsten Anwendungstemperaturen unter Berücksichtigung anwendungsspezifischer Einflussgrößen › BMWK/IGF	› Prof. Dr. Birgit Skrotzki (BAM Berlin) Prof. Peter Gumbsch (Fraunhofer IWM) › Dr. Reiner Böschchen (Rolls-Royce Solutions GmbH)	› R606 (S. 494–523) › H1341 (2023)
1443	› <b>Radialverdichter im flexiblen Betrieb:</b> Aerodynamische und akustische Untersuchung der Interaktion zwischen Laufrad, Diffusor und Spiralgehäuse in auslegungsfernen Betriebspunkten an einem repräsentativen Radialverdichter › FVV	› Prof. Dr. Peter Jeschke (IST, RWTH Aachen) › Dr. Matthias Schleer (Howden Turbo GmbH)	› R606 (S. 524–557)
1439	› <b>Brennstoffzellen-Verdichterauslegung:</b> Systemwirkungsgradoptimale Verdichterauslegung für PEM-Brennstoffzellen in mobilen Anwendungen › BMWK/IGF	› Prof. Dr. Stefan Pischinger (tme, RWTH Aachen) Prof. Dr. Peter Jeschke (IST, RWTH Aachen) › Dr. Thomas Hildebrandt (NUMECA Ingenieurbüro)	› R606 (S. 558–592)
1388	› <b>Schaufelkräfte und Systemdämpfung:</b> Untersuchung der resonanten Anregung von Turbomaschinenlaufrädern und des Einflusses der Gesamtsystemdämpfung auf die resultierenden Schaufelschwingungsamplituden › BMWK/IGF	› Prof. Dr. Damian Vogt (ITSM, University of Stuttgart) Prof. Dr. Manfred Wirsum (IKDG, RWTH Aachen University) Prof. Dr. Bernd Beirow (SMF, BTU Cottbus) › Dr. Thomas Hildebrandt (NUMECA Ingenieurbüro)	› R606 (S. 593–635)
1389	› <b>Intentional Mistuning:</b> Intentional Mistuning zur Begrenzung erzwungener Schwingungsantworten von Radialturbinen › BMWK/IGF	› Prof. Dr. Damian Vogt (ITSM, Universität Stuttgart) Prof. Dr. Manfred Wirsum (IKDG, RWTH Aachen) Prof. Dr. Bernd Beirow (SMF, BTU Cottbus) › Thomas Winter (MAN Energy Solutions SE)	› R606 (S. 636–674)

## Technologien zur Energieerzeugung: Turbomaschinen // vollständige Projektdaten ab S.17

**Dr. Benjamin Witzel**, Head of Fuel Flexibility, Hydrogen & Carbon Capture bei Siemens Energy, skizziert in einem Impulsvortrag, welche Rolle Gasturbinen bei der Energiewende spielen, wie die Umstellung auf Wasserstoffbetrieb gelingen kann und welche Herausforderungen damit verbunden sind.



# Wie Gasturbinen zur Dekarbonisierung der Energiebranche beitragen können

In einer aktuellen Studie geht S&P Global davon aus, dass 2024 mehr als 50 Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente in die Atmosphäre gelangen, fast ein Drittel davon entsteht bei der Strom- und Fernwärmeerzeugung. Die gute Nachricht: Beide Szenarien der Studie prognostizieren, dass die Treibhausgasemissionen damit ihren Höhepunkt erreicht haben und sinken werden, vor allem durch den Ausbau Erneuerbarer Energien. Die Hürden der Energiewende erklärt Dr. Benjamin Witzel, Head of Fuel Flexibility, Hydrogen & Carbon Capture bei Siemens Energy mit dem »**Energietrilemma**«: Energie muss bezahlbar bleiben, jederzeit zuverlässig bereitstehen und nachhaltig sein, also idealerweise aus Erneuerbaren Quellen stammen.

Ein Zielkonflikt, der sich schwer lösen lässt. Zwar gibt es technische Lösungen für viele Herausforderungen, auch die Zuverlässigkeit der Energiebereitstellung sei eine lösbare Aufgabe, das aktuell größte Problem stellen jedoch die Kosten dar. Erst bei der Entwicklung neuer Technologien, dann bei der Produktion der Anlagen und schließlich beim Betrieb, dessen Kosten maßgeblich vom Preis des Brennstoffs abhängen. Je nach Land, Region und Anforderungen wird daher ein Maßnahmenmix erforderlich sein. Klar ist jedoch, dass Turbomaschinen in allen Szenarien auch in Zukunft eine wichtige Rolle spielen werden.

ABBILDUNG 9

World Energy Trilemma

// World Trilemma Index 2022, www.worldenergy.org



ENERGY SECURITY



Reflects a nation's capacity to meet current and future energy demand reliably, withstand and bounce back swiftly from system shocks with minimal disruption to supplies

Represents the transition of a country's energy system towards mitigating and avoiding potential environmental harm and climate change impacts

ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY



Assesses a country's ability to provide universal access to affordable, fairly priced and abundant energy for domestic and commercial use

ENERGY EQUITY



Annual Green House Gas (GHG) emissions in global scenarios in MMtCO<sub>2</sub>

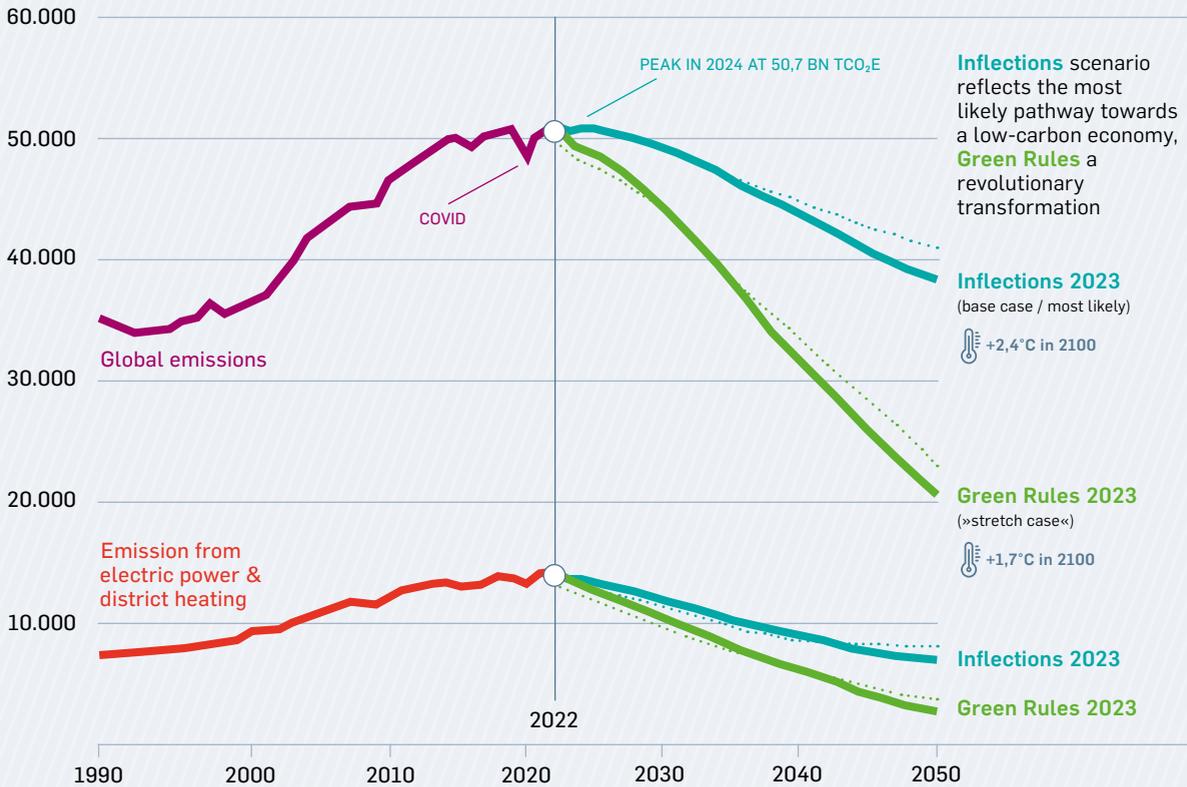


ABBILDUNG 10

Why Decarbonize? GHG Emissions need to be decreased to limit Global Warming

// S&P Global »Energy and Climate Scenarios – Energy outlook to 2050« (July 11, 2023), Siemens Energy 2023



### Ohne Gasturbinen geht es nicht

Gaskraftwerke dienen künftig vor allem dazu, Schwankungen der Stromversorgung auszugleichen, etwa wenn die Erneuerbaren wegen einer Dunkelflaute nicht genügend Strom liefern. Das führt dazu, dass Gasturbinen deutlich zyklischer betrieben werden: Nicht mehr 8.000 Stunden im Jahr, sondern beispielsweise nur noch 1.000 mit vielen Starts täglich. Da die Haltbarkeit einiger Materialien und Komponenten jedoch weniger durch die Betriebsstunden limitiert ist als durch die Zyklenzahl, kann trotz geringerer Betriebsstunden die Materialbelastung steigen.

Ein Wechsel ausschließlich auf kleinere Turbinen, die dann wiederum länger laufen könnten, ist jedoch auch keine optimale Lösung, erklärt Benjamin Witzel: »In diesem Energiesystem erfüllt die Gasturbine über die Rückverstromung von zum Beispiel in Form von grünem Wasserstoff chemisch gespeicherter Energie die Aufgabe einer Batterie: Man muss zu einem bestimmten Zeitpunkt

eine hohe Leistung bereitstellen können, aber wegen der hohen Brennstoffkosten eben auch mit hoher Effizienz. Daher werden große Hocheffizienz-Turbinen in der 600-MW-Klasse auch in Zukunft ihre Berechtigung haben.« Eine Gasturbine dieser Größe sei hinsichtlich der Investitionskosten zudem deutlich günstiger als beispielsweise zehn 60-MW-Turbinen. Wer jedoch auf Flexibilität angewiesen ist und die Turbinen sehr zyklisch betreiben muss, könne von kleineren Aggregaten profitieren.

Es komme künftig darauf an, konkurrierende Ziele besser zu vereinen: Flexibilität sei heute oft entscheidender als das letzte Zehntelprozent Wirkungsgrad. »Man kann nicht alles gleichzeitig optimieren. Manche Turbinen haben einen besseren Wirkungsgrad, manche lassen sich flexibler einsetzen. Unsere Aufgabe ist es, ein Gefühl für die größte Schnittmenge der Kundenbedürfnisse zu bekommen«, erklärt Witzel. Je nach Land sind die Bedürfnisse verschieden, doch immer häufiger fragen Kunden explizit, wie viel Wasserstoff sie dem Erdgas beimischen könnten. »Bei einigen Typen sind das 10 Prozent, bei manchen 75 Prozent«, sagt Witzel. Sogar die Umrüstung auf 100 Prozent Wasserstoff sei zukünftig technisch möglich. Doch kaum ein Kunde kann im Moment die für den Betrieb benötigten Mengen Wasserstoff dauerhaft zur Verfügung stellen.

### Entwicklungen skalieren

Bis 2030 sollen alle neuen Siemens-Energy-Gasturbinen »H<sub>2</sub>-ready« sein, dem Erdgas kann dann nach Austausch einzelner Komponenten wie etwa dem Verbrennungssystem und den Hilfsystemen bis zu 100 Prozent Wasserstoff

beigemischt werden. Etwa 20 verschiedene Turbinen-Typen hat Siemens Energy derzeit weltweit im Einsatz, alle wurden ursprünglich für die Erdgasverbrennung entwickelt. Evolutionäre Weiterentwicklungen für den Betrieb mit 100 Prozent Wasserstoff seien nicht zielführend, zu hoch sind die Flammgeschwindigkeiten bei der Verbrennung von Wasserstoff, zu groß die Herausforderungen bei den verwendeten Werkstoffen (Stichwort Wasserstoff-Versprödung) oder bei der zuverlässigen Detektion von möglichen Flammenrückschlägen. Nur mit Neuentwicklungen lässt sich diesen Herausforderungen begegnen.

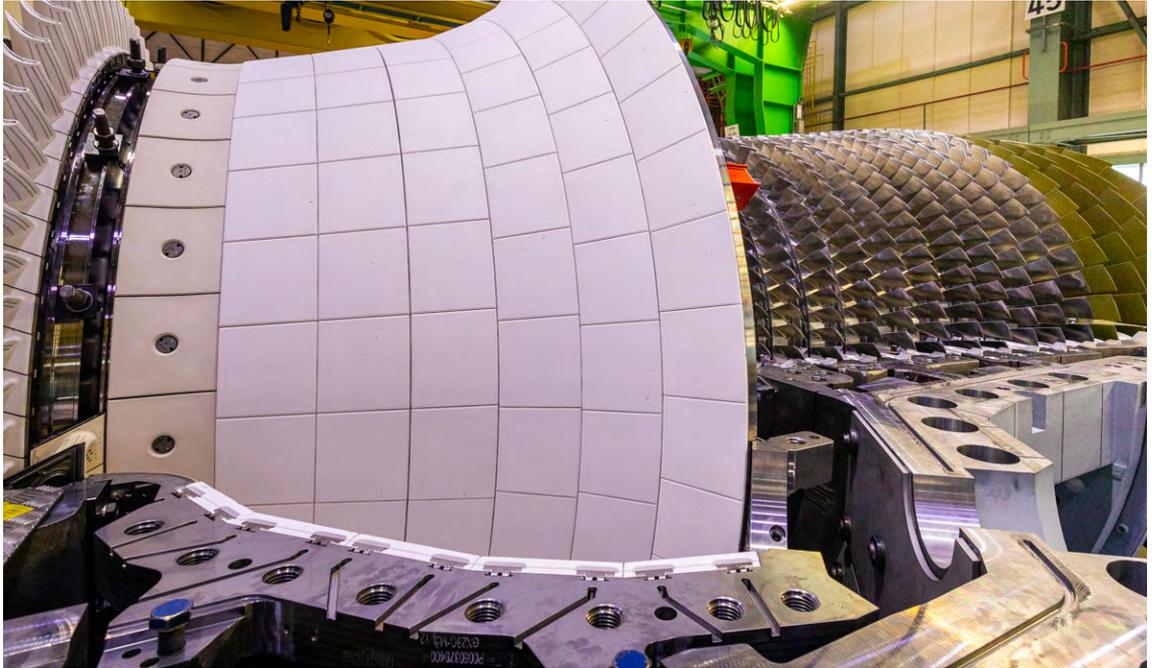
Doch das große Portfolio an Gasturbinen lässt sich nicht gleichzeitig umstellen auf reinen Wasserstoffbetrieb. Siemens Energy entwickelt daher die Basistechnologien wie das Verbrennungssystem oder keramische Werkstoffe zunächst im kleineren Maßstab. Ab einem gewissen technologischen Reifegrad lassen sich die Erkenntnisse auf große Turbinen skalieren. Kleinere Aggregate wie die SGT-400 mit einer Leistung von 13 bis 15 MW lassen sich deutlich kostengünstiger entwickeln und testen. So können beispielsweise kleinere Brenner mit Rapid-Prototyping-Verfahren wie dem Selektiven Laserschmelzen hergestellt werden. Zudem benötigt Siemens Energy weniger Wasserstoff für die Validierung einer 15 MW-Turbine als für eine mit 600 MW Leistung.

Eine Herausforderung bei der Entwicklung der neuen Technologien für die Verbrennung von 100 Prozent Wasserstoff ist die nach wie vor begrenzte Verfügbarkeit des Brennstoffs. Bereits in der Entwicklungsphase stellt das bisweilen ein beeindruckendes Problem dar: Für einen einzigen

Gesamtmaschinentest einer SGT-800 Turbine kaufte das Siemens Energy Gasturbinenwerk im schwedischen Finspång nahezu die gesamte in Nordeuropa zur Verfügung stehende Wasserstoffmenge auf. An grünen Wasserstoff in solchen Mengen ist noch gar nicht zu denken. Woher also soll der Brennstoff künftig kommen? Alternativen zu ergänzen den Importen zum Beispiel aus Nordafrika oder Australien und der Verschiffung gen Europa sieht Benjamin Witzel kaum, zu gering werden die zukünftigen Produktionskapazitäten hierzulande sein. Immerhin: Bis 2030 sollen in Europa sechs Pipelines errichtet werden, um Wasserstoff importieren und verteilen zu können. Bis 2032 sollen in Deutschland über das H<sub>2</sub>-Starter-Netzwerk alle Kraftwerke mit einer Leistung von mehr als 100 MW miteinander verbunden sein.

### Methanol und Ammoniak als Alternativen

Eine praxisnahe Flüssigbrennstoff-Alternative kann Methanol aus erneuerbaren oder biologischen Quellen sein. Sogenannte »Dual-Fuel«-Turbinen nutzen unterschiedliche Brennstoffpassagen, um flüssige und gasförmige Brennstoffe nutzen zu können – etwa Wasserstoff und Methanol. Während Wasserstoff ein Ersatz für Erdgas ist, dient Methanol als Alternative für Flüssigbrennstoffe wie Heizöl. Bestehende Turbinen der kleineren Leistungsklassen lassen sich vergleichsweise einfach auf Methanolbetrieb umrüsten, dementsprechend schnell kann Siemens Energy seinen Kunden eine Lösung präsentieren. Vor allem aber: Methanol wird für kleinere Turbinen in ausreichenden Mengen verfügbar sein.



Während die Politik in Deutschland und Europa derzeit Wasserstoff als grüne Energiequelle favorisiert, werden beispielsweise in Japan Turbinen entwickelt, die gasförmigen oder flüssigen Ammoniak verbrennen sollen. Der Vorteil: Ammoniak lässt sich ebenso wie Wasserstoff aus erneuerbaren Energien herstellen, bietet aber deutliche Vorteile beim Transport, was wichtig ist für Länder wie Japan, die wegen ihrer begrenzten Fläche auf Energieimporte angewiesen sind. Bei der Verbrennung von Ammoniak entsteht, wie beim Wasserstoff, kein CO<sub>2</sub>. Benjamin Witzel sieht die Verwendung von Ammoniak dennoch kritisch: Der Stoff ist hochgiftig, völlig offen sind in diesem Zusammenhang neben der allgemeinen Handhabung vor allem mögliche Ammoniak-Emissionen bei unvollständiger Verbrennung oder Fehlstarts. Zudem entstehen bei der Verbrennung von Ammoniak aus dem im Brennstoff gebundenen Stickstoff um ein Vielfaches höhere Stickoxid-Emissionen als in aktuellen Erdgas-Turbinen. Eine weitere Herausforderung bei der Ammoniak-Verbrennung stellt

dessen – im Gegensatz zu Wasserstoff – sehr geringe Reaktivität dar. Ein System, welches für Ammoniak optimiert ist, wird vermutlich keine Flexibilität hinsichtlich des Betriebs mit einem weiteren Brennstoff in einer Dual-Fuel-Turbine haben können.

Doch egal welcher Brennstoff künftig zum Einsatz kommt: »Es gibt nicht die eine Lösung für die Energiewende. Vielmehr braucht es einen Mix aus einem Ausbau der Erneuerbaren, Investitionen in die Infrastruktur wie Pipelines und Stromnetze, neue Technologien und Werkstoffe sowie zuverlässige Lieferketten«, sagt Benjamin Witzel. Und auch bei der Definition der entsprechenden Normen und Regelwerke gibt es noch viel zu tun. Um all diese Herausforderungen zu meistern, müsse die Industrie weiterhin eng mit Universitäten und Forschungseinrichtungen zusammenarbeiten – so wie es die FVV und Siemens Energy bereits tun.



Mehr bewegen –  
FVV-Mitglieder

→ [www.fvv-net.de/network/mitglieder](http://www.fvv-net.de/network/mitglieder)



Forschung braucht starke Partner –  
Teilnehmende Forschungsstellen

→ [www.fvv-net.de/network/forschungsstellen](http://www.fvv-net.de/network/forschungsstellen)

## Neues Forschungsprogramm

Im Innovations- + Transfernetzwerk der FVV steckt viel Bewegung, Zukunft, Verantwortung, Power: Aus vorwettbewerblicher, grundlagenorientierter Forschung entstehen nachhaltige, umweltschonende und klimaeffektive Technologielösungen.

Industrielle Gemeinschaftsforschung (IGF) ist vorwettbewerblich, zukunftsgerichtet und themenoffen. Die vorwettbewerbliche Forschung der FVV ermöglicht Unternehmen, gemeinsame Technologieprobleme und Fragestellungen etwa zu Effizienz, Lebenszyklen, Materialien und Kreislaufwirtschaft auf System- und Komponentenebene wissenschaftlich fundiert zu lösen.

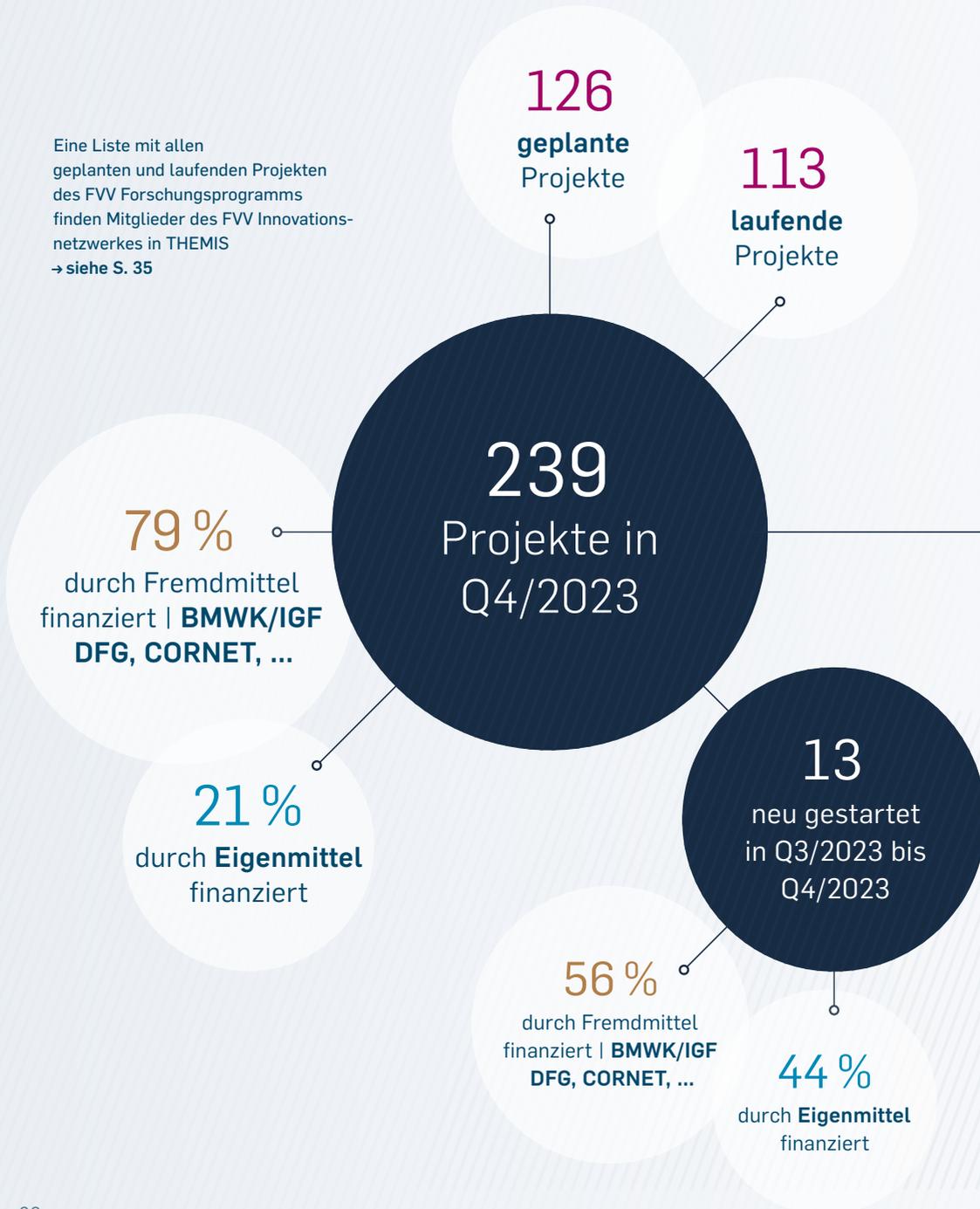
Die FVV ist im Unterschied zu anderen Transfer- und Technologieplattformen ein **›Mitmachverein‹**:

Industriennahe Forschung kann nur dann gelingen, wenn sie gemeinsam entwickelt und gestaltet wird. Daher treten am zweiten Tag unseres Transfer- + Networkingevents die Expertengruppen zusammen, um unter der Leitung erfahrener Mitglieder den gemeinsamen Forschungsbedarf zu ermitteln und entsprechend Projekte zu konzipieren.

## Geplante und laufende Projekte // Stand: 01.11.2023

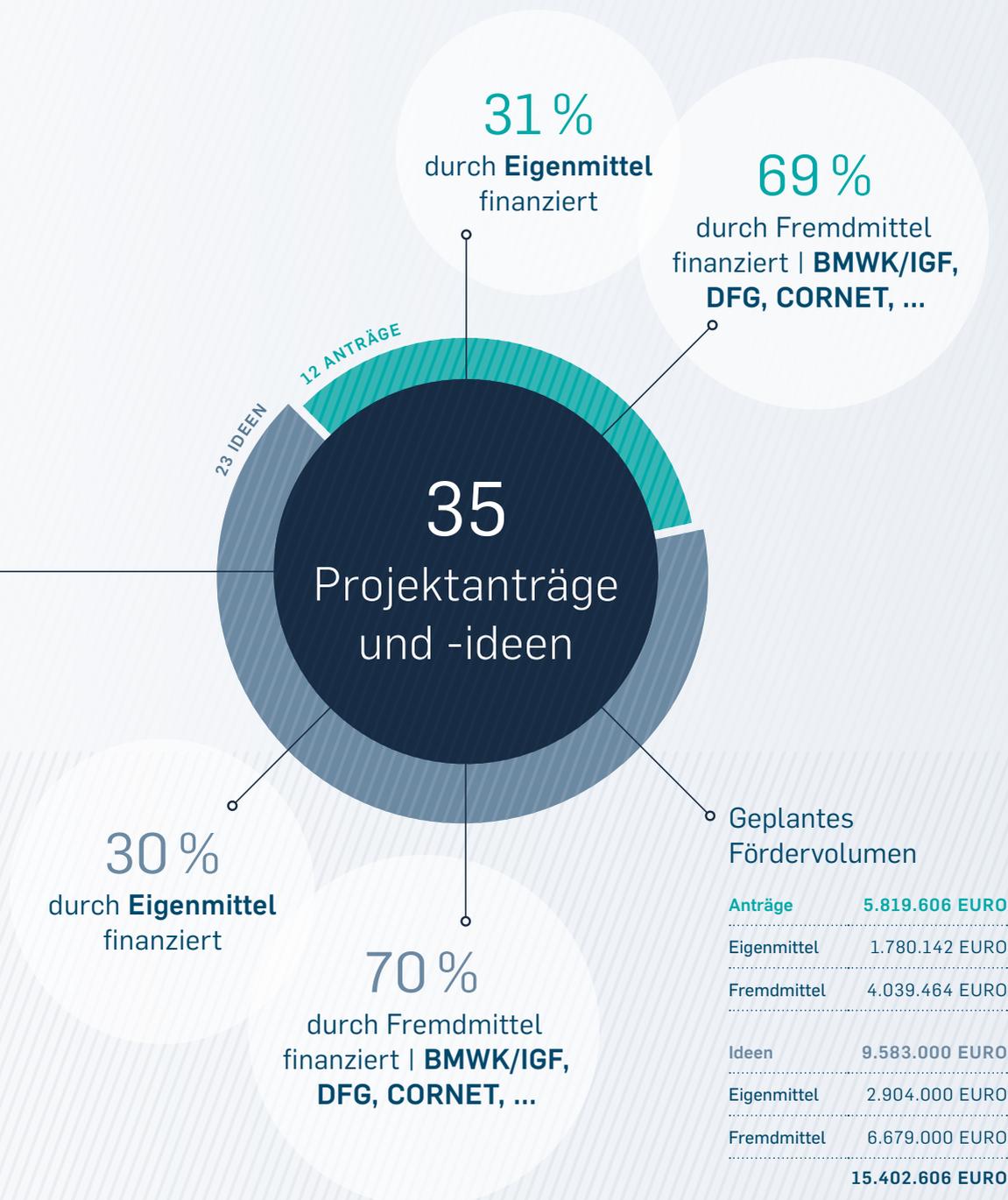
Die vorwettbewerbliche Projektarbeit der FVV ermöglicht es, Grundsatzfragen gemeinsam zu erforschen, auf deren Basis die immer höheren Anforderungen an Materialien, Kraftstoffeffizienz und Umweltverträglichkeit gemeistert werden können. Damit trägt das FVV-Forschungsprogramm auch zu einer höheren Wettbewerbsfähigkeit der Mitgliedsunternehmen bei.

Eine Liste mit allen geplanten und laufenden Projekten des FVV Forschungsprogramms finden Mitglieder des FVV Innovationsnetzwerkes in THEMIS  
→ siehe S. 35



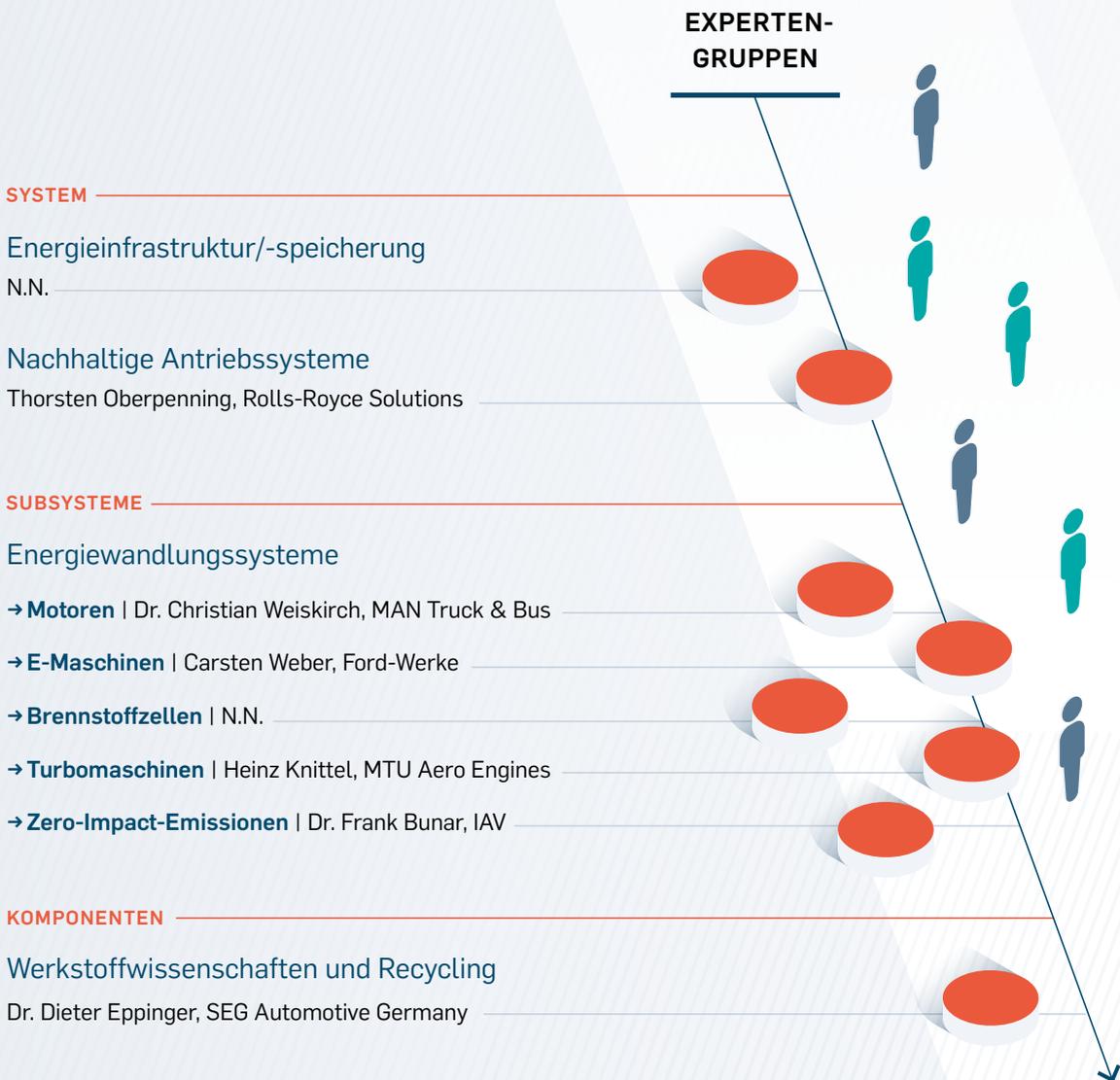
# Neue Projektanträge und -ideen // Stand: 06.10.2023

Im Herbst 2023 standen in den Präsenzmeetings der Expertengruppen in Würzburg sowie im schriftlichen Umlaufverfahren insgesamt 23 neue Projektideen und 12 Projektanträge zur Diskussion. Mit diesem Paket wurde dem Vorstand der FVV ein geplantes Fördervolumen von 15,4 Mio. Euro zur finalen Freigabe vorgelegt.



## Wissenschaftliche Leitung

Gemeinsam entwickeln wir Ideen für die Zukunft. In den Gruppen treffen sich Expertinnen und Experten aus den Mitgliedsunternehmen, um den gemeinsamen Forschungsbedarf zu ermitteln und entsprechend Projekte zu konzipieren. Der Wissenschaftliche Beirat der FVV ernennt für jede Gruppe Vorsitzende, die die wissenschaftliche Arbeit leiten.



Siehe auch:  
»Make it new – Science for a moving society« (ToR)  
→ [www.fvv-net.de](http://www.fvv-net.de)

# Terms of References (ToR)

Die Zuordnung der Forschungsthemen zu den Expertengruppen, die die bisherigen Planungsgruppen ersetzen, erfolgt entlang der Systemkaskade des V-Modells.

## Energieinfrastruktur/-speicherung

**Zusammenspiel von Energieträgern und Systemkomponenten, Energieinfrastruktur und externer Speicherung**

### SYSTEM

- Chemische Energieträger und alternative Kraftstoffe außerhalb der Anwendung
- Normung → Lebenszyklusanalysen
- + Allgemeine Nachfrage und Verfügbarkeit von Energiequellen/-trägern
- + Produktion, Qualität, Verteilung und Verfügbarkeit von Wasserstoff, eFuels und alternativen Kraftstoffen
- + Normungsthemen zu zukünftigen Energieträgern und verwandten Fragestellungen wie Infrastruktur und Lagerung
- + Ökobilanzierung/Lebenszyklusanalysen
- + Entwicklung von Kooperationsprojekten mit anderen Organisationen im Interesse der FVV-Mitglieder (z. B. Workshop mit der Mineralölwirtschaft/Energieindustrie, ...)

## Nachhaltige Antriebssysteme

**Straßen- und Schienenfahrzeuge: klassischer Powertrain (ICEV), teil-/elektrifiziert (PHEV, BEV, FCEV), Triebwerke Luftfahrzeuge, Schiffe, Arbeitsmaschinen, Stromerzeuger**

- Energiespeicherung in der Anwendung
- Systemwirkungsgrad → Luftverunreinigung, Erderwärmung, Geräusche, Schall, Strahlen
- E-Maschine zusammen mit Batterie
- + Fragen der Energiespeicherung in den oben genannten Anwendungen
- + Systemeffizienz von Energieumwandlungsprozessen, z. B. Aufladung, Systemsteuerung /-regelung, Sensortechnologien, ...
- + Thermomanagement
- + Zero-Impact-Emissionen, Treibhausgasemissionen (z. B. CO<sub>2</sub>), Lärm, Schall, elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)
- + E-Maschine kombiniert mit Batterie / Verbrennungsmotor  
**[Schnittstelle zur E-MOTIVE-Plattform]**
- + Auswirkungen rechtlicher, sozialer und politischer Anforderungen an zukünftige Antriebssysteme, Kreislaufwirtschaft
- + Entwicklung / Konstruktion von Werkzeugen für z. B. die Systemarchitektur und baugruppenübergreifenden Wechselwirkungen

## Energiewandlungssysteme

Innovative bzw. optimierte Energiewandlungssysteme mit minimalen Umwelteffekten und maximaler Prozesseffizienz

### SUBSYSTEME

#### → Motoren

- + Alle konventionellen Themen der Motorenentwicklung
- + Optimierung und Entwicklung neuer Energiewandlungsprozesse mit Schwerpunkt auf z. B. der Steigerung der Prozesseffizienz künftiger Kraftstoffvarianten (einschließlich der Verwendung von Wasserstoff)
- + Verringerung der Umweltbelastungen
- + Prozessorientierte Anpassung der zugehörigen Komponenten und (Teil-) Baugruppen
- + Auswirkungen der Elektrifizierung auf das Teilsystem ›Motor‹ und seine Aggregate
- + Digitalisierung
- + Entwicklung und Verbesserung der zugehörigen Entwicklungs-/Konstruktionswerkzeuge auf Basis sich ändernder und anpassender Anwendungs-/Teilsystemanforderungen

#### → E-Maschinen [Schnittstelle zur E-MOTIVE-Plattform]

- + Verbesserung der elektromotorischen Eigenschaften in mobilen Anwendungen
- + Elektrische Energiespeichersysteme (Batterie)
- + Leistungselektronik des Elektromotors und des elektrischen Energiespeichersystems
- + Anwendungsorientierte Anpassung der zugehörigen Komponenten und (Teil-) Baugruppen
- + Entwicklung und Verbesserung der zugehörigen Entwicklungswerkzeuge, z. B. Simulationswerkzeugen, Mess- und Prüfverfahren

## Energiewandlungssysteme

Innovative bzw. optimierte Energiewandlungssysteme  
mit minimalen Umwelteffekten und maximaler  
Prozesseffizienz

### SUBSYSTEME

#### → Brennstoffzellen [Schnittstelle zur E-MOTIVE-Plattform]

- + Alle konventionellen Themen der Brennstoffzellenforschung
- + Luft-/Wasserstoffsystempfad, Medienkonditionierung/-reinigung
- + Thermomanagement in Brennstoffzellensystemen
- + Optimierung von brennstoffzellenspezifischen Komponenten und (Unter-) Baugruppen, z. B. Ionenaustauscher, Kompressoren, ...
- + Forschung zu Materialien unter brennstoffzellenspezifischen Bedingungen und Belastungen, z. B. Bipolarplatten, Membranen, Dichtungen in Bezug auf Stack-Leistung, Lastverhalten, Alterung (Haltbarkeit, Degradation), Befeuchtung, ...
- + Stack-Leistung / Effizienzverbesserungen, z. B. Performance-Effekte von Bauteil- und Montagetoleranzen
- + Sicherheitsanforderungen und Definitionen
- + Entwicklung konkreter Bewertungsmethoden in Richtung Industriestandards (generisch, ›best practice‹)
- + Technologievergleich PEM, Hochtemperatur-PEM, SOFC
- + Entwicklung und Verbesserung von brennstoffzellen-spezifischen Entwicklungswerkzeugen, z. B. Simulationswerkzeugen, Messmethoden (z. B. Impedanzanalyse)

#### → Turbomaschinen

- + Alle konventionellen Themen der Turbomaschinenentwicklung
- + Optimierung der Aerodynamik
- + Optimierung von turbomaschinenspezifischen Bauteilen und (Teil-)Baugruppen
- + Erforschung von Werkstoffen für turbomaschinenspezifische Bedingungen und Belastungen; z. B. Hochtemperaturverhalten, Lastverhalten, Alterung, Schwingungen, Einsatz von Wasserstoff
- + Entwicklung und Verbesserung von turbomaschinen-spezifischen Entwicklungswerkzeugen

## Energiewandlungssysteme

Innovative bzw. optimierte Energiewandlungssysteme mit minimalen Umwelteffekten und maximaler Prozesseffizienz

### SUBSYSTEME

#### → Zero-Impact-Emissionen

- + Abgasnachbehandlungskonzepte, -systeme und -komponenten
- + Alternative Abgasnachbehandlungssysteme, Technologien und Ansätze
- + Auswirkungen des Einsatzes von alternativen Kraftstoffen und Betriebsflüssigkeiten
- + Wechselwirkungen von Abgaskomponenten, primären und sekundären Abgasarten
- + Bewertung von Nicht-Abgasemissionen aller mobilen Anwendungen (inkl. elektrifizierter Antriebe), z. B. Bremsstaub, Reifenabrieb, ...
- + Wechselwirkung Emission & Immission/ Luftqualität
- + Ansätze und Technologien zur Kohlenstoffabscheidung
- + Entwicklung und Verbesserung der entsprechenden Entwicklungswerkzeuge, z. B. Simulationswerkzeuge, Mess- und Bewertungsmethoden

## Werkstoffwissenschaften und Recycling

Klassische Werkstoffthemen in Verbindung mit neuen Energieträgern, Produktionsmethoden und recycelten Materialien

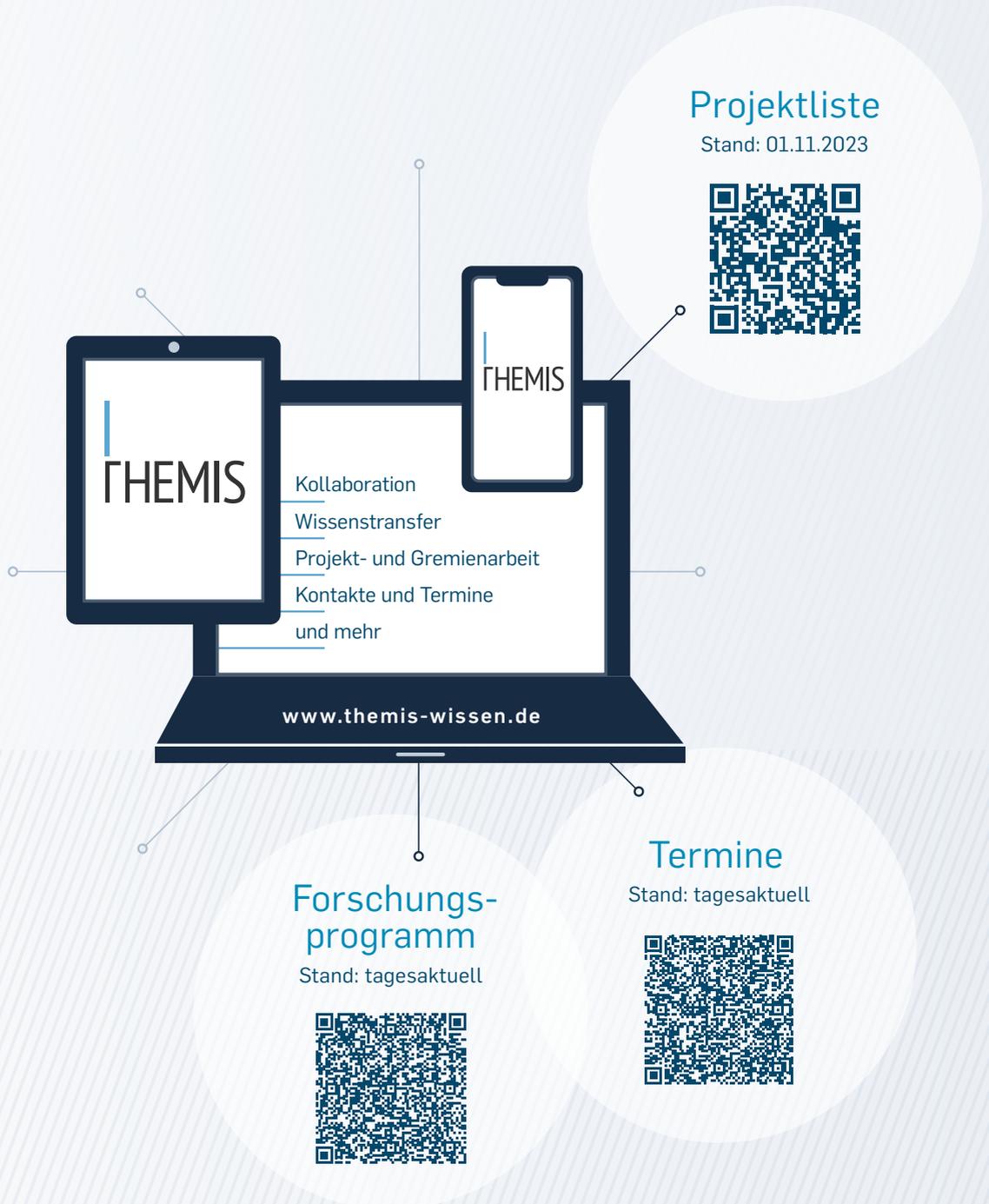
### KOMPONENTEN

#### → Festigkeit → Tribologie → Recycling

- + Tribologie, Festigkeits-/Ermüdungsmodelle und Verbesserungen
- + Eigenschaften, Festigkeits-/Ermüdungseigenschaften von Materialien für elektrische Antriebe (z. B. Kupfer, ...)
- + Lebensdauer und Belastbarkeit von elektrisch isolierenden Materialien (z. B. Aspekt der Teilentladung, ...)
- + Auswirkungen und Wechselwirkungen auf Komponenten und (Teil-) Baugruppen durch neue Energieträger (z. B. Wasserstoff, eFuels, Methanol, ...)
- + Durch additive Fertigung hergestellte Bauteile, ihre Eigenschaften und entsprechende Verfahrensansätze
- + Auswirkungen von recycelten Materialien auf die Materialeigenschaften
- + Energiebilanz von Komponenten und Baugruppen in Abhängigkeit zu Material und Herstellungsprozess, Kreislaufwirtschaft
- + Entwicklung und Verbesserung von gruppenbezogenen Entwicklungswerkzeugen, z. B. Simulationswerkzeugen, Mess- und Bewertungsmethoden

# THEMIS-Datenbank

Eine Liste mit allen geplanten und laufenden Projekten des FVV Forschungsprogramms finden Mitglieder des FVV Innovationsnetzwerkes ebenso wie die dazugehörigen Termine der Diskussionskreise, Workshops und projektbegleitenden Ausschüsse in THEMIS.



Alle Angaben sind ohne Gewähr, Änderungen vorbehalten.  
Vervielfältigung und Onlinestellung der Publikation – ganz oder in Teilen – ist nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers gestattet. Alle Rechte vorbehalten.

Die Publikation ›**The FWV Transfer + Networking Event | Herbst 2023**‹ ist online abrufbar:

→ [www.fvv-net.de](http://www.fvv-net.de) | [Transfer](#) | [Projekte](#) | [Transferberichte](#)





Science for a  
moving society

HERAUSGEBER

FVV e.V.  
Lyoner Straße 18  
60528 Frankfurt am Main  
[www.fvv-net.de](http://www.fvv-net.de)

AUSGABE

03 | 2023

AUTOREN

Richard Backhaus, Wiesbaden  
Mathias Heerwagen, Leipzig

REDAKTION

Petra Tutsch und  
Martin Nitsche, FVV

GRAFISCHE KONZEPTION  
UND UMSETZUNG

Lindner & Steffen GmbH, Nastätten

BILDNACHWEIS

sofern nicht am Bild vermerkt:  
AdobeStock malp (Umschlag),  
Mathias Heerwagen (S. 20),  
Siemens Energy (S. 23, S. 25)

**Transfer**// Industrielle Gemeinschaftsforschung (IGF) ermöglicht Unternehmen, gemeinsame Forschungs- und Technologieprobleme wissenschaftlich fundiert zu lösen. Sie bietet Zugang zu einem kontinuierlichen Strom von neuem Wissen, das für die Entwicklung eigener Produkte, Verfahren und Dienstleistungen genutzt werden kann. Industrielle Forschung und Entwicklung profitiert vom erkenntnis-/ praxisorientierten Austausch mit der Wissenschaft – Hochschulen und gemeinnützigen außeruniversitären Forschungseinrichtungen – zu technologiebezogenen Zukunftsfragen. So entsteht Innovationskraft in den Unternehmen und Exzellenz in Forschung und Lehre.

**Networking** // Die von der FVV implementierte Forschung ist auf eine dauerhafte Zusammenarbeit der Partner angelegt. Im Frühjahr und Herbst informieren sich auf den Transfer + Networking Events rund 300 Experten über das Forschungsprogramm der FVV. Der Bericht aus der Wissenschaftsreihe **FVV PrimeMovers. Technologies.** fasst die wichtigsten Ergebnisse zusammen.

**FVV e.V.**

Lyoner Straße 18 | 60528 Frankfurt am Main  
+49 69 6603 1345 | [info@fvv-net.de](mailto:info@fvv-net.de)

[www.fvv-net.de](http://www.fvv-net.de)

© 2023 FVV – Frankfurt am Main