

FVV PRIMEMOVERS. TECHNOLOGIES.

The FVV Transfer + Networking Event | Frühjahr 2023

Wissens- und Technologietransfer | Neues Forschungsprogramm



Science for a
moving society

Wissens- und Technologietransfer

Mithilfe des »Green Deals« will Europa sein Wirtschaftssystem und den Binnenmarkt bis 2050 **nachhaltig, klimaneutral und ressourcenschonend** gestalten. Lösungen zur Beschleunigung dieser »grünen Transformation« lassen sich nur mit technischen Innovationen auf Basis fundierter Forschungs- und Entwicklungsergebnisse umsetzen, die den gesellschaftlichen Wohlstand nicht schmälern, sondern stützen oder sogar steigern. Die Diversifizierungsstrategie der FVV für **Energieanlagen und Antriebe der Zukunft** umfasst daher alle Energiewandler und -träger, die Potenziale in dieser Richtung bieten. Dazu gehören **batterieelektrische Lösungen** ebenso wie **Brennstoffzellen** und **thermische Wandler für alternative Energieträger**. Hinzu kommen Forschungen zur **Zirkularität** und **Material-/Ressourceneffizienz**.

Mit dem Transfer + Networking Event im Frühjahr 2023 in Würzburg bot die FVV 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.

Klimaneutrale und
ressourcenschonende
Mobilität // vollständige Projektdaten ab S. 27

PROJEKT 1434 · ICE2030

SCHWERPUNKTE Hybridantriebe, Systemeffizienz

EXPERTENGRUPPE Motoren ANWENDUNG Pkw und Kleintransporter

PROJEKT 1412 · ZIE-Antriebsstränge

SCHWERPUNKT Emission EXPERTENGRUPPE Zero-Impact-Emissionen

ANWENDUNGEN Pkw und Kleintransporter

PROJEKT 1411 · Brennstoffzellensystemsimulation - Kaltstart

SCHWERPUNKTE Entwicklungswerkzeuge EXPERTENGRUPPE Brennstoffzellen

ANWENDUNG Transport, Energiesysteme

Alternative Antriebe mit Potenzial

Klimaschutz und ein schonender Umgang mit Ressourcen sind ohne die schnelle Erforschung, Entwicklung und Einführung nachhaltiger Antriebssysteme nicht umsetzbar. Diese Herausforderung lässt sich allerdings nicht mit einem ausschließlichen Fokus auf den Prozess der Energiewandlung bewältigen, denn nicht die Antriebstechnologie an sich entscheidet über die Nachhaltigkeit einer Zukunftstechnologie, sondern das Umweltverhalten bzw. die Systemeffizienz der gesamten Energiebereitstellungs- und Wertschöpfungskette (→ S. 23: Systemeffizienz).

Darum verfolgt die FVV in der Industriellen Gemeinschaftsforschung einen technologieoffenen Forschungsansatz, der alle nachhaltigen Antriebssysteme und Energieträger gleichermaßen berücksichtigt. In der Mischung können die einzelnen Konzepte ihre spezifischen Vorteile für die jeweiligen Anwendungen und Einsatzgebiete voll ausspielen.

Der Verbrennungsmotor nach 2030

Wie in diesem Zusammenhang der Verbrennungsmotor beziehungsweise ein hybrider Antriebsstrang im Betrachtungshorizont nach 2030 aussehen könnte, wurde auf der FVV-Tagung in Würzburg in mehreren Vorträgen thematisiert. Die Präsentation von Prof. Dr.-Ing. André Casal Kulzer, Institut für Fahrzeugtechnik Stuttgart (IFS) der Universität Stuttgart, fasste die Ergebnisse des Forschungsprojekts »**ICE2030: Grenzen der otto-**

motorischen Wirkungsgradsteigerung in hybridisierten Antriebssträngen

zusammen. An den Forschungen waren insgesamt vier Stellen beteiligt: das Institut für Verbrennungskraftmaschinen (VKM) der Technischen Universität Darmstadt, das IFS, das Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Brennstoffzellen (IVB) der Technischen Universität Braunschweig und der Lehrstuhl für Thermodynamik mobiler Energiewandlungssysteme (TME) der RWTH Aachen. Die Leitung des Projektbegleitenden Ausschusses lag bei Arndt Döhler (Stellantis Opel Automobile).

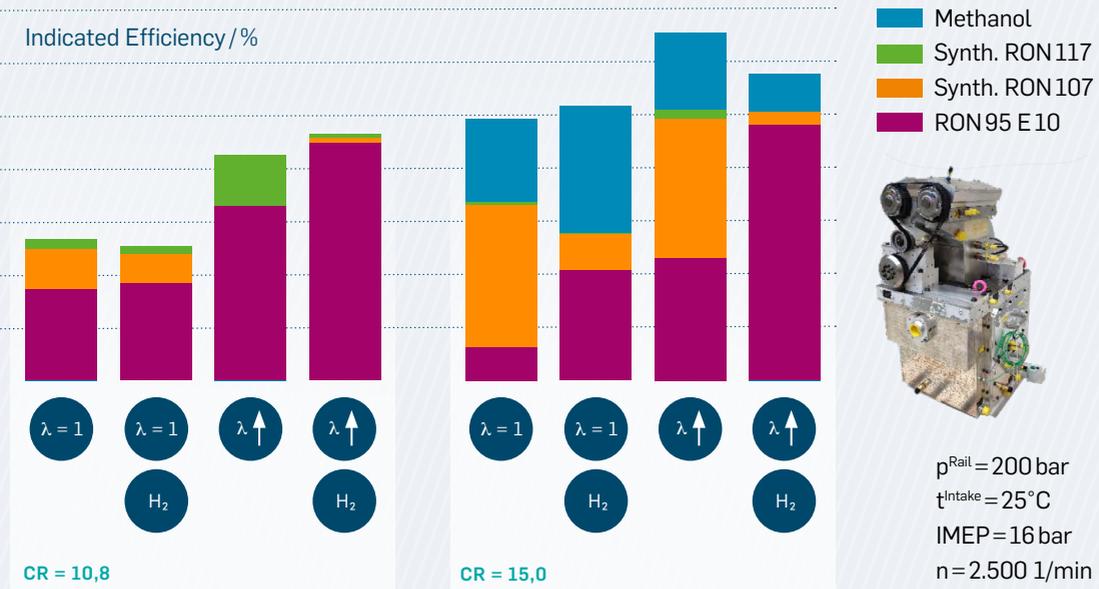


ABBILDUNG 1

Indizierter Wirkungsgrad verschiedener Kraftstoffe bei einem Verdichtungsverhältnis von 10,8 (links) und 15,0 (rechts) im Betrieb $\lambda = 1$ und im Magerbetrieb – jeweils mit und ohne H_2 -Zudosierung // RWTH Aachen University | TME

»Ziel der Forschungen war es, herauszufinden, ob das Wirkungsgradpotenzial eines optimierten Hybridantriebsstrangs durch die Beimischung geringer Mengen H_2 weiter gesteigert und die CO_2 -Emissionen reduziert werden können«, so Kulzer. Hierzu wurden experimentelle Untersuchungen und Simulationen durchgeführt. Beispielsweise zeigten Versuche an einem Einzylinderaggregat den Einfluss der H_2 -Zugabe auf den Verbrennungsprozess unter Variation verschiedener effizienzsteigernder Technologien. Auch wurde die Kombination aus H_2 -Saugrohreinblasung (PFI) und verschiedenen direkteingespritzten flüssigen Kraftstoffen am Einzylindermotor untersucht. Parallel entwickelten und validierten die Forscherinnen und Forscher anhand der Messdaten Simulationsmodelle für Benzin- beziehungsweise

Methanol-Wasserstoff-Gemische. Um die Potenziale der Motorkonzepte innerhalb verschiedener Hybridantriebsstränge zu ermitteln, wurden verschiedene Hybridsteuerungsstrategien umgesetzt und optimiert.

Die Projektergebnisse zeigen, dass die Beimischung von H_2 allein nicht zu einer signifikanten Effizienzsteigerung führt, sondern erst die Kombination mit einem sehr mageren Betrieb ($\lambda > 1,7$) signifikante Wirkungsgradgewinne ermöglicht. »Die Vorteile einer Magerstrategie mit Wasserstoffbeimischung sind stark von der Klopfestigkeit des Ausgangskraftstoffs abhängig. Je klopfester der Flüssigkraftstoff ist, desto geringer ist der Nutzen der Wasserstoffbeimischung«, erklärte Kulzer. Die Effizienzvorteile lagen dabei

Grundlagen für die Entwicklung von Fahrzeugen, deren Emissionen keine Auswirkungen auf die Luftqualität haben

Am Lehrstuhl für Thermodynamik mobiler Energiewandlungssysteme (TME) der RWTH Aachen wurde im Rahmen des von Dr. Frank Bunar (IAV) geleiteten Forschungsprojekts »**Zero-Impact-Endrohremission-Antriebsstränge**« untersucht, mit welchen Abgasnachbehandlungskonzepten künftige Fahrzeuge im Zeithorizont ab 2030 die ZIE-Grenze erfüllen können. Zero-Impact-Emissionen (ZIE) sind Luftschadstoffe (hier: Stickoxide), deren Konzentration so gering ist, dass sie keine messbaren negativen Auswirkungen auf die Umwelt oder die Gesundheit verursachen.

In ihrem Vortrag fokussierten Robert Maurer und Theodoros Kossioris vom TME vor allem auf die technischen Lösungen für zwei Referenz-Anwendungsfälle, einerseits ein Pkw mit Ottomotor und andererseits ein leichtes Nutzfahrzeug (Transporter) mit Dieselmotor. Als Testszenerarien für die Prüfung der ZIE-Konformität wurden sieben konkrete Verkehrs- beziehungsweise Fahrsituationen identifiziert, bei denen herausfordernde Fahrbedingungen mit ungünstigen Immissionsaspekten kombiniert sind, zum Beispiel hohes Verkehrsaufkommen und intensive Bebauung wie am Neckartor in Stuttgart. Im Ausgangszustand erfüllten beide Fahrzeuge die Vorgaben der aktuel-

bei etwa 5 % durch eine bessere Klopf-
festigkeit bei mittleren und hohen Lasten
und bis zu 15 % durch Entdrosselung bei
niedrigen Lasten. Mit einem zweistufigen
Aufladekonzept konnten die Vorteile des
extrem mageren Konzepts auf das gesamte
Motorkennfeld ausgedehnt werden. Mit
Methanol ließen sich wesentlich höhere
Wirkungsgrade erzielen als mit Benzin
oder Benzin-H₂-Gemischen [ABBILDUNG 1].
»Die Methanolverbrennung profitiert im
Allgemeinen nicht von der H₂-Beimischung,
im Vergleich zu Methanol weniger klopf-
feste Kraftstoffe allerdings schon. Die
besten Wirkungsgrade wurden am Beispiel
eines P2-Hybrids mit dem Mager-Metha-
nol-Motor und einer regelbasierten
Betriebsstrategie mit 45,2 % im WLTC
und 50,0 % für eine RDE-Strecke erzielt«,
so das Fazit von Kulzer.

Ottomotor-Lösungen



Hybridisierung

P0/P4-Hybrid:
Standard in 2030

Emissionsreduktion



Last-
begrenzung

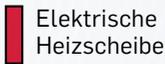


Vorheizen

Lambda = 1

Stöchiometrie im
gesamten Betriebsbereich

Externes Heizen



Elektrische
Heizscheibe



Abgas-
brenner

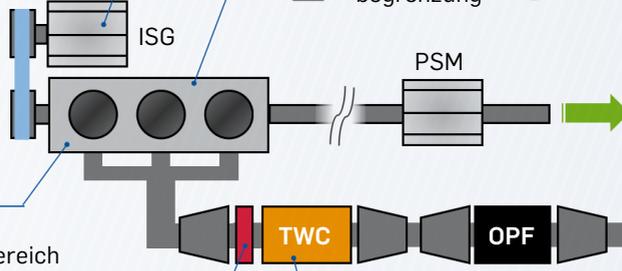
Notwendige AGA



TWC TWC
groß-
volumig



2^{te} Gen.
OPF



Dieselmotor-Lösungen

Emissionsreduktion



Lastpunkt-
anhebung



Vor-
heizen



Hybridisierung

P2-Hybrid:
Standard in 2030

Opt. VKM

Gekühlte ND & HD AGR

Externes Heizen



Elektrische
Heizscheibe



Abgas-
brenner

Hochleistungs-SCR

Twin-
Dosing-
System

mit

motor-
nahem
SDPF

+

großvolumigem
Unterboden
SCR mit ASC

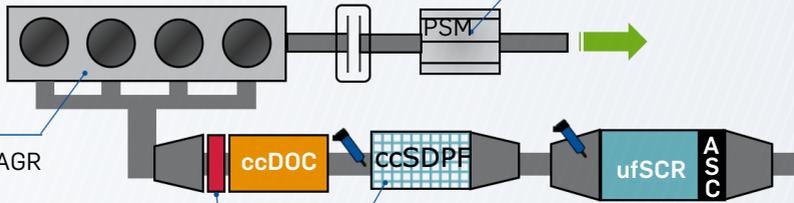


ABBILDUNG 2

Maßnahmen zur Erfüllung der ZIE-Anforderungen bei Ottomotoren (oben) und Dieselmotoren (unten) // RWTH Aachen University | TME

len Emissionsrichtlinie Euro 6d. Für beide Motorkonzepte war die Erreichung der ZIE-Anforderungen bei extremen Stadtfahrtszenarien mit hohen Kaltstartanteilen, längeren Start-Stopp-Phasen und kurzen Fahrstrecken sowie Autobahnfahrten mit erhöhter Motorlast problematisch, sodass technische Optimierungen notwendig waren.

Beim Ottomotor bestand das Technologiepaket aus einer Lambda-1-Verbrennung im gesamten Kennfeldbereich, Motordownsizing unter Beibehaltung des aktuellen Katvolumens, einem Partikelfilter sowie einer P0/P4-Mildhybridisierung mit 48V [ABBILDUNG 2]. »Die Hybridtechnik, die eigentlich dem Primärziel der Systemeffizienzsteigerung dient, wurde hier synergetisch auch zur Schadstoffreduktion genutzt«, so Maurer.

Auch in den Dieselantriebsstrang wurde eine Hybridisierung integriert, ein P2-Mildhybridsystem mit 48V. »Beim Dieselmotor bieten sich darüber hinaus motorbezogene Maßnahmen an, wie erhöhte AGR-Raten, optimierte Einspritzmuster und -timings sowie eine Lastpunktverschiebung mithilfe des Elektromotors. Teilweise lässt sich damit auch die Aufheizdauer der Abgasnachbehandlungskomponenten gezielt reduzieren«, sagte Kossioris. Der Einsatz eines Systems für die selektive katalytische Reaktion (Selective Catalytic Reduction, SCR) aus einem motornahen SCR-beschichteten Dieselpartikelfilter und einem großvolumigen Unterboden-SCR mit einem Twindosing-System bot hohes Potenzial zur Emissionsreduzierung in allen Betriebszuständen.

Zur weiteren Optimierung des Emissionsverhaltens beim Kaltstart in beiden Konzepten kann ein elektrisch beheizter Katalysator integriert werden. Dieser ermöglicht ein schnelles Aufheizen des Abgasnachbehandlungssystems auf Betriebstemperatur – allerdings bedarf es entweder vor der Fahrt oder während des rein elektrischen Anfahrens einer Vorwärmung, um das volle Reduktionspotenzial zu ermöglichen. »Alternativ kann der Einsatz eines Kraftstoffbrenners sinnvoll sein, um das Abgassystem zu beheizen«, so Kossioris.

Für beide Motorkonzepte bietet eine Begrenzung der maximalen Motorlast zu Beginn der Fahrt eine kosteneffiziente Methode zur Emissionsreduzierung. »Allerdings ist zu beachten, dass dies durch eine Leistungsbegrenzung spürbar ist, was sicherlich nicht von allen Fahrerinnen und Fahrern akzeptiert wird«, meinte Maurer. Zur Emissionsminderung bei Hochlastzyklen wirkt sich sowohl beim Ottomotor als auch beim Dieselmotor eine Vergrößerung des Katalysatorvolumens vorteilhaft auf die Reinigungswirkung aus.

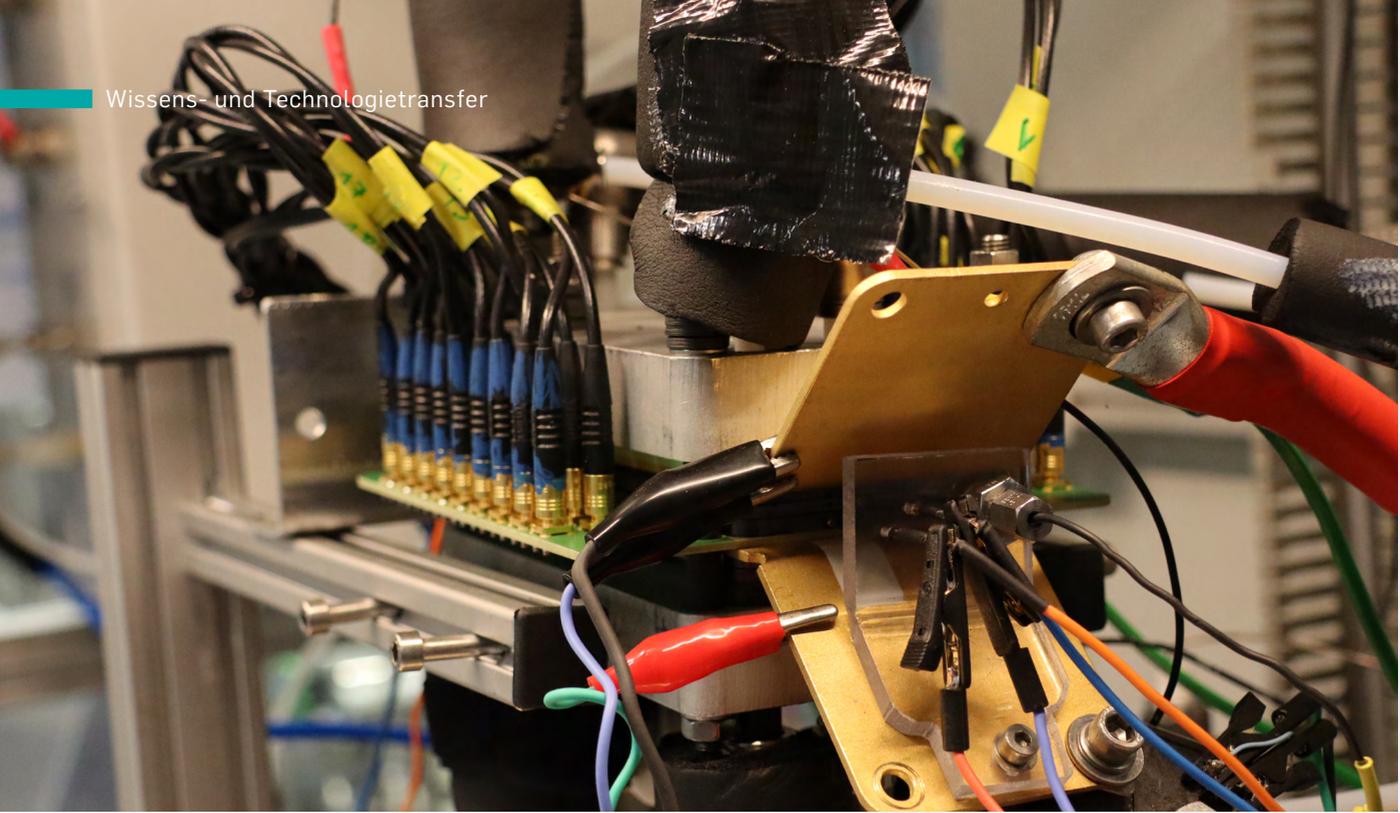


ABBILDUNG 3

Prüfzelle mit Sensorik für lokal auflösende Messungen auf dem Brennstoffzellenprüfstand // ZBT

Optimaler Kaltstart der Brennstoffzelle

Eine der aktuellen Herausforderungen der Brennstoffzellentechnik ist der Start bei tiefen Umgebungstemperaturen. Dabei kann vor allem Wasser in unterschiedlichen Aggregatzuständen die Funktionsfähigkeit der Brennstoffzelle beeinflussen: Ein Austrocknen der Membran kann zu verringerter Protonenleitfähigkeit führen, Tröpfchen können Kanäle und Gasporen blockieren und Eis in den Zellen die elektrochemische Aktivität reduzieren.

Im Rahmen des von Dr. Stefan Kaimer (Ford-Werke) geleiteten Forschungsprojekts »**PEM-FC-Kaltstartsimulation**« wurde am Lehrstuhl für Thermodynamik mobiler Energiewandlungssysteme (TME) der RWTH Aachen und am Zentrum für

Brennstoffzellen-Technik (ZBT) in Duisburg ein Simulationsmodell für den Kaltstart einer Brennstoffzelle entwickelt. Dazu wurden ein vorhandener Modellbaukasten und das integrierte 1D-2D-Stackmodell so erweitert, dass flüssiges Wasser im Kanal und die Struktur des Strömungsfelds berücksichtigt werden können. »Um die Echtzeitfähigkeit zu gewährleisten, haben wir für den numerischen Löser ein intelligentes Verfahren zur Vorhersage von Anfangswerten entwickelt«, erklärte Matthias Bahr vom ZBT. Das Brennstoffzellensimulationsmodell auf Systemebene wurde durch detaillierte mehrdimensionale CFD-Simulationen ergänzt. »Das CFD-Modell ist von wesentlicher Bedeutung für die Untersuchung der Wasserverteilung in den Zellschichten, die während des Kaltstarts von besonderem Interesse sind, sowie von Phasenwechselphänomenen



wie Kondensation und Verdampfung«, so Maximilian Schmitz vom TME. Um die Simulationsergebnisse zu validieren, wurden am ZBT umfangreiche Messungen an einer segmentierten Einzelzelle auf einem Brennstoffzellenprüfstand durchgeführt [ABBILDUNG 3]. »Dazu wurde zuerst das Verhalten der Zellen unter stationären Betriebsbedingungen und anschließend unter realistischen Kaltstartszenarien getestet. Dabei wurden Stromdichte und Hochfrequenzwiderstand permanent lokal gemessen und aufgezeichnet«, erklärte Bahr. Vergleiche zwischen dem Stackmodell, dem CFD-Modell der Einzelzelle und den Messungen machten deutlich, dass die beiden Modelle das reale Verhalten sehr gut bestimmen können.

Mit dem kombinierten Ansatz aus dem verbesserten Stack- und Systemmodell



Siehe auch:
Themenbericht MTZ 06/2023
»Nachhaltige Antriebe«,
→ www.fvv-net.de



Siehe auch:
Themenbericht MTZ 02+03/2023
»Zero-Impact-Emissions«,
→ www.fvv-net.de



Siehe auch:
Projektbericht ATZ 11/2022
»Modulare Simulationsumgebung für Brennstoffzellensysteme«
→ www.fvv-net.de

erfolgten schließlich Kaltstartuntersuchungen. Wie sich dabei zeigte, beeinflusst die Stromdichte während des Kaltstarts erheblich die Geschwindigkeit des Aufwärmens. Die Bildung von flüssigem Wasser in Anode und Kathode hingegen ist von der Aufheizrate des Stacks abhängig. //

Material- und Ressourceneffizienz

// vollständige Projektdaten ab S. 27

PROJEKT 1351 · TMF-Rissverlaufsberechnung bei ATL-Heiteilen
SCHWERPUNKT Werkstoffe EXPERTENGRUPPE Turbomaschinen
ANWENDUNG Abgasturbolader

PROJEKT 1444 · Auslegung von Metall-Graphit-Verbundwerkstoffen
(MeGraV II) SCHWERPUNKT Werkstoffe EXPERTENGRUPPE Turbomaschinen
ANWENDUNG Optimierte Gleitlagerungen, Gleitringdichtungen

Ressourceneffizienz senkt den Material- und Energieverbrauch **und schützt Umwelt und Klima**

Abgasführende Komponenten moderner Antriebs- und Energiewandlungssysteme sind im Betrieb hohen mechanischen und thermischen Belastungen ausgesetzt. Dadurch können Risse in den Bauteilen entstehen, die die Lebensdauer verkürzen. Forscher der TU Bergakademie Freiberg (TU BAF) und der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung in Berlin (BAM) haben eine Software entwickelt, mit der sich ein Ermüdungsrisssverlauf numerisch simulieren und vorhersagen lässt. Neuartige Metall-Graphit-Verbundwerkstoffe ermöglichen höhere Einsatztemperaturen und damit einen effizienteren Betrieb von Maschinen, Motoren und Triebwerken. In einem Projekt der Industriellen Gemeinschaftsforschung erstellen Forscher der TU Dresden eine Prozessführungs- und Auslegungsstrategie zur allgemeinen methodischen Entwicklung dieser Werkstoffe.

Die FVV trägt mit ihren Projekten im Rahmen der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) dazu bei, dass Unternehmen ressourceneffizienter und kostensparender produzieren, sich Leistungsfähigkeit und Lebensdauer von Bauteilen und Komponenten erhöhen und Werkstoffe damit länger im Wirtschaftskreislauf verbleiben.

Mit Simulationen in die Zukunft sehen

Viele Bauteile im Motoren- und Turbinenbau, insbesondere heißgehende Komponenten von Turboladern, unterliegen im Betrieb zeitlich veränderlichen thermischen und mechanischen Belastungen. Das führt an exponierten Stellen zu einer thermo-mechanischen Ermüdung des Werkstoffs und zur Anrissbildung. In der Folge kann sich eine unterkritische Rissausbreitung bis hin zum Versagen anschließen.

Bislang fehlte die Möglichkeit vorherzusagen, wie sich ein detektierter Anriss verhält; etwa ob er sich weiter ausbreiten wird und wenn ja, in welche Richtung und mit welcher Geschwindigkeit. Dieser Umstand führt zu einer erheblichen Unsicherheit bei der rechnerischen Auslegung derart beanspruchter Bauteile. In der Praxis werden daher Komponenten mit detektierten Rissen prophylaktisch

ausgetauscht, da man die weitere Rissentwicklung nicht ausreichend genau vorhersagen kann. Dieses Vorgehen ist ökologisch und ökonomisch kaum zu rechtfertigen, zumal in Turboladengehäusen Risse auftreten können, die für den Betrieb unproblematisch sind, da sie sich nach wenigen Millimetern nicht weiter ausbreiten. Es bedarf also bruchmechanischer Methoden, um das Risiko der weiteren Ausbreitung von detektierten Rissen zu bewerten und damit zu entscheiden, ob ein Bauteil weiterverwendet werden kann oder ausgetauscht werden muss.

Im Projekt ›**TMF-Rissverlaufsberechnung für ATL-Heißteile**‹ wurde an der Technischen Universität Bergakademie Freiberg (TU BAF) ein leistungsfähiges Berechnungswerkzeug zur Finite-Elemente-Simulation und Vorhersage des Risswachstums in 3D-Bauteilen entwickelt [ABBILDUNG 4]. Die Software ProCrackPlast basiert auf einem

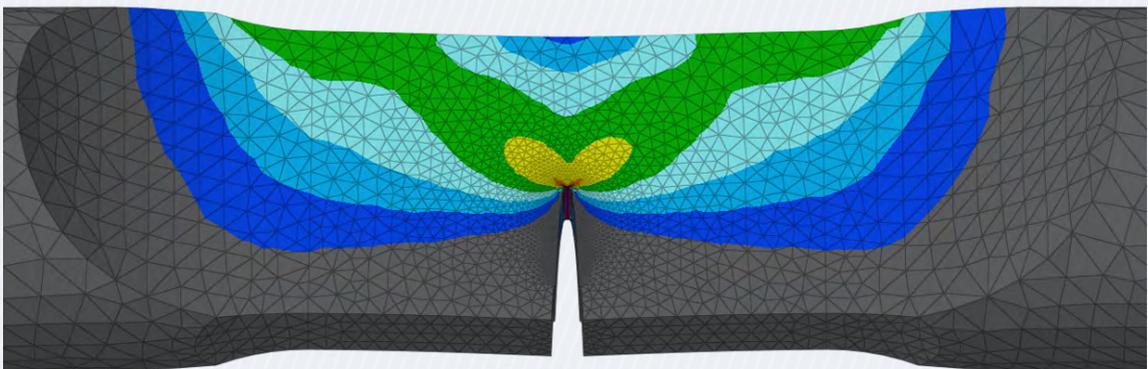


ABBILDUNG 4

SENT-Probe: Simulationsergebnis, das unter Verwendung der im Projekt entwickelten Simulationssoftware erzielt wurde. Konkret zu sehen ist die Visualisierung der Spannungsverteilung während der Ermüdungsrissausbreitung in einer SENT-Probe (Single-Edge Notched Tension)

// TU Bergakademie Freiberg | IMFD

Code, der an der TU BAF zunächst für linear-elastische Bruchmechanik (ProCrack) entwickelt wurde. »Im Bereich der thermomechanischen Ermüdung gibt es jedoch zusätzliche Effekte, die man berücksichtigen muss, etwa eine Kriechneigung«, sagte Prof. Björn Kiefer vom Institut für Mechanik und Fluidodynamik (IMFD). Daher kommen in der erweiterten Simulationsumgebung auch inelastische Materialmodelle zum Einsatz, die zum Teil bereits im Rahmen eines vorangegangenen Projektes an der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung in Berlin (BAM) entwickelt worden waren. Die für die Simulationssoftware benötigten experimentellen Daten zur Kalibrierung und Validierung der Modelle wurden in aufwendigen Versuchen an der BAM erhoben [ABBILDUNG 5].

An gekerbten Flachzugproben wurde das Risswachstum im Temperaturbereich von 20 bis 700 Grad Celsius ermittelt und somit eine belastbare Datenbasis

zur Quantifizierung des Rissfortschritts geschaffen. Die Forscher simulierten zudem alle Versuche mit einer Finite-Elemente-basierten Berechnungsprozedur.

ProCrackPlast lässt sich nun in der Entwicklung applikationsübergreifend anwenden, überall dort, wo Verbrennungskraftmaschinen mit Turboladern oder Turbinen mit Gehäusen aus dem typischen Eisengusswerkstoff Ni-Resist D-5S zum Einsatz kommen. Die Materialkennwerte sind in der Software hinterlegt, der Anwender erfasst die Geometrie des Bauteils, ergänzt die zu erwartenden mechanischen und thermischen Lastwechsel – und erhält als Ergebnis die Vorhersage, wie sich ein Riss wahrscheinlich verhalten wird.

Industriepartner Rolls-Royce Solutions koordinierte das Projekt. Dr. Andreas Koch, Senior Manager Strukturmechanik & Thermische Analysen, zeigte sich sehr zufrieden mit der entwickelten Simulations-

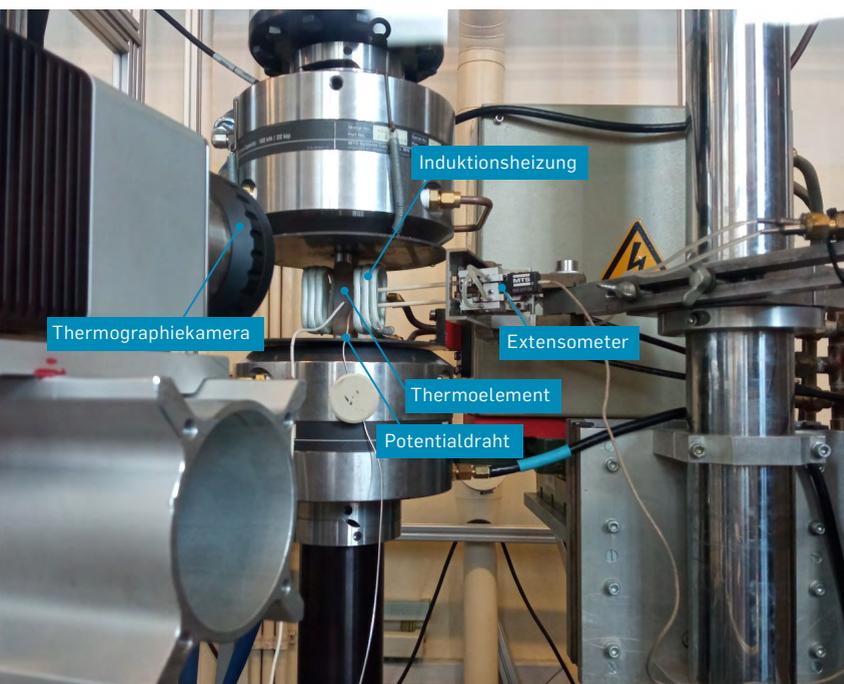


ABBILDUNG 5
BAM-Prüfstand: Alle Rissfortschrittsversuche wurden auf einer servo-hydraulischen Prüfmaschine an Luft durchgeführt

// Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung

umgebung: »Für uns ist auch interessant zu wissen, in welche Richtung sich ein Riss ausbreitet, und wie er sich entwickelt, wenn ich ein paar tausend Zyklen mehr fahre als eigentlich vorgesehen.« Ingenieure können einige konstruktive Maßnahmen zur Minimierung der Rissentstehung treffen: »In der Designphase lassen sich die entsprechenden Bereiche mit geringerer thermomechanischer Beanspruchung auslegen, indem wir die Wandstärken an kritischen Stellen beanspruchungsgerecht dimensionieren«, erklärte Koch. Durch den Einsatz von ProCrackPlast sind also längere Wartungsintervalle möglich, bei tolerablen Rissen müssen teure Bauteile nicht mehr vorsorglich und zeitintensiv ausgetauscht werden.

Bei Rolls-Royce Solutions wurde die Berechnungs-Software bereits zur Auslegung eingesetzt und auf eine eigene Geometrie angewendet. Nun gilt es, Erfahrungen zu sammeln, sagte Koch. Die Forscher in Freiberg möchten künftig die Software und Methodik weiter verbessern, die Präzision der Modelle optimieren und weitere Referenzexperimente durchführen. Während im Projekt nur ein Werkstoff betrachtet wurde, sieht Professor Kiefer Bedarf, Tests mit anderen Werkstoffen durchzuführen und somit die Übertragbarkeit der Methodik zu validieren.

Die Software samt Nutzerhandbuch steht allen FVV-Mitgliedsunternehmen zur Verfügung, ebenso die identifizierten Materialparameter und Ermüdungsrisssmodelle. In einem Workshop wurde die Anwendung demonstriert und Fragen beantwortet. Die Übertragung der Ergebnisse in die Industrie gestaltet

sich unkompliziert: Fahrzeughersteller liefern die entsprechenden Spezifikationen an den Turboladerhersteller, auch Produzenten von Abgasanlagen oder Berechnungsdienstleister profitieren unmittelbar von der Software. »Bisher plant man eher konservativ, legt Bauteile mit dickeren Wandungen aus, die dann schwerer sind als nötig«, erklärte Koch. Je besser die Simulation, desto weniger konservativ lässt sich künftig bauen, das spart Gewicht, Material und Kosten.

Im Laufe des Projekts zeigten sich jedoch auch die Grenzen des Bewertungskonzepts. Problematisch ist unter anderem die Beschreibung von Kriechdehnungsakkumulation, Kriechschädigung und oxidationsinduzierter Versprödung, die vor allem bei hohen Temperaturen und langen Haltezeiten auftreten. Für diese Fälle wurden näherungsweise Ansätze vorgeschlagen, die aber noch mit entsprechenden Langzeitversuchen validiert werden müssten. »Auch den Einfluss von Wechselbeanspruchungen aus Zug, Schub und Torsion (Mixed-Mode-Beanspruchung) auf das Ermüdungsrissswachstum konnten wir nicht ausreichend untersuchen, da gibt es durchaus Potenzial für ein späteres Projekt«, sagte Kiefer. Für solche Lastfälle sind in der ProCrackPlast-Software plausible Bruchhypothesen vorgesehen, die jedoch noch spezifiziert werden müssten.



ABBILDUNG 6

Prototypische Bundbuchsen aus aluminium- bzw. magnesiuminfiltriertem Graphit // TU Dresden | ILK

Moderne Metall-Graphit-Verbundwerkstoffe für effizientere Maschinen und Motoren

Leistungs- und Effizienzsteigerungen im Maschinen- und Anlagenbau führen zu höheren Werkstoffeinsatztemperaturen. Insbesondere an Gleitlagerungen und Gleitringdichtungen sind aufgrund steigender Drehzahlen oder Systemdrücke auch höhere Betriebs- und Notlaufeigenschaften zu gewährleisten. Mit zunehmender Systemtemperatur tritt allerdings in den Reibflächen erhöhter Reibverschleiß auf, der für hohe Wartungs- und Instandhaltungskosten sorgt, zudem für verschleißbedingte Ausfallzeiten.

Gängige Gleitlager-Werkstoffe wie Polyimide, Bronze oder Weißmetall kommen bei höheren Temperaturen an ihre mechanischen Grenzen: Nachteil der häufig verwendeten Polymere ist die relativ geringe Dauergebrauchstemperatur von maximal 250 Grad Celsius. Ein sicherer und zuverlässiger Betrieb von Werkzeugmaschi-

nen, Kompressoren, aber auch Verbrennungsmotoren und Flugzeugtriebwerken wird künftig nur möglich durch die Verwendung verschleiß- und hochtemperaturfester Materialien.

Im Projekt »**Methodische Entwicklung von Metall-Graphit-Verbundwerkstoffen für Gleitlageranwendungen im Hochtemperaturbereich (MeGrav I)**« (FVV-Projektnummer 1330) wurden in einem Squeeze-Casting-Prozess Aluminium- oder Magnesium-Legierungen unter hohem Druck in die Poren von Graphit gepresst. Dieser metallinfiltrierte Graphit wird wegen der selbstschmierenden Eigenschaften, der Hochtemperaturstabilität sowie guter mechanischer Kennwerte als eine vielversprechende Alternative angesehen. Im Folgevorhaben »**Auslegung von Metall-Graphit-Verbunden (MeGrav II)**« evaluieren René Füßel und sein Team vom Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik (ILK) der Technischen Universität Dresden nun die Einflüsse von hohen Temperaturen auf das Material,

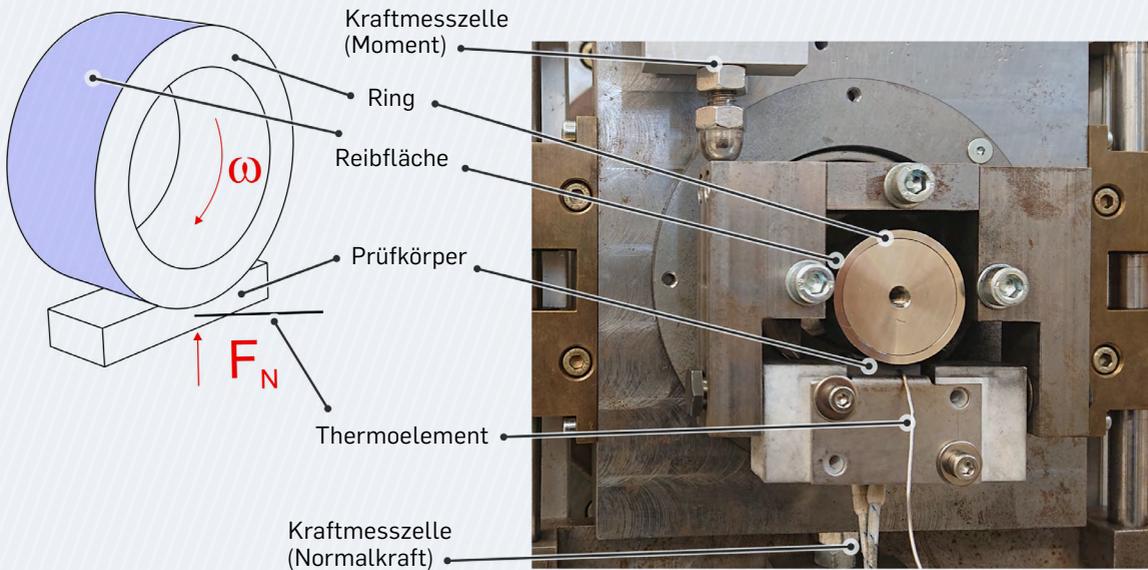


ABBILDUNG 7
Hochtemperatur-Reibprüfstand mit eingebauter
Klötzchen-Ring-Prüfvorrichtung // TU Dresden | ILK

zudem wird erstmalig eine Prozessführungs- und Auslegungsstrategie zur Entwicklung von Metall-Graphit-Produkten erstellt. Als Industriepartner steuerte Rolls-Royce Deutschland neben dem Anforderungskatalog das Probenmaterial bei [ABBILDUNG 6]. Ein typischer Anwendungsbereich der Metall-Graphit-Verbundwerkstoffe seien etwa Gleitlager in Kompressoren, sagte Dr. Susanne Schrüfer von Rolls-Royce Deutschland: »Wenn wir dort künftig eine Dauereinsatztemperatur von 300 Grad Celsius oder mehr erreichen, wäre das ein großer Fortschritt. Aber alles über 250 Grad ist ein Erfolg.«

In der Auslegungsphase sollte der Einfluss der Fertigungsparameter auf das finale Produkt untersucht werden. »Wir wollen für die Herstellungsparameter eine Variation und damit den Einfluss auf die Eigenschaften bestimmen. Damit lässt sich sagen: Wird das Material bei 670 bar infiltriert, wird es einen bestimmten Gleitreibungskoeffizienten aufweisen«, erklärte Füßel. Die verschiedenen Infiltrationsgüten sollen hinsichtlich ihrer physikalischen Eigenschaften bewertet werden, um daraus eine entsprechende Qualitätsmethodik entwickeln zu können. Dazu wurden Halbzeuge mit unterschiedlichen Parametern aus dem Rohgraphit hergestellt.

Etwa 450 Reibversuche sowie 250 mechanische Tests, unter anderem Dreipunktbiegeversuche, hat das Team um René Füßel in den vergangenen Monaten durchgeführt, bei einer Zykluszeit von etwa einem Tag pro Prüfling ein zeitraubender Prozess, trotz zweier parallel laufender Maschinen. Die Forschenden testeten von Raumtemperatur bis circa 300 Grad Celsius; bei unterschiedlichen Auslagerungszuständen auch bis zu 450 Grad Celsius [ABBILDUNG 7]. Ziel der Modellbildung ist unter anderem, anhand der Parametervariationen im Prozess die Verschleißrate vorhersagen zu können. »Bei einem niedrigen Infiltrationsdruck sollte der Gleitreibungskoeffizient niedriger sein, bei höheren Drücken entsprechend größer«, sagte Füßel. Damit seien künftig Vorhersagen zu Wartungsintervallen möglich: Wie lange können Maschinen in Betrieb sein, bevor sie gewartet werden und bevor Verschleißteile getauscht werden müssen?

Dabei zeichnet sich laut René Füßel bereits ab, dass durch den extrem robusten Fertigungsprozess keine signifikanten Unterschiede in den mechanischen oder tribologischen Eigenschaften zu erwarten sind. Selbst schwankende Fertigungsparameter hätten kaum Einfluss auf die Performance des Materials. »Für die Anwendung selbst ist das ein sehr gutes Ergebnis, weil wir immer die gleichbleibend hohe Qualität erreichen. Aber es macht die Modellierung schwieriger«, erklärte Füßel.

Anhand der gewonnenen Daten wird in den kommenden Monaten die Modellbildung vorangetrieben. Ohne dem Abschlussbericht vorgreifen zu wollen, merkte Füßel an: »Es gibt harte Einsatzgrenzen, aber innerhalb dieser Grenzen läuft das System äußerst stabil.«

Während der Versuche zeigte sich, dass zwar die Verschleißrate des magnesiuminfiltrierten Graphits geringer sei, allerdings ist Magnesium weniger wärmebeständig als Aluminium. Zudem neigt es wegen seiner Reaktivität bei sehr hohen Temperaturen von mehr als 500 Grad zur Spontanentzündung – ein Grund, warum einige Unternehmen Magnesium ungern verarbeiten wollen.

Von den Forschungsergebnissen profitieren Lagerhersteller, aber auch Maschinen- und Anlagenbauer sowie Materialzulieferer, die in einem Spritzguss- oder Druckgussverfahren die metallinfiltrierten Gleitlager und Dichtungen herstellen. Die bislang für die Produktion von Polymer- oder Graphit-Dichtungen genutzten Maschinen können weiterhin verwendet werden. Während die ersten Gleitlager und Dichtungen aus dem neuen Material laut Dr. Schröder im Maschinen- und Anlagenbau oder der Automobilindustrie relativ zeitnah zur Anwendung kommen könnten, wird die Übertragung der Ergebnisse in die Luftfahrtindustrie einige Jahre dauern: »Man muss Lieferanten finden, die die gewünschte Qualität bereitstellen, es braucht Abnahmestandards und eine geeignete Qualitätssicherungsmethodik. Je nach Anwendung kann das mindestens drei Jahre dauern.« //

Rund **250** Teilnehmerinnen und Teilnehmer
beteiligten sich an regen Diskussionen

Insgesamt **24 Projekte** zu technologisch-wissenschaftlichen
Grundlagen für Klimaneutralität und Zero-Impact-Emissionen
in nachhaltigen Energiewandlungssystemen wurden vorgestellt

Am **5. Oktober 2023** findet der
nächste Transfer + Networking Event statt

Wir halten die **Zukunft** offen

Insgesamt rund 250 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 Nachhaltigkeit, Effizienz, Klimaschutz und Ressourcenschonung (→ Seite 27: 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 34: 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 4. bis 6. Oktober 2023 wieder in Würzburg stattfinden.

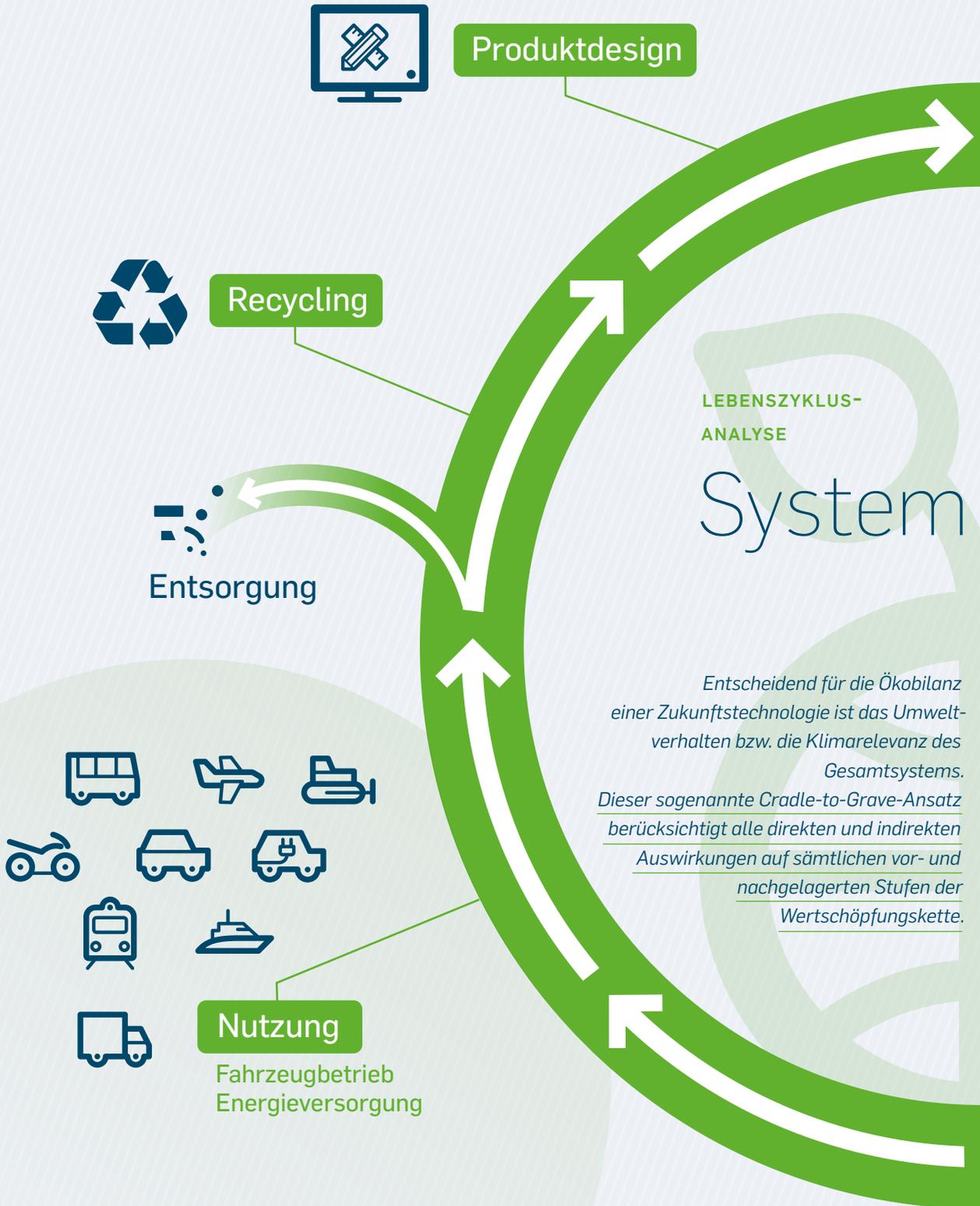


Siehe auch:
**The FVV Transfer + Networking
Event | Herbst 2023**
→ www.fvv-net.de

Wie der Blick auf die Systemeffizienz **die grüne Transformation beschleunigt**

Die FVV verfolgt bei ihren Forschungsaktivitäten für Klimaneutralität und Zero-Impact-Emissionen grundsätzlich einen faktenbasierten Ansatz ohne Denkverbote. Ihre Diversifizierungsstrategie für Energieanlagen und Antriebe der Zukunft umfasst daher alle Energiewandler und -träger, die Potenziale in dieser Richtung bieten. Dazu gehören batterieelektrische Lösungen ebenso wie Brennstoffzellen und thermische Wandler für alternative Energieträger. Alle Technologien werden neutral betrachtet und bewertet. Denn entscheidend für die Ökobilanz einer Zukunftstechnologie ist das Umweltverhalten bzw. die Klimarelevanz des Gesamtsystems.

Anlässlich des Wiener Motorensymposiums im April 2023 hat die FVV nun die Kernthesen ihrer umfangreichen Studien zur Lebenszyklusanalyse im Mobilitätssektor in einem Informationspapier zusammengefasst. Eine Faktensammlung (FAQ) zu den grundlegenden technischen und ökonomischen Rahmenbedingungen dieser Studienreihe ergänzt das neue Papier.



Entscheidend für die Ökobilanz einer Zukunftstechnologie ist das Umweltverhalten bzw. die Klimarelevanz des Gesamtsystems. Dieser sogenannte Cradle-to-Grave-Ansatz berücksichtigt alle direkten und indirekten Auswirkungen auf sämtlichen vor- und nachgelagerten Stufen der Wertschöpfungskette.

effizienz in geschlossenen Kreisläufen

Ressourcen
Energiequellen



Infrastruktur
Speicherung



Rohstoffe
Komponenten
Fahrzeuge
Produktion



Transport



Die FVV appelliert an Politik und Gesellschaft, die Diversifizierung bei Energieträgern und -wandlern für den europäischen Verkehrssektor aktiv zu fördern.

Zur Umsetzung der Klimaziele des Pariser Abkommens hat sich die EU gesetzlich verpflichtet, im Jahr 2050 Klimaneutralität und Netto-Null-Emissionen zu erreichen, also nicht mehr CO₂ auszustößen, als durch Wälder oder über andere Wege absorbiert wird. Im Jahr 2030 soll der Netto-Treibhausgas-Ausstoß um mindestens 55 Prozent im Vergleich zum Jahr 1990 gesenkt werden. Darüber hinaus verfolgt Deutschland das Ziel, 2030 sogar 65 Prozent weniger CO₂ als 1990 auszustößen und schon im Jahr 2045 klimaneutral zu sein. Die FVV unterstützt die ambitionierten Klimaziele Deutschlands und der EU. Zu deren schneller und effektiver Umsetzung ist es besonders wichtig, alle verfügbaren technologischen Lösungen zur Klimaneutralität gleichermaßen zu verfolgen und faktenbasiert zu bewerten. Maßstab für die Nutzung des jeweiligen Energieträgers und -wandlers muss sein Umwelteinfluss über den gesamten Lebenszyklus im Rahmen einer detaillierten Lebenszyklusanalyse (Life-Cycle-Assessment, LCA) auf Grundlage einer globalen sowie branchen- und sektorenübergreifenden Betrachtungsebene sein. Dieser sogenannte »Cradle-to-Grave«-Ansatz berücksichtigt ausnahmslos alle CO₂-Emissionen. Bei einem Fahrzeug beinhaltet er nicht nur die Nutzung des Fahrzeugs (Tank-to-Wheel), sondern auch die Herstellung, die Bereitstellung der Antriebs-

energie (Well-to-Tank), den Aufbau und den Betrieb der notwendigen Infrastruktur sowie das Recycling des Fahrzeugs nach Lebenszeit (End-of-Life).

Im Rahmen einer umfangreichen Studienreihe hat die FVV die unterschiedlichen Technologien zur CO₂-Einsparung für den europäischen Verkehrssektor einer LCA-Analyse unterzogen. Eingebunden waren alle an der gesamten Energiekette beteiligten Industrien sowie Forschungseinrichtungen aus Technik und Wirtschaft. Die entstandenen Studien stellen die derzeit umfassendste Datenbasis zur Bewertung der CO₂-Relevanz künftiger Energie- und Antriebstechnologien für den Mobilitätssektor bereit. Kern der Untersuchungen sind die Potenziale unterschiedlicher Energieträger und Energiewandler zur CO₂-Reduzierung. Dabei wurden die gesamten CO₂-Wirkketten »Cradle-to-Grave« berücksichtigt und alle Energieträger und -wandler einbezogen, die aus heutiger Sicht Potenzial zur CO₂-Reduzierung bieten und die derzeit Gegenstand von Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten bei Forschungsinstituten, Ingenieurdienstleistern oder Industrieunternehmen sind (→ FVV Transferbericht Herbst 2022, S. 14–19).

Die Ergebnisse der Studien lassen sich in drei zentralen Punkten zusammenfassen:

- › **Alle Lösungen bieten vergleichbare Potenziale zur CO₂-Reduzierung.**
- › **Die Geschwindigkeit von Einführung und Hochlauf neuer Technologien ist entscheidend.**
- › **Die schnelle Defossilisierung des Verkehrs erfordert Diversifizierung der Technologien.**

Diese Diversifizierung gibt Politik und Gesellschaft sowie Industrie und Wissenschaft die Möglichkeit, neue Entwicklungen für den schnellstmöglichen Ausstieg aus der Nutzung fossiler Kraftstoffe und den Einstieg in CO₂-neutrale Technologien für die unterschiedlichen Segmente zu bewerten und auf den Markt zu bringen.

Zudem schafft die Diversifizierung Redundanzen bei den Energieträgern und -wandlern, sodass das Ziel der Klimaneutralität bis 2050 gegen Unwägbarkeiten abgesichert wird. Führen beispielweise rohstoffseitige oder geopolitische Probleme zu einem verzögerten Hochlauf einer Technologie, kann das durch die Nutzung einer anderen Technologie weitestgehend aufgefangen werden.

Die FVV appelliert daher an Politik und Gesellschaft, die Diversifizierung bei Energieträgern und -wandlern für den europäischen Verkehrssektor aktiv zu fördern. Ohne Berücksichtigung zusätzlicher regenerativer Energieträger laufen wir Gefahr, Potenziale bei der CO₂-Reduzierung ungenutzt zu lassen, die schnellstmögliche Defossilisierung der Energieträger auszubremsen und damit die kumulierten CO₂-Emissionen unnötigerweise zu erhöhen.

Politische Entscheidungen und Vorgaben sollten auf Basis einer umfassenden LCA getroffen werden, bestehende Gesetze und Richtlinien müssen dahingehend überprüft und falls erforderlich modifiziert werden. Es ist zudem dringend erforderlich, Zwischenschritte auf dem Weg zur CO₂-Neutralität in der EU bis 2050 zu definieren und geeignete Mechanismen zur Überprüfung der Zielerreichung zu etablieren.



Siehe auch:
Weiterführende Informationen in der Science Story »Wie wir die grüne Transformation beschleunigen«
→ www.fvv-net.de



Tagungsband R 604
The FVV Transfer + Networking Event | Frühjahr 2023
→ www.themis-wissen.de

NR	THEMA FÖRDERGEBER	FORSCHUNGSSTELLEN PROJEKTLEITUNG	TAGUNGSBAND ABSCHLUSSBERICHT
1318	Air-Insulation Dieselmotor: Wirkungsgradsteigerung mittels Luftisolation durch gezielte Sprayauslegung und Brennraumdesign und Brenndauerverkürzung bei Dieselmotoren FVW	Prof. Dr. Jesús Benajes (CMT, Universität Politècnica de València) Prof. Dr. Thomas Koch (IFKM, KIT Karlsruhe) Dr. Patrick Gastaldi (Aramco Fuel Research Center)	R604 (S. 348–394) H1332 (2023)
1321	Arbeitsspielaufgelöster Turbinenwirkungsgrad in Stoß- und Stauaufladung: Transienter Wirkungsgrad, Modellierung für Motorprozess-Simulationen, ein- und zweiflutige Turbinengehäuse FVW/DFG	Prof. Dr. Bernd Wiedemann (ILS, TU Berlin) Dr. Mathias Vogt (IAV GmbH Ingenieurgesellschaft Auto und Verkehr)	R604 (S. 67–99) H1330 (2023)
1350	Festigkeitseinfluss Lötnahtqualität: Entwicklung von Bemessungskonzepten zur Beurteilung der Betriebsfestigkeit hartgelötete Fügeverbindungen unter Berücksichtigung prozessbedingter Lötnahtzustände BMWK/AiF	Prof. Dr. Tobias Melz (Fraunhofer LBF) Prof. Dr. Kirsten Bobzin (IOT, RWTH Aachen) Prof. Dr. Wolfgang Tillmann (LWT, TU Dortmund) Prof. Dr. Matthias Türpe (MAHLE International GmbH)	R604 (S. 37–66) H1309 (2022)
1351	TMF-Rissverlaufsrechnung für ATL-Heißeile: Numerische Simulation und Bewertung des örtlichen und zeitlichen Rissverlaufs in Abgas-turbolader-Heißeilen unter thermomechanischer Ermüdungsbeanspruchung (TMF) mit Hilfe von Finite-Elemente Techniken BMWK/AiF	Prof. Dr. Ulrich Panne (Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin) Prof. Björn Kiefer (IMFD, TU Bergakademie Freiberg) Dr. Andreas Koch (Rolls-Royce Solutions GmbH)	R604 (S. 579–613) H1320 (2023)
1354	Industrie-Radialverdichter mit breitem Kennfeld: Experimentelle Untersuchung der Strömungsinstabilitäten im Teillastbereich eines durch Eintrittsdrall geregelten Industrie-Radialverdichters mit hoher Kennfeldbreite BMWK/AiF	Prof. Dr. Peter Jeschke (IST, RWTH Aachen) Dr. Matthias Schleer (Howden Turbo GmbH)	R604 (S. 428–454) H1310 (2022)
1371	Robuste Bruchverformungskennwerte: Robuste Bruchkennwert-Ermittlung zur Verwendung der Kriechduktilität innerhalb fortschrittlicher Lebensdauerbewertungskonzepte AVIF/FVV	Prof. Dr. Matthias Oechsner (IfW, TU Darmstadt) Prof. Dr. Arjan Kuijper (GRIS, TU Darmstadt) Prof. Dr. Stefan Weihe (Materialprüfungsanstalt (MPA), Universität Stuttgart) Dr. Torsten-Ulf Kern (Siemens Energy Global GmbH & Co. KG)	R604 (S. 677–710) H1342 (2023)
1374	Kraftstoffeinfluss auf Partikeleigenschaften: Einfluss von Schmier- und Kraftstoffen auf das Partikel-Rohemissionsverhalten von Ottomotoren BMWK/AiF	Prof. Dr. Thomas Koch (IFKM, KIT Karlsruhe) Dr. Wolfgang Samenfink (Robert Bosch GmbH)	R604 (S. 241–277) H1325 (2023)
1379	Tribomaps reibwerterhöhende Laserstrukturen: Entwicklung von Tribomaps für reibwerterhöhende Laserstrukturen BMWK/AiF/FVV	Prof. Dr. Alexander Hasse (IKAT, TU Chemnitz) Prof. Dr. Udo Löschner (LHM, Hochschule Mittweida) Dr. Anton Stich (AUDI AG)	R604 (S. 6–36) H1329 (2023)
1383	Akustik in Druckleitungen II: Entwicklung und Validierung eines Messverfahrens zur Bestimmung der von einem Radialkompressor in die Druckleitung abgestrahlten Schalleistung FVV/DFG	Prof. Dr. Lars Enghardt (ISTA, TU Berlin) Prof. Dr. Peter Jeschke (IST, RWTH Aachen) Vera Kress (MAN Energy Solutions SE) Dr. Irhad Buljina (MAN Energy Solutions SE)	R604 (S. 395–427) H1335 (2023)

NR	THEMA FÖRDERGEBER	FORSCHUNGSSTELLEN PROJEKTLÉITUNG	TAGUNGSBAND ABSCHLUSSBERICHT
1386	<p>› Turbohochtemperaturstahl: Steigerung der Getriebeleistungsdichte durch hochtemperaturbeanspruchbare Werkstoffsysteme für Zahnräder und Wälzlager</p> <p>› BMWK/AiF</p>	<p>› Prof. Dr. Christian Brecher (WZL, RWTH Aachen)</p> <p>› Prof. Dr. Rainer Fechte-Heinen (IWT, Leibniz-Institut für Werkstofforientierte Technologien Bremen)</p> <p>› Dr. Markus Dinkel (Schaeffler Technologies AG & Co. KG)</p>	<p>› R604 (S. 614–644)</p>
1392	<p>› Werkstoffanwendung FeAl (WAFEAL): Werkstoffanwendungen für Eisenaluminide (FeAl), (WAFEAL)</p> <p>› BMWK/AiF</p>	<p>› Dr. André Schievenbusch (Access e.V. (ACC), Aachen)</p> <p>› Prof. Dr. Ulrich Panne (Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung Berlin)</p> <p>› Susanne Mosler, Dr. Dan Roth-Fagaraseanu (Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG)</p>	<p>› R604 (S. 645–676)</p> <p>› H1322 (2023)</p>
1397	<p>› Vorhersage von Gasturbinen-Emissionen: DNS-gestützte Entwicklung von prädiktiven LES-Modellen für Schadstoffemissionen in Gasturbinen</p> <p>› DFG/FVV</p>	<p>› Prof. Dr. Heinz Pitsch (itv, RWTH Aachen)</p> <p>› Dr. Ruud Eggels (Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG)</p>	<p>› R604 (S. 455–489)</p> <p>› H1337 (2023)</p>
1400	<p>› AdBlue verursachte Ablagerungen II: Untersuchung und Modellierung der Ablagerungsbildung während der Abgasnachbehandlung durch die Einspritzung von AdBlue vor den SCR-Katalysator</p> <p>› BMWK/AiF-CORNET, BMK/FFG, FVV</p>	<p>› Prof. Dr. Olaf Deutschmann (ITCP, KIT Karlsruhe)</p> <p>› Prof. Dr. Bernhard Geringer (IFA, TU Wien)</p> <p>› Raimund Vedder (ehemals Atlanting GmbH)</p>	<p>› R604 (S. 210–240)</p> <p>› R1324 (2023)</p>
1403	<p>› eSpray: Einspritzung, Mischung und Selbstzündung von E-Kraftstoffen für CI-Motoren</p> <p>› BMWK/AiF-CORNET, BMK/FFG, FVV</p>	<p>› Prof. Dr. Michael Wensing (FST, FAU Erlangen-Nürnberg)</p> <p>› Prof. Dr. Christof Schulz (EMPI, Universität Duisburg-Essen)</p> <p>› Prof. Dr. Bernhard Geringer (IFA, TU Wien)</p> <p>› Dr. Paul Miles (CRF, Sandia National Laboratories, Livermore, California)</p> <p>› Prof. Dr. Dong Han (IAEPT, Shanghai Jiao Tong University)</p> <p>› Dr. Uwe Leuteritz (Liebherr Components Deggendorf GmbH)</p>	<p>› R604 (S. 312–347)</p> <p>› H1333 (2023)</p>
1411	<p>› Brennstoffzellen-Kaltstart: PEM-FC-Kaltstartsimulation</p> <p>› FVV</p>	<p>› Dr. Peter Beckhaus (ZBT Duisburg)</p> <p>› Prof. Dr. Stefan Pischinger (tme, RWTH Aachen)</p> <p>› Dr. Stefan Kaimer (Ford-Werke GmbH)</p>	<p>› R604 (S. 278–311)</p> <p>› H1336 (2023)</p>
1412	<p>› Zero-Impact-Endrohremission-Antriebsstränge: Identifizierung technischer Lösungen zur Erzielung von Antriebssträngen mit Zero-Impact Tailpipe-Emissionen unter Berücksichtigung eines gesetzlichen Fahrzeug- und Luftschadstoffszenarios 2030+</p> <p>› FVV</p>	<p>› Prof. Dr. Stefan Pischinger (tme, RWTH Aachen)</p> <p>› Dr. Frank Bunar (IAV GmbH Ingenieurgesellschaft Auto und Verkehr)</p>	<p>› R604 (S. 185–209)</p> <p>› H1334 (2023)</p>
1422	<p>› Erweiterung Betriebsbereich YSZ: Erweiterung des Temperatur-Einsatzbereiches von zirkonoxidbasierten-Wärmedämmschichten durch alternative Beschichtungsverfahren und modifizierter chemischer Zusammensetzung</p> <p>› DFG/FVV</p>	<p>› Prof. Dr. Robert Vaßen (IEK-1, Forschungszentrum Jülich GmbH)</p> <p>› PD Dr. Mathias Galetz (DECHEMA-Forschungsinstitut Frankfurt)</p> <p>› Prof. Dr. Matthias Oechsner (IfW, TU Darmstadt)</p> <p>› Dr. Arturo Flores Renteria (Siemens Energy Global GmbH & Co. KG)</p>	<p>› R604 (S. 729–758)</p>

NR	THEMA FÖRDERGEBER	FORSCHUNGSSTELLEN PROJEKTLEITUNG	TAGUNGSBAND ABSCHLUSSBERICHT
1423	Kombinierte Dynamische Analysen – Analytik: Nichtlineare Schaufelschwingungsanalyse bei kombinierter Verstimmung der Geometrie und der Anregung für stationären und transienten Betrieb > BMWK/AiF	> Prof. Dr. Jörg Wallaschek (IDS, Leibniz Universität Hannover) > Dr. Andreas Hartung (MTU Aero Engines)	> R604 (S. 546–579)
1428	Modular Hybrid-Powertrain: Modulare objektorientierte Architekturen für skalierbare Hybridantriebsstränge > FVV	> Prof. Dr. Christian Beidl (vkm, Technische Universität Darmstadt) > Dr. Veit Held (ehemals Stellantis Opel Automobile GmbH)	> R604 (S. 140–143)
1433	HyFlex ICE: Hochflexible Verbrennungsmotoren für Hybridfahrzeuge > FVV	> Prof. Dr. Stefan Pischinger (tme, RWTH Aachen) > Marc Sens (IAV GmbH Ingenieurgesellschaft Auto und Verkehr)	> R604 (S. 144–184) > H1338 (2023)
1434	ICE2030: Grenzen der ottomotorischen Wirkungsgradsteigerung in hybridisierten Antriebssträngen > FVV	> Prof. Dr. Christian Beidl (vkm, TU Darmstadt) > Prof. Dr. André Casal Kulzer, Prof. Dr. Michael Bargende (IFS, Universität Stuttgart) > Prof. Dr. Peter Eilts (ivb, TU Braunschweig) > Prof. Dr. Stefan Pischinger (tme, RWTH Aachen) > Arndt Döhler (Stellantis Opel Automobile GmbH)	> R604 (S. 100–139)
1440	Constraint-Effekt beim Komponenten-Design: Berücksichtigung von Constraint bei der fehlertoleranten Auslegung von Bauteilen gegen duktilen Versagen > BMWK/AiF	> Prof. Dr. Peter Gumbsch (Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM Freiburg) > Prof. Björn Kiefer (IMFD, TU Bergakademie Freiberg) > Dr. Christian Amann (Siemens Energy Global GmbH & Co. KG)	> R604 (S. 711–728)
1444	Auslegung von Metall-Graphit-Verbunden: Modellbildung für die Auslegung von Metall-Graphit-Verbundwerkstoffen unter Berücksichtigung anwendungsnahe Einsatzbedingungen (MeGraV II) > BMWK/AiF	> Prof. Dr. Niels Modler (ILK, TU Dresden) > Prof. Dr. Matthias Busse (Fraunhofer IFAM Bremen) > Dr. Susanne Schrüfer (Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG)	> R604 (S. 558–578)
1451	Aeroelastische Kaskade DELTA II: Experimentelle und numerische Untersuchung zum Einfluss von aerodynamischer Belastung und Staffelung auf die aeroelastische Stabilität kombinierter Biege-Torsions-Eigenformen von Verdichterschaukeln > BMWK/AiF-CORNET	> Prof. Dr. Dieter Peitsch (ILR, TU Berlin) > Prof. David Nowell (VUTC, Imperial College London) > Dr. Sabine Schneider (Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG)	> R604 (S. 490–523)



Mehr bewegen –
FVV-Mitglieder

→ www.fvv-net.de/network/mitglieder



Forschung braucht starke Partner –
Teilnehmende Forschungsstellen

→ 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.

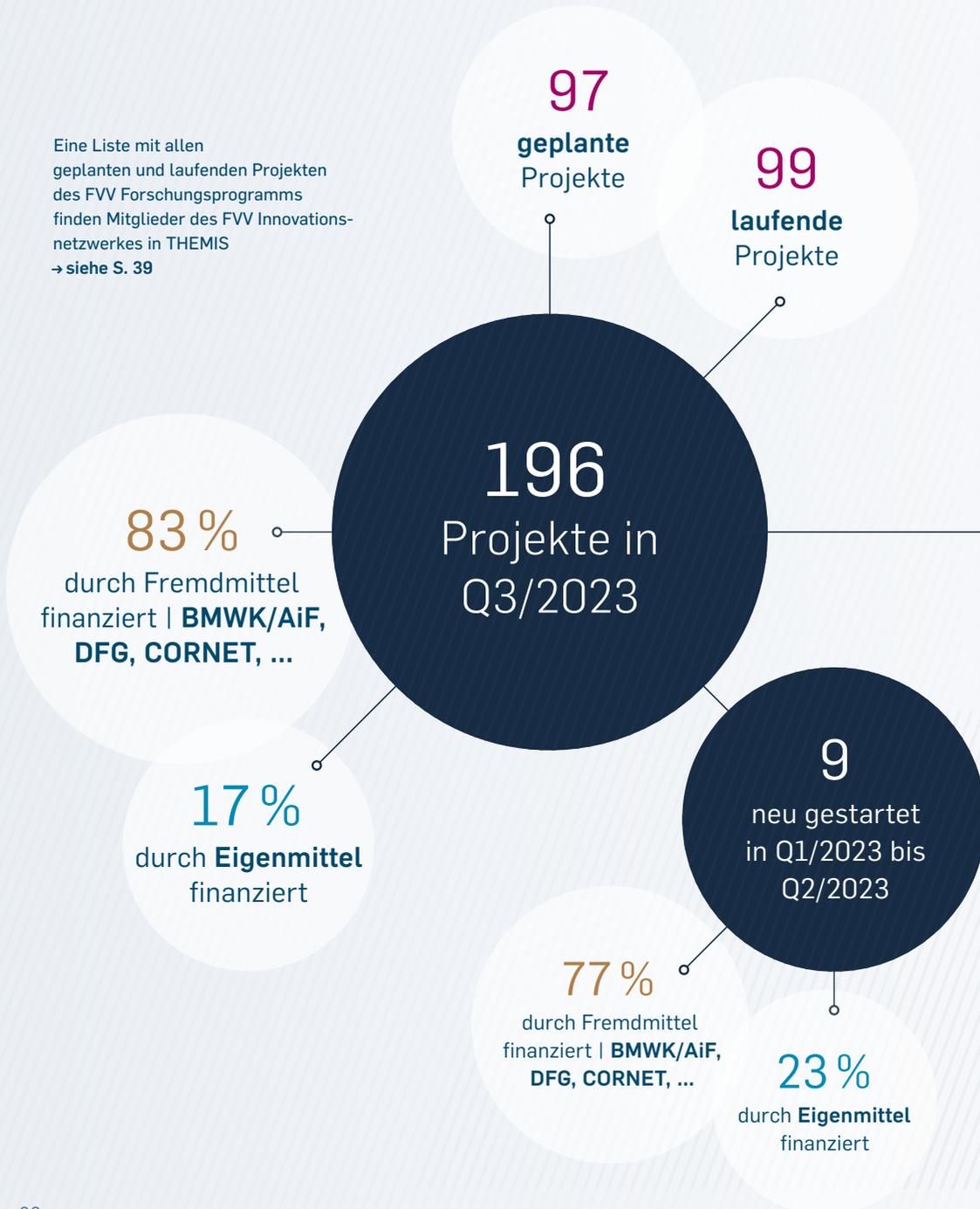
Industrielle Gemeinschaftsforschung (IGF) ist vorwettbewerblich, zukunftsgerichtet und themenoffen. Die vorwettbewerbliche Forschung der FVV ermöglicht Unternehmen, gemeinsame Technologieprobleme und Fragestellungen etwa zu Effizienz, Lebenszyklen, Materialien und Kreislaufwirtschaft auf System- und 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: 03.07.2023

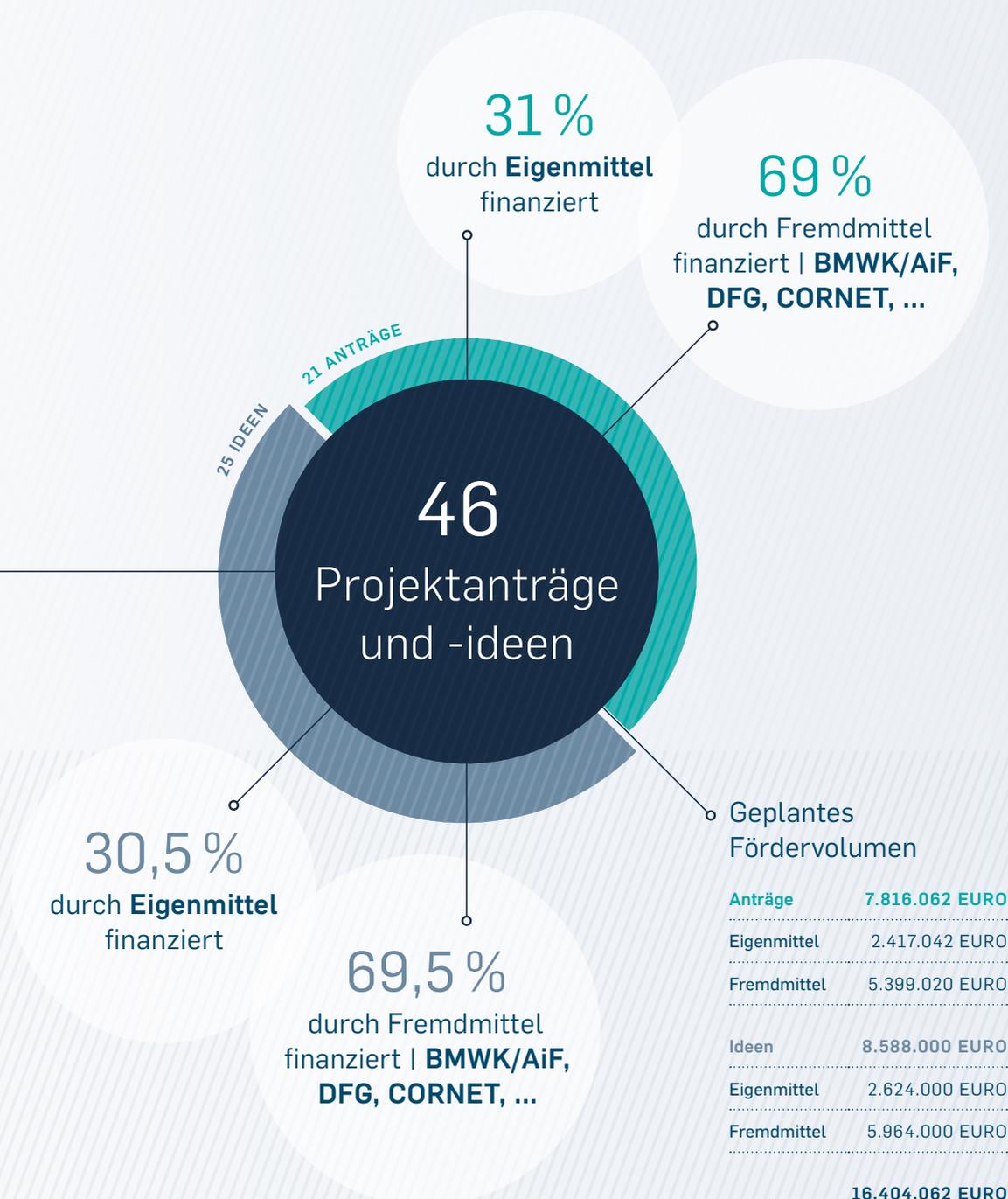
Die vorwettbewerbliche Projektarbeit der FVV ermöglicht es, Grundsatzfragen gemeinsam zu erforschen, auf deren Basis die immer höheren Anforderungen an Materialien, Kraftstoffeffizienz und Umweltverträglichkeit gemeistert werden können. Damit trägt das FVV-Forschungsprogramm auch zu einer höheren Wettbewerbsfähigkeit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

Eine Liste mit allen geplanten und laufenden Projekten des FVV Forschungsprogramms finden Mitglieder des FVV Innovationsnetzwerkes in THEMIS
→ siehe S. 39



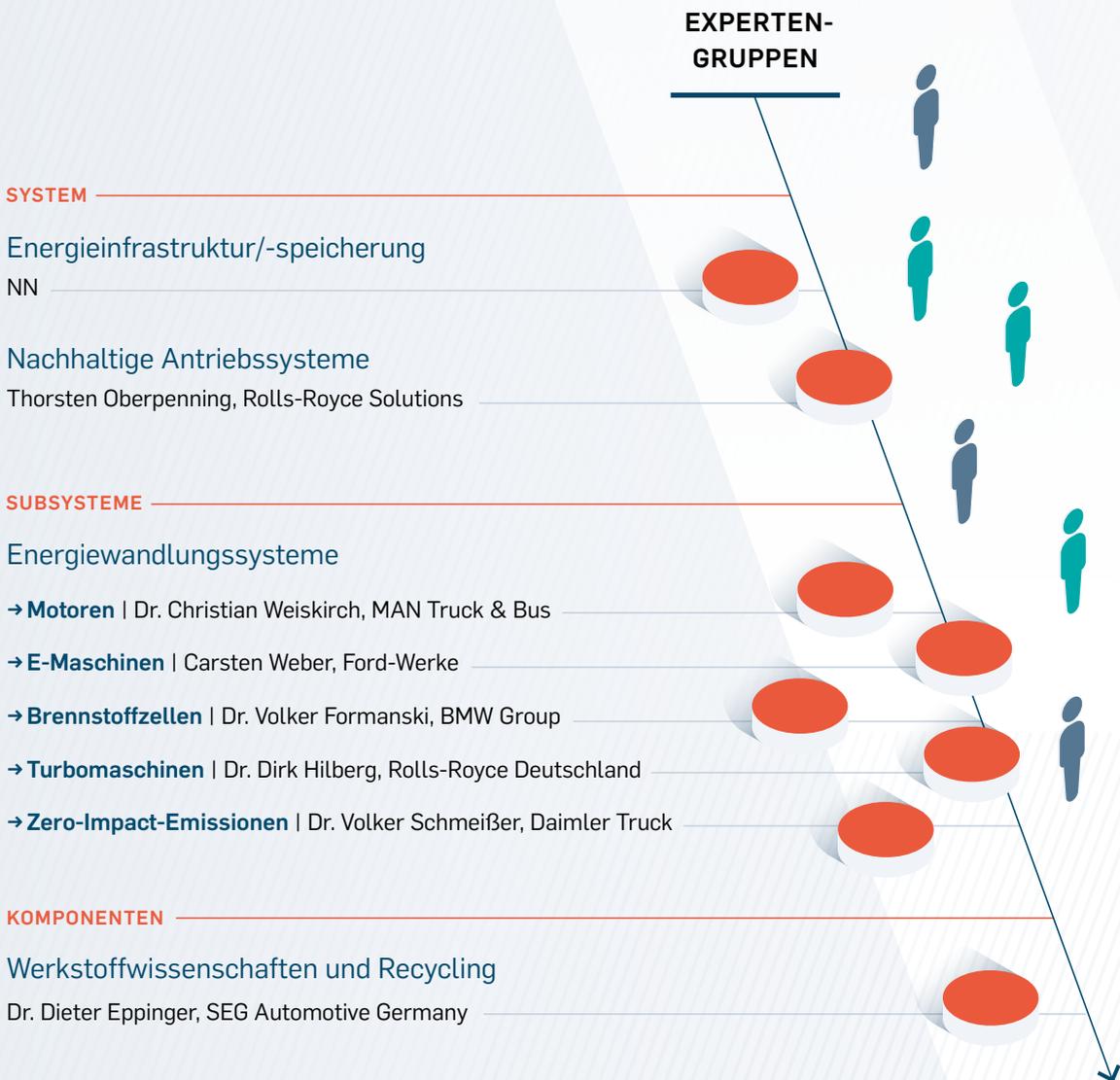
Neue Projektanträge und -ideen // Stand: 02.06.2023

Im Frühjahr 2023 standen in den Präsenzmeetings der Expertengruppen in Würzburg sowie im schriftlichen Umlaufverfahren insgesamt 25 neue Projektideen und 21 Projektanträge zur Diskussion. Mit diesem Paket wurde dem Vorstand der FVV ein geplantes Fördervolumen von 16,4 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

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. CO₂), 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 FVV Transfer + Networking Event | Frühjahr 2023‹ ist online abrufbar:

→ 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

AUSGABE

02 | 2023

AUTOREN

Richard Backhaus, Wiesbaden
Mathias Heerwagen, Leipzig

REDAKTION

Petra Tutsch und
Martin Nitsche, FVV

GRAFISCHE KONZEPTION
UND UMSETZUNG

Lindner & Steffen GmbH, Nastätten

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

www.fvv-net.de