

FVV JAHRESMAGAZIN

PrimeMovers.

2020 | »Nur Mut generiert Fortschritt«



»Nur **Mut** generiert **Fortschritt.**«

Liebe Mitglieder der FVV,
liebe Leserin, lieber Leser,

wie werden wir im Jahr 2030 auf das Jahr 2020 zurück-schauen? Diese Frage ist natürlich nicht mit der gleichen wissenschaftlichen Präzision zu beantworten, die wir als Forschungsvereinigung von den Ergebnissen unserer Vorhaben erwarten. Dennoch ist der Blick aus einer imaginierten Zukunft auf die Gegenwart in der Zukunftsforschung eine wichtige Methode. Denn langfristige Veränderungen sind dadurch charakterisiert, dass eine Vielzahl von Einflussfaktoren zusammenkommt und der Geschichte einen neuen Drall gibt, der erst allmählich in Strukturen sichtbar wird. Der Blick rückwärts auf die Gegenwart hilft dabei, diese Einflussfaktoren zu erkennen. Also noch einmal: Wie werden wir in zehn Jahren auf dieses außergewöhnliche Jahr schauen? Bleiben mehr als die Corona-Pandemie und deren Folgen für Gesellschaft und Wirtschaft im kollektiven Gedächtnis?

Wir meinen: Ja! Denn im Jahr 2020, so wird man es in zehn Jahren vielleicht darstellen, sind von Deutschland und Europa entscheidende Schritte im Kampf gegen den Klimawandel eingeleitet worden. Es war erkannt worden, dass die dezentrale Produktion von erneuerbarem Strom aus Sonne und Wind zwar einen wichtigen Baustein der

Energiewende darstellt, dass aber das Grundproblem einer Defossilisierung aller Sektoren auf diesem Weg nicht gelingen würde. Mit der Wasserstoffstrategie stellten Deutschland und Europa die Weichen für erneuerbare chemische Energieträger im Verkehr und die Dekarbonisierung wichtiger Grundstoffindustrien.

Die Strategien und die damit verbundenen Fördermittel wirkten wie ein Zündfunke: Erstmals wurden Anlagen errichtet, mit denen Power-to-X-Energieträger in großen Mengen hergestellt werden konnten. Ein großer Teil dieser Anlagen entstand in den 2020er-Jahren nicht in Mitteleuropa, sondern in sonnen- und windreicheren Regionen der Welt – allerdings mit maschinenbaulichem Know-how deutscher und europäischer Unternehmen. Verbrennungskraftmaschinen, die unsere Forschungsvereinigung im Namen trägt, wurden in der Folge zwar durch Brennstoffzellen und elektrische Antriebe ergänzt, trugen als Kraft-Maschinen im Wortsinn jedoch entscheidend dazu bei, dass die Energiewende in allen Sektoren in Gang kam. Das gilt auch für den Energiesektor selbst, der zwar einen immer größeren Anteil an regenerativ erzeugten Stroms hervorbringt, aber gleichzeitig auf Speichermöglichkeiten durch chemische Energieträger angewiesen ist. Turbomaschinen, so unsere Überzeugung, spielen daher in der Energiewelt weiterhin eine entscheidende Rolle. Digitalisierung und Künstliche Intelligenz haben dabei die Entwicklung und die Vernetzung immer komplexerer technischer Systeme beschleunigt und erweitert. Das hat zu wesentlich smarteren und effizienteren Transport- und Energiesystemen geführt.

Zugegebenermaßen handelt es sich dabei um eine Vision. Doch wo stünde unsere Welt, wenn nicht mutige Menschen ihre Lebenszeit und ihr

Wo stünde unsere Welt, wenn nicht mutige Menschen ihre Lebenszeit und ihr Geld in visionäre Wege investiert hätten?

Geld in visionäre Wege investiert hätten? Nur Mut generiert Fortschritt. Übermut hingegen kann rasch zu Fehlentwicklungen führen. Gerade kleinen und mittelständischen Unternehmen fehlen oftmals die Ressourcen, alle möglichen technischen Entwicklungen zu verfolgen und vor allem die Wirtschaftlichkeit einzelner Pfade zu berechnen. Für die Industrielle Gemeinschaftsforschung, wie wir sie mit der FVV katalysieren, resultiert daraus eine neue Aufgabe: Orientierung zu verschaffen, und zwar auf fundierter technisch-wissenschaftlicher Basis. Deshalb haben sich Vorstand und Geschäftsführung nach einem intensiven Diskussionsprozess dafür entschieden, künftig verstärkt sogenannte ›Orientierungsstudien‹ in Auftrag zu geben.

Ein Beispiel dafür ist die Metastudie zur Lebenszyklusanalyse alternativer Fahrzeugantriebe. Sie folgt einem relativ einfachen Grundgedanken: Um die Klimaverträglichkeit eines Antriebs und darauf basierend verschiedene Konzepte zu bewerten, reicht es nicht, allein auf die Emissionen in der Nutzungsphase zu schauen. Vielmehr müssen auch die durch die Fahrzeugproduktion, den Aufbau der Energieinfrastruktur und das Recycling entstehenden Emissionen berücksichtigt werden. In unserem Auftrag hat ein renommiertes, auf den Energiesektor spezialisiertes Beratungsunternehmen mehr als 80 existierende Studien analysiert. Die Ergebnisse stellen wir ab Seite 16 vor. Soviel an dieser Stelle vorweg: Unterstellt man, dass verbrennungs-



Foto: Uwe Nölke

motorische Antriebe künftig nur noch mit klimaneutral hergestellten Kraftstoffen betrieben werden, belasten sie das der Menschheit verbleibende CO₂-Budget weniger als ein batterieelektrischer Antrieb. Weitere Orientierungsstudien zu den Kraftstoffen der Zukunft sowie zu »Zero-Impact«-Emissionen sind in Vorbereitung und werden im kommenden Jahr publiziert.

Wenn pluralistische Gesellschaften einen Pfad der Veränderung bestreiten, dann bleibt Streit nicht lange aus. In der Vergangenheit haben wir uns als Ingenieure in der öffentlichen Diskussion meist zurückgehalten. Und wenn wir doch die Stimme erhoben, erklärten wir die Zusammenhänge oft viel zu kompliziert und zu detailliert. Doch ohne eine Kommunikation, die das richtige Maß zwischen sachlicher Korrektheit und populärer Darstellung findet, werden wir kein Gehör finden, so richtig und wichtig unsere Erkenntnisse auch sind. Deshalb haben wir uns dafür entschieden, unsere Überblicksstudien, aber auch die Ergebnisse wichtiger Forschungsprojekte künftig noch intensiver zu kommunizieren. Das Jahresmagazin, das Sie in den Händen halten, ist ein wichtiger Baustein unserer neuen Kommunikationsoffensive.

An dieser Stelle bedanken wir uns bei allen Fördergebern, hier insbesondere dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie und der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen sowie

den Forschungsstellen und Kooperationspartnern, ohne deren Unterstützung die erzielten Forschungsergebnisse nicht möglich gewesen wären. Unser Dank gilt zudem all jenen Menschen, die ehrenamtlich in der FVV mitwirken und ohne deren Engagement in Gremien und Arbeitskreisen die auf den folgenden Seiten dargestellten Projektergebnisse nicht erzielt worden wären. Auch wenn wir uns im Jahr 2020 kaum persönlich treffen konnten, so ist und bleibt die FVV auch unter erschwerten Bedingungen ein Mitmachverein, der von den der persönlichen Begegnung und den Ideen vieler kluger Köpfe getragen wird. //

Wir freuen uns auf die Zukunft!

PROF. DR. PETER GUTZMER
Vorsitzender des Vorstands

DIETMAR GOERICKE
Geschäftsführung

Forschungs-
schwerpunkte

12

Menschen

Dr. André Casal Kulzer



30

Energiewende

Christopher Steinwachs



06

Mobilitätswende

*Dr. Tobias
Lösche-ter Horst*



20

Alternative
Kraftstoffe |
Brennverfahren

44

Brennstoffzellen

54

Kooperationen

58

Gemeinschafts-
forschung

Prof. Dr.
Sebastian Bauer

40

Menschen

Dr. Christian Weiskirch

48

Hybridantriebe

24

Orientierungs-
studien

16

Entwicklungs-
werkzeuge

36

Vernetzung 62

FVV
Geschäftsbericht
2019 / 2020

65

Die Menschen
hinter moderner
Forschung 66

Forschungsprogramm 76

Motoren 78

Turbomaschinen 97

Zahlen kompakt –
Das Geschäftsjahr
2019 102



»Versorgungs- sicherheit langfristig und kosteneffizient«

Welche Rolle Gasturbinen und andere Turbomaschinen in der Energiewelt der Zukunft spielen, erklärt **Christopher Steinwachs**, der stellvertretende Vorsitzende des Vorstands der FVW.

Herr Steinwachs, im ersten Quartal 2020 wurde in Deutschland mehr Strom aus erneuerbaren Energien erzeugt als mit konventionellen Energieträgern. Wie beurteilen Sie das als Ingenieur und Turbomaschinenbauer?

Grundsätzlich ist die Transformation des Energiesektors der absolut richtige Schritt. Aber um die Klimaziele zu erreichen und im Jahr 2050 komplett CO₂-neutral zu sein, werden neben Windturbinen und PV-Modulen weitere Technologien benötigt. Sonne und Wind stehen nicht immer zur Verfügung, also muss Energie gespeichert werden, etwa chemisch oder in Batterien. Um die Versorgungssicherheit langfristig und kosteneffizient sicherzustellen, muss man sich andere Dinge einfallen lassen. Da spielt die Turbomaschine aus meiner Sicht weiterhin eine entscheidende Rolle.

Der Energiesektor ist also geprägt von erneuerbarer Energie. Wie wirkt sich das auf die Betriebsweise von Gasturbinen aus?

Die Anlagen werden wesentlich zyklischer betrieben als bisher. Selbst große 800-Megawatt-Blöcke mit Kraft-Wärme-Kopplung werden mehrmals am Tag hoch- und runtergefahren. Das ist in Deutschland schon heute der Fall. Daher müssen wir die Gas- und Dampfturbinen auf eine zyklische Beanspruchung auslegen, die größer ist als noch vor einigen Jahren, als Turbinen viele tausend Stunden im Jahr Grundlast liefen. Bei der Entwicklung kann man dann zum Beispiel auf andere kostengünstigere Materialien gehen. Denn wenn künftig deutlich weniger Betriebsstunden gefahren werden, etwa nur noch 1.000 statt 8.000 Stunden im Jahr, werden Investitionskosten eine noch wichtigere Rolle spielen.

Künftig werden Gasturbinen nicht nur zyklischer betrieben, sondern auch mit synthetischen Brennstoffen. Welche technischen Änderungen sind für den Betrieb mit Wasserstoff nötig?

Wasserstoff verbrennt mit einer etwa dreifach höheren Flammgeschwindigkeit als Methan, und die Zeit bis zur Selbstzündung ist etwa dreimal so kurz bei gegebener Temperatur. Man muss sicherstellen, dass die Verbrennung nicht instabil wird und nicht zu nah an den metallischen Wänden abläuft, weil sonst die Brennkammer beschädigt werden kann. Das ist eine große Herausforderung, besonders bei hohen Wasserstoffanteilen. Und natürlich müssen auch die Emissionsgrenzwerte eingehalten werden.

Welche Erfahrungen liegen für den partiellen oder vollständigen Betrieb mit Wasserstoff vor?

Dem Brennstoff für die großen Gasturbinen, üblicherweise Erdgas, können wir schon bei den aktuellen Turbinen im Neuanlagenportfolio bis zu 30 Prozent Wasserstoff beimischen. Wir haben kürzlich kommerzielle Anlagen verkauft, die so betrieben werden. Bei Anteilen von mehr als 50 Prozent spielen zunehmend die Themen Flammgeschwindigkeit, Selbstzündungszeitpunkt und Emissionen eine Rolle, daran arbeiten wir. Aber der Entwicklungsaufwand und die Kosten, um einen höheren Wasserstoffanteil zu ermöglichen, sind nicht linear. Der Aufwand, um von 70 auf 100 Prozent zu kommen, ist exponentiell größer verglichen mit





»In der vorwettbewerblichen Forschung tauschen wir Ideen aus und erreichen gemeinsam oft schneller ein Ergebnis.«



dem Sprung von 30 auf 50 Prozent. Wir haben uns im Rahmen der »EUTurbines« – dem europäischen Verband der Turbinenhersteller – verpflichtet, 100 Prozent Wasserstoffverbrennung in unseren Maschinen bis zum Jahr 2030 zu realisieren. Dazu stehen wir!

Stehen denn überhaupt so große Mengen Wasserstoff – regenerativ erzeugt – zur Verfügung?

Das ist tatsächlich ein Problem. Siemens Energy möchte, wie gesagt, seine Gasturbinen bis 2030 auf 100 Prozent Wasserstoff umstellen. Die Roadmap ist so ausgelegt, dass wir mit den kleineren Turbinen beginnen, weil für die größeren Maschinen zurzeit noch nicht genügend Wasserstoff bereitgestellt werden kann. Die Volumenströme in den großen Maschinen sind enorm – eine 350-Megawatt-Gasturbine saugt pro Sekunde etwa eine Tonne Luft an, für die Brennstoff bereitstehen muss. Mit grünem Wasserstoff ist das vorerst nicht möglich. Für den reinen Wasserstoffbetrieb wird man ohnehin zuerst kleinere Gastur-

binen verwenden, etwa solche mit einer Leistung von 25 Megawatt. Das sind Größenordnungen, für die heute schon Wasserstoff bereitgestellt werden kann.

Bleibt unter diesen Voraussetzungen der maximale Wirkungsgrad das vorrangige Entwicklungsziel?

Wir haben 2008 in Irsching ein kombiniertes Gas- / Dampfturbinenkraftwerk in Betrieb genommen mit einem elektrischen Wirkungsgrad von 60,75 Prozent – das war damals Weltrekord. Jetzt, zehn Jahre später, liegen die elektrischen Wirkungsgrade eines solchen Kraftwerks bei circa 63 Prozent. Wirkungsgradsteigerungen sind sehr forschungsintensiv, um weitere, relativ geringe Steigerungen zu erreichen. Neben dem Wirkungsgrad gibt es noch weitere sehr wichtige Parameter, die wir kontinuierlich gegeneinander abwägen, um den Kundennutzen zu maximieren. Es ist also ein wichtiges Entwicklungsziel – neben weiteren.

Was sind für Sie die weiteren Forschungs- und Entwicklungsziele?

Vor allem, dass wir einen noch flexibleren Betrieb mit 100 Prozent Wasserstoff ermöglichen und dabei auch die NOx-Emissionsgrenzwerte einhalten. Und natürlich die Entwicklung hinsichtlich der zyklischen Beanspruchung, die größer ist als vor einigen Jahren.

Was kann und was sollte die Industrielle Gemeinschaftsforschung dazu beitragen?

Wir arbeiten dabei eng zusammen, unter anderem mit den Herstellern von Flugzeugtriebwerken wie Rolls-Royce und MTU. Da geht es um vorwettbewerbliche Forschung, etwa um die richtigen Materialien für die Verbrennung von Wasserstoff, oder um die Verbrennungsstabilität. Und auch um additive Fertigung. Das sind Themen, die wir in Europa nach vorne bringen müssen. Daneben sind klassische Themen wie etwa die Auslegung von Turbinenschaufeln hinsichtlich Schwingungen weiterhin absolut wichtig. Die gilt es im Bereich der vorwettbewerblichen Forschung bei der FVV einzubringen.

Welchen Stellenwert hat die Arbeit der FVV für Sie?

In dieser vorwettbewerblichen Forschung tauschen wir Ideen aus und erreichen gemeinsam oft schneller ein Ergebnis, als es uns allein möglich wäre. Wir haben Zugriff auf wichtige Forschungsergebnisse, die wir sonst nicht hätten. Und was die FVV wirklich gut macht, wovon wir auch profitiert haben, das ist die Zusammenarbeit mit den Universitäten. Das ist ein ganz wichtiger Punkt, um Nachwuchs zu gewinnen.



Sie sind seit Ende 2019 stellvertretender Vorsitzender des FVV-Vorstands.

Wie sind Ihre Erfahrungen bisher?

Leider gibt es aufgrund der Corona-Krise nur noch Videokonferenzen. In einem Unternehmen funktioniert das in vielen Bereichen sehr gut. Aber in einem Verbund, in dem man sich sonst nicht sieht außer an zwei, drei Terminen im Jahr, ist der persönliche Kontakt wichtig. Ich hoffe, dass das bald wieder möglich sein wird.

**Herr Steinwachs,
herzlichen Dank für das Gespräch. //**



DIPL.-ING. CHRISTOPHER STEINWACHS

ist bei Siemens Energy seit August 2019 verantwortlich für das weltweite Produktionsnetzwerk von Heißgaskomponenten für Gasturbinen. Zuvor leitete er die globale Forschungs- und Entwicklungsorganisation für alle Gas- und Dampfturbinen sowie Generatoren von Siemens. Steinwachs arbeitet seit 1992 bei Siemens, seit 2016 gehört er zum Vorstand der FVV. Im November 2019 wurde er zum stellvertretenden Vorsitzenden gewählt.



Zukunft durch Forschung

Brennstoffzellen, regenerativ erzeugte Brenn- und Kraftstoffe, Hybridisierung und Künstliche Intelligenz: Die Industrielle Gemeinschaftsforschung in der FVV hat neue Schwerpunkte bekommen. Die klassische Forschungsarbeit an effizienten und schadstoffarmen Motoren und Turbinen bleibt nach wie vor wichtig.

Vorwettbewerbliche Gemeinschaftsforschung, um im Wettbewerb zu bestehen // Dieser Idee folgt die FVV seit ihrer Gründung vor mehr als 60 Jahren. Durch die Energie- und Verkehrswende haben sich die Rahmenbedingungen für den Wettbewerb allerdings dramatisch verändert. Um das Klima zu schützen, streben nahezu alle Staaten auf der Welt eine weitgehende CO₂-Neutralität und den Verzicht auf fossile Energieträger an. Für die Hersteller von Verbrennungsmotoren, Hybriden, Turbomaschinen und Brennstoffzellen und der zugehörigen Zulieferindustrie bedeutet dies: Wer in der Lage ist, diese neuen Bedingungen zu den niedrigsten Zusatzkosten einzuhalten, geht mit einem deutlichen Vorsprung in das Rennen um die Märkte der Zukunft.

Der Industriellen Gemeinschaftsforschung kommt in dieser Situation die Rolle zu, zwischen der Grundlagenforschung an Universitäten und der Entwicklungstätigkeit einzelner Unternehmen die Brücke zu schlagen. Welche Themen die FVV dabei konkret bearbeitet, ist abhängig von den Bedürfnissen der Mitgliedsunternehmen. »Wir sind eine Plattform für die Industrie«, erläutert Martin Nitsche, stellvertretender Geschäftsführer der

FVV. »Jedes Mitglied, ob Kleinunternehmen mit einer Handvoll Mitarbeiter oder Großkonzern, kann seine Ideen bei uns einbringen.«

Schon dieser »Prozess von unten« bildet das Bestreben nach schadstoffarmen und zugleich leistungsfähigen Antrieben und Technologien durch innovative Forschungsthemen ab. Parallel dazu wurde vom Vorstand der FVV in den letzten Jahren ein strategischer Erneuerungsprozess eingeleitet, der in der Erweiterung der Forschungsschwerpunkte mündete. Dazu gehört auch, dass die FVV über Orientierungsstudien verstärkt eine sachlich fundierte, technisch-wissenschaftliche Sichtweise in die Diskussion über Antriebe und Energieträger der Zukunft einbringt [[-> Seite 16](#)].

Augenfälligstes Beispiel für die Zukunftsorientierung der FVV ist die Gründung des neuen Forschungsbereichs »Brennstoffzelle« im Jahr 2017. Von Anfang an stand dabei nicht nur die in der Öffentlichkeit intensiv diskutierte Anwendung als Fahrzeugantrieb, sondern eine Vielzahl weiterer Nutzungsarten – von der Baumaschine bis zur stationären Notstromversorgung – im Fokus. »Wir betreiben keine Produktentwicklung«, so Nitsche.

Jedes Mitglied, ob Kleinstunternehmen oder Großkonzern, kann seine Ideen einbringen.

»Vielmehr kümmern wir uns um die Subsysteme, die dazu dienen, die Brennstoffzelle im Betrieb bei Laune zu halten«. Konkret heißt dies: Bei den meisten der in der FVV bearbeiteten Projekte geht es um die Peripherie, jenen Komponenten also, die der Medienversorgung oder dem Thermomanagement dienen. Einen wichtigen Meilenstein stellt dafür der erfolgreiche Abschluss des Projekts ›Generischer Brennstoffzellenstack‹ dar [[→ Seite 54](#)]. Denn damit steht erstmals ein Konzept für eine universell nutzbare Forschungsplattform zur Verfügung. Für mittelständisch geprägte Komponentenlieferanten ist eine solche Plattform – vergleichbar einem Einzylinder-Forschungsmotor – die Voraussetzung, um innovative Ideen mit vertretbarem Aufwand zu testen.

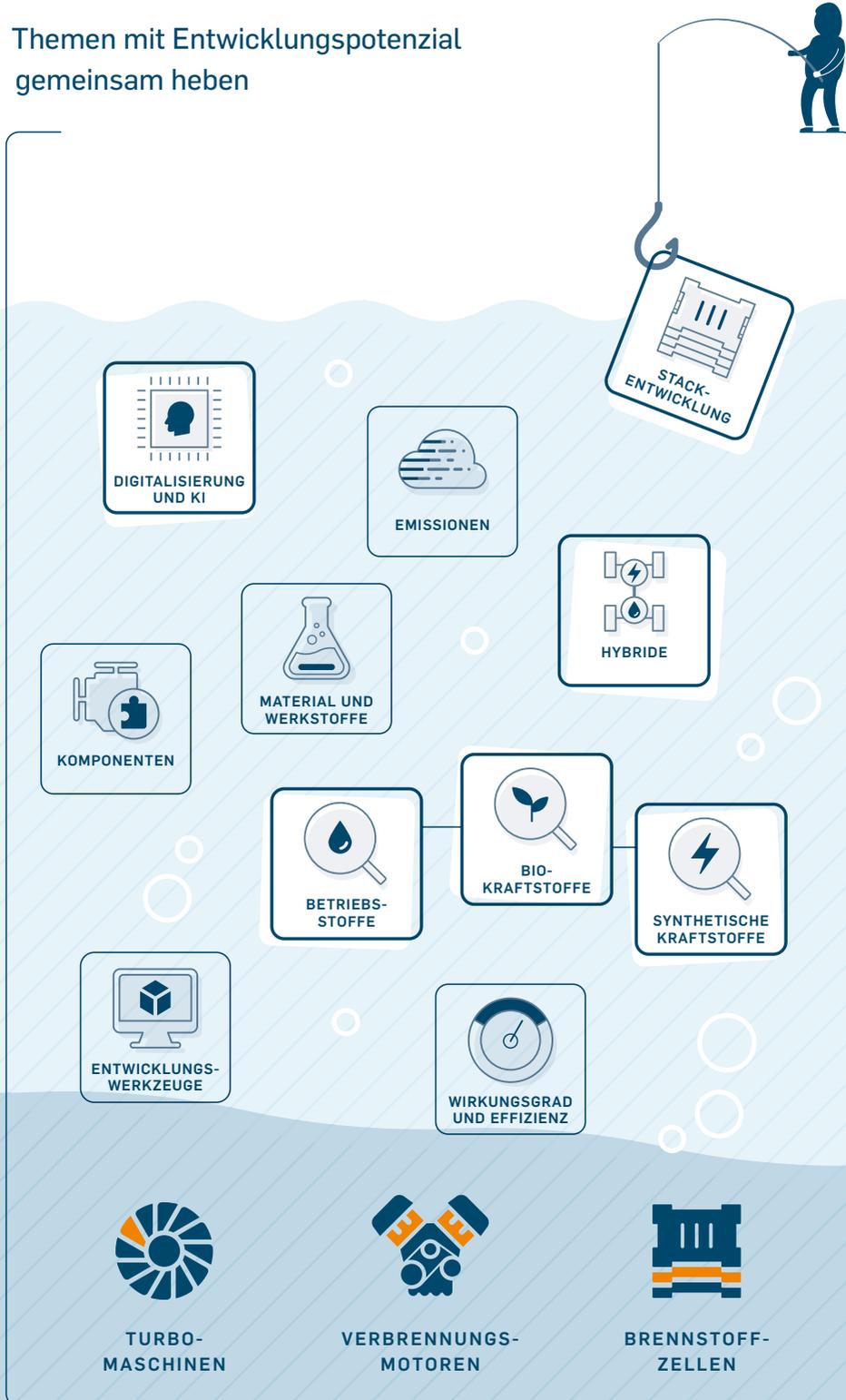
Einen weiteren Forschungsschwerpunkt stellt der Betrieb von Verbrennungsmotoren, Hybriden, Turbomaschinen und Brennstoffzellen mit neuen Kraftstoffen dar. Denn die Energie- und Verkehrswende wird auf chemische Energieträger und thermische Energiewandler angewiesen sein. Doch unabhängig davon, welcher Kraft- oder Treibstoff heutige fossile Energieträger ablösen wird:

Ein effizienter und schadstoffarmer Betrieb hängt wie in der Vergangenheit davon ab, dass Energieträger und -wandler genau aufeinander abgestimmt sind. »Wir schauen dabei auch darauf, welche Synergien es bei den Energieträgern zwischen Motoren und Turbomaschinen geben könnte«, erläutert Dirk Bösel, Projektmanager, der für die FVV die Vorhaben im Forschungsbereich Turbomaschinen koordiniert.

Um Synergieeffekte geht es auch in den Kooperationen mit Netzwerkpartnern. So wird in einem laufenden Projekt gemeinsam mit dem Deutschen Verein des Gas- und Wasserfaches (DVGW) untersucht, welche Speicherkapazitäten das Erdgasnetz für regenerativ erzeugten Wasserstoff bietet und welche Anforderungen an die Gasqualität aus Sicht verschiedener Anwendungen bestehen [[→ Seite 58](#)].

Neben diesen großen Themen bedeutet eine Einführung alternativer Kraftstoffe aber oft auch, dass Dichtungen, Brennverfahren und Werkstoffe neu ausgelegt, Abgasreinigungskonzepte sogar neu gedacht werden müssen. Und so sind die klassischen FVV-Themen durch den Wechsel des Energieträgers wieder brennend aktuell.

Themen mit Entwicklungspotenzial gemeinsam heben



Der Themen-Pool ist gefüllt mit hoch-relevanten Schwerpunkten für Forschung und Industrie.

Egal, welche Energieträger zum Einsatz kommen: Für das Gelingen von Energie- und Verkehrswende sind effiziente Verbrennungskraftmaschinen eine wichtige Voraussetzung. Die Verringerung des Brenn- und Kraftstoffverbrauchs durch innovative Technologien bleibt daher ein Herzstück der FVV-Forschung. Ein Beispiel dafür stellt das 2020 abgeschlossene Projekt ›ICE 2025+‹ dar [→ Seite 24]. Mit einem systemischen Ansatz können die CO₂-Emissionen von Pkw-Ottomotoren deutlich reduziert werden – nicht nur auf dem Prüfstand, sondern im realen Straßenbetrieb. Zum systemischen Ansatz gehört dabei, dass die untersuchten Antriebsstränge alle einen elektrischen Teil umfassten. Hybridisierung intelligent zu gestalten, das ist auch eine generelle Zielsetzung der FVV. Der Vorstand hat daher kürzlich eine vor allem aus Fragestellungen bestehende Ausschreibung herausgegeben, in die sich Forschungsstellen mit ihren Ideen einbringen können.

Mit dem neuen Forschungsschwerpunkt ›Digitalisierung und Künstliche Intelligenz‹ begibt sich die FVV nur scheinbar auf fremdes Terrain. »Für die Produktentwicklung der Zukunft wird die Auswertung von Betriebsdaten

durch Neuronale Netze entscheidend«, sagt Nitsche. »Die dafür notwendige Methodenkompetenz müssen wir uns in Allianzen mit KI-Experten erarbeiten.« Auch mittelständische Komponentenhersteller sollen so in die Lage versetzt werden, KI-Methoden auf klassische Fragestellungen des Maschinenbaus anzuwenden. Insbesondere die Erkennung von Anomalien könnte die Arbeit mit klassischen Simulationsmodellen – wie sie in FVV-Projekten seit jeher entwickelt werden – ergänzen. Erste KI-Projekte, etwa zum Maschinellen Lernen (ML), wurden in den vergangenen Monaten angeschoben. Doch Nitsche gibt auch zu: »Noch befinden wir uns in einer Lernphase.«

Letztlich bedeutet gemeinsam forschen aber ohnehin immer auch gemeinsam lernen. Ganz besonders gilt das für die Menschen, die im Rahmen eines FVV-Forschungsvorhabens ihre Masterarbeit oder ihre Promotion absolvieren. So sehr sich die Schwerpunkte inhaltlich auch verändern, die gemeinsame Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses bleibt ein nicht zu vernachlässigender Aspekt der vorwettbewerblichen Industriellen Gemeinschaftsforschung. //

Bilanz gezogen

Wie groß der CO₂-Fußabdruck einer bestimmten Antriebstechnik ist, hängt nicht nur vom Betrieb, sondern auch von der Produktion, dem Aufbau der Energie-Infrastruktur und dem Recycling ab. Eine im Sommer 2020 publizierte Metastudie der FVW zu Lebenszyklusanalysen schafft Orientierung.



Die Studie

Elektroantriebe, mit Wasserstoff betriebene Brennstoffzellen und der Einsatz synthetischer Kraftstoffe in Verbrennungsmotoren: Derzeit werden verschiedene Technologien diskutiert, um die klimaschädlichen CO₂-Emissionen aus dem Straßenverkehr deutlich abzusenken. Aus wissenschaftlicher Sicht sind dabei nicht nur die direkten Emissionen im Betrieb zu berücksichtigen, sondern auch jene Treibhausgase, die durch die Produktion der Fahrzeuge, der Herstellung der Energieträger, deren Verteilung und nicht zuletzt das Recycling am Ende des Fahrzeuglebens entstehen. Um eine aussagefähige Gesamtbilanz zu erstellen, hat sich das Verfahren der Lebenszyklusanalyse etabliert, in der Regel als LCA (>Life-cycle analysis<) abgekürzt. Eine Herausforderung ist dabei, dass die Ergebnisse von LCA-Studien stark von den getroffenen Annahmen abhängen und daher entsprechend große Bandbreiten bei den Ergebnissen auftreten. In einer Metastudie hat das Beratungsunternehmen Frontier Economics im Auftrag der FVV nun erstmals mehr als 80 Einzelstudien aus den vergangenen 15 Jahren ausgewertet, die insgesamt 110 verschiedene Szenarien und 430 Einzelanalysen berücksichtigen. Um Vergleichbarkeit herzustellen, wurden dabei die Ergebnisse aller Studien auf einen Pkw mit einer Gesamt-Laufleistung von 150.000 Kilometer normiert.

Die Relevanz

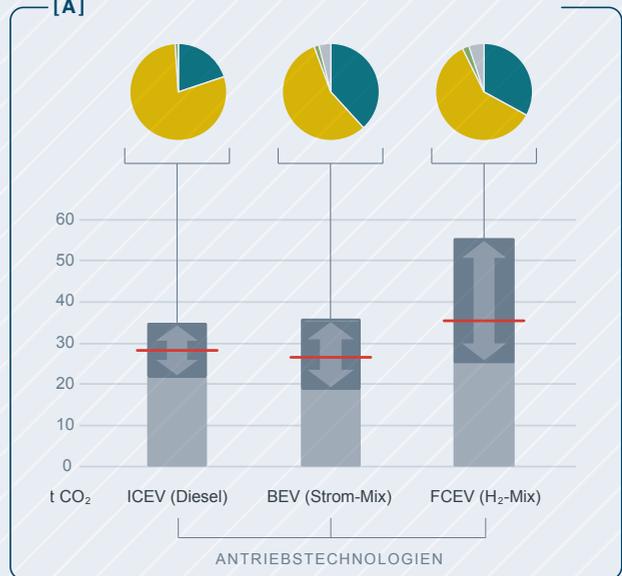
Die lange Verweildauer von CO₂ in der Atmosphäre führt dazu, dass es auf kurzen Zeitskalen für den Klimawandel völlig unerheblich ist, in welchem Jahr es eingetragen wird. Sprich: Die CO₂-Emissionen akkumulieren sich zu einer atmosphärischen Konzentration, die mit einer Erhöhung der globalen Durchschnittstemperatur korrespondiert. Um die Erwärmung auf maximal 1,5 Grad gegenüber vorindustrieller Zeit zu begrenzen, verbleibt laut Weltklimarat (IPCC) ein CO₂-Budget von 420 bis 580 Milliarden Tonnen, das die Menschheit noch in die Atmosphäre einbringen darf. In einem >Business as usual<-Szenario wäre dieses globale CO₂-Restbudget etwa im Jahr 2030 erschöpft. Einsparungen, die im Fahrzeugbetrieb zu erzielen sind, sollten daher nicht durch erhöhte >Anfangsinvestitionen<, sprich CO₂-Emissionen durch eine energieintensive Fahrzeugproduktion oder den Aufbau der Energie-Infrastruktur, aufgezehrt werden.

Die Ergebnisse

Die Analyse von mehr als 80 von renommierten Instituten durchgeführten Studien zeigt: Es gibt keine klare Gewinnertechnologie, wenn der komplette Lebenszyklus betrachtet wird. Zu differenzieren sind Szenarien, in denen der aktuelle Strommix zugrunde gelegt wird, von jenen, in denen die im Betrieb eingesetzten Energieträger vollständig auf regenerativer Erzeugung beruhen. Ist letzteres der Fall, belasten Pkw mit Verbrennungsmotor das CO₂-Budget weniger als batterieelektrische Antriebe.

Lebenszyklusemissionen mit aktuellen Energieträgern

[A]



[A]

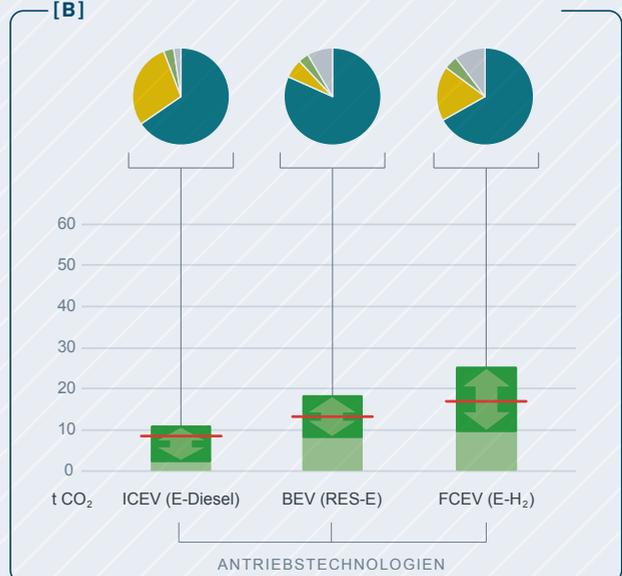
Werden Pkw mit fossilen Kraftstoffen, mit Strom aus aktuellem Energiemix oder konventionell erzeugtem Wasserstoff betrieben, weisen batterieelektrische Fahrzeuge und Pkw mit Verbrennungsmotor etwa gleiche Lebenszyklusemissionen auf.

[B]

Werden in der Nutzungsphase ausschließlich regenerativ erzeugte Energieträger eingesetzt, kann ein mit E-Kraftstoff betriebenes Fahrzeug sogar niedrigere CO₂-Emissionen aufweisen als ein batterieelektrisches. Optimierungspotenzial besteht noch bei der Brennstoffzelle.

Lebenszyklusemissionen mit 100 % regenerativ erzeugter Betriebsenergie

[B]



- Bandbreite: 50% aller Studien
- Median aller Studien
- Produktion
- Energie WtW
- End-of-Life
- Infrastruktur

Die Thesen

Basierend auf den Ergebnissen der Lebenszyklusstudie hat der Vorstand der FVV vier Thesen entworfen und im Juni 2020 publiziert:

1. CO₂-Ziele müssen den gesamten Lebenszyklus berücksichtigen.
2. Effiziente CO₂-Reduktion ist mit verschiedenen Antrieben zu erreichen.
3. Ziele für 2030 bevorzugen Elektroautos, sind aber nur Teil der Lösung.
4. Mobilität der Zukunft braucht Vielfalt.

Basierend auf den Thesen spricht der Vorstand folgende Empfehlung aus: Künftige Gesetze und Richtlinien zum Klimaschutz sollten sektorübergreifend, technologieoffen, global und langfristig gestaltet werden.

Da sich in der Akkumulation verschiedener Lebenszyklusanalysen für Pkw keine wesentlichen Unterschiede für die Kombinationen Verbrennungskraftmaschine und synthetische Kraftstoffe sowie Batterieelektrischer Antrieb und Strom ergeben, sollte über die Antriebstechnologie der Zukunft in einem technologieoffenen Wettbewerb entschieden werden. Insbesondere sind die Rahmenbedingungen so zu gestalten, dass die für die Energiebereitstellung notwendigen, das CO₂-Budget belastenden Infrastruktur-Investitionen berücksichtigt werden.

Die Details

Die Detailergebnisse der Metastudie sowie das darauf aufbauende Thesenpapier können auf der neuen FVV-Themenseite heruntergeladen werden:
www.primemovers.de | Denken



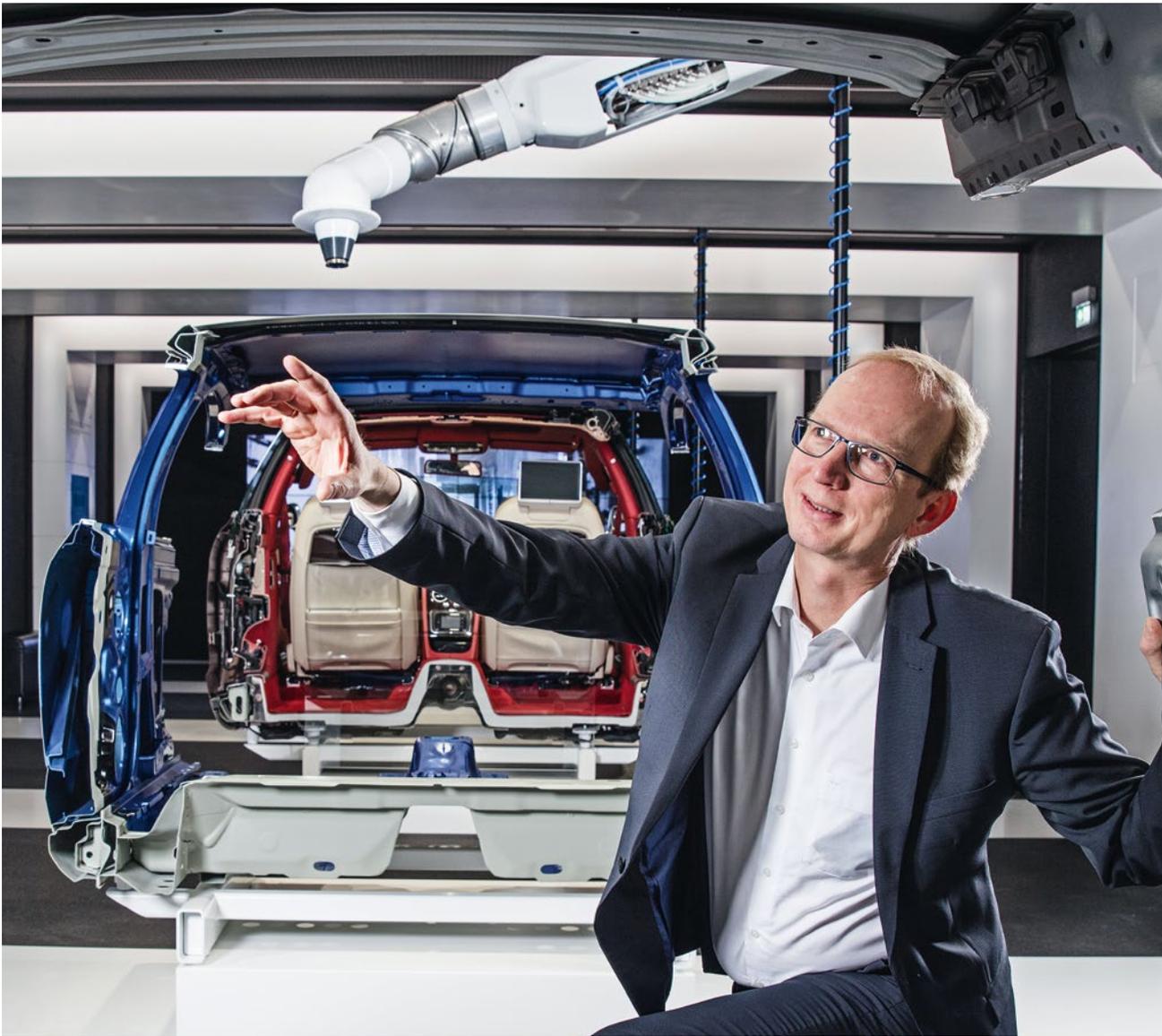
STUDIE

›Cradle-to-Grave-Lebenszyklusanalyse im Mobilitätssektor – Metastudie zur CO₂-Bilanz alternativer Fahrzeugantriebe‹



THESENPAPIER

›Effizienter Einsatz des CO₂-Restbudgets im Mobilitätssektor‹



»Nicht mehr nur Größe und Leistung«

Antriebe und Energieträger verändern sich. Was das für Fahrzeugtechnik und Mobilitätskonzepte bedeutet, erläutert **Dr. Tobias Lösche-ter Horst**, der scheidende Vorsitzende des Wissenschaftlichen Beirats.



Herr Dr. Lösche-ter Horst, Ihr bisheriges Berufsleben haben Sie sich vor allem mit dem Fahrzeugantrieb beschäftigt. Und nun? Künftig kümmere ich mich innerhalb der Volkswagen Group Innovation um ›Mobility Technologies‹, also die Fahrzeugkonzepte von morgen. Die Frage in der Forschung dahinter lautet: Wie gestalten wir die Mobilität von morgen? Welche Chancen bietet dabei die E-Mobilität? Und welche Fahrzeugkonzepte braucht man eigentlich künftig? Antriebs- und Fahrzeugwelt werden dabei zunehmend verschmelzen.

Wir beobachten derzeit, dass sich zwar Antriebe verändern, das Fahrzeug selbst aber relativ konventionell bleibt. Warum eigentlich? Die große Unterflurbatterie in E-Fahrzeugen eröffnet schon völlig neue Gestaltungsspielräume, erst recht für vollautomatisch fahrende Fahrzeuge. Insgesamt hat man mehr Platz für den Aufbau, und in Designkonzepten wird das auch genutzt. Am Ende steht aber immer die Frage: Was will der Kunde wirklich? Unter ökologischen Gesichtspunkten wäre es auf jeden Fall sinnvoll, batterieelektrische Fahrzeuge kleiner zu machen – dann können auch die Batterien wieder schrumpfen. Auch bei E-Fahrzeugen gilt die klassische Leichtbauspирale. Ein Schlüssel dafür liegt in der öffentlichen Lade-Infrastruktur sowie in der Schnellladefähigkeit der Batterien.

Oder man nimmt gleich einen regenerativ erzeugten chemischen Energieträger an Bord...

Wir haben dazu sehr viele vergleichende Untersuchungen zwischen batterieelektrischen und Wasserstoff-Fahrzeugen gemacht und uns auch intensiv mit synthetischen Kraftstoffen beschäftigt. Und ja, wir sehen, dass bei großen Fahrzeugen das Verhältnis von Gewicht und Kosten zugunsten des Wasserstoffs kippt. Das gilt grundsätzlich, wenn man sehr viel Energie an Bord mitführen will. Auch im 24/7-Betrieb ergeben sich natürlich Vorteile für den Wasserstoff. Insbesondere Nutzfahrzeuge könnten hiervon profitieren, zumal viele Flotten ohnehin auf einem eigenen Betriebshof betankt werden.

Auf absehbare Zeit werden die meisten Pkw noch mit Verbrennungsmotor ausgeliefert. Welche Aufgaben stellen sich da?

Erstens bleibt das Thema Emissionen eine große Herausforderung – und zwar unter dem Aspekt, sehr niedrige Emissionen unter allen Betriebsbedingungen einzuhalten. Die Erwartungshaltung ist, dass wir das immer, also im gesamten Temperaturfeld, bei beliebigem Kundenverhalten und auch kurzen Fahrstrecken einhalten. Und außerdem gilt es, den Wirkungsgrad weiter zu steigern. Da sind wir allerdings schon nah am Optimum, wenn man das Kosten-Nutzen-Verhältnis betrachtet. Ich rechne damit, dass man

stattdessen die Motoren eher wieder ein wenig abspeckt und einen Teil der Dynamik aus dem elektrischen Teil des Antriebs zieht.

Das klingt für mich danach, als hätte der serielle Hybridantrieb wieder eine Chance.

Mit zunehmender Batteriegröße und leistungsstärkerer E-Maschine können wir sinnvoll über serielle Konzepte nachdenken. Anders als bei parallelen Hybridantrieben lässt sich allerdings die Leistung von E-Maschine und Verbrennungsmotor nicht addieren. Aber dafür besteht der Charme eines seriellen Hybrids darin, dass er sich aus Kundensicht immer gleich verhält, egal ob der Verbrennungsmotor läuft oder nicht. Wenn sich Kunden stärker an elektrische Antriebe gewöhnt haben, ist es vielleicht nicht mehr notwendig, sich über bestimmte Fahrmodi zu differenzieren.

Ist denn das Grundkonzept ›Auto als Basis der individuellen Mobilität‹ für Sie gesetzt?

Das Grundkonzept Auto würde ich nicht in Frage stellen, es geht vielmehr um eine umweltbewusstere und nachhaltigere Nutzung. Denn die Nachfrage nach individueller Mobilität wird bleiben. Es gibt für die Zeit nach Corona sogar Szenarien, die davon ausgehen, dass sich Menschen dauerhaft stärker abkapseln und Autarkie einen höheren Wert erhält.

Inwieweit stellt das neue Konzepte für urbane Mobilität in Frage?

Man sollte auch innerhalb verschiedener Szenarien differenzieren: Ich sehe nicht, dass es in den Großstädten oder gar Megacities einen Trend zurück zum Auto geben wird.



Foto: Volkswagen AG

DR.-ING. TOBIAS LÖSCHE-TER HORST

verantwortet seit dem 1. Juli 2020 den Bereich ›Mobility Technologies‹ in der Volkswagen Group Innovation. Der Maschinenbauer, der seinen Berufsweg in der Getriebeentwicklung begann, verantwortete lange die Antriebsforschung und dann die Batterieforschung im Volkswagen Konzern. Im Herbst 2015 wurde er zum Vorsitzenden des Wissenschaftlichen Beirats der FVV gewählt – ein Amt, das er im Herbst 2020 nach fünf erfolgreichen Jahren abgibt.

In ländlichen Regionen und kleineren Städten ist hingegen nicht zu erwarten, dass der ÖPNV zum dominierenden Verkehrsträger wird. Und vielleicht ist eine Folge der Corona-Krise sogar, dass weniger Menschen sich bewusst für ein Leben in sehr großen Städten entscheiden. Wir haben alle in letzter Zeit viel Erfahrung mit der Digitalisierung der Arbeitswelt gesammelt und diese wird weiter voranschreiten. Da nimmt die Notwendigkeit ab, permanent vor Ort präsent zu sein.

»Es geht dabei auch nicht um E-Mobilität oder Verbrennungsmotor, sondern ein sinnvolles Miteinander.«

Bleibt das Auto denn so, wie wir es kennen oder werden wir radikal neue Konzepte sehen?

Das Gros der Autos wird auch künftig vier Räder haben. Für den Lückenschluss zwischen Roller und Kleinwagen gab es bereits viele Studien und auch einige Kleinserienfahrzeuge. Da gibt es total coole Sachen, aber nichts davon hat sich bislang wirklich durchgesetzt. Das Volumen liegt auch künftig beim eher klassischen Auto.

Wo sind dann über den Antrieb hinaus die Stellschrauben, um den ökologischen Fußabdruck des Autos zu verringern?

Das klassische Verständnis ist doch, dass ein kleineres Auto weniger bietet als ein großes Auto. Das wird sich auflösen müssen, es wird nicht mehr nur um Größe und Leistung gehen. Auch kleinere Fahrzeuge werden sehr viel mehr Nutzungskomfort durch entsprechende Digitalisierung, aber auch Fahrkomfort bieten. Wenn wir es schaffen, kleinere Fahrzeuge attraktiver zu machen, wird das Auto auf jeden Fall nachhaltiger. Sicherlich bedarf es dazu einen Verbund mit Shared Mobility-Konzepten, die es erlauben, bei Bedarf ein größeres Auto zu nutzen.

Was bedeutet dies alles für die FVV?

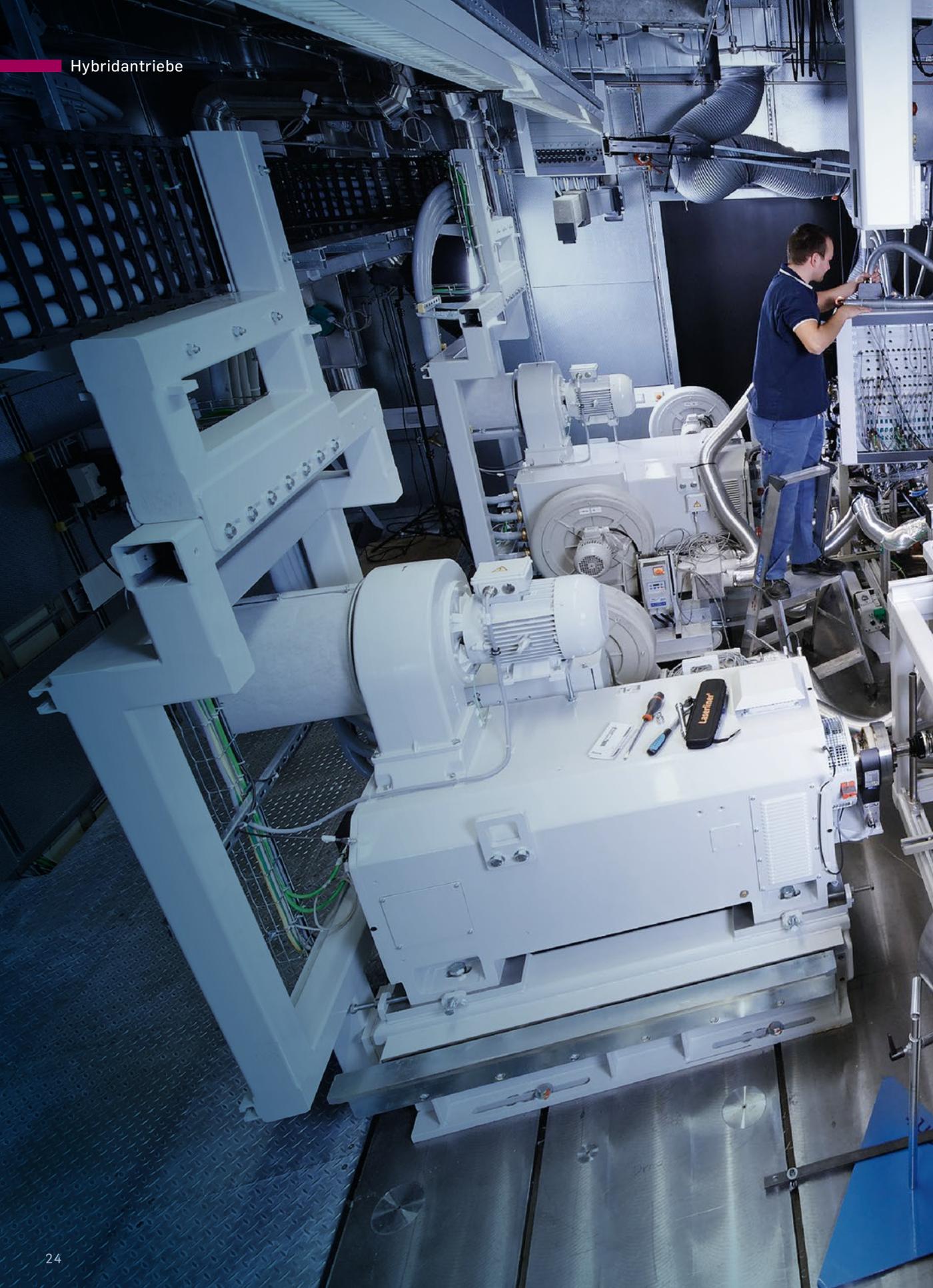
Die FVV ist in einer Phase der Orientierung und der Nachschärfung des Selbstverständnisses, da sich die Antriebswelt neu zu ordnen scheint

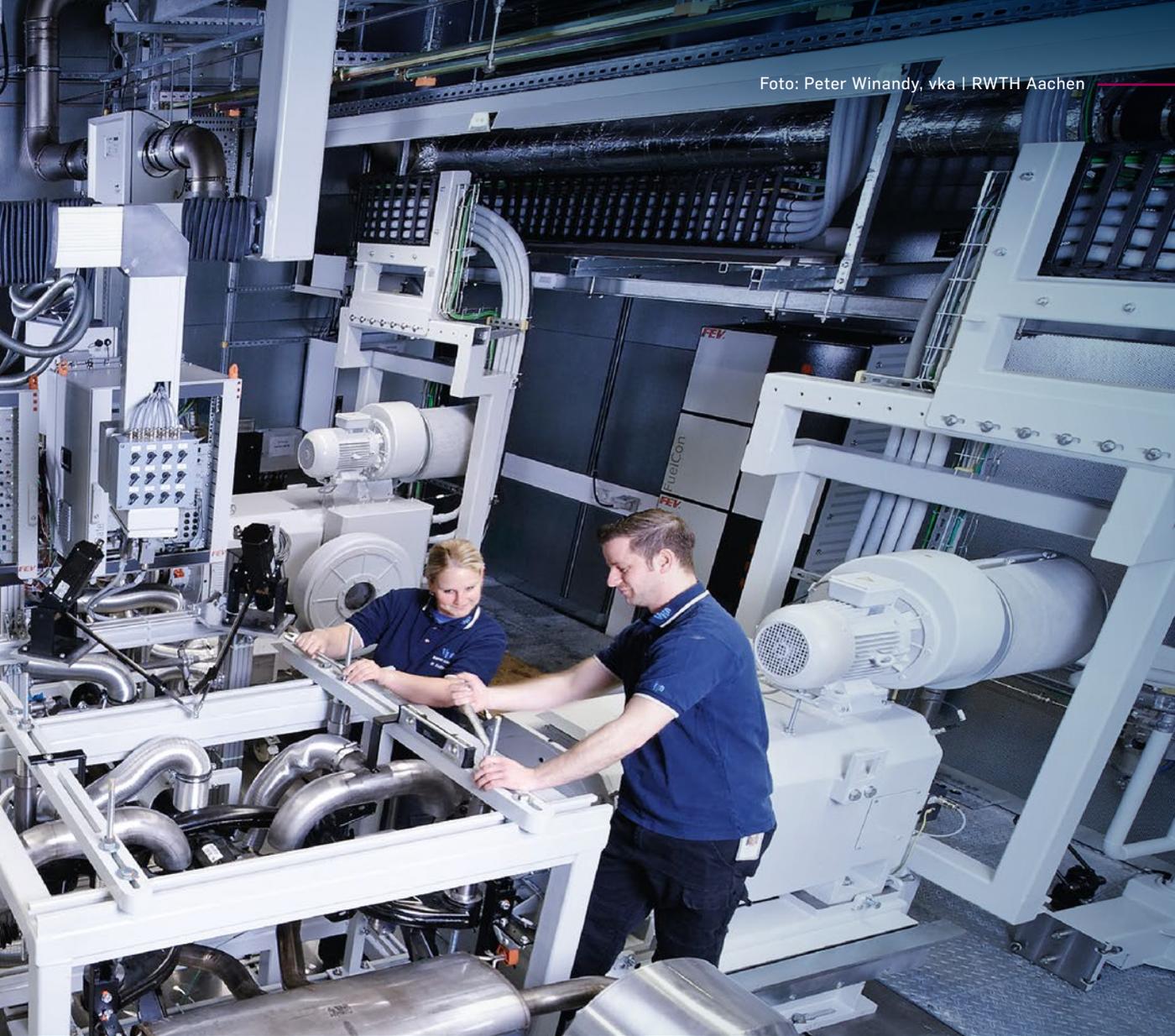
und keiner genau sagen kann, wie es mit dem Verbrennungsmotor weitergeht. Wir müssen dabei aber immer berücksichtigen, dass die FVV deutlich mehr umfasst als nur den Pkw-Antrieb.

Welche Empfehlung geben Sie der FVV mit auf den Weg?

Ich bin froh, dass die Diskussion zur Ausrichtung der FVV vor einigen Jahren aktiv gestartet wurde und der Vorstand sich sehr intensiv einbringt. Beispiele hierfür sind die Kraftstoffstudie oder die aktuelle Studie zur Lebenszyklusanalyse. Ich halte es für richtig diesen Weg weiterzugehen. Dabei sollte auch künftig eine faktenbasierte wissenschaftliche Argumentation im Vordergrund stehen. Es geht dabei auch nicht um E-Mobilität oder Verbrennungsmotor, sondern ein sinnvolles Miteinander. Bei der Auswahl der Forschungsthemen sollten wir uns dabei noch stärker auf die gemeinsam definierten Zukunftsfelder, die Bearbeitung übergeordneter Fragestellungen und auf die Synergien zwischen den beiden Forschungsbereichen Motoren und Turbomaschinen, konzentrieren. Und die Forschungsaktivitäten zur Brennstoffzelle, die mit einer eigenen Planungsgruppe fester Bestandteil der FVV sind, lassen sich sicher noch intensivieren.

**Herr Dr. Lösche-ter Horst,
herzlichen Dank für das Gespräch. //**





Über 40

Lässt sich der Kraftstoffverbrauch von Ottomotoren noch deutlich verbessern? Und welche Technologien müssen dafür zusammenspielen? Im Auftrag der FVV forschten vier Universitäten gemeinsam am Benziner der Zukunft.

»Unser Ziel bestand darin, dass wir in einem realitätsnahen Fahrzyklus wie dem WLTC durchschnittlich mehr als 40 Prozent Wirkungsgrad erreichen.«



**PROF. DR.-ING.
PETER EILTS**
Institut für Verbrennungskraftmaschinen (ivb),
Technische Universität
Braunschweig



**PROF. DR. TECHN.
CHRISTIAN BEIDL**
Institut für Verbrennungskraftmaschinen (vkm),
Technische Universität
Darmstadt



**PROF. DR.-ING.
STEFAN PISCHINGER**
Lehrstuhl für Verbrennungskraftmaschinen (vka),
RWTH Aachen



**PROF. DR.-ING.
MICHAEL BARGENDE**
Institut für Fahrzeugtechnik Stuttgart (IFS),
Universität Stuttgart

ICE 2025+: Ultimate Systemeffizienz // Theorie ist das eine, Praxis das andere. Wie nahe man im realen Fahrbetrieb dem thermodynamischen Optimum kommen kann und was daraus für den Wirkungsgrad eines Fahrzeugs resultiert, untersuchten vier Forschungsinstitute in den letzten zwei Jahren im Auftrag der FVV. Entscheidende Vorgabe dabei: Es sollten nur Technologien zum Einsatz kommen, die in den kommenden Jahren für eine Serieneinführung bereitstünden und so dazu beitragen könnten, die ab 2030 geltenden CO₂-Grenzwerte einzuhalten. Zudem ging es den Forschern nicht darum, einen einzelnen Spitzenwert in einem bestimmten Kennfeldpunkt zu erreichen. »Unser Ziel bestand darin, dass wir in einem realitätsnahen Fahrzyklus wie dem WLTC (Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicles Test Cycle) durchschnittlich mehr als 40 Prozent Wirkungsgrad erreichen«, erläutert Christian Beidl. Der Leiter des Instituts für Verbrennungskraftmaschinen (vkm) an der Technischen Universität Darmstadt hat im Projekt »ICE 2025+« mit seinen Kollegen Stefan Pischinger aus Aachen, Peter Eilts aus Braunschweig und Michael Bargende aus Stuttgart die Grenzen der ottomotorischen Wirkungsgradsteigerung in hybridisierten Antriebssträngen untersucht.



Foto: Sergii Chernov, Fotolia

Projektdaten

→ »ICE 2025+ Ultimate System Efficiency [1307]:
Grenzen der ottomotorischen Wirkungsgrad-
steigerung in hybridisierten Antriebssträngen «

→ **PROJEKTFÖRDERUNG**

1,2 Millionen Euro // FVV

→ **PLANUNGSGRUPPE**

PG 2 ›Fremdzündung‹

→ **PROJEKTLEITUNG**

Arndt Döhler, Opel Automobile
Dr. André Casal Kulzer, Porsche

→ **FORSCHUNGSSTELLEN**

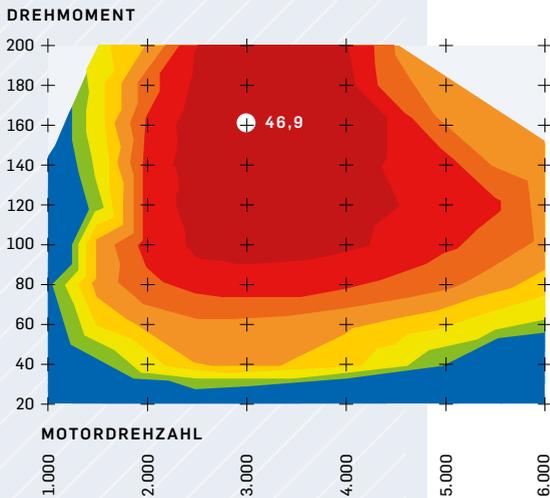
Institut für Fahrzeugtechnik Stuttgart (IFS),
Fahrzeugantriebe, Universität Stuttgart
// Institut für Verbrennungskraftmaschinen
(vkm), Technische Universität Darmstadt
// Lehrstuhl für Verbrennungskraftmaschinen
(vka), RWTH Aachen // Institut für Ver-
brennungskraftmaschinen (ivb), Technische
Universität Braunschweig

Die Technologien, die zur Wirkungsgradsteigerung eines Hubkolbenmotors eingesetzt werden können, sind grundsätzlich bekannt: Variable Verdichtung und flexible Ventilsteuerzeiten, Abgasrückführung, Steuerung der Ladungsbewegung, Vorkammerzündung, Wassereinspritzung oder auch die Auslegung des Motors als Langhuber. Außerdem kann auch eine Hybridisierung zu geringerem Kraftstoffverbrauch beitragen – der Effekt resultiert daraus, dass in sehr niedrigen Lastbereichen, in denen der Ottomotor prinzipbedingt einen schlechten Wirkungsgrad hat, elektrisch gefahren wird. Eingesetzt wird, so die Randbedingungen im Projekt ›ICE 2025+‹, nur elektrische Energie, die an Bord gewonnen wurde.

Ein Problem bleibt allerdings: Nur wenn alle eingesetzten Technologien zusammenspielen, ergibt sich tatsächlich ein Verbrauchsvorteil. Eine reine Addition einzelner Maßnahmen verbietet sich, da sich im Extremfall Technologien auch gegenseitig neutralisieren können, sofern die Betriebsstrategie nicht angepasst wird. »Deswegen haben wir von Anfang an einen systemischen Ansatz verfolgt«, sagt Beidl. Dafür mussten nicht nur die Technologien, sondern auch die Institute zusammenspielen. So wurden für einzelne Technologiepakete zunächst Verbrauchs-

	WIRKUNGSGRAD WLTC	ROUTE A SPORTLICH	ROUTE B SPORTLICH	ROUTE C MODERAT	ROUTE D MODERAT	Ø WIRKUNGSGRAD RDE
Effizienzmotor (ohne AGR)	39,9%	41,7%	41,8%	40,5%	39,7%	40,9%
Effizienzmotor (mit AGR)	40,6%	42,6%	43,2%	41,3%	40,4%	41,9%
Methanolmotor	43,3%	46,0%	45,6%	44,6%	42,5%	44,7%

→ **REAL IST NICHT EGAL:** Die im »ICE 2025+«-Forschungsmotor untersuchten Technologien – so zeigen es die Simulationsergebnisse der TU Darmstadt – fallen im realen Fahrbetrieb sogar besser aus als im Prüfstandszyklus



- 46%
- 45%
- 44%
- 43%
- 42%
- 41%
- 40%
- > 40%

→ Im **METHANOL-BETRIEB** erreicht der »ICE 2025+«-Motor nahezu im gesamten Kennfeld einen Wirkungsgrad von mindestens 40%.

messungen an einem Einzylinder-Forschungsmotor am Institut für Verbrennungskraftmaschinen (ivb) der TU Braunschweig durchgeführt. Diese wurden am Institut für Fahrzeugtechnik Stuttgart (IFS) genutzt, um ein Motorsimulationsmodell und daraus ein Kennfeld für einen virtuellen Komplettmotor zu erzeugen. Mit diesem Kennfeld konnten die Forscher in Darmstadt dann komplette Fahrzeuge simulieren und bestimmen, wie viel von der im Kraftstoff gebundenen chemischen Energie auf der Straße ankommt. Dabei betrachteten sie sowohl unterschiedliche Fahrzeugklassen als auch verschiedene Hybridkonfigurationen. In weiteren Versuchen wurde am Lehrstuhl für Verbrennungskraftmaschinen (VKA) der RWTH Aachen der normale Ottokraftstoff durch alternative Energieträger ersetzt. »Wir haben uns unter anderem für Methanol entschieden, weil es hervorragende Verbrennungseigenschaften besitzt und einer der regenerativ am effizientesten herzustellenden Flüssigkraftstoffe ist«, sagt Stefan Pischinger, Lehrstuhlinhaber an der RWTH Aachen. Auch die dabei erzeugten Daten wurden an der Universität Stuttgart für die Motorsimulation genutzt, anschließend berechneten die Darmstädter Forscher daraus den Realfahr-Wirkungsgrad.

Zwei Jahre nach dem Startschuss und kurz vor dem Ende der Projektlaufzeit stand bereits fest: Das 40-Prozent-Ziel ist für ein Mittelklassefahrzeug (C-Segment) zu erreichen, wenn es mit normalem

Diese Werte werden nicht nur im Prüfstandszyklus WLTC erreicht, sondern auch in verschiedenen RDE-Zyklen.

Kraftstoff betrieben und mit einem P1- oder einem P2-Hybridantrieb ausgestattet wird. »Diese Werte werden nicht nur im Prüfstandszyklus WLTC erreicht, sondern auch in verschiedenen RDE-Zyklen«, so Beidl. RDE steht für »Real Driving Emissions« und bildet das Fahren im öffentlichen Straßenverkehr nach. Noch besser waren die Ergebnisse, als die Aachener und die Stuttgarter den Normkraftstoff durch Methanol ersetzen: Im Normzyklus erreichte der Antrieb im C-Segment-Fahrzeug mit einem getriebeintegriertem Hybridantrieb einen Wirkungsgrad von 43,4 Prozent, im simulierten Straßenbetrieb durchschnittlich 42,7 Prozent. »Ursache ist vor allem die höhere Brenngeschwindigkeit von Methanol«, so Michael Bargende von der Universität Stuttgart.

Kämen die im Rahmen von »ICE 2025+« erforschten Technologien in Serie, entstünde ein extrem effizienter Benziner. Prinzipbedingt kann er den Wirkungsgrad eines Dieselmotors jedoch nicht ganz erreichen, so lange er mit einem stöchiometrischen Luft-Kraftstoffverhältnis ($\lambda = 1$) betrieben wird. Allerdings funktioniert die beim Ottomotor erprobte Abgasreinigung per Drei-Wege-Kat weiterhin, auf die vom Diesel bekannte, deutlich aufwändigere SCR-Technik kann verzichtet werden. Darüber hinaus wurden die zusätzlichen Potenziale eines Magerbetriebs untersucht, allerdings immer noch mit Technologiebausteinen, die sich an den Randbedingungen einer

Serieneinführung orientieren. »Wenn der Methanolmotor mit Luftüberschuss betrieben wird, ist das Verbrauchsniveau sogar besser als bei einem Diesel-Pkw«, so Bargende. »In einem großen Teil des Motorkennfeldes werden mehr als 40 Prozent Wirkungsgrad erreicht, in der Spitze sogar 46,9 Prozent.« Das entspricht im Vergleich mit einem aktuellen Ottomotor, der in jeder Hinsicht dem Stand der Technik entspricht, einer CO₂-Reduzierung um bis zu 25 Prozent.

»Genau das war unser Ziel«, bekräftigt Beidl: »Den Verbrauch im gesamten Kennfeld deutlich zu verringern und nicht nur einen einzelnen Spitzenwert in einem bestimmten Betriebspunkt zu erreichen.« Der Fachmann zeigt sich überzeugt: »Auch wenn man bei einer Serienumsetzung auf einzelne Technologiebausteine wie die variable Verdichtung verzichtet, lässt sich die Effizienz des Ottomotors noch sehr deutlich verbessern.« //

Pioniergeist

Der Motorenentwickler
Dr. André Casal Kulzer betritt gerne
technisches Neuland und setzt damit die
Tradition seiner Familie fort.





→ In seiner Freizeit restauriert Kulzer

ältere Motorräder. Das weckt auch Kindheits-erinnerungen an die Zeit, als sein Vater Rennmaschinen für Casal entwickelte.

Namen legen Spuren // Für André Casal Kulzer trifft das in besonderem Maß zu. Das bayrische ›Kulzer‹ führt zurück zu einer ehemaligen Motorenfabrik in Velden an der Vils, gegründet von seinem Urgroßvater. ›Casal‹ hingegen verweist auf seine Mutter, Tochter eines portugiesischen Motorradfabrikanten. Dass die Eltern sich kennenlernen, ist das Resultat einer Pioniertat: Nach der Gründung von ›Metalurgia Casal‹ im Jahr 1964 kommen die Zweitaktmotoren zunächst von Zündapp, doch vor Ort wird dringend technisches Know-how benötigt. Kulzers Vater ist einer von vier deutschen Ingenieuren, die Zündapp nach Aveiro entsendet, eine Industriestadt im Norden Portugals, das damals noch den Status eines

Entwicklungslandes hat. Der Vater übernimmt in den 70er Jahren unterschiedliche Managementpositionen in der Zweirad-Industrie. Für das Kleinkind ist es völlig normal, auf dem Gelände von Motorradfabriken herumzustreifen. Gelegentlich entdeckt André ausgemusterte Mopeds und baut Teile aus. Wenn der viel arbeitende Vater frei hat, baut er mit seinem Sohn Modellflugzeuge. »Das war mein Lego«, erinnert sich Kulzer an die Zeit, in der sein erster großer Berufswunsch reifte: Kampfpilot oder Astronaut zu werden.

Anfang der 80er Jahre öffnet sich Portugal wirtschaftlich zunehmend. Casal stellt längst nicht mehr nur Mopeds für den heimischen Markt her,

sondern exportiert und investiert in die Entwicklung größerer Maschinen. Die Teilnahme am Rennsport ist zu einem wichtigen Vermarktungsinstrument geworden. Der Vater unterstützt auch die Entwicklung von Rennmotoren, unter anderem durch eine Drehschieber-Ventilsteuerung, die sehr hohe Drehzahlen und somit Leistungen ermöglicht. Seinen Sohn nimmt er immer wieder zu Wettbewerben mit und hält so die Leidenschaft für Motoren wach. Als André erkennen muss, dass er als Leistungsschwimmer zwar körperlich fit ist, aber mit Brille trotzdem nicht Kampfpilot werden kann, gibt es für ihn nur einen Ausweg: Motoren und Antriebe will er entwickeln, so wie der Vater und der Großvater, am liebsten im süddeutschen Raum. Nach einem sehr guten Abitur absolviert er das Maschinenbaustudium in Lissabon inklusive eines Erasmus-Stipendiums an der Technischen Universität Braunschweig und entdeckt seine Liebe zur Thermodynamik, einem Thema, das viele Kommilitonen einfach nur so schnell wie möglich hinter sich lassen wollen. »Thermodynamik hat manchmal etwas Philosophisches«, sagt Kulzer noch heute.

»Thermodynamik
hat manchmal etwas
Philosophisches.«



DR.-ING. ANDRÉ CASAL KULZER, Jahrgang 1975, ist seit 2012 für die Thermodynamik in der Antriebsvorausentwicklung von Porsche verantwortlich. Zuvor war der Maschinenbauer, der an der Universität Stuttgart promovierte, neun Jahre für Bosch tätig. In der FVV engagiert er sich in zahlreichen Arbeitskreisen und initiiert immer wieder neue Forschungsvorhaben.

Nach einer kurzen Orientierungsphase findet Kulzer schließlich eine Promotionsstelle bei Bosch. Das Thema der mit der Universität Stuttgart durchgeführten Arbeit ist anspruchsvoll: Kulzer sucht nach Wegen, einen Ottomotor direkt – also ohne elektrischen Anlasser – zu starten. Das kann nur funktionieren, wenn die Position der Kolben und entsprechende Füllung in den Zylindern durch kontrolliertes Abstellen des Motors bekannt ist und die Gemischbildung sehr exakt auf den Startvorgang abgestimmt wird. Zunächst entwickelt Kulzer ein Jahr lang an theoretischen Simulationsmodellen, die den Start in seiner Gesamtheit von Gemischbildung, Verbrennung bis Drehmomentbilanz nachbilden können.

Da Prüfstandskapazität knapp und teuer ist, entwickelt Kulzer Sensoren und Software gleich an einem Volkswagen Lupo. »Der sprang beim ersten Direktstart-Versuch sofort an«, sagt Kulzer lächelnd. In der weiteren Ausarbeitung wird allerdings auch klar, dass der Direktstart vor allem bei warmgelaufenem Motor schwer zu realisieren ist. Trotzdem: Kulzers Arbeit stößt auf großes Interesse in der Branche, er darf als junger Mann bei fast allen bekannten Autoherstellern – oft direkt dem Entwicklungsvorstand – präsentieren. Auch wenn es das Auto ohne elektrische Starthilfe nicht in die Serie geschafft hat, sind die Forschungsergebnisse wichtig, denn sie erlauben den in modernen Hybridfahrzeugen kaum noch zu spürenden Wiederstart des Verbrennungsmotors. Kulzers Vorgesetzter bei Bosch sichert ihm schon ein Jahr vor der Promotion eine feste Stelle zu. 2003 beginnt der junge Ingenieur zunächst in der Forschung und arbeitet an neuen Brennverfahren. Dazu gehört auch die damals intensiv diskutierte Kompressionszündung. »Ich hatte viel Freiheit und durfte immer wieder komplettes Neuland betreten«, erinnert sich Kulzer. Es ist auch die Zeit, in der er erstmals Kontakt zur Forschungsvereinigung FVV knüpft. Später wechselt er intern in die Vorentwicklung der Geschäftseinheit Benzinsysteme und ist eigentlich hochzufrieden.

Trotzdem unterschreibt Kulzer 2012 bei Porsche. Ihn überzeugt sein damaliger Vorgesetzter mit dem Satz: »80 Prozent der Entwicklungen, an denen wir arbeiten, schaffen es in die Serie«. Fortan verantwortet er die

»Leistungsdichte und Performance sind für Porsche weiterhin wichtige Entwicklungsziele.«

Thermodynamik-Vorausentwicklung des Sportwagenherstellers. Es handelt sich um eine Querschnittsfunktion, Kulzer arbeitet genauso an elektrifizierten Antrieben wie an reinen GT-Motoren. »Leistungsdichte und Performance sind für Porsche weiterhin wichtige Entwicklungsziele«, so der Experte. »Aber natürlich geht



es bei der Arbeit an künftigen Antriebsgenerationen immer mehr darum, Emissionen drastisch zu reduzieren und den kompletten Produktlebenszyklus zu beachten.«

Kulzer vertritt Porsche auch in zahlreichen FVV-Vorhaben, die diesen Spagat auflösen sollen. So initiiert er ein mittlerweile abgeschlossenes Projekt, in dem verschiedene Verfahren zur Wassereinspritzung untersucht werden – ein wichtiges Thema, um durch maximalen Wirkungsgrad die Emissionen im Hochlastbetrieb zu minimieren. Als zweiter Obmann steht

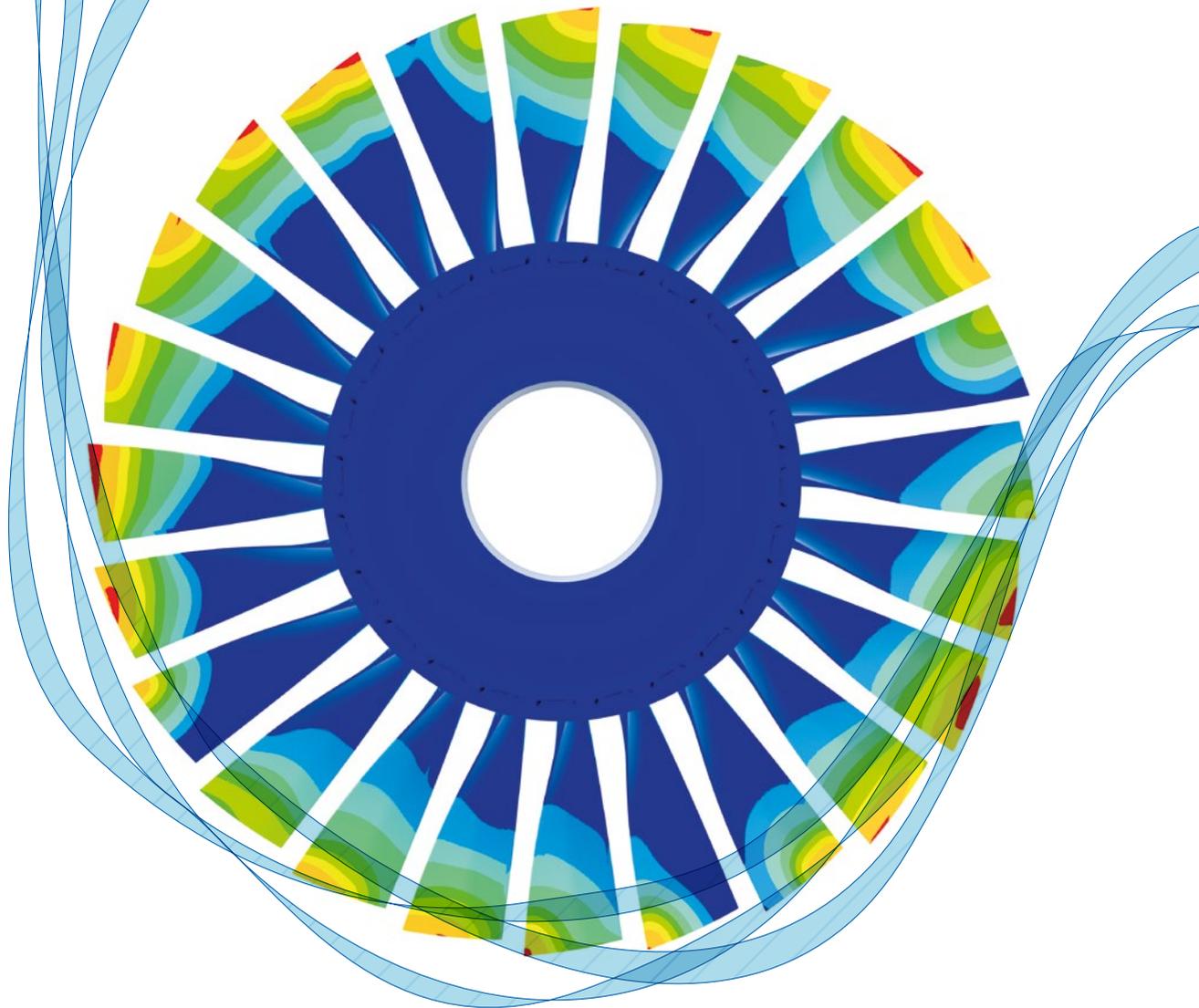
er zudem in der Verantwortung für das Vorhaben ›ICE2025+«, in dem vier renommierte Universitäten gemeinsam daran arbeiten, den Wirkungsgrad von Ottomotoren zu steigern.

In die Zukunft schauen und Neues mit Pioniergeist anpacken, das ist für Casal Kulzer vielleicht das wichtigste Erbe seiner Familiengeschichte.

Daran erinnern ihn auch zwei fahrbereite Casal-Serienmaschinen in seiner Garage. Die Wartung übernimmt er selbst, das ist Ehrensache. //



Dr. André Casal Kulzer in der **Werkstatt des Porsche-Museums**, das die Klassikersammlung des Herstellers fahrbereit hält. Einzigartig an dieser Werkstatt ist, dass Besucher die Arbeit der Mechaniker durch eine Glasscheibe beobachten können.



Mit **ROMI** gegen die Verstimmung

Winzige Fertigungstoleranzen können dazu führen, dass Schaufeln in Turbomaschinen während des Betriebs verstärkt in Schwingung geraten. Forscher aus Hannover haben das Phänomen ergründet und damit den Grundstein für noch effizientere Turbinen gelegt.

»Wichtig war es, einen Anstieg von Schwingungsamplituden vorherzusagen – und das ist uns gelungen.«

Simulation von Mistuning mit Aerokopplung // Turbomaschinen sind Präzisionsmaschinen. Dennoch: Aufgrund von Fertigungstoleranzen variieren die einzelnen Schaufeln minimal hinsichtlich Geometrie oder Materialeigenschaften. Während des Betriebs sorgen diese Abweichungen von der Idealgeometrie für unerwünscht hohe Schwingungsamplituden – das System ist ›verstimmt‹. Dieser ›Mistuning‹ genannte Effekt tritt bei allen Turbomaschinen auf: In kleinen Turboladern ebenso wie in großen Dampfturbinen oder Flugzeugtriebwerken. In einem FVV-Projekt untersuchten Forscher der Leibniz Universität Hannover (LUH), wie sich Wechselwirkungen mit dem Fluid, etwa Dampf oder Gas, auf die Verstimmung auswirken. Zudem wurde ein Simulationsprogramm entwickelt, um künftig Schwingungsamplituden besser vorhersagen zu können.

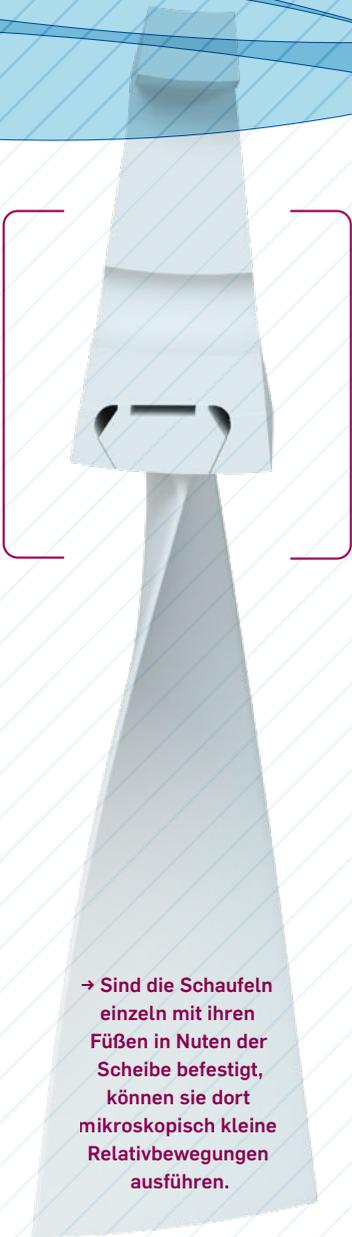
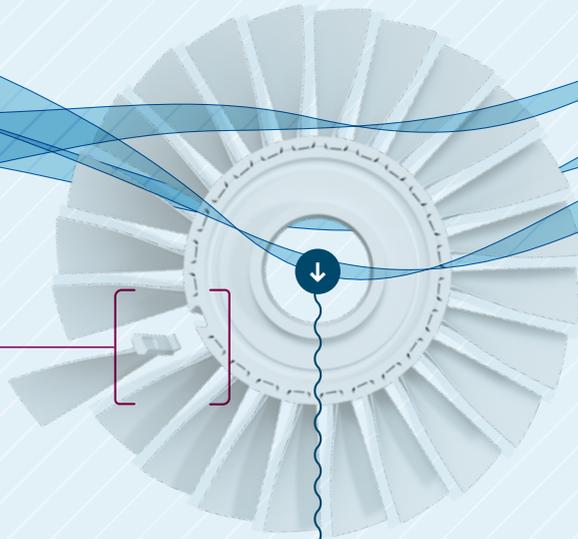
Aus Angst vor solchen Amplituden, die bei verstimmtten Schaufeln im Betrieb entstehen können, werden Bauteile bislang stärker konstruiert als nötig. »Das daraus resultierende Gewicht erfordert dickere Schaufeln und wirkt dadurch der Bemühung

entgegen, den Wirkungsgrad der Turbomaschinen so weit wie möglich zu erhöhen«, erklärt Prof. Dr. Jörg Seume, Institutsleiter und Vorstand am Institut für Turbomaschinen und Fluid-Dynamik (TFD) der LUH. Für hoch-effiziente Gaskraftwerke, berichtet Seume, wird jedes Jahr eine Wirkungsgradsteigerung von 0,3 Prozentpunkten erreicht, aber eben nur, wenn die Verstimnungsphänomene beherrscht werden. Das klingt nicht viel, bedeutet aber auf die jahrelange Laufzeit gesehen die Einsparung großer Mengen Brennstoffs, die sonst CO₂-Emissionen verursacht hätten. »Ziel der Forschungs- und Entwicklungsarbeit ist es, die mechanische Zuverlässigkeit beizubehalten und den Wirkungsgrad gleichzeitig zu steigern«, fasst Seume zusammen.

Mistuning tritt nicht nur durch Fertigungstoleranzen auf, sondern auch durch Kopplungseffekte der Schaufeln. »Bei einer Blisk (Blade Integrated Disk) bestehen Schaufeln und Scheibe letztlich aus einem einzigen Bauteil und sind allein dadurch miteinander gekoppelt. Auch über das strömende Fluid findet eine Kopplung der Schaufeln statt, die schwingungsanregend

Schwingungsberechnung mit ROMI

Eine Verstimmung der Schaufeleigenschaften führt zu erhöhter Schwingbelastung.



Nichtlineare, strukturmechanische Kopplungen zwischen Schaufeln und Scheibe erzeugen Reibung und mindern die Schwingungsamplituden, welche durch Experimente im Vakuum mit einer Schwingungsanregung durch Magnete bestimmt werden.

Die **aerodynamische Kopplung** der Schaufeln beeinflusst insbesondere die Dämpfung, die durch Experimente an mehrstufigen Turbomaschinen unter realen Strömungsbedingungen ermittelt wird.

Mit ROMI lassen sich verschiedene Effekte sowohl separat als auch simultan betrachten, um so Schwingungen verstimmter Schaufeln zukünftig besser voraussagen zu können.

Projektdaten

- » Mistuning mit Aerokopplung II [1269]:
Mistuning aerodynamisch und strukturmechanisch gekoppelter Beschaufelungen «
- **PROJEKTFÖRDERUNG**
315.750 Euro // DFG, FVV
- **PLANUNGSGRUPPE**
PGT ›Turbomaschinen«
- **PROJEKLEITUNG**
Dr. Harald Schönenborn, MTU Aero Engines
- **FORSCHUNGSTELLEN**
Institut für Dynamik und Schwingungen (IDS) // Institut für Turbomaschinen und Fluid-Dynamik (TFD), beide Leibniz Universität Hannover

wirkt«, berichtet Dr. Lars Panning-von Scheidt, Leiter des Forschungsbereiches Dynamik rotierender Maschinen am Institut für Dynamik und Schwingungen (IDS) der LUH. Sind die Schaufeln einzeln mit ihren Füßen in Nuten der Scheibe befestigt, können sie dort mikroskopisch kleine Relativbewegungen ausführen – was die Berechnung der Schwingungen zusätzlich kompliziert macht.

Um die verschiedenen Einflussmöglichkeiten zu untersuchen, arbeiteten die Forscher an zwei Prüfständen mit unterschiedlichen Konfigurationen. Jener am IDS ist eine idealisierte Turbinenstufe in einer Kammer, in der sich die Effekte ohne störende Einflüsse abbilden lassen. »Hier rotieren die durch einen Elektromotor angetriebenen Schaufeln im Vakuum, dadurch blenden wir Wechselwirkungen mit dem Fluid aus«, sagt Panning-von Scheidt. Strukturmechanische Schwingungen werden künstlich erzeugt: Zum einen mit Permanentmagneten, die in der Kammer verteilt sind, zum anderen im Standversuch mit Laut-

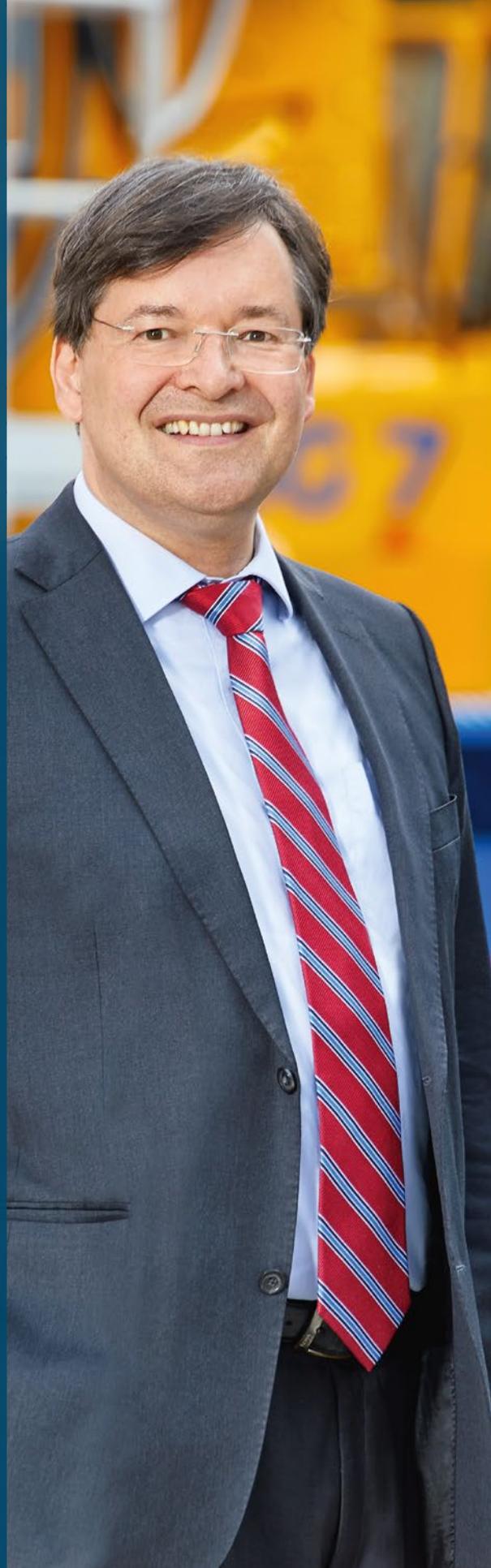
sprechern, die für eine akustische Anregung sorgen. Der Prüfstand am TFD hingegen ermöglicht die reale Anregung durch das strömende Fluid, mit dem sich auch die Dämpfung untersuchen lässt. In modernen Gas- oder Dampfturbinen kann die Verstimmung in der letzten Schaufelreihe so groß sein, dass die Turbinen ohne die zusätzliche Dämpfungswirkung der Strömung nicht stabil laufen können.

An den Instituten kam eine Simulationssoftware zum Einsatz, die in einem Vorgängerprojekt entwickelt und nun erweitert wurde. Das Simulationsprogramm ROMI (Reduced Order Model for Mistuned Turbine Blades) ermöglicht die Schwingungsberechnung unter Berücksichtigung verschiedener Kopplungseinflüsse. Statt durch externe Softwareentwickler wurde ROMI durch einen wissenschaftlichen Mitarbeiter geschrieben. Aus gutem Grund: »Wir wollen das Projekt weiterführen und den Code dementsprechend immer anpassen können. Das geht besser, wenn wir ihn selbst entwickeln«, erklärt Panning-von Scheidt.

In aufwendigen, mehrere Monate dauernden Testreihen überprüften die Wissenschaftler, wie gut die Ergebnisse der Simulationen mit den Realdaten übereinstimmen. »Es gab kleine Diskrepanzen, die durch den Aufbau bedingt waren. Vorhersagefehler sind beim derzeitigen Stand der Technik bei der Strömungsmechanik naturgemäß etwas größer«, sagt Seume, und zeigt sich dennoch zufrieden: »Wichtig war es, einen Anstieg von Schwingungsamplituden vorherzusagen – und das ist uns gelungen.« //

»Pflegen, was uns schlagkräftig macht«

Energieeffiziente Baumaschinen oder synthetische Kraftstoffe für CO₂-neutrale Antriebe: Die Industrielle Gemeinschaftsforschung (IGF) soll die Wertschöpfungsketten in Deutschland stärken. Ein Gespräch mit **Prof. Dr. Sebastian Bauer**, Präsident der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF).



Sie tragen den Namen des Firmengründers, Herr Professor Bauer.

Ja, vor 230 Jahren gründete mein Urahn Sebastian Bauer eine Kupferschmiede. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts haben unsere Vorfahren mit dem Bau von Wasserversorgungsnetzen und -brunnen begonnen. Mein Vater verwissenschaftlichte den Brunnenbau dann. Er war damals der einzige, der mit Hilfe von partiellen Differenzialgleichungen berechnen konnte, wie sich der Grundwasserspiegel durch Brunnen verändert. Es liegt in der DNA unserer Firma, durch wissenschaftliche Vorgehensweise immer ein Stück besser zu sein als die anderen. Heute nutzen wir diese Philosophie für unsere Spezialtiefbaugeräte und -verfahren.

Wussten Sie, was als Präsident der AiF auf Sie zukommt?

Als ich mich entscheiden musste, habe ich ein paar befreundete Professoren gefragt. Die sagten mir alle: Mach das! Die AiF ist eine weltweit einzigartige Einrichtung. Sie trägt wesentlich dazu bei, dass Nachwuchswissenschaftler bei uns nicht im Elfenbeinturm ausgebildet werden, sondern von Anfang an praxisnah arbeiten. Und dazu, dass Hochschulen nah an der Anwendung und mit direktem Nutzen für die Wirtschaft forschen.

Nun sind in der AiF mehr als 100 verschiedene Forschungsvereinigungen zusammengeschlossen, die unzählige Projekte parallel verfolgen. Wie behält man da den Überblick?

Ich muss ja nicht einzelne Forschungsprojekte begutachten, das darf ich übrigens auch gar nicht. Meine Aufgabe besteht unter anderem darin, der Politik verständlich zu machen, warum es sich lohnt, Geld in die Industrielle Gemeinschaftsforschung zu investieren. Und darin, das Netzwerk der AiF zusammenzuhalten und die Organisation immer wieder zukunftsfähig zu machen.

Dann machen wir doch den ›Elevator Pitch‹: Wie erklären Sie einem Parlamentarier mit geisteswissenschaftlichem Hintergrund die Notwendigkeit, staatliches Geld in diese Form der Forschungsförderung zu stecken?

Es liegt in der Struktur der Industriellen Gemeinschaftsforschung, dass bei uns kleine und große Firmen zusammenarbeiten. Was den Mittelstand betrifft, so motivieren wir ihn dadurch, überhaupt Innovation zu betreiben, insbesondere in Zeiten, in denen es wirtschaftlich nicht so gut läuft. Größere Sprünge werden oft erst durch Zusammenarbeit möglich. Ein Beispiel aus dem eigenen Unternehmen: Durch ein gemeinsames Projekt zweier in der AiF organisierten Forschungsvereinigungen ist es uns

gelingen, den Energieverbrauch unserer Maschinen um 20 bis 30 Prozent zu senken. Das bedeutet bei unseren großen Maschinen bis zu 30 Liter weniger Diesel – pro Stunde! Möglich war das nur, weil das Spezialwissen von rund 20 Unternehmen und Forschungsinstituten eingeflossen ist und man sich gegenseitig zur wissenschaftlichen Arbeit angeregt hat.

Der Politiker würde aber vielleicht antworten: Wir haben doch sowohl in Deutschland als auch in Europa millionenschwere Verbundforschungsprojekte – wozu brauchen wir da das ›Klein-Klein‹ der AiF, die 180 Millionen Euro auf mehr als 100 Forschungsvereinigungen verteilt? Forschungsausschreibungen erfolgen immer auf den Fachgebieten, die gerade in aller Munde sind. Aber was nützt einem Hersteller von Schokoladenwaren eine Ausschreibung zur Nanotechnologie? Dagegen ist die Industrielle Gemeinschaftsforschung (IGF) oder das Zentrale Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) themen-

offen. Und hinter den AiF-Projekten stehen 50.000 Unternehmen, die das wollen. Außerdem tut sich selbst ein großes mittelständisches Unternehmen wie meine Firma mit 3.000 Mitarbeitern nicht leicht, in die großen Verbundforschungsprojekte zu kommen. Denn die Ausschreibungen zu beobachten, schöne Anträge zu schreiben, all das bindet erhebliche personelle Kapazitäten. Bei den Projekten der AiF ist die Einstiegs-
hürde deutlich geringer, auch weil sie
Unternehmen mit gleichen Interessen
zusammenbringt.

Aber in Ihren Forschungsvereinigungen sind doch auch viele Großkonzerne aktiv. Die könnten das doch locker alleine stemmen. Ja, aber die industriellen Wertschöpfungsketten, die Deutschland so
stark machen, bestehen eben aus dem
Miteinander von kleinen, mittleren
und ganz großen Unternehmen. Wir
müssen das pflegen, was uns im
Vergleich zu zentralistischen Wirt-
schaftsformen so schlagkräftig macht. Das heißt auch, die Kleinteiligkeit durch kleinteilige Forschungsarbeit fördern und nicht nur Großprojekte zu verfolgen. Davon profitieren auch jene weltweit tätigen Konzerne, die als Aushängeschild unserer wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit dienen.

»Jede noch so kleine Branche hat die Chance, davon zu profitieren und ihre Betriebe zu Champions zu machen.«

Sie kommen auf neue Ideen, die von den Kleinen eingebracht werden. Und auch Großunternehmen hilft, dass der Ingenieur Nachwuchs bei uns praxisnah ausgebildet wird.

Welche Ziele verfolgen Sie für die Industrielle Gemeinschaftsforschung in Deutschland?

Die Grundidee der Industriellen Gemeinschaftsforschung in einem offenen Wettbewerb der Ideen hat sich bewährt. Das Traurige daran: Wir schöpfen nicht den kompletten Rahm ab, sondern müssen auch viele gute Projekte absagen, weil das Budget nicht ausreicht. Da verkümmern gute Ideen! Deshalb arbeite ich daran, die IGF-Mittel im Etat des Bundeswirtschaftsministeriums in den kommenden Jahren auf 300 Millionen Euro zu steigern.

Ihre Maschinen werden heute ausnahmslos von Dieselmotoren angetrieben, die Sie zukaufen. Wie wichtig bleibt der Verbrennungsmotor aus Ihrer Sicht?

In den nächsten 20 Jahren wird man den Verbrennungsmotor nicht vollständig ersetzen können. 2019 haben wir unsere erste große Serienmaschine mit rein elektrischem Antrieb vorgestellt. Das macht dort Sinn, wo vor Ort ausreichend Strom zur Verfügung steht. Auf den meisten

Baustellen steht allerdings nur ein Stromanschluss mit 88 Kilowatt Leistung zu Verfügung. Unsere mobilen Geräte brauchen zwischen 200 und 700 Kilowatt im Arbeitsbetrieb. Bei einer Spannung von 400 Volt würde das ein ganz schön dickes Kabel geben. Das kann man nicht einfach so verschieben. Und drüberfahren darf man schon gar nicht. Klimaneutralität kann man auch über Wasserstoff oder synthetische Kraftstoffe erreichen, die zudem in der Flotte sofort eine Wirkung erzielen. Manche unserer Geräte sind 30 Jahre im Einsatz!

Herr Professor Bauer, herzlichen Dank für das Gespräch. //



PROF. DR.-ING. SEBASTIAN BAUER

ist seit 15 Jahren Geschäftsführer Forschung & Entwicklung der BAUER Maschinen GmbH. Der Maschinenbauingenieur arbeitete nach seinem Studium zunächst bei Thomson Consumer Electronics in den USA, promovierte dann an der Technischen Universität München und trat 1996 als Leiter der Geräte-Entwicklung in die BAUER-Gruppe ein. 2018 wurde Bauer zum Präsidenten der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen ›Otto von Guericke‹ e.V. gewählt.

→ Im Innovationsnetzwerk der AiF sind an die 100 Branchen vertreten. Übergreifende Themen wie beispielsweise die Energiewende, Leichtbau- oder Brennstoffzellentechnik werden in Forschungsallianzen diskutiert und bearbeitet. Alles vorwettbewerblich, weil nicht einzelne Unternehmen, sondern ganze Branchen vom Wissenstransfer profitieren.



Unter Hochdruck

Gasmotoren können einen erheblichen Beitrag dazu leisten, die Klimaziele zu erreichen, wenn es gelingt, Methanschupf zu vermeiden. In einem FVV-Projekt untersuchen Forscher aus Zürich und München daher ein neues Gas-Diesel-Brennverfahren.

Gas-Diesel-Brennverfahren // Nur selten bietet sich in der Motorenentwicklung die Möglichkeit, mit einem einzigen Verfahren große Mengen CO₂ einsparen zu können. Gasmotoren haben das Potenzial dazu: Ließe sich ein ähnlicher Einblas- und Verbrennungsprozess wie in einem Dieselmotor realisieren, würde ein Gasmotor insgesamt etwa ein Drittel weniger CO₂ pro Kilowattstunde mechanischer Energie emittieren. Zusätzlich könnte man die Leistung steigern, da der dieselähnliche Prozess naturgemäß nicht durch unkontrollierte Selbstzündung limitiert ist. Doch der Konjunktiv ist angebracht. Denn aufgrund der Komplexität des Verfahrens lässt sich eine Hochdruck-Gaseinblasung für Gasmotoren nicht leicht zur kommerziellen Reife bringen.

Während Gasmotoren im Pkw üblicherweise auf Basis von Ottomotoren realisiert werden, eignet sich für Groß- und Stationärmotoren ein dieselähnlicher Prozess – damit kann ein Wirkungsgrad von annähernd

50 Prozent erreicht werden. Ein weiterer Vorteil eines dieselähnlichen Verfahrens ist, dass im Gegensatz zum ottomotorischen Prozess kaum unverbranntes Methan entsteht. Dessen Entweichen in die Atmosphäre muss unbedingt verhindert werden, da Methan als Treibhausgas die 30-fache Wirkung von CO₂ entfaltet.

Doch noch fehlt es an grundlegendem Verständnis für den Einblas-, Zünd- und Verbrennungsablauf. Im kürzlich abgeschlossenen FVV-Projekt zu einem Gas-Diesel-Brennverfahren entwickelten Forscher der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) Zürich und der Universität der Bundeswehr in München gemeinsam Simulationsmethoden und validierten sie in Experimenten.

»Unsere Aufgabe war, experimentell und numerisch herauszufinden, was im Brennraum genau passiert, wie sich der Gasstrahl ausbreitet, sich mit Luft vermischt, zündet und ob Methan am Düsenaustritt kondensiert«, erklärt

Geschickt kombiniert: Direkteinspritzung von Diesel und Methan



→ Das Methan wird unter hohem Druck direkt in den Brennraum eingeblasen und nicht vorgemischt – dies ermöglicht tiefere Methanemissionen im Vergleich zu vorgemischten Brennverfahren.

Prof. Dr. Konstantinos Boulouchos, Leiter des Laboratoriums für Aerothermochemie und Verbrennungssysteme (LAV) an der ETH Zürich. In Zusammenarbeit mit der Universität der Bundeswehr in München galt es, die entwickelten Strömungssimulationswerkzeuge zu validieren, um vorhersagen zu können, wie ein Hochdruck-Einblasverfahren in Gasmotoren realisiert werden kann.

Am Institut für Energietechnik der ETH Zürich bieten mehrere Versuchsträger die Möglichkeit, motorähnliche Bedingungen zu schaffen. In einer beheizten Konstantvolumenkammer lassen sich annähernd Temperaturen und Drücke simulieren, wie sie in einem Dieselmotor vorkommen. Der Projektpartner Woodward L'Orange aus Stuttgart stellte Prototypen von Injektoren zur Verfügung. Diese unterscheiden sich deutlich von denen eines Dieselmotors. Grundsätzlich sei die Gestaltung der Düse bei Gas wesentlich einfacher, da es keine Kavitationsphänomene gibt. »Da aber beim Gas-Diesel-Brennverfahren das Methan durch einen weiteren Dieselinjektor gezündet wird, der in einem Gehäuse mit den Gasdüsen integriert ist, wird der Injektor insgesamt relativ komplex«, berichtet Dr. Michael Willmann, Leiter der Vorentwicklung bei Woodward L'Orange und Projektleiter des FVV-Forschungsvorhabens. Die während des Projekts gewonnenen Simulationsergebnisse fließen nun in die Auslegungsmodelle ein und ermöglichen es, künftige Injektoren nach diesem Funktionsprinzip noch besser auszulegen und die Verbrennungsergebnisse besser zu verstehen.

Die Forscher in Zürich und München experimentierten mit verschiedenen Einblasdrücken und -dauern sowie Verdichtungsverhältnissen. »Das Besondere an der Kammer ist, dass wir einen optischen Zugang haben, mit dem wir unter anderem die Gasausbreitung im Brennraum beobachten können«, sagt Professor Boulouchos. Dafür wandten die Forscher verschiedene Verfahren an. Mit dem Schlierenverfahren lässt sich erkennen, wie weit der Gasstrahl eindringt und wie sich das Gas im Brennraum verteilt. Dieses qualitative Verfahren beruht auf dem Dichtegradienten des Arbeitsmediums – das Gas hat eine andere Dichte als die Luft und die Ausbreitung des Gasstrahls wird so sichtbar.

Ein laserbasiertes Messverfahren brauchen die Experten, um die Konzentration des Methans innerhalb des Gasstrahls quantitativ zu erfassen. Angeregt vom Laser, fluoresziert das Methan und das Signal wird von einer Kamera mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung aufgenommen. Zusätzlich wurde mit dem Mie-Messverfahren, das Streulicht von Tröpfchen detektiert, untersucht, ob Methan kondensiert. An der Universität der Bundeswehr in München sind dazu vorab umfangreiche Simulationen durchgeführt worden. Hier zeigte sich, dass unter bestimmten Bedingungen wie niedrigem Druck und geringer Temperatur Methan zu Flüssigkeit kondensieren kann. »Aber würde das auch in einem Motor passieren?«, fragt Professor Boulouchos und ergänzt sogleich, dass bei Versuchen in der Konstantvolumenkammer unter realitätsnahen Bedingungen keine

→ Allein durch den Umstieg von flüssigem Kraftstoff auf Methan wird CO₂ eingespart.

– 25 %
CO₂-Emissionen

→ Wird zusätzlich das thermodynamische Potenzial des Diesels genutzt erreichen Gasmotoren deutlich höhere Wirkungsgrade.

bis zu 50 %
Wirkungsgrad

Projektdaten

- »Gas-Diesel-Brennverfahren [1236]: Vertiefung des Verständnisses zu Eindringverhalten und Zündung von Hochdruck-Gasstrahlen in Gas-Diesel-Brennverfahren «
- **PROJEKTFÖRDERUNG**
347.520 Euro // FV
- **PLANUNGSGRUPPE**
PG 3 ›Selbstzündung‹
- **PROJEKTLEITUNG**
Dr. Michael Willmann, Woodward L'Orange
- **FORSCHUNGSSTELLEN**
Institut für Energietechnik (IET),
Laboratorium für Aerothermochemie und Verbrennungssysteme (LAV), ETH Zürich
// Institut für Thermodynamik, Universität der Bundeswehr München



Tröpfchenbildung mehr auftrat. »Damit war die Frage beantwortet: Für Motoranwendungen ist keine Kondensation zu erwarten«, so Boulouchos.

An der Universität der Bundeswehr in München simulierten die Experten den Ablauf in der Düse bis zum düsen-nahen Bereich im Brennraum. Dort treten Überschallströmungen auf, wenn das Gas mit bis zu 500 bar eingblasen wird und der Gegendruck im Zylinder nur 100 bar beträgt. Zusätzlich verhält sich das Methan unter diesen Bedingungen nicht als Idealsondern als Realgas, was neue Simulationsmodelle erfordert. Die ETH Zürich war einerseits für das Experiment und andererseits für die Modellierung der Zündung zuständig. Methan ist zündunwillig und benötigt eine zusätzliche Zündquelle. Die klassische Zündkerze eignet sich jedoch kaum, da bei den extrem hohen Gasgeschwindigkeiten der Funke nicht lange genug lebendig gehalten werden kann. »Die Fragestellung für ein künftiges Forschungsprojekt lautet also, wie man das Gas am besten zündet«, sagt Boulouchos. //

Kontinuität

Dr. Christian Weiskirch hat seit seiner Promotion im Rahmen eines FVV-Projekts Karriere gemacht. Heute koordiniert er die Antriebsstrangentwicklung eines großen Nutzfahrzeugkonzerns – und engagiert sich weiterhin in der Forschungsvereinigung.





Geduldig neue Räume eröffnen // Manchmal gibt es den einen entscheidenden Moment, manchmal auch nicht. Dann entwickeln sich die Dinge allmählich und irgendwann geht man den nächsten Schritt mit großer Selbstverständlichkeit. Christian Weiskirch programmiert schon als Jugendlicher in Basic und Turbo Pascal, schraubt aber auch an Fahrrädern, Mopeds oder dem Rasenmäher der Familie. Wenn es an die Hauselektrik geht, lässt der Vater ihn machen, auch wenn die Haushauptsicherung mehrmals durchbrennt.

Schon vor dem Abitur ist ihm klar, dass er Ingenieur werden will. Feinwerktechnik lautet sein Wunschfach, das er an der Technischen Universität Braunschweig belegt. Nach dem Vordiplom jobbt Christian Weiskirch als HiWi bei der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, er programmiert für einen Doktoranden und entwickelt in einer Studienarbeit einen optischen Mikrotaster, mit dem er die Form von Einspritzdüsenbohrungen vermessen soll – zum ersten Mal kommt er mit dem Selbstzylinder in Berührung.



»Als junger Ingenieur habe ich von der FVV sehr profitiert.«

Im Hauptstudium rückt Weiskirch näher an den Motor, beschäftigt sich mit der Größenverteilung von Abgaspartikeln und entscheidet sich schließlich für eine Diplomarbeit, in der er Entflammungsaspekte der homogenen Dieselerbrennung untersucht. Eckart Müller, Leiter des Instituts, fördert den jungen Ingenieur, emeritiert aber 2003, als Weiskirch noch mitten in seinem Promotionsvorhaben steckt. Der Lehrstuhl bleibt bis zur Berufung von Peter Eilts im Jahr 2007 vakant. Weiskirch vertritt den kommissarisch berufenen Leiter und sammelt so parallel zu seiner Forschung erste Führungserfahrung. »Das war ein Sprung ins kalte Wasser«, stellt Weiskirch fest. Als Eilts schließlich kommt, steht das Institut gut da, die Zahl der wissenschaftlichen Mitarbeiter hat sich ebenso wie das Drittmittelbudget verdoppelt.

Ein FVV-Projekt zur Emissionsminderung durch homogene Dieselerbrennung gibt den Rahmen für Weiskirchs Promotion vor. Es zeigt sich, dass für ein stabiles homogenes Brennverfahren in einem großen Lastbereich ein variables Verdichtungsverhältnis benötigt wird. Er ermuntert einen seiner

studentischen Mitarbeiter, den Einzylinder-Forschungsmotor mit einem vollvariablen Ventiltrieb auszustatten – der Motor wird bis heute in anderen Forschungsprojekten eingesetzt. Weitere Entwicklungen nehmen in jenen Jahren ihren Anfang: Das FVV-Projekt ist in einen Pkw- und einen Nutzfahrzeug-Teil gegliedert. Durch die Diskussion in den Arbeitskreisen gewinnt Weiskirch einen Eindruck beider Branchen. »Die Nutzfahrzeug-Entwickler haben unsere Ergebnisse deutlich intensiver diskutiert«, erinnert er sich. »Dabei stand die pure Technik und nicht die Firmenpolitik im Vordergrund.« Vor allem aber wird Weiskirch zum ersten Mal Vater. Ihm wird klar, dass er als Familienvater nicht an der Uni bleiben will.

Ein Angebot von IAV, die damals ihren Nutzfahrzeugbereich aufbaut, kommt gerade zur richtigen Zeit. 2008 übernimmt Weiskirch die Teamleitung für die Applikation von Abgasreinigungssystemen für Nutzfahrzeuge. Zu diesem Zeitpunkt ist für schwere Lkw gerade die Schadstoffnorm Euro V eingeführt worden, Abgasreinigungssysteme auf Basis von SCR-Katalysatoren entwickeln sich

zum Branchenstandard, es gibt allerdings auch Akteure, die noch ausschließlich auf Abgasrückführung setzen. Noch dauert es vier Jahre, bis die Schadstoffnorm Euro VI für schwere Lkw verpflichtend wird. Die Grenzwerte für Partikel sinken dann um zwei Drittel, für Stickoxide sogar um 80 Prozent. Weiskirch gewinnt mit seinen Kollegen ein wichtiges Euro-VI-Projekt bei MAN: Es gilt, die neuen großen Sechszylindermotoren für die nächste Stufe fit zu machen. Nach holprigem Anfang gedeiht eine gute Zusammenarbeit zwischen IAV und MAN, die schließlich in der Frage mündet, ob Weiskirch als Abteilungsleiter auf die Kundenseite wechseln will – ein Schritt, den er dann im Frühjahr 2012 vollzieht. In den folgenden Jahren ringt Weiskirch nicht nur mit weiteren Verschärfungen der Abgasnorm, sondern damit, dass die Motoren zwar immer sauberer werden, aber nur noch kleine Fortschritte beim Kraftstoffverbrauch machen. Weiskirch löst das Problem unter anderem durch die Einführung von hoch belastbaren Stahlkolben.

Auch zu seiner aktuellen Aufgabe kommt Weiskirch, ohne eine Bewerbung zu schreiben. Volkswagen führte 2015 die Marken MAN und Scania in einem integrierten Nutzfahrzeugkonzern zusammen. Der Aufsichtsrat forciert Kooperationsgespräche, unter anderem über den Nachfolgemotor für die Königsklasse, einen 13-Liter-Motor. Weiskirch ist von Anfang an Teil des Teams und findet mit den schwedischen Kollegen rasch eine Gesprächsebene, obwohl in beiden Häusern zunächst großes Misstrauen herrscht. »Wir haben

stets einen rationalen Dialog unter Ingenieuren geführt und uns dabei gegenseitig ernst genommen.« Anfang 2018 wird Weiskirch ins »CTO Office« der neuen TRATON GROUP berufen. Mit einer Handvoll Mitarbeiter koordiniert er die Entwicklungsaktivitäten für den gesamten Antriebsstrang – einschließlich neuer Themen wie Batterie und Brennstoffzelle. Für mehr als zwei Jahre arbeitet Weiskirch in Södertälje, einem Industriestädtchen südlichwestlich von Stockholm, Stammsitz der Marke Scania, bevor er nach Deutschland zurückkehrt.

In der FVV leitet Weiskirch die Planungsgruppe »Selbstzündung«. Spricht man ihn darauf an, warum er trotz seiner



DR.-ING. CHRISTIAN WEISKIRCH, Jahrgang 1975, koordiniert seit 2018 die Antriebsstrangentwicklung der TRATON GROUP. Der Maschinenbauer promovierte im Rahmen eines FVV-Projekts an der Technischen Universität Braunschweig und leitet heute ehrenamtlich die Planungsgruppe »Selbstzündung«.





→ Was ein
Doppelvergaser ist,

lernen die Söhne
von Christian Weiskirch
in der heimischen
Garage: Gemeinsam
restauriert das
Trio einen Karman T34.

Karriere das Engagement in der FVV nicht delegiert, zögert er keine Sekunde mit seiner Antwort: »Ich habe als junger Ingenieur von der FVV sehr profitiert, da ist es doch ganz logisch, nun etwas zurückzugeben.« Es ist diese Kontinuität, vielleicht auch einfach Konsequenz, die Weiskirch in allen Lebensbereichen auszeichnet. Seine Frau, eine Architektin, lernte er 1994 kennen, im Sommer nach dem Abitur. Gemeinsam mit zwei Söhnen leben die beiden in Altdorf bei Nürnberg in einem Haus, das seine Frau selbst entworfen hat. Dass Kontinuität den Raum für Neues öffnet, lässt sich an dem innovativen Heizungssystem des Hauses ablesen: Wärme wird nicht mit fossilen Brennstoffen, sondern über Wärmepumpe, Wärmetauscher und einen Eisspeicher erzeugt. //

Einer für alle!

Damit die Brennstoffzelle im Rennen um den Antrieb der Zukunft wettbewerbsfähig wird, müssen alle Komponenten und Subsysteme weiter optimiert werden. Bislang fehlte dafür eine universelle Forschungsplattform. Die rückt mit dem im Auftrag der FVV entwickelten Konzept für einen generischen Brennstoffzellen-Stack nun näher.





→ Dr. Joachim Scholta leitet das Fachgebiet Brennstoffzellen-Stacks am Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) in Ulm.



Entwicklung eines generischen Brennstoffzellenstacks // 100 Kilowatt Leistung aus 304 Zellen. 280 Quadratzentimeter aktive Oberfläche pro Zelle. Sticht. Was sich nach einem Quartettspiel anhört, sind Teilergebnisse eines grundlegenden Forschungsvorhabens, das der Brennstoffzelle im Mobilitätssektor zum Durchbruch verhelfen soll. Beauftragt von der FVV, entwickelte das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) das Designkonzept für einen generischen Brennstoffzellen-Stack. Benötigt wird der Stack als Forschungs- und Testplattform, weil die Brennstoffzelle – speziell die als Fahrzeugantrieb verwendete Niedertemperatur-Polymer-elektrolyt-Brennstoffzelle – deutlich kostengünstiger werden muss, um am Markt erfolgreich zu sein. Dafür wiederum muss die Leistungsausbeute pro Zelle weiter gesteigert werden. »Das ist nicht nur eine Frage der Zellen selbst«, erläutert Dr. Joachim Scholta, der am ZSW das Fachgebiet Brennstoffzellen-Stacks verantwortet. »Es geht auch darum, das Gesamtsystem zu optimieren.« Auch Verbrennungsmotoren erzielen ihre hohe Leistungsdichte schließlich nicht nur aus einer

optimalen Verbrennung im Zylinder, sondern auch wegen der über Jahrzehnte hinweg immer weiter verfeinerten Gemischbildung, vor allem der Aufladung und der Einspritzung.

Ähnlich komplexe Subsysteme weist ein Brennstoffzellen-Antrieb auf, etwa zur Verdichtung der zugeführten Luft oder zu deren Befeuchtung. Obwohl der oft verwendete Sammelbegriff »Peripherie« nebensächlich klingt, haben die Subsysteme nicht nur entscheidenden Einfluss auf die Leistungsfähigkeit der Zellen, sondern auch auf deren Lebensdauer. So kann eine ungleichmäßige Verteilung des Wasserstoffs an den Zellmembranen zu einer vorzeitigen Alterung führen. Und Schadstoffe in der angesaugten Luft haben zur Folge, dass das Katalysatormaterial – meist Platin – vorzeitig degradiert. Ein besserer Wissensstand über den Zusammenhang zwischen Schadstoffeintrag, Filtrierung und Alterungsverhalten könnte dazu beitragen, die benötigte Menge des kostbaren Edelmetalls zu verringern. Das Problem bei der Entwicklung von Filtern, Kompressoren und anderen Komponenten: Getestet werden können sie bislang

in der Regel nur an kommerziell erhältlichen Brennstoffzell-Systemen. Deren Hersteller legen aus Wettbewerbsgründen viele Bestandteile ihrer Spezifikation nicht offen, etwa die in den Zellen verwendeten Materialien. Einzelne Testergebnisse sind daher für die weitere Forschung oft nicht übertragbar. Genau hier setzt das von der FVV mit Eigenmitteln geförderte Forschungsvorhaben an.

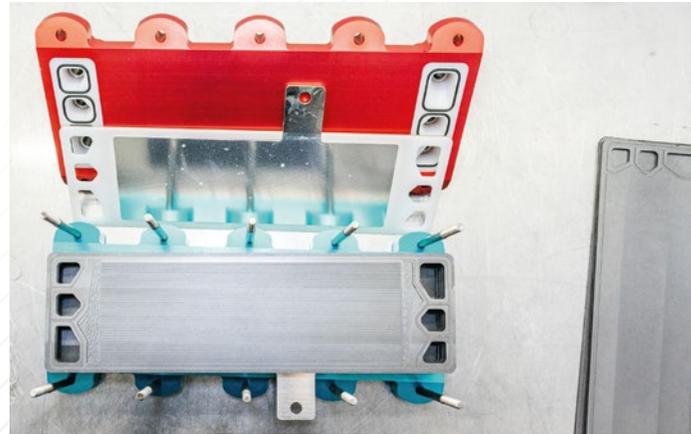
»Grundlegende Phänomene können mit einem generischen Stack reproduzierbar untersucht werden«, erläutert Dr. Jan Haußmann von Schaeffler, der den projektbegleitenden Ausschuss geleitet hatte. Typisch für die Arbeit der FVV, ließ der Arbeitskreis die Ulmer Forscher nicht einfach drauflos entwickeln, sondern brachte die Sicht der später anwendenden Industrie ein. So musste zunächst eine grundlegende Frage geklärt werden: Welche Anforderungen bestehen an Leistung und Abmessungen einer Niedertemperatur-Brennstoffzelle, um möglichst viele spätere Anwendungen abzudecken? Mit einer Umfrage unter den FVV-Mitgliedsunternehmen holten die Forscher zunächst ein Meinungsbild ein, das dann im Arbeitskreis intensiv diskutiert wurde. Dabei war schnell klar: Die geforderte hohe Leistungsdichte kann nur mit metallischen Bipolarplatten erfüllt werden. Diese haben gegenüber den anfangs ebenfalls betrachteten graphitischen Platten zudem den Vorteil, dass sie in Umformverfahren gefertigt werden können und somit kurze Taktzeiten in einer späteren Serienproduktion ermöglichen.

Nach dieser grundlegenden Entscheidung entwickelte das ZSW ein Designkonzept, das beispielsweise die Aktivfläche pro Zelle definiert. Anhand erster Simulationen – etwa der Anströmung einer einzelnen Zelle – konnte das Konzept erfolgreich validiert werden. »Wichtig war uns eine gewissen Robustheit«, so Scholta, »denn später muss das Aggregat in langen Versuchsreihen einiges aushalten können.« Die komplette Konstruktion eines generischen Stacks ist Gegenstand eines geplanten Folgeprojekts. Läuft alles gut, könnte ein erster Prototyp bereits Anfang 2022 zur Verfügung stehen. Der jedoch muss dann zunächst auf Herz und Nieren getestet werden. Doch ab 2023, so das Wunschscenario des Forschers, steht ein generischer Stack für jegliche Forschung am Systemverhalten von Brennstoffzellen zur Verfügung. »Dann wird der Stack die gleiche Bedeutung haben wie die Einzylinder-Forschungsmotoren an den Instituten für Verbrennungskraftmaschinen«, so Scholta. Gerade rechtzeitig also, um den Weg der Brennstoffzelle von der Klein- in die Großserie zu begleiten. Dr. Scholta, der seit 30 Jahren an Brennstoffzellen forscht, ist sich sicher, dass die »kalte« Wasserstoffverbrennung in der Niedertemperaturzelle einen hohen Stellenwert erreichen wird. Er fährt regelmäßig mit Brennstoffzellenfahrzeugen und betankt diese an einer Zapfsäule vor seinem Institut. »Alles völlig unspektakulär«, lobt der Physiker. »Die Technik funktioniert, sie ist nur noch zu teuer.« Das könnte sich nun bald ändern. //

»Der Stack wird die gleiche Bedeutung haben wie die Einzylinder-Forschungsmotoren an den Instituten für Verbrennungskraftmaschinen.«



30 Jahre Erfahrung,
über 1.000 Stacks –
Brennstoffzellenforschung
am ZSW.



Projektdaten

→ » Generischer Brennstoffzellen-
stack [1366]: Entwicklung einer
generischen Brennstoffzelle als
Testplattform für Fahrzeug-
anwendungen zur Durchfüh-
rung vorwettbewerblicher Grundlagen-
untersuchungen an PEM-Brenn-
stoffzellen im mobilen Einsatz «

→ **PROJEKTFÖRDERUNG**

100.000 Euro // FVV

→ **PLANUNGSGRUPPE**

PG 7 ›Brennstoffzelle‹

→ **PROJEKTLEITUNG**

Dr. Jan Haußmann,
Schaeffler Technologies

→ **FORSCHUNGSSTELLE**

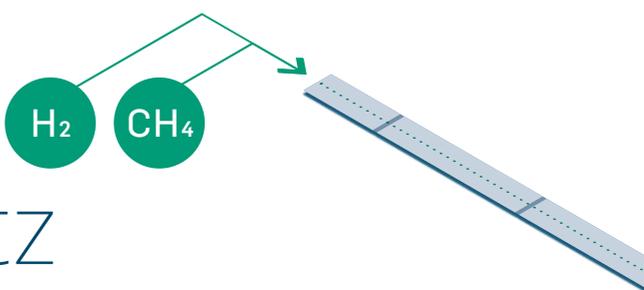
Zentrum für Sonnenenergie-
und Wasserstoff-Forschung
Baden-Württemberg (ZSW)



VIDEO ZUM
PROJEKT



Neuer Mix im Gasnetz


 A diagram showing two green circles labeled 'H2' and 'CH4' with arrows pointing into a grey gas pipeline that slopes downwards to the right.

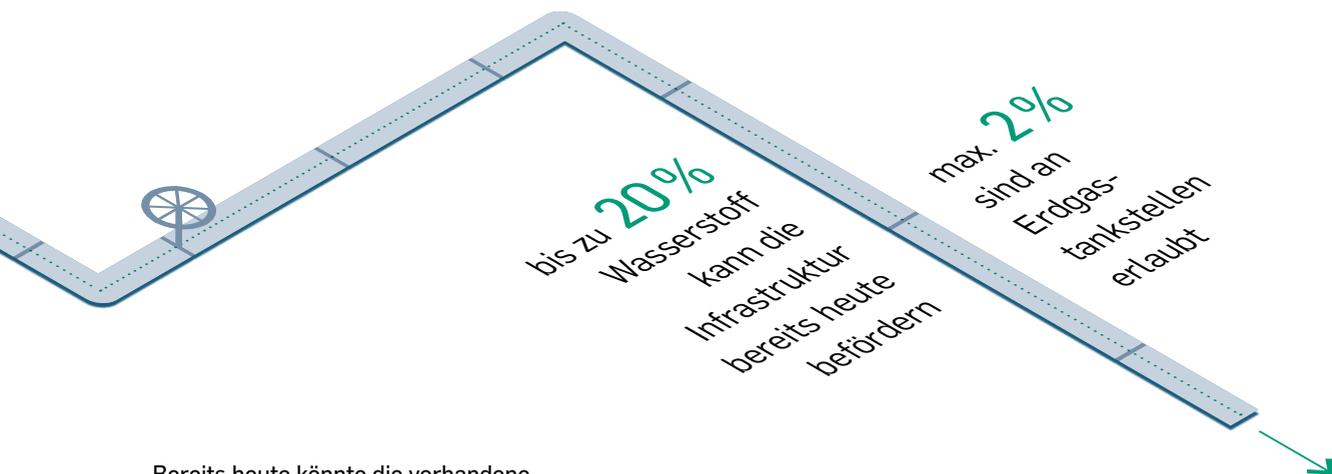
Wasserstoff wird eine entscheidende Rolle spielen, um die Klimaziele zu erreichen.

Wie sich das Gas in die bestehende Erdgas-Infrastruktur integrieren lässt, untersucht ein Gemeinschaftsprojekt, das die FVV mit dem Deutschen Verein des Gas- und Wasserfaches (DVGW) initiiert hat.

H₂ im Gasnetz // Stahl, Chemie, Verkehr: In den Zukunftsszenarien zu einer CO₂-neutralen Industriegesellschaft spielt Wasserstoff eine große Rolle. Im Projekt ›Wasserstoff im Gasnetz‹ untersuchen Forscher seit Anfang 2020, wie sich eine höhere Wasserstoffkonzentration im Gas auf den Mobilitätssektor auswirkt, aber auch auf stationäre Gasmotoren, etwa in Blockheizkraftwerken. Ausgangspunkt war dabei die Frage, wie das existierende Gasnetz für eine Beimischung von Wasserstoff angepasst werden müsste. Denn Wasserstoff ist korrosiv und kann Dichtungen und Ventile schädigen, sofern diese nicht für hohe H₂-Konzentrationen ausgelegt sind. Während neue Pipelines bereits ›H₂-ready‹ geplant werden, muss die bestehende Gasinfrastruktur,

etwa Verdichter und Speicher, an einigen Stellen modernisiert werden. Relevant ist jedoch nicht nur die technische Seite aus Sicht des Versorgers. »Der Kunde bekommt einen völlig neuen Energieträger, nämlich nicht mehr nur Methan, also Erdgas, sondern ein Gemisch mit Wasserstoff«, erklärt Dr. Dietrich Gerstein vom DVGW. Eine Umstellung hätte daher Auswirkungen für Privathaushalte mit Gasheizungen, Blockheizkraftwerke und den Mobilitätssektor.

In einem ersten Schritt wollen die Experten herausfinden, wie hoch die Wasserstoffkonzentration im Gasnetz sein darf. Gerstein geht davon aus, dass die Konzentration zunächst ohne wesentliche Modifikationen in kleinen Stufen angehoben werden wird, etwa auf fünf, acht oder zehn Prozent Wasserstoffanteil im Erdgas. Für die Zukunft müsse aber geklärt werden, wie weit der Wasserstoffgehalt im Netz und für die Verbraucher angehoben werden könnte. Im Projekt gehen die Forscher von einem schwankenden H₂-Anteil aus. »Es kann auch regionale Unterschiede geben, etwa wenn in Norddeutschland mit Windenergie mehr Wasserstoff produziert und dieser eingespeist wird«, erklärt Gerstein.



Bereits heute könnte die vorhandene Gasinfrastruktur bis zu 20 Prozent H₂ mittransportieren. Doch nicht alle Erdgasmotoren sind überhaupt für den Betrieb mit Wasserstoff geeignet. Im Einzelfall wurde zwar bereits die Kompatibilität mit einem Wasserstoffanteil von bis zu 100 Prozent demonstriert. »Die Frage ist aber, wie die Kompatibilität für dynamisch schwankende Wasserstoffgehalte und für die gesamte Flotte hergestellt werden kann«, erklärt Georg Blesinger vom Institut für Kolbenmaschinen (IFKM) am Karlsruher Institut für Technologie (KIT). In Zusammenarbeit mit dem Institut für Energietechnik und Sicherheit am KIT führt Blesinger im Rahmen des Projekts eine Risiko- und Zustandsanalyse durch. Denn es gibt einige Herausforderungen: Wasserstoff greift Gummi- und Kunststoffteile an, auch hochlegierte Stähle, wie sie beispielsweise in Ventilsitzen zum Einsatz kommen, eignen sich nicht für die Verwendung. Zudem ist das Gas extrem leicht entzündlich und weist eine fünfmal höhere Brenngeschwindigkeit als Methan auf. Dadurch besteht ein besonders hohes Risiko für Vorentflammungen und Klopfen. Zudem könnte es unter Umständen schon während des Ladungswechsels zu

einem Flammenrückschlag in den Ansaugbereich kommen. IFKM-Institutsleiter Prof. Dr. Thomas Koch ist jedoch überzeugt, dass sich die Herausforderungen in den Griff bekommen lassen.

Erdgasfahrzeuge könnten künftig mit dem H₂-/CH₄-Gemisch an Erdgas-tankstellen betankt werden. Derzeit darf der Wasserstoffanteil dort maximal zwei Prozent betragen, für höhere Konzentrationen sind die Tanks der Erdgasfahrzeuge nicht zugelassen. Bei Bedarf könnte der Wasserstoff an der Tankstelle wieder vom Erdgas separiert werden, sofern man ihn speichern und nicht als Gemisch verbrennen möchte. »Wenn das Gasnetz künftig für den Wasserstofftransport geeignet ist, dann wird es auch ausreichend Speichermöglichkeiten geben«, ist sich Gerstein sicher.

Innerhalb von fünf bis zehn Jahren, so der Experte vom DVGW, könnte man in Deutschland eine nennenswerte Wasserstoffproduktions-Infrastruktur aufbauen. Dazu braucht es vor allem politischen Willen und geeignete

Rahmenbedingungen. Die gerade veröffentlichte Nationale Wasserstoffstrategie ist Gerstein zufolge ein großer Schritt in die richtige Richtung. Denn die Technologie ist bereits verfügbar: Es existieren Power-to-Gas-Pilotanlagen, in denen aus Wind- und Sonnenenergie mittels Elektrolyse »grüner« Wasserstoff produziert und ins Netz eingespeist wird. Diese kleineren Anlagen reichen jedoch nicht aus, um eine flächendeckende Versorgung zu gewährleisten. Daher sieht die Strategie der Bundesregierung vor, Wasserstoff zu importieren – etwa aus Nordafrika, wo mit Sonnenenergie und geringen Stromkosten das Gas deutlich günstiger als hierzulande produziert werden kann.

Zum langfristigen Erfolg gehört nicht nur die technische, sondern auch eine wirtschaftliche Betrachtung. Trotz der hohen Kosten würde sich die Umstellung auf einen höheren Wasserstoffanteil wohl rentieren, berichtet Gerstein: »Wenn man neue Stromleitungen bauen müsste, um die gleiche Menge Energie zu transportieren, wäre das viel teurer. Außerdem kann im Gasnetz erheblich mehr Energie gespeichert werden als in Stromspeichern.«

Das Projekt ist auf eine Dauer von zwei Jahren angelegt, der Fokus liegt auf Deutschland. Betrachtet werden aber auch Szenarien für Europa. Zwar führen Fahrzeuge mit Gasmotor hierzulande ein Nischendasein, doch ein Blick ins europäische Ausland offenbart das Potenzial: In Italien sind zehnmal so viele Erdgasfahrzeuge zugelassen wie in Deutschland. //



3 Monate

Speicherdauer
in Gasspeichern bei
Maximallast von
85 GW

→ nur 36 Minuten
in Stromspeichern

220 TWh

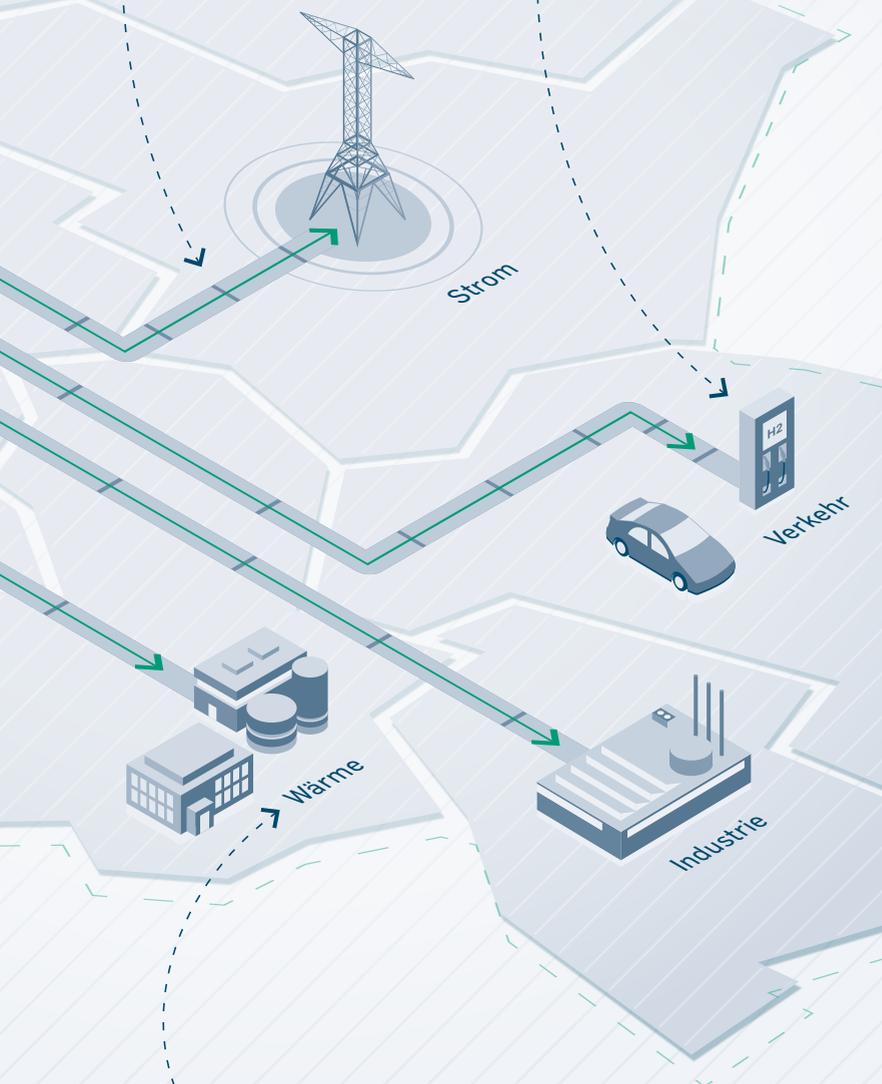
Speicherkapazität
im Gasnetz und der
-infrastruktur

→ nur 0,04 TWh
in allen Stromspeichern

510.000

Kilometer Hoch-,
Mittel- und Nieder-
druckleitungen

an 850
Tankstellen
kann Gas
getankt werden



Jeder 2. Haushalt
in Deutschland heizt
mit Erdgas

Potenzial der Gasinfrastruktur in Deutschland

→ In Power-to-Gas-Anlagen wird mit Strom aus erneuerbarer Energie Wasserstoff oder Methan erzeugt – speicherbar und transportfähig.

→ Die »grünen Gase« können über die vorhandene Gasinfrastruktur genutzt werden.

Projektdaten

→ » H₂ im Gasnetz [1384]: Entwicklung eines Markthochlaufs zur Erhöhung der Wasserstoffkonzentration im Gasnetz // Darstellung von Lösungsansätzen in der Gaswirtschaft und der Automobilindustrie zur Erhaltung der CNG-Motorintegrität sowie deren wirtschaftliche Bewertung «

→ **PROJEKTFÖRDERUNG**
560.000 Euro // DVGW, FVV

→ **PLANUNGSGRUPPE**
PG 1 »Gesamtsystem«

→ **PROJEKTL EITUNG**
Dr. Dietrich Gerstein, DVGW
Dr. Ulrich Kramer, Ford-Werke

→ **FORSCHUNGSSTELLEN**
Institut für Kolbenmaschinen (IFKM),
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
// DBI Gas- und Umwelttechnik
// Gastechologie – Prüflaboratorium,
DVGW-Forschungsstelle am EnglerBunte-
Institut des Karlsruher Instituts für
Technologie (KIT) // Frontier Economics

Die FVV ist ein sehr lebendiges Forschungsnetzwerk: Zusammenarbeit, Vertrauen und Offenheit sind der Schlüssel unseres Erfolgs. Kreative Ideen und engagierte Menschen sichern nachhaltig den Nutzen unseres Netzwerks. An den gemeinsamen Projekten schätzen wir die kollegiale Zusammenarbeit aller Netzwerkpartner und ganz besonders die Exzellenz unserer Forschungsstellen. Und wir suchen aktiv die Zusammenarbeit mit Kooperationspartnern, die unsere Ideen und Ziele teilen.

Die Menschen und Projekte, die wir in diesem Jahresmagazin vorstellen, sind nur ein kleiner Ausschnitt dessen, was die FVV im Ganzen ausmacht. Wir möchten daher unserem tollen Netzwerk an dieser Stelle ganz herzlich DANKE sagen!

Normalerweise treffen wir uns auf den FVV-Tagungen persönlich. 2020 erhalten Sie dieses Jahresmagazin situationsbedingt mit der Post. Aber bitte merken Sie sich schon die **Termine 2021** vor:

Frühjahr – 25./26. März 2021

Herbst – 28./29. September 2021

Wir sehen uns!



Aufnahmen:
FVV-Herbsttagung,
September 2019

Wer neue Ideen verfolgt, braucht manchmal einen langen Atem. Und praxisnahen Austausch. Auf unseren Fachtagungen finden Sie beides.

Gespräche zwischen Herstellern und Zulieferern, Entwicklern und Wissenschaftlern, führenden Ingenieuren aus der Industrie, renommierten Forschern und ausgezeichneten Nachwuchstalenten aus Deutschland, Europa und der Welt fördern nicht nur das gegenseitige Verständnis, sondern stellen außerdem einen schnellen und effizienten Transfer der Forschungsergebnisse aus der Wissenschaft in die industrielle Praxis sicher.

FVV PrimeMovers. The Network.



FVV PrimeMovers. Themen.



FVV Themenseiten

Die neue Themenplattform informiert über Forschungsergebnisse wichtiger Zukunftsfragen und identifiziert zukünftigen Forschungsbedarf. Entdecken Sie Themen, die unser Denken leiten und die darauf aufsetzende Arbeit von Ingenieurinnen und Ingenieuren, die zusammen mit uns an bestmöglichen Technologien der Zukunft forschen.

www.PrimeMovers.de

FVV Newsletter

Für Mitglieder und Freunde der FVV:
Der elektronische Newsletter versorgt Sie monatlich mit Neuigkeiten aus unserem Innovationsnetzwerk und Wissenswertem rund um Industrielle Gemeinschaftsforschung und Technologieförderung – melden Sie sich jetzt an! Der Bezug kann jederzeit beendet werden.

www.fvv-net.de | Medien | Newsletter

FVV GESCHÄFTSBERICHT

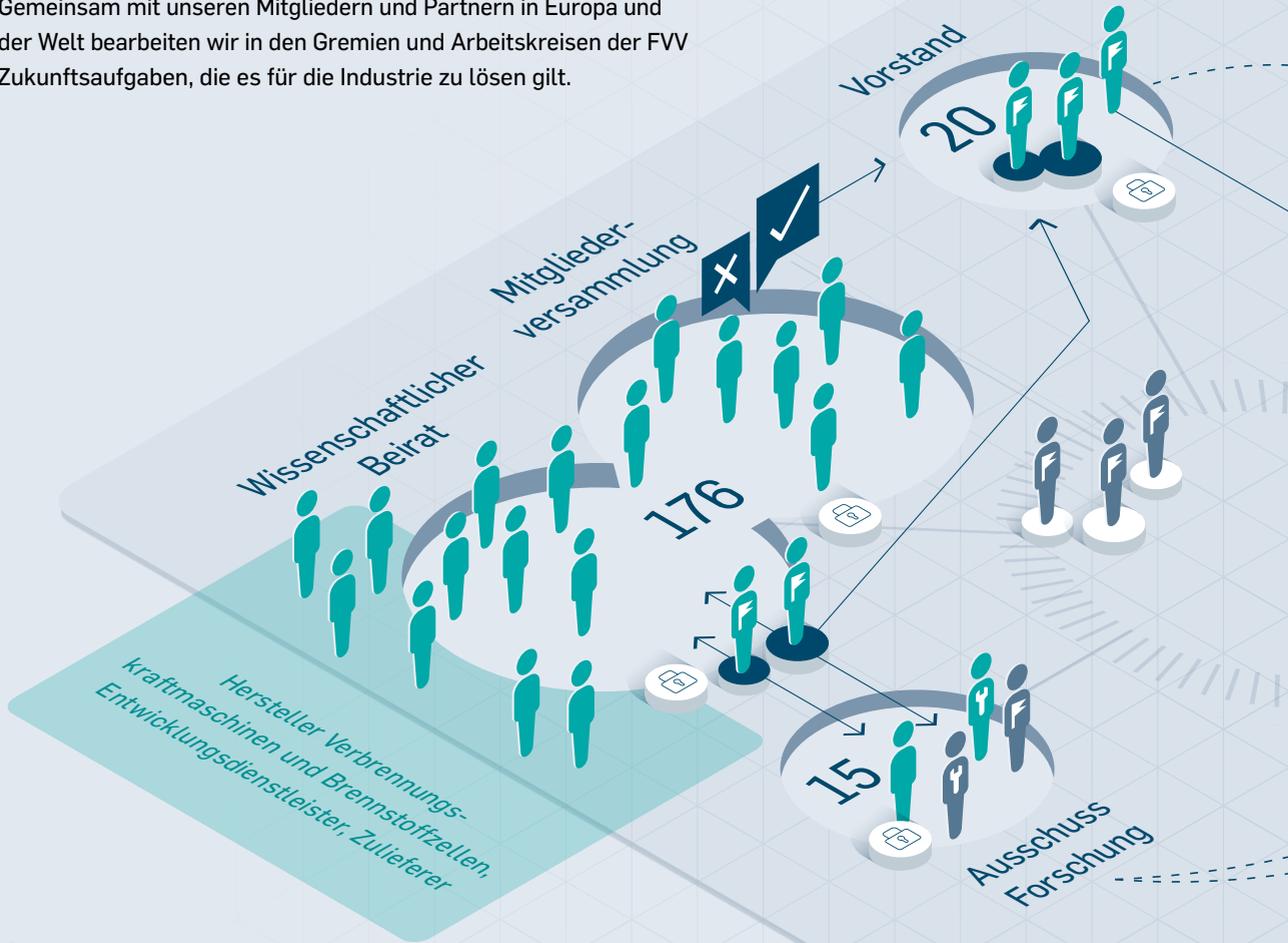
2019/2020



Vereinsstruktur

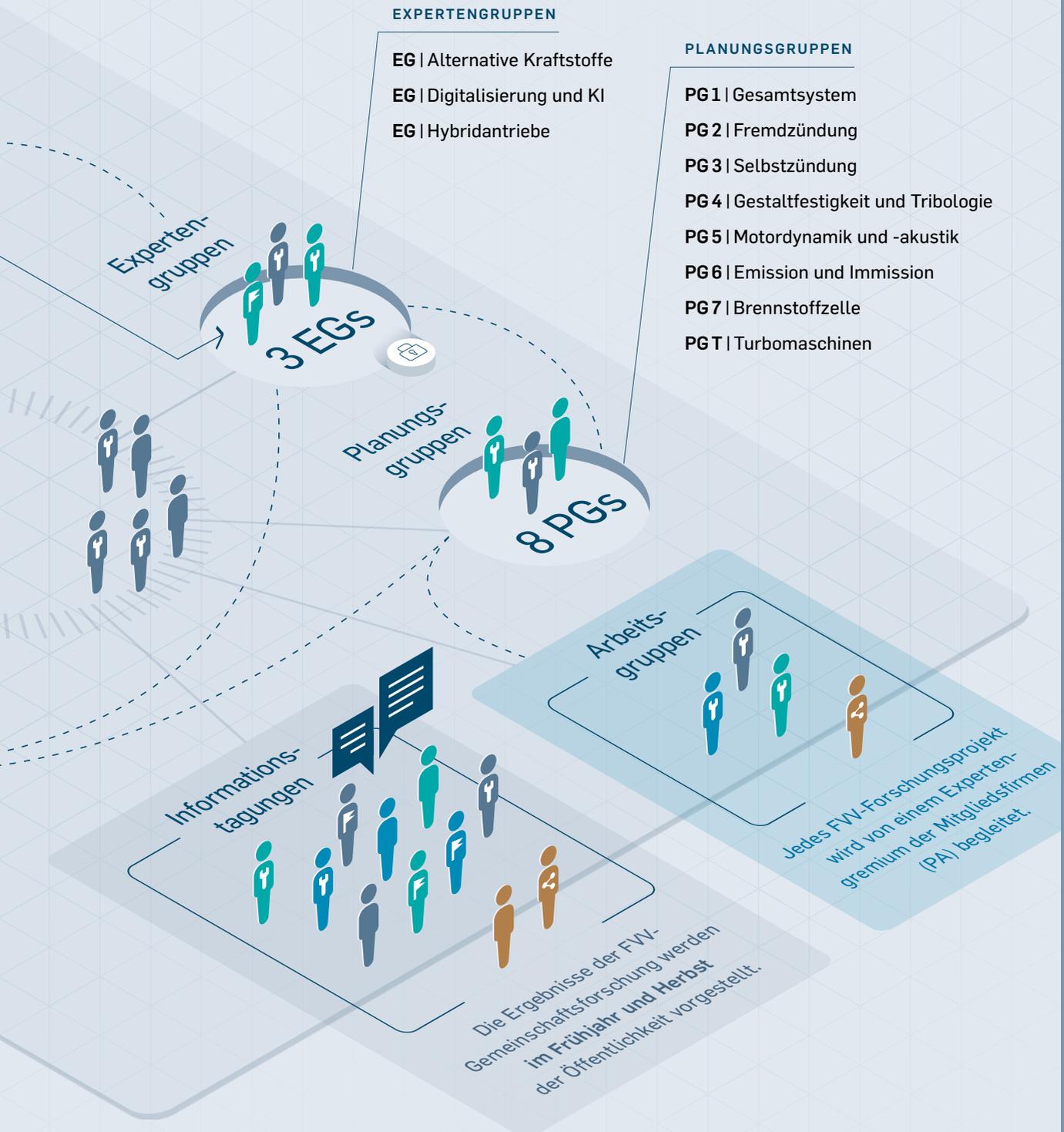
GREMIEN UND FORSCHUNGSNETZWERK

Europa ist die größte Plattform für Wissen und Innovationen weltweit. Grenzüberschreitende Zusammenarbeit in der FVV vereint die besten Köpfe und Ideen. Sie macht den Unterschied. Gemeinsam mit unseren Mitgliedern und Partnern in Europa und der Welt bearbeiten wir in den Gremien und Arbeitskreisen der FVV Zukunftsaufgaben, die es für die Industrie zu lösen gilt.



EINGESETZTE/GEWÄHLTE
VERTRETER





Mitglieder

MITGLIEDSFIRMEN UND IHRE VERTRETER

MITGLIEDSFIRMA	STANDORT (HAUPTSITZ)	VERTRETER (WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT)
A Aalberts Surface Treatment GmbH	Kerpen	Uwe Franz
ABB Turbo Systems AG	Baden (CH)	Dr. Frank Hummel
AeroDesignWorks GmbH	Köln	Georg Kröger
Afton Chemical GmbH	Hamburg	Walter Kudlich
AIP GmbH & Co. KG	Haldenwang	Christian Hartmann
AKKA GmbH & Co. KGaA	Fellbach	Ralf Kochhan
Albonair GmbH	Dortmund	Dr. Georg Hühthwohl
AM Metals GmbH	Halsbrücke	Dr. Florian Wendt
ANSYS Germany GmbH	Otterfing	Dr. Wolfgang Bauer
APL GmbH	Landau	Dr. Marcus Gohl
↑ Aramco Overseas Company B.V.	Den Haag (NL)	Dr. Patrick Gastaldi
ASG Analytik-Service Gesellschaft mbH	Neusäss	Dr. Thomas Wilharm
Atlanting GmbH	Aachen	Jawor Seidel
Atlas Copco Energas GmbH	Köln	Dr. Hauke Wittich
AUDI AG	Ingolstadt	Thomas Reuss
AVAT Automation GmbH	Tübingen	Frank Gansloser
AVL Deutschland GmbH	Mainz-Kastel	Dr. Moritz Frobenius
AVL List GmbH	Graz (AT)	Prof. Dr. Peter Prenninger
↓ AWB GmbH & Co. KG	Lampertheim	
B B&B-AGEMA GmbH	Aachen	Dr. Karsten Kusterer
BASF Catalysts Germany GmbH	Hannover	Andrzej Bucholc
Bayerische Motorenwerke AG	München	Dr. Bodo Durst
Benteler Automobiltechnik GmbH	Paderborn	Dr. Fabian Fricke
Bertrandt Projektgesellschaft mbH	Ehningen	Matthias Rühl
BMTS Technology GmbH & Co. KG	Stuttgart	N. N.
BorgWarner Ludwigsburg GmbH	Ludwigsburg	Dr. Georg Rixecker
BorgWarner Turbo Systems GmbH	Kirchheimbolanden	Dr. Stefan Münz
Bosch Engineering GmbH	Abstatt	Heinz-Georg Schmitz
C Caterpillar Energy Solutions GmbH	Mannheim	Dr. Sebastian Ohler
Caterpillar Motoren GmbH & Co. KG	Kiel	Andreas Banck
CFturbo GmbH	Dresden	Dr. Oliver Velde
Clariant Produkte (Deutschland) GmbH	Bruckmühl-Heufeld	Hans-Georg Anfang
Convergent Science GmbH	Linz (AT)	Dr. Rainer Rothbauer

↑ eingetreten ↓ ausgetreten

MITGLIEDSFIRMA	STANDORT (HAUPTSITZ)	VERTRETER (WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT)
Corning GmbH	Wiesbaden	Dr. Thorsten Boger
↑ Coryton Advanced Fuels Ltd.	Stanford-le-Hope (GB)	Ben Lampertz, Arne Gimmini
CTWe GmbH	Henfenfeld	Daniel Büschelberger
↑ Cutting-Edge Nanomaterials UG	Waldenbuch	Dr. Seyed Schwan Hosseiny
D DAF Trucks N.V.	Eindhoven (NL)	Bram Hakstege
↑ Daido Metals Co., Ltd.	Inuyama, Aichi (JP)	Minoru Hanahashi
Daimler Truck AG	Stuttgart	Dr. Elmar Böckenhoff
Delphi Technologies	Bascharage (LU)	Dr. Walter F. Piock
Delta JS AG	Zürich (CH)	Dr. Joachim Schmied
DERC GmbH	Oberroth	Mario Kornprobst
DEUTZ AG	Köln	Taghi Akbarian, Dr. Heiner Bülte
Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG	Weissach	Dr. André Casal Kulzer
E ↓ Eaton Germany GmbH	Gilching	
Eberspächer Exhaust Technology GmbH	Esslingen	Dr. Rolf Jebasinski
ELGAN Diamantwerkzeuge GmbH & Co. KG	Nürtingen	Hans-Peter Böhm
Emission Partner GmbH & Co. KG	Saterland	Dr. Klaus-Dieter Zanter
Engineering Center Steyr GmbH & Co. KG	Sankt Valentin (AT)	Ronald Penzinger
EnginOS GmbH	Ostfildern	Christine Burkhardt
↓ Erbstlöh Aluminium GmbH	Velbert	
ERC Additiv GmbH	Buchholz	Dr. Martin Müller
ETAS GmbH	Stuttgart	Thorsten Huber
Evonik Industries AG	Darmstadt	Michael Seemann
Exothermia SA	Pylaia (GR)	Dr. Alexis Manigrasso, Dr. Konstantinos Michos
F Faurecia Emissions Control Technologies, Germany GmbH	Augsburg	Emmanuel Jean
Federal-Mogul Burscheid GmbH	Burscheid	Dr. Arnim Robota
Federal-Mogul Nürnberg GmbH	Nürnberg	Klaus Lades
↑ Federal-Mogul Valvetrain GmbH	Barsinghausen	Dr. Guido Bayard
Federal-Mogul Wiesbaden GmbH	Wiesbaden	Dr. Uwe Lehmann
FEV Europe GmbH	Aachen	Christof Schernus
FKFS Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren Stuttgart SdbR	Stuttgart	Hans-Jürgen Berner

MITGLIEDSFIRMA	STANDORT (HAUPTSITZ)	VERTRETER (WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT)
Ford-Werke GmbH	Köln	Dr. Ulrich Kramer
FPT Motorenforschung AG	Arbon (CH)	Dr. Manuel Gehlen
Freyberger engineering GmbH	Köln	Dr. Christian Töpel
FUCHS SCHMIERSTOFFE GMBH	Mannheim	Dr. Manfred Harperscheid
FVTR GmbH	Rostock	Dr. Martin Reißig
G Gamma Technologies Inc.	Westmont (US)	Jan Böbel, Dr. Thomas Morel
Garrett Advancing Motion Inc.	Rolle (CH)	N. N.
GE Power AG	Mannheim	Armin Schimkat
Gehring Technologies GmbH	Ostfildern	Gerhard Flores
GF Casting Solutions AG	Schaffhausen (CH)	Ilias Papadimitriou
GIE. RE. PSA – Renault	Guyancourt Cedex (FR)	Marc Lejeune, Zlatina Dimitrova
Gleitlagertechnik Essen GmbH	Essen	Dr. Stefan Verstege
Gleitlagertechnik Weißbacher GmbH	Alpen	Dr. Christoph Weißbacher
GM Global Technology Operation LLC	Pontiac (US)	Edward Keating
GTW Technik s.r.o.	Třemošná (CZ)	Jiri Sujanec
H ↑ Haltermann Carless Deutschland GmbH	Hamburg	Dr. Jens Schaak
HEAD acoustics GmbH	Herzogenrath	Prof. Dr. Klaus Genuit
Heinzmann GmbH & Co. KG	Schönau	Anton Gromer
Hengst SE	Münster	Ingo Brunsmann
Heraeus Deutschland GmbH & Co. KG	Hanau	Jens Hesse
↓ Hilite Germany GmbH	Marktheidenfeld	
Hitachi Automotive Systems, Ltd.	Chiyoda-ku (JP)	Yoshihito Yasukawa
HJS Emission Technology GmbH & Co. KG	Menden	Klaus Schrewe
hofer powertrain münchen GmbH	Lenting	Dr. Franz Koch
Honda R&D Europe (Deutschland) GmbH	Offenbach	Dr. Michael Fischer
Howden Turbo GmbH	Frankenthal	Dr. Matthias Schleer
I IAV GmbH	Berlin	Marc Sens
IAVF Antriebstechnik GmbH	Karlsruhe	Dr. Peter Berlet
IFP Energies nouvelles	Rueil-Malmaison Cedex (FR)	Bruno Walter
IHI Charging Systems International GmbH	Heidelberg	Tobias Scheuermann
Industrial Analytics Berlin GmbH	Berlin	Dr. Richard Büssow
Ingenieurbüro Dr. Linnhoff	Haltern am See	Prof. Dr. Hans-Josef Linnhoff

↑ eingetreten ↓ ausgetreten

MITGLIEDSFIRMA	STANDORT (HAUPTSITZ)	VERTEPETER (WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT)
INNIO Jenbacher GmbH & Co. OG	Jenbach (AT)	Dr. Stephan Laiminger
INPROSIM GmbH	Kriftel	Hartmut Chladek
Interkat Catalyst GmbH	Königswinter	Dr. Jörg Spengler
INTES GmbH	Stuttgart	Dr. Reinhard Helfrich
ISimQ GmbH	Wargau	Dr. Georg Scheuerer
IST GmbH	Aachen	Dr. Jochen Lang
ISUZU MOTORS Germany GmbH	Ginsheim-Gustavsburg	Ottmar Degrell
↓ iwis Motorsysteme GmbH & Co. KG	München	
J Johnson Matthey GmbH & Co. KG	Sulzbach	Dr. Claus Görsmann
K Karl Dungs GmbH & Co. KG	Urbach	Karl Dungs, Peter Meijer
↑ KEYOU GmbH	Unterschleißheim	Thomas Ebert
Kingsbury GmbH	Göttingen	Dr. Morched Medhioub
Kistler Erkelenz GmbH	Erkelenz	Dr. Frank Wytrykus
Kistler Instrumente AG	Winterthur (CH)	Dr. Dieter Karst, Jürg Stadler
KIT Campus Transfer GmbH	Karlsruhe	Dr. Olaf Toedter
↑ Kolben Seeger GmbH & Co. KG	Steinbach	Dr. Dirk Bergmann
Kompressorenbau Bannewitz GmbH	Bannewitz	Dr. Ingolf Lehmann
KRATZER AUTOMATION AG	Unterschleißheim	Detlef Naundorf
KST Motorenversuch GmbH & Co. KG	Bad Dürkheim	Anton Feil
L LaVision GmbH	Göttingen	Dr. Joachim Deppe, Dr. Heinrich Voges
LEC GmbH	Graz (AT)	Dr. Gerhard Pirker, Prof. Dr. Andreas Wimmer
Liebherr Machines Bulle SA	Bulle (CH)	Dr. Bouzid Seba
LOGE Deutschland GmbH	Cottbus	Vivien Günther
Lubrisense GmbH	Hamburg	Dr. Sven Krause
M M. JÜRGENSEN GmbH & Co KG	Sörup	Dr. Tobias C. Wesnikg
MAHLE Behr GmbH & Co. KG	Stuttgart	Dr. Eberhard Pantow
MAHLE International GmbH	Stuttgart	Rudolf Freier
Main-Metall Tribologie GmbH	Altenglan	Wladimir Buchbinder, Erik Gutwein
MAN Energy Solutions SE	Augsburg	Dr. Alexander Knafel, Dr. Thomas Polklas

MITGLIEDSFIRMA	STANDORT (HAUPTSITZ)	VERTRETER (WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT)
MAN Truck & Bus SE	München	Norbert Schatz
MANN+HUMMEL GmbH	Ludwigsburg	Markus Kolczyk
Maschinenfabrik Guido GmbH	Neutraubling	Hans-Jürgen Guido
MET GmbH	Rostock	Prof. Dr. Siegfried Bludszuweit
Metal Improvement Company LLC	Unna	Oliver Schuchardt
MIBA Gleitlager Austria GmbH	Laakirchen (AT)	Dr. Rainer Aufischer
Miba Industrial Bearings Germany GmbH	Göttingen	Stephan Faulhaber
Modine Europe GmbH	Filderstadt	Dr. Martin Wierse
MOT Forschungs- und Entwicklungsgesellschaft für Motorentchnik, Optik und Thermodynamik mbH	Karlsruhe	Ralf Kloiber
Motorenfabrik Hatz GmbH & Co. KG	Ruhstorf	Dr. Simon Thierfelder
MTU Aero Engines AG	München	Dr. Gerhard Ebenhoch, Dr. Martin Metscher
MULTITORCH GmbH	Sinsheim	Dr. Christiane Kuhnert
N NEMAK Europe GmbH	Frankfurt am Main	Dirk Ragus
↑ nexiss GmbH	Darmstadt	Dr. Markus Kaiser
NGK Europe GmbH	Kronberg	Claus-Dieter Vogt
Nissan Motor Co., Ltd.	Kanagawa (JP)	Dr. Toru Noda
NOVA WERKE AG	Effretikon (CH)	Kurt Brüngger
NUMECA – Ingenieurbüro Dr.-Ing. Th. Hildebrandt	Altdorf	Dr. Thomas Hildebrandt
O ↑ OMEGA RENK BEARINGS PVT. LTD.	Bhopal (IN)	Manbendra Bhakta
Opel Automobile GmbH	Rüsselsheim am Main	Achim Königstein
P Pankl Turbosystems GmbH	Mannheim	Rodrigo Costa
Piller Blowers und Compressors GmbH	Moringen	Daniel Muth
Prins Autogassystemen B.V.	Eindhoven (NL)	Bart Van Aerle
R regineering GmbH	Pollenfeld	Stefan Innerhofer
Rheinmetall Automotive AG	Neuss	Heinrich Dismon
Ricardo Deutschland GmbH	Schwäbisch Gmünd	Dr. Simon P. Edwards
Robert Bosch GmbH	Stuttgart	Dr. Andreas Kufferath
Rolls-Royce Deutschland Ltd. & Co. KG	Oberursel	Dr. Dirk Hilberg
Rolls-Royce Solutions GmbH	Friedrichshafen	Dr. Johannes Kech, Dr. Jürgen Salm
RTA GmbH	St. Aegyd (AT)	Frank Haas
S Scania CV AB	Södertälje (SE)	Christian Vogelgsang

↑ eingetreten ↓ ausgetreten

MITGLIEDSFIRMA	STANDORT (HAUPTSITZ)	VERTRETER (WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT)
Schaeffler AG	Herzogenaurach	Dr. Martin Scheidt
Schaeffler Engineering GmbH	Werdohl	Lars Pfützenreuter
SEG Automotive Germany GmbH	Stuttgart	Dr. Dieter Eppinger
Shell Global Solutions (Deutschland) GmbH	Hamburg	Dr. Ingo Mikulic
Siemens AG	Duisburg	Olaf Bernstrauch
Siemens Industry Software GmbH	Köln	Dr. Helge Tielbörger
Steinbeis Transferzentrum Bauteilfestigkeit und -sicherheit, Werkstoff- und Fügetechnik (BWF)	Esslingen	Dr. Stephan Issler
Subaru Corporation	Tokio (JP)	Daisuke Yamada
T TEC4FUELS GmbH	Herzogenrath	Dr. Klaus Lucka
Tenneco GmbH	Edenkoben	Frank Terres
TheSys GmbH	Kirchentellinsfurt	Peter Ambros
TOTAL Deutschland GmbH	Berlin	Peter Scholl
Toyota Motor Corporation	Aichi (JP)	Ashish Kamat, Paul Decker-Brentano
↓ TTI Turbo Technik Innovation GmbH	Remscheid	
Turbo Science GmbH	Darmstadt	Dr. Sebastian Leichtfuß
U Umicore AG & Co. KG	Hanau	Dr. Jürgen Gieshoff
V VEMAC GmbH & Co. KG	Aachen	Axel Koblenz
Vitesco Technologies Emitec GmbH	Lohmar	Rolf Brück
Vitesco Technologies GmbH	Regensburg	Stephan Rebhan, Gerd Rösel
Volkswagen AG	Wolfsburg	Dr. Tobias Lösche-ter Horst
Volvo Car Corporation	Göteborg (SE)	Dr. Frederik Ekström, Dr. Tomas Johannesson
VOLVO Powertrain AB	Göteborg (SE)	Ulla Särnbratt
W Winterthur Gas & Diesel Ltd.	Winterthur (CH)	Dr. Wolfgang Östreicher
Woodward L'Orange GmbH	Stuttgart	Dr. Andreas Lingens
WTZ Motorenteknik GmbH	Dessau-Roßlau	Dr. Christian Reiser
Z ZF Friedrichshafen AG	Schweinfurt	Arne Temp

Gremien

VORSTAND UND GESCHÄFTSFÜHRUNG

VORSTAND (2020 – 2021)

VERTRETER	MITGLIEDSFIRMA	STANDORT (HAUPTSITZ)
Prof. Dr. Peter Gutzmer, <i>Vorsitzender</i>	Schaeffler Technologies AG & Co. KG	Herzogenaurach
Christopher Steinwachs, <i>stellvertretender Vorsitzender</i>	Siemens AG	Duisburg
Prof. Dr. Burkhard Göschel, <i>Ehrenvorsitzender</i>		
Dr. Tobias Lösche-ter Horst, <i>Vorsitzender des Wissenschaftlichen Beirats</i>	Volkswagen AG	Wolfsburg
Dr. Elmar Böckenhoff	Daimler Truck AG	Stuttgart
Karl Dums	Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG	Weissach
Carsten Helbing	Volkswagen AG	Wolfsburg
Dr. Jörg Henne	MTU Aero Engines AG	München
Dr. Thomas Johnen	Opel Automobile GmbH	Rüsselsheim
Dr. Evangelos Karvounis	Ford-Werke GmbH	Köln
Matthias Kratzsch	IAV GmbH	Berlin
Dr. Michael Ladwig	GE Power AG	Mannheim
Dr. Rudolf Maier	Robert Bosch GmbH	Stuttgart
Dr. Markus Schwadertapp	DEUTZ AG	Köln
Prof. Dr. Christian Schwarz	Bayerische Motorenwerke AG	München
Prof. Dr. Gunnar Stiesch	MAN Energy Solutions SE	Augsburg
Dr. Martin Teigeler	Rolls-Royce Power Systems AG	Friedrichshafen
Dr. Simon Thierfelder	Motorenfabrik Hatz GmbH & Co. KG	Ruhstorf
Dr. Peter Wehle	Rolls-Royce Deutschland Ltd. & Co. KG	Oberursel

GESCHÄFTSFÜHRUNG

Dietmar Goericke, *Geschäftsführer*

Martin Nitsche, *stellvertretender Geschäftsführer*

Matthias Zelinger, *stellvertretender Geschäftsführer*

WISSENSCHAFT UND FORSCHUNG

WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT

VERTRETER	MITGLIEDSFIRMA	STANDORT (HAUPTSITZ)
Dr. Tobias Lösche-ter Horst, <i>Vorsitzender</i>	Volkswagen AG	Wolfsburg
Dr. Dirk Hilberg, <i>stellvertretender Vorsitzender</i>	Rolls-Royce Deutschland Ltd. & Co. KG	Oberursel

Die Mitgliederliste des Wissenschaftlichen Beirats finden Sie unter Mitglieder (Seiten 68 bis 73).

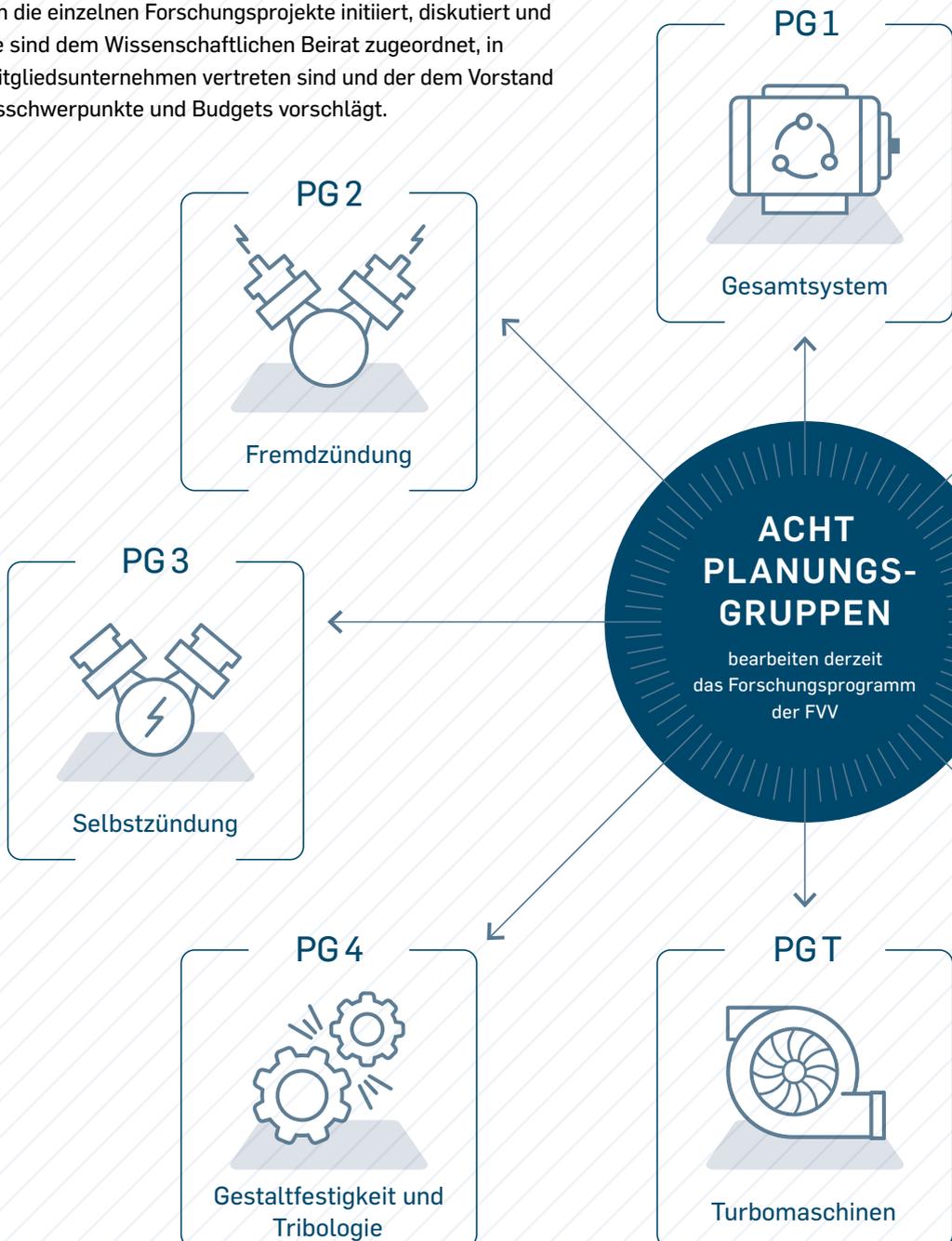
Ausschuss Forschung

Prof. Dr. Christoph Brands	Schaeffler Technologies AG & Co. KG	Herzogenaurach
Paul Decker-Brentano	TOYOTA GAZOO Racing Europe GmbH	Köln
Dr. Bodo Durst (bis 30.04.2020)	Bayerische Motorenwerke AG	München
Dr. Dieter Eppinger	SEG Automotive Germany GmbH	Schwieberdingen
Dr. Volker Formanski	Bayerische Motorenwerke AG	München
Prof. Dr. Uwe Gärtner	Daimler Truck AG	Stuttgart
Dr. Ulrich Kramer	Ford-Werke GmbH	Köln
Markus Kolczyk	MANN+HUMMEL GmbH	Ludwigsburg
Achim Königstein	Opel Automobile GmbH	Rüsselsheim
Dr. André Casal Kulzer	Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG	Weissach
Dr. Andreas Kufferath	Robert Bosch GmbH	Stuttgart
Dr. Ekkehard Pott	Volkswagen AG	Wolfsburg
Dr. Peter Riegger	Rolls-Royce Solutions GmbH	Friedrichshafen
Marc Sens	IAV GmbH	Berlin
Dr. Christian Weiskirch	TRATON SE	München

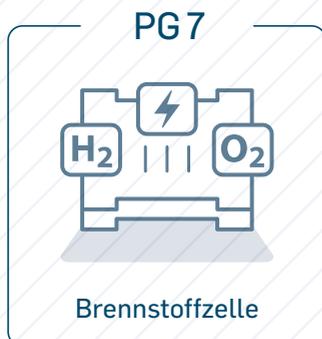
Koordination und Wissenstransfer

PLANUNGSGRUPPEN (PG)

Die Planungsgruppen sind der Maschinenraum der FVV:
Hier werden die einzelnen Forschungsprojekte initiiert, diskutiert und betreut. Sie sind dem Wissenschaftlichen Beirat zugeordnet, in dem alle Mitgliedsunternehmen vertreten sind und der dem Vorstand Forschungsschwerpunkte und Budgets vorschlägt.



THEMIS-DATENBANK



THEMIS ist die Kommunikations- und Wissensplattform für Industrielle Gemeinschaftsforschung (IGF) im Maschinenbau. Hier findet sich das gesammelte Forschungswissen von fünf Forschungsvereinigungen: Maschinen- und Anlagenbau/Industrie 4.0 (FKM), Antriebstechnik (FVA), Bau- und Baustoffmaschinen (FVB), Luft- und Trocknungstechnik (FLT) und Verbrennungskraftmaschinen (FVV).

THEMIS ermöglicht unter den mehr als 15.000 Usern, davon sind über 6.000 Personen Mitglieder des FVV-Forschungsnetzwerks, einen gleichberechtigten Wissensaustausch. Über die Plattform können Mitglieder gemeinsam Ideen für neue Forschungsprojekte erarbeiten, sich online an Projekt- und Gremienarbeit beteiligen, Termine und Kontakte organisieren, Dokumente verwalten, Wissen abrufen und sich mit Forschungspartnern vernetzen.

Mitglieder des FVV-Forschungsnetzwerks finden dort alle relevanten Informationen zum aktuellen Forschungsprogramm, den Planungsgruppen und Projekten sowie aktuelle Nachrichten.



Gesamtsystem

PLANUNGSGRUPPE 1

LEITUNG

Dr. Peter Riegger,
Rolls-Royce Solutions

PROJEKTMANAGEMENT

Ralf Thee, FVV

MOTOREN UND TURBOMASCHINEN

GESAMTSYSTEM



WIRKUNGSGRAD
UND EFFIZIENZ



KOMPONENTEN



HYBRIDE



BIO-
KRAFTSTOFFE



SYNTHETISCHE
KRAFTSTOFFE



ENTWICKLUNGS-
WERKZEUGE

FORSCHUNGSSCHWERPUNKTE

Die Planungsgruppe 1 ›Gesamtsystem‹ widmet sich den Themen:
zukünftige Motorkonzepte, Hybridisierung | alternative Kraftstoffe | Digitalisierung
im Antriebsstrang | Lebenszyklusanalysen

Und bearbeitet die Forschungslinien/-schwerpunkte:
Systembetrachtung neuer Technologien, alternativer Antriebe und Kraftstoffe |
Verlustenergie rückgewinnung | (Tiefst-)Temperaturmanagement | Steuerung, Regelung,
Sensorik | Aufladung | Groß- und Offroadmotoren

PUBLIKATIONEN

- **ATZ heavyduty 01/2020:** Technische und ökobilanzielle Analyse von Langstrecken-Lastkraftwagen für das Jahr 2050
- **MTZ 02/2020:** Erweiterung des Kennfelds eines ATL-Verdichters durch aktive Querschnittsvariation
- **MTZ 07-08/2019:** Thermochemische Wärmespeicherung zur Verbrauchssenkung von Verbrennungsmotoren
- **MTZ 05/2019:** Energiepfade für den Straßenverkehr der Zukunft
- **FVV-Tagungsbände:** R587 | Frühjahrstagung 2019, R590 | Herbsttagung 2019 und R593 | Frühjahrstagung 2020

PG1 DATENBANK



THEMIS

PG 1 | FORSCHUNGSPROJEKTE



NR. THEMA // FÖRDERGEBER // LAUFZEIT

PROJEKTLEITUNG

Geplante Projekte

M0320	Gasmotorenperformance II	Dr. Udo Schlemmer-Kelling, FEV Europe
M0619	Zero-Impact Fahrzeug-Emissionen (Konzeptionelle Studie)	Prof. Dr. Kurt Kirsten, APL
M0920	CO ₂ -neutrale Langstrecken-NFZ-Antriebe 2050 II	Herbert Schneider, ISUZU MOTORS
M1320	NRMM, MD & HD Dieselmotoren, Verhalten im Feld, Emissionsmessungen	Dr. Dirk Bergmann, Kolben Seeger
M1818	Adaptive semi-physikalische Verbrennungsregelung	Stefan Lindner, Opel

Laufende Projekte

1305	Abgasnachbehandlung vor Abgasturbine // FVV-EM // 01-05-2018 bis 31-12-2020	Dr. Frank Bunar, IAV
1312	48V-MildHybrid mit teilhomogener Dieselerbrennung // BMWi/AiF // 01-01-2018 bis 30-09-2020	Dr. Achim Lechmann, IAV
1316	Abgaszusammensetzung bei niedrigen Temperaturen // FVV-EM // 01-07-2018 bis 31-10-2020	Dr. Michael Becker, Pierburg
1321	Arbeitsspiel aufgelöster Turbinenwirkungsgrad in Stoß- und Stauaufladung // FVV-EM, DFG // 01-10-2018 bis 31-03-2022	Dr. Mathias Vogt, IAV
1327	Schmierölkonzept Großmotor // FVV-EM // 01-09-2018 bis 31-10-2020	Dr. Tobias C. Wesnigk, M. JÜRGENSEN
1339	Kalibrierung und Validierung selbstlernender Systemregelungen // FVV-EM // 01-03-2019 bis 28-02-2022	Prof. Dr. Peter Prenninger, AVL List
1342	Sensorkonzept für E-Kraftstoffe // FVV-EM // 01-02-2019 bis 28-02-2021	Dr. Bernd Becker, IAV
1355	Antriebsstrang 2040 // FVV-EM // 01-04-2019 bis 30-09-2021	Dr. Thorsten Schnorbus, FEV Europe
1363	Methodik Hybriderprobung // BMWi/AiF, FVV-EM // 01-07-2019 bis 30-06-2021	Dr. Marcus Gohl, APL
1382	Schmierölkonzept Großmotor II // FVV-EM // 01-05-2020 bis 30-04-2022	Dr. Tobias C. Wesnigk, M. JÜRGENSEN
1384	H ₂ im Gasnetz // FVV-EM // 01-01-2020 bis 31-12-2021	Dr. Dietrich Gerstein, DVGW
1385	ATL für Magerkonzepte // FVV-EM // 01-04-2020 bis 31-10-2021	Marc Sens, IAV
1394	Vorentflammungsmodell Gasmotoren // CORNET, FVV-EM // 01-04-2020 bis 31-03-2022	Dr. Markus Wenig, Winterthur Gas & Diesel
1410	SocioMotion // FVV-EM // 01-11-2020 bis 31-10-2021	Prof. Dr. Thomas Garbe, Volkswagen

↓ Fortsetzung auf der nächsten Seite



NR. **THEMA // FÖRDERGEBER // LAUFZEIT**

PROJEKTLEITUNG

Abgeschlossene Projekte

1204	Kraftstoffsensoren zur Erkennung des Kraftstoffzustandes // FVV-EM // 15-10-2015 bis 31-07-2019	Prof. Dr. Thomas Garbe , Volkswagen
1253	Kraftstoffe für PHEV Fahrzeuge // FVV-EM // 01-01-2017 bis 30-09-2019	Prof. Dr. Thomas Garbe , Volkswagen
1254	Gasmotorenperformance // FVV-EM // 01-12-2016 bis 30-11-2019	Dr. Udo Schlemmer-Kelling , FEV Europe
1264	Untersuchung zweiflutiger Turbinen // BMWi/AiF // 01-03-2017 bis 31-08-2019	Dr. Helmut Kindl , Ford
1265	Regelung Hochlast-Abgasrückführung // BMWi/AiF // 01-03-2017 bis 31-08-2019	Dr. Thorben Walder , Porsche
1266	Präzises Temperaturmanagement // BMWi/AiF // 01-03-2017 bis 31-08-2019	Yann Drouvin , TOYOTA GAZOO Racing Europe
1303	CO ₂ -neutrale Langstrecken-NFZ-Antriebe // FVV-EM // 01-01-2018 bis 28-02-2019	Matthias Erath , Rolls-Royce Solutions
1314	ATL-Modellbedatung // BMWi/AiF // 01-01-2018 bis 30-06-2020	Dr. Panagiotis Grigoriadis , IAV

Fremdzündung

PLANUNGSGRUPPE 2

LEITUNG

Dr. Bodo Durst,
BMW GROUP (bis 30.04.2020)

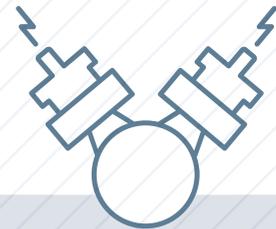
PROJEKTMANAGEMENT

Ralf Thee, FVV

MOTOREN



FREMDZÜNDUNG



WIRKUNGSGRAD
UND EFFIZIENZ



EMISSIONEN



BIO-
KRAFTSTOFFE



SYNTHETISCHE
KRAFTSTOFFE



ENTWICKLUNGS-
WERKZEUGE



HYBRIDE

FORSCHUNGSSCHWERPUNKTE

Die Planungsgruppe 2 ›Fremdzündung‹ widmet sich den Themen:
Wirkungsgrad und Effizienz des Motors | Hybridisierung | alternative Kraftstoffe |
künstliche Intelligenz in der Entwicklung, Big Data & Digitalisierung

Und bearbeitet die Forschungslinien/-schwerpunkte:
Verbrennungsmodellierung/-simulation | Brennverfahren und Kraftstoffaufbereitung |
Wassereinspritzung | Wandwärmeübertragung | Klopfen und Vorentflammung |
Partikelbildung im Brennraum | Downsizing-Konzepte

PUBLIKATIONEN

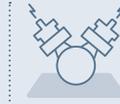
- **MTZ 06/2019:** Entwicklung von Brennverfahren für Gasmotoren mit extremen Mitteldrücken über 30 bar
- **MTZ 04/2019:** Untersuchung der Gemischbildung von Ottomotoren mit kleinem Bohrungsdurchmesser
- **MTZ 02/2019:** Skalenauflösende Simulationen für die Brennverfahrensentwicklung
- **FVV-Tagungsbände:** R587 | Frühjahrstagung 2019, R590 | Herbsttagung 2019 und R593 | Frühjahrstagung 2020

PG2
DATENBANK



THEMIS

PG 2 | FORSCHUNGSPROJEKTE



NR. THEMA // FÖRDERGEBER // LAUFZEIT

PROJEKTLEITUNG

Geplante Projekte

M0120	Öleintrag in Verbrennung II	Dr. Eike Stitterich, Hengst
M0220	DI-Wasserstoff-Brennverfahren	Michael Günther, IAV
M0820	Hocheffizienter H ₂ -Ottomotor mit Direkteinblasung	Dr. David Lejsek, Robert Bosch
M1319	Oxyfuel Brennverfahren für Gasmotoren	Marc Sens, IAV
M1520	SACI-Verbrennungssystem mit aktiver Vorkammer	Dr. André Casal Kulzer, Porsche
M1719	Turbulenzmodellierung III	Dr. David Lejsek, Robert Bosch
M1916	Ganzheitliche Simulation	Dr. Dirk Linse, BMW
M2718	Heuristische Suche und Deep Learning in der 1D-Simulation	Dr. Aras Mirfendreski, TOYOTA GAZOO Racing Europe
M2719	Alternatives Zündkonzept für ein Hochdruck-Gasbrennverfahren	Dr. Michael Willmann, Woodward L'Orange
M3218	Kraftstoffkennzahlen Biofuels III	Dr. Ulrich Kramer, Ford

Laufende Projekte

1260	Thermodynamik Feuerstegvolumen // BMWi/AiF, FVV-EM // 01-01-2017 bis 31-12-2020	Oliver Dingel, IAV
1281	Pkw-CNG-Zündstrahl // BMWi/AiF // 01-08-2017 bis 31-07-2020	Dr. Martin Schenk, BMW
1307	ICE 2025+: Ultimate System Efficiency // FVV-EM // 01-03-2018 bis 31-10-2020	Arndt Döhler, Opel Dr. André Casal Kulzer, Porsche
1311	Abgaspulsation und Turboladerinteraktion // BMWi/AiF // 01-01-2018 bis 31-12-2020	Marc Sens, IAV
1313	Basismodell Klopfen und Einflussgrößen // BMWi/AiF // 01-01-2018 bis 30-11-2020	Dr. André Casal Kulzer, Porsche
1328	Initiale Vorentflammung // CORNET, FVV-EM // 01-05-2018 bis 31-12-2020	Albert Breuer, Ford
1336	Nachoxidation // CORNET, FVV-EM, BMWi/AiF // 01-10-2018 bis 30-09-2020	Christine Burkhardt, EnginOS Yoshihiro Imaoka, Nissan
1343	Spraymodell für direkteinstritzende Ottomotoren // FVV-EM // 01-01-2019 bis 31-12-2021	Yoshihiro Yasukawa, Hitachi
1348	Kraftstoffzusammensetzung zur CO ₂ -Reduktion // FVV-EM // 01-03-2019 bis 28-02-2022	Dr. Yoshihiro Okada, Toyota Terutoshi Tomoda, Toyota
1349	Beeinflussung Wandwärme Ottomotor // BMWi/AiF, FVV-EM // 01-01-2019 bis 30-09-2021	Dr. Thorsten Unger, Porsche



NR.	THEMA // FÖRDERGEBER // LAUFZEIT	PROJEKTLEITUNG
1357	Gemischhomogenisierung Otto II // BMWi/AiF // 01-07-2019 bis 31-03-2022	Marc Sens, IAV
1367	Wassereinspritzung bei Ottomotoren II // FVV-EM // 01-10-2019 bis 31-03-2022	Dr. André Casal Kulzer, Porsche
1370	Schnelle Vorhersage von klopfenden Verbrennungen in Ottomotoren // FVV-EM // 01-10-2019 bis 30-09-2021	Dr. Michael Fischer, Tenneco
1374	Kraftstoffeinfluss auf Partikeleigenschaften // BMWi/AiF // 01-09-2019 bis 31-08-2021	Dr. Wolfgang Samenfink, Robert Bosch
1387	Benchmark Plattform für skalenauflösende Simulationen // BMWi/AiF // 01-01-2020 bis 30-06-2022	Kathrin Giefer, Ford
1395	Experimente und LES Wandwärmemodelle im Ottomotor // CORNET, FVV-EM // 01-01-2020 bis 31-03-2021	Gabriel Dilmac, Porsche

Abgeschlossene Projekte

1202	CNG-DI-Motor im $\lambda=1$ -Betrieb mit Hochlast-AGR // FVV-EM // 01-10-2015 bis 31-10-2019	Dr. Helmut Ruhland, Ford
1213	Methan-Kraftstoffe II: Verbrennungsmodellierung // FVV-EM // 01-04-2016 bis 31-12-2019	Dr. Martin Schenk, BMW Dr. Frank Altenschmidt, Daimler Truck
1222	Motorische Verdampfung von Biokraftstoffen // BMWi/AiF // 01-02-2016 bis 31-01-2019	Jerome Munier, Porsche
1233	Turbulenzmodellierung II // BMWi/AiF // 01-07-2016 bis 31-07-2019	Dr. David Lejsek, Robert Bosch
1256	Wassereinspritzung bei Ottomotoren // FVV-EM // 01-04-2017 bis 30-11-2019	Dr. André Casal Kulzer, Porsche
1257	Gemischhomogenisierung Otto // BMWi/AiF // 01-01-2017 bis 31-10-2019	Oliver Dingel, IAV
1263	Tropfen nahe Umgebung // BMWi/AiF // 01-02-2017 bis 31-10-2019	Jerome Munier, Porsche
1282	Partikelbildung bei DI-Ottomotoren // FVV-EM, BMWi/AiF // 01-08-2017 bis 30-11-2019	Prof. Dr. Peter Prenninger, AVL List
1283	Öl-Eintrag in Verbrennung // BMWi/AiF, FVV-EM // 01-08-2017 bis 31-01-2020	Dr. Eike Stitterich, Hengst
1286	Wandwärmeübertragungsprozesse im Ottomotor // FVV-EM, CORNET // 01-09-2017 bis 31-08-2019	Gabriel Dilmac, Porsche
1317	Strahldiagnostik an ottomotorischen E-Fuels // FVV-EM // 01-08-2018 bis 31-03-2020	Dr. Eberhard Kull, Vitesco

Selbstzündung

PLANUNGSGRUPPE 3

LEITUNG

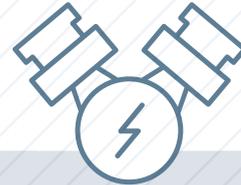
Dr. Christian Weiskirch,
TRATON GROUP

PROJEKTMANAGEMENT

Ralf Thee, FVV

MOTOREN

SELBSTZÜNDUNG



WIRKUNGSGRAD
UND EFFIZIENZ



EMISSIONEN



BIO-
KRAFTSTOFFE



SYNTHETISCHE
KRAFTSTOFFE



ENTWICKLUNGS-
WERKZEUGE



DIGITALISIERUNG
UND KI

FORSCHUNGSSCHWERPUNKTE

Die Planungsgruppe 3 ›Selbstzündung‹ widmet sich den Themen:
Wirkungsgrad und Effizienz des Motors | alternative Kraftstoffe, Wasserstoffverbrennung |
künstliche Intelligenz in der Entwicklung, Big Data & Digitalisierung

Und bearbeitet die Forschungslinien/-schwerpunkte:
Verbrennungsmodellierung/-simulation | neue/duale Brennverfahren, Gas-/Zweistoff-
motoren | Kraftstoffverteilung, -aufbereitung, Hochdruckeinspritzung/Strahlagnostik |
variable Ventiltriebssteuerung, Luftpfad | Beschichtungen, additive Fertigung

PUBLIKATIONEN

- **FVV PrimeMovers. Technologies. 06/2020:** Wettlauf gegen die Zeit: DME als alternativer Kraftstoff für Selbstzünder
- **MTZ 05/2020:** Zukunftsorientierte Forschung an Motoren mit Selbstzündung
- **MTZ 03/2020:** Sauerstoffhaltige Kraftstoffe im selbstzündenden Verbrennungsmotor
- **MTZ 07-08/2019:** Brennverlaufmodell Dieselvebrennung auf homogenem Grundgemisch
- **FVV-Tagungsbände:** R587 | Frühjahrstagung 2019, R590 | Herbsttagung 2019 und R593 | Frühjahrstagung 2020

PG3
DATENBANK



THEMIS

PG 3 | FORSCHUNGSPROJEKTE



NR. THEMA // FÖRDERGEBER // LAUFZEIT

PROJEKTLEITUNG

Geplante Projekte

M1020	Wasserstoffverbrennung & Vergleich SI/CI Konzepte	Dr. Reza Rezaei, IAV
M1620	KI Routenoptimierung	Dr. Markus Wenig, Winterthur Gas & Diesel
M1919	Wirkkette Diesel	Dr. Wolfgang Bauer, MAN Truck & Bus
M2219	KI-Integration im Rahmen der Entwicklungs-Toolkette	Amodio Palma, Winterthur Gas & Diesel
M2619	Stöchiometrische Brennverfahren beim Selbstzündler	Dr. Werner Willems, Ford
M2818	DME Kraftstoffeigenschaften	Dr. Werner Willems, Ford
M3319	CO ₂ -Reduktion durch Brenndauerverkürzung	Dr. Patrick Gastaldi, Aramco

Laufende Projekte

1275	VVT für Diesel NSK Regeneration // BMWi/AiF // 01-04-2017 bis 31-07-2020	Christine Burkhardt, EnginOS
1280	Propellerbetrieb mit Viertakt-Zweistoff-Motoren II // FVV-EM // 01-09-2017 bis 28-02-2021	Dr. Philipp Henschen, MAN Energy Solutions
1284	RCCI beim HD-Motor // CORNET, FVV-EM, BMWi/AiF, FVV-EM // 01-08-2017 bis 30-06-2020	Dr. Ingo Mikulic, Shell
1310	HC/CO-Modell // BMWi/AiF // 01-01-2018 bis 31-07-2020	Dr. Markus Wenig, Winterthur Gas & Diesel
1320	Strahlendiagnostik zukünftiger Dieselmotoren // FVV-EM // 01-02-2019 bis 31-07-2020	Dr. Uwe Leuteritz, Liebherr-Components
1318	Optimierung Diesel-Verbrennungssystem für hohe Effizienz // FVV-EM // 01-07-2018 bis 31-12-2021	Dr. Patrick Gastaldi, Aramco
1338	Wassereinspritzung am Dieselmotor // BMWi/AiF // 01-11-2018 bis 31-10-2020	Peter Bloch, Robert Bosch
1346	Potenziale von Luftpfadvariabilitäten am Nfz-Gas-Motor // FVV-EM // 01-01-2019 bis 31-12-2021	Dirk Weberskirch, MAN Truck & Bus
1352	Partiell vorgemischte Dieselmotoren // CORNET, FVV-EM, BMWi/AiF // 01-01-2019 bis 31-12-2020	Dr. Simon Schneider, Mahle International
1368	Innovative HD Brennverfahrensauslegung // FVV-EM // 01-07-2019 bis 28-02-2022	Dr. Reza Rezaei, IAV
1403	eSpray // CORNET // 01-06-2020 bis 31-05-2022	Dr. Uwe Leuteritz, Liebherr-Components

↓ Fortsetzung auf der nächsten Seite



NR.	THEMA // FÖRDERGEBER // LAUFZEIT	PROJEKTLEITUNG
1405	Selbstgezündeter Wasserstoffmotor im geschlossenen Arbeitsgas-Kreislauf // FVV-EM // 01-09-2020 bis 31-10-2021	Dr. Markus Wenig, Winterthur Gas & Diesel
1408	Rohemissionsabsenkung nach Kaltstart // FVV-EM // 01-09-2020 bis 28-02-2023	Dr. Maximilian Brauer, IAV

Abgeschlossene Projekte

1005	XME-Diesel // Verbund // 01-06-2015 bis 31-03-2019	Dr. Werner Willems, Ford
1235	Emissionsmodellierung der dieselmotorischen Verbrennung mit variabler Ventilsteuerung // FVV-EM // 01-08-2016 bis 29-02-2020	Matthias Diezemann, IAV
1236	Gas-Diesel-Brennverfahren // FVV-EM // 01-10-2016 bis 30-09-2019	Dr. Michael Willmann, Woodward L'Orange
1287	Brennraumisolierung Diesel // FVV-EM, CORNET // 01-09-2017 bis 29-02-2020	Dr. Maximilian Brauer, IAV

Gestaltfestigkeit und Tribologie

PLANUNGSGRUPPE 4

LEITUNG

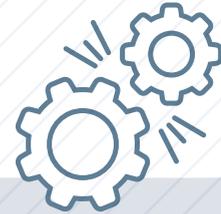
Dr. Dieter Eppinger,
SEG Automotive

PROJEKTMANAGEMENT

Max Decker, FVV

MOTOREN

GESTALT FESTIGKEIT UND TRIBOLOGIE



FORSCHUNGSSCHWERPUNKTE

Die Planungsgruppe 4 ›Gestaltfestigkeit und Tribologie‹ widmet sich den Themen:
Material- und Werkstoffforschung | künstliche Intelligenz bei Berechnungsmodellen |
Digitalisierung in der Datenbeschaffung und -verarbeitung | Wasserstoffkontakt
und dessen Auswirkungen

Und bearbeitet die Forschungslinien/-schwerpunkte:
neue Werkstoffe und Kühlmittel | Tribologie und Beschichtungen | Schädigungsverhalten
verschiedener Beanspruchungen | Lebensdauerberechnungen | Festigkeitsberechnungen

PUBLIKATIONEN

- **MTZ 01/2020**: Einfluss neuer Ottokraftstoffe auf die Alterung von Schmierstoffen
- **MTZ 11/2019**: Einfluss biogener Kraftstoffe auf das Ermüdungsverhalten von Stählen
- **FVV-Tagungsbände**: R587 | Frühjahrstagung 2019,
R590 | Herbsttagung 2019 und R593 | Frühjahrstagung 2020

PG4
DATENBANK



THEMIS

PG 4 | FORSCHUNGSPROJEKTE



NR. THEMA // FÖRDERGEBER // LAUFZEIT

PROJEKTLEITUNG

Geplante Projekte

M0119	Gasförmige H ₂ Inhibitoren	Patrick Fayek, Robert Bosch Angelika Schubert, Robert Bosch
M0319	Lebensdauermodell Wicklungsisolations	Zeljana Beslic, SEG Automotive
M0419	Korrosionsbelastungen durch neue Antriebskonzepte	Regina Franke-Hörth, SEG Automotive
M0420	Grundmotorkomponenten für H ₂ -ICEs	Dr. Daniel Hrdina, MAHLE International
M0519	TMF Al-additiv	Jan Becker, Porsche Dr. Florian Rödl, Porsche
M0520	Maschinelles Lernen – ML μ s	Dr. Michael Berg, IAV Dr. Reiner Böschen, Rolls-Royce Solutions
M0618	Ölkreislauf und Tribosysteme von Hybridmotoren mit Wassereinspritzung	Dr. Peter Berlet, IAVF
M1220	Additiv gefertigte Hochdruckbauteile	Dr. Wolfgang Scheibe, Heinzmann
M1420	Rheologie neuartiger unkonventioneller Fluide	Klaus Meyer, Robert Bosch
M1819	Verschleißprognose und Verschleißsimulation	Dr. Martina Weise, IAV
M2315	VALOEKO	Dr. Arnim Robota, Federal-Mogul Burscheid

Laufende Projekte

1289	Hochdruckbauteile aus höchstfesten Stählen // BMWi/AiF // 01-11-2017 bis 31-01-2021	Dr. Wolfgang Scheibe, Heinzmann
1309	Methode zur Reibungsmessung während Zündvorgang // FVV-EM // 01-04-2018 bis 30-11-2020	Tai Ono, SUBARU
1323	Strömungserosion // BMWi/AiF // 01-08-2018 bis 31-01-2021	Jens Strassmann, Volkswagen
1350	Festigkeitseinfluss Lötnahtqualität // BMWi/AiF // 01-01-2019 bis 30-06-2021	Prof. Dr. Matthias Türpe, MAHLE Behr
1377	Wellenbohrungen // BMWi/AiF // 01-11-2019 bis 28-02-2022	Stefan Roth, MAN Energy Solutions
1379	Tribomaps für reibwerterhöhende Laserstrukturen // BMWi/AiF // 01-12-2019 bis 31-05-2022	Dr. Anton Stich, AUDI
1393	Festigkeitsnachweis Reibdauerermüdung // BMWi/AiF // 01-01-2020 bis 31-03-2022	Dr. Reiner Böschen, Rolls-Royce Solutions
1396	Kraftstoff-/Öltransportmessung // CORNET // 01-01-2020 bis 31-12-2021	Motoichi Murakami, Toyota Motor Dr. Marcus Gohl, APL
1402	Abgasbeaufschlagte Tribosysteme // BMWi/AiF // 01-06-2020 bis 30-11-2022	Dr. Heiko Haase, Rolls-Royce Solutions



NR. THEMA // FÖRDERGEBER // LAUFZEIT

PROJEKTLEITUNG

1404 Simulation Schädigungsverhalten – Validierungsversuche und Lebensdauerberechnungen // FVV-EM // 01-09-2020 bis 30-04-2021

Jan Becker, Porsche

1409 Maschinelles Lernen – MLμσ (Vorstudie) // FVV-EM // 01-08-2020 bis 31-10-2020

Dr. Michael Berg, IAV

Abgeschlossene Projekte

1224 TMF-Schweißnähte // BMWi/AiF // 01-04-2016 bis 30-06-2019

Frank Schilling, Rolls-Royce Solutions

1237 Reibkorrosion III // BMWi/AiF, FVV-EM // 01-10-2016 bis 30-06-2019

Dr. Reiner Böschen, Rolls-Royce Solutions

1276 Kolbenbolzenlagerung II // BMWi/AiF, FVV-EM // 01-04-2017 bis 30-06-2020

**Dr. Rolf-Gerhard Fiedler,
Mahle International**

1277 Tribologische Fluidmodelle II // BMWi/AiF // 01-04-2017 bis 31-03-2020

Klaus Meyer, Robert Bosch

1285 JFTOT-Diesel II // FVV-EM // 01-09-2017 bis 30-11-2019

**Dr. Alexander von Stockhausen,
Robert Bosch**

Motordynamik und -akustik

PLANUNGSGRUPPE 5

LEITUNG

Prof. Dr. Christoph Brands,
Schaeffler Technologies

PROJEKTMANAGEMENT

Max Decker, FVV

MOTOREN

MOTORDYNAMIK UND -AKUSTIK



WIRKUNGSGRAD
UND EFFIZIENZ



HYBRIDE



MATERIAL UND
WERKSTOFFE



KOMPONENTEN



ENTWICKLUNGS-
WERKZEUGE

FORSCHUNGSSCHWERPUNKTE

Die Planungsgruppe 5 ›Motordynamik und -akustik‹ widmet sich den Themen:
Wirkungsgrad und Effizienz des Motors | dynamisches und akustisches Verhalten neuer
Antriebsvarianten/Betriebsstrategien | Hybridisierung

Und bearbeitet die Forschungslinien/-schwerpunkte:
akustisches Verhalten von Antriebskomponenten | Interferenzen | Schwingungs-
dämpfung | Wahrnehmung akustischer Phänomene bei konventionellen und neuen
Antriebsvarianten

PUBLIKATIONEN

- **MTZ 01/2020:** Dynamische akustische Optimierung von Motorkomponenten, Motoren und Antriebssträngen
- **MTZ 05/2019:** Körperschallfortpflanzung im Kurbeltrieb
- **FVV-Tagungsbände:** R587 | Frühjahrstagung 2019, R590 | Herbsttagung 2019 und R593 | Frühjahrstagung 2020

PG5
DATENBANK



THEMIS

PG 5 | FORSCHUNGSPROJEKTE



NR. THEMA // FÖRDERGEBER // LAUFZEIT

PROJEKTLEITUNG

Geplante Projekte

M0620	Dissonanz (teil)elektrische Antriebe	Rainer Weber, Vitesco
M3719	Berechnung von Transferpfaden mittels neuronalen Netzwerken	Dr. Matthias Wegerhoff, HEAD acoustics
M3819	Außengeräusch von Elektrofahrzeugen	Dr. Stefan Heuer, MAN Truck & Bus
M4019	NVH Wasserstoffantriebe	Dr. Stefan Heuer, MAN Truck & Bus
M4119	E-Motor Exzentrizitätstoleranz für NVH in HEV	Hans Johannesson, Volvo
M4219	Motorlager-NVH-Optimierung im Hybridantrieb	Hans Johannesson, Volvo

Laufende Projekte

1304	Empfindungsgrößen niedertouriges Fahren // FVV-EM // 01-03-2018 bis 30-09-2020	Dr. Harald Stoffels, Ford
1306	Vorhersage Diesel-Rauigkeit mit TPA // FVV-EM // 01-06-2018 bis 31-12-2020	Dr. Bernd Philippen, HEAD acoustics Roland Kühn, Daimler
1340	Innengeräusch Hybrid-Antriebsstränge // FVV-EM // 01-01-2019 bis 31-12-2020	Rainer Weber, Vitesco
1369	Störgeräusche im Fahrzeuginnenraum mit elektrifizierten Antrieben // FVV-EM // 01-09-2019 bis 31-08-2021	Dr. Stefan Heuer, MAN Truck & Bus

Abgeschlossene Projekte

1361	Akustische Durchgangsdämpfung von Turboladern II // FVV-EM // 01-07-2019 bis 31-05-2020	Bernd Müller, Porsche
1274	Motorstörgeräusche im Innenraum // FVV-EM, BMWi/AiF // 01-04-2017 bis 31-03-2019	Dr. Stefan Heuer, MAN Truck & Bus

Emission und Immission

PLANUNGSGRUPPE 6

LEITUNG

Prof. Dr. Uwe Gärtner,
Daimler Truck

PROJEKTMANAGEMENT

Max Decker, FVV

MOTOREN

EMISSION UND IMMISSION



WIRKUNGSGRAD
UND EFFIZIENZ



EMISSIONEN



ENTWICKLUNGS-
WERKZEUGE



BIO-
KRAFTSTOFFE



SYNTHETISCHE
KRAFTSTOFFE

FORSCHUNGSSCHWERPUNKTE

Die Planungsgruppe 6 »Emission und Immission« widmet sich den Themen:
Emissionen bei neuen Antriebskonzepten | alternative Kraftstoffe | fluktuierende Betriebsstrategien und deren Auswirkungen | neue Materialien in abgasbeaufschlagten Bauteilen

Und bearbeitet die Forschungslinien/-schwerpunkte:
Abgasreinigung und -minderung, alternative Reduktionsmittel | Modellierungsansätze für Reaktionskinetik am Katalysator | lokale Zustandsbestimmung der Emissionen | hochauflösende Online-Messtechniken | Lebensdauer von Abgasreinigungskomponenten | nicht-limitierte Abgaskomponenten

PUBLIKATIONEN

- **MTZ 04/2020:** Ablagerungsbildung auf Dieseloxidationskatalysatoren
- **FVV-Tagungsbände:** R587 | Frühjahrstagung 2019, R590 | Herbsttagung 2019 und R593 | Frühjahrstagung 2020

PG6
DATENBANK



THEMIS

PG 6 | FORSCHUNGSPROJEKTE



NR. THEMA // FÖRDERGEBER // LAUFZEIT

PROJEKTLEITUNG

Geplante Projekte

M0720	Niedrigstmissionskonzept für H ₂ -DI-Ottomotor	Dr. Wolfgang Samenfink, Robert Bosch
M1019	TWC-Reaktion unter Hochfrequenz-Lambdaschaltung	Toshihiro Mori, Toyota
M1519	Restgasemissionen auf dem Weg zur Zero Impact Verbrennung	Dr. Harald Beck, MAN Truck & Bus
M2019	Abgaskondensat zukünftiger Kraftstoffe – Zusammensetzung und Einfluss auf die Abgasnachbehandlung	Raimund Vedder, Atlanting
M2616	RDE Testszenariogenerierung	Florian Rass, Honda
M2918	Prediktive AGN in RDE-Zyklen	Dr. Bernhard Lüers, FEV
M0219	Zero-Impact-Endrohremission-Antriebsstränge	Dr. Frank Bunar, IAV

Laufende Projekte

1315	Sauerstoffspeicherung // FVV-EM // 01-07-2018 bis 30-09-2020	Jeremias Bickel, Robert Bosch
1319	H ₂ -DeNO _x // FVV-EM // 01-06-2018 bis 31-12-2020	Dr. Frank Bunar, IAV
1324	CFD-Partikelemissionsanalyse des hochtransienten Motorverhaltens // BMWi/AiF // 01-07-2018 bis 31-12-2020	Dr. Paul Jochmann, Robert Bosch
1333	FaconSCR // FVV-EM // 01-11-2018 bis 31-10-2020	Dr. Harald Beck, MAN Truck & Bus Dr. Andreas Roppertz, Emission Partner
1341	Einfluss neuer siliziumhaltiger Kraftstoffe auf Abgasnachbehandlungskomponenten // FVV-EM // 01-03-2019 bis 28-02-2021	Andreas Döring, MAN Energy Solutions
1359	NO ₂ mit Diesel-E-Fuels // BMWi/AiF, FVV-EM // 01-05-2019 bis 31-10-2020	Dr. Bernhard Lüers, FEV
1372	Kaltstart CNG Katalysator // BMWi/AiF // 01-08-2019 bis 31-07-2021	Dr. Michael Fischer, Tenneco
1391	Reinigungsmechanismen im Abgaspfad // BMWi/AiF // 01-01-2020 bis 31-12-2021	Raimund Vedder, Atlanting
1398	TWC Einfluss auf Rußeigenschaften // BMWi/AiF // 01-03-2020 bis 28-02-2022	Dr. Julie Le Louvetel-Poilly, Toyota
1400	AdBlue verursachte Ablagerungen II // FVV-EM, CORNET // 01-04-2020 bis 31-03-2022	Dr. Carolus Grünig, IAV
1292	Ascheverhalten in Wandstromfiltern // BMWi/AiF // 01-12-2017 bis 30-11-2020	Dr. Bernhard Lüers, FEV

↓ Fortsetzung auf der nächsten Seite



NR. **THEMA // FÖRDERGEBER // LAUFZEIT**

PROJEKTLEITUNG

1294 2030+ Anforderungen an die Abgasnachbehandlung – NFZ // FVV-EM
// 01-02-2018 bis 31-07-2020

Dr. Claus Görsmann, Johnson Matthey
Dr. Uwe Zink, BASF

Abgeschlossene Projekte

1268 Ascheverhalten in offenporigen Partikelfiltern // BMWi/AiF
// 01-03-2017 bis 29-02-2020

Dr. Bernhard Lüers, FEV

1262 AdBlue Deposits // FVV-EM, CORNET, BMWi/AiF
// 01-01-2017 bis 30-04-2019

Johannes Scholz, IAV

1271 AGN-Belagbildung // BMWi/AiF // 01-04-2017 bis 31-08-2019

Dr. Bernhard Lüers, FEV

PG 7 | FORSCHUNGSPROJEKTE



NR. THEMA // FÖRDERGEBER // LAUFZEIT

PROJEKTLEITUNG

Geplante Projekte

M1817	Lebensdauer-orientierte PEMFC Regelung	Alexander Schenk, AVL List
M1918	CFD Simulation von Tropfenabscheidern	Dr. Michael Harenbrock, MANN+HUMMEL
M3619	Brennstoffzellen-Kaltstart	Dr. Stefan Kaimer, Ford

Laufende Projekte

1295	Anforderungen an die Kathodenluftqualität für LT-PEM Brennstoffzellen // FVV-EM // 15-01-2018 bis 31-12-2020	Dr. Michael Harenbrock, MANN+HUMMEL
1362	Korrosionsprodukte und Verunreinigungen im Wasserstoffpfad des mobilen Brennstoffzellensystems // FVV-EM // 01-08-2019 bis 31-12-2020	Dr. Christian Lucas, Volkswagen
1406	Energierückgewinnung in Brennstoffzellen Anwendungen // FVV-EM // 01-09-2020 bis 31-08-2022	Dr. Dirk Jenssen, Volkswagen

Abgeschlossene Projekte

1296	Kühlung Brennstoffzelle // FVV-EM // 01-01-2018 bis 30-09-2019	Dr. Markus Kaiser, nexis
1298	Brennstoffzellensystemsimulation – Membranbefeuchtungsmanagement // FVV-EM // 01-01-2018 bis 31-01-2020	Dr. Helge Tielbörger, Siemens Industry Software
1366	Generischer Brennstoffzellenstack // FVV-EM // 01-09-2019 bis 30-06-2020	Dr. Jan Haußmann, Schaeffler Technologies

Turbomaschinen

PLANUNGSGRUPPE T

LEITUNG

Dr. Dirk Hilberg,
Rolls-Royce Deutschland

PROJEKTMANAGEMENT

Dirk Bösel, FVV

TURBOMASCHINEN



FORSCHUNGSSCHWERPUNKTE

Die Planungsgruppe T »Turbomaschinen« widmet sich den Themen:
Wirkungsgrad und Effizienz von Turbinen, Kompressoren und Verdichtern | alternative Kraftstoffe, Wasserstoffverbrennung | innovative Werkstoffe und Beschichtungen

Und bearbeitet die Forschungslinien/-schwerpunkte:
Aerodynamik von Turbomaschinen | Gesamtsystem Turbine, Radial- und Axialverdichter | Schaufelkühlung, Sekundärluftsysteme | Bauteilbeanspruchung, Schädigungs- und Versagensmechanismen | Hochtemperaturwerkstoffe und Beschichtung | additive Fertigung

PUBLIKATIONEN

- **MTZ 09/2019:** Mistuning und Dämpfung radialer Turbinen- und Verdichterlaufräder
- **FVV-Publikation:** R592 | Engineering Guide
- **FVV-Tagungsbände:** R588 | Frühjahrstagung 2019, R591 | Herbsttagung 2019 und R594 | Frühjahrstagung 2020

PGT
DATENBANK



THEMIS

PG T | FORSCHUNGSPROJEKTE



NR. THEMA // FÖRDERGEBER // LAUFZEIT

PROJEKTLEITUNG

Geplante Projekte

836 II	Alternative Lagermetalle II	
M2419	Brennstoffzellen-Verdichterauslegung	Dr. Thomas Hildebrandt, NUMECA
T0118	Flexible HD-Turbinen	Christoph Lyko, Rolls-Royce Deutschland
T0119	Bidirektionale aeromechanische Kopplung II	Dr. Andreas Hartung, MTU Aero Engines
T0120	Multiskalenbasierte HCF-Eigenschaften Ni-Basis	Dr. Andreas Fischersworing-Bunk, MTU Aero Engines
T0218	W14-Konzepte / FKM-Richtlinie	Dr. Shilun Sheng, Siemens
T0219	Thermik und Rotorstabilität bei Folienlagern	Dr. Joachim Schmied, Delta JS
T0220	Sensitivitäten und Probabilistik (KomDyna_SP)	Dr. Andreas Hartung, MTU Aero Engines
T0317	Füllungsgradeinfluss	Dr. Christoph Weißbacher, GTW
T0320	Verringerung des Wärmeübergangs an Gehäuseteilen	Norbert Pieper, Siemens
T0419	Thermo-mechanisch induzierte Spannungsgradienten	Frank Vöse, MTU Aero Engines
T0420	Modellierung Primär-Zerstäubung mit SPH	Dr. Ruud L.G.M. Eggels, Rolls-Royce Deutschland
T0520	Partikeltransport in Verdichtergehäusekanälen	Prof. Dr. Marius Swoboda, Rolls-Royce Deutschland
T0620	Constraint-Effekt beim Komponenten-Design	Dr. Christian Amann, Siemens
T0719	Optimierung mit instationären Strömungslösern	Stephan Behre, MTU Aero Engines
T0720	Quetschöldämpfer II: Optimierte Lagerabstützung	Thomas Klimpel, ABB Turbo Systems
T0818	Ölzuführungsmodell für Axialgleitlager	Michael Bottenschein, Voith Hydro
T0819	Radialverdichter im flexiblen Betrieb	Dr. Matthias Schleer, Howden Turbo
T0820	Inverse Dynamische Analyse	Dr. Andreas Hartung, MTU Aero Engines
T0919	KI-basierte Materialdatenbank-Analyse	Alexander Schult, Rolls-Royce Deutschland
T1119	Thermische ATL-Lagerinteraktion	Uwe Tomm, BorgWarner Turbo Systems
T1219	Dynamik von Drall- und Strahlflammen II	Dr. Bruno Schuermans, GE Power
T1318	Erweiterung Betriebsbereich YSZ	Dr. Arturo Flores Renteria, Siemens
T1419	Querstrahleinmischung in Gasturbinenbrennkammern	Dr. Marco Konle, MTU Aero Engines
T1510	Gleitlager-Schmierstoff-Qualifizierung	Cornelia Recker, Klüber Lubrication
T1519	Berechnungsmodell für Nassverdichtung	Christoph Biela, Siemens
T1603	Qualifizierung bleifreier Mehrschicht-Gleitlager	Marc Witte, Rickmeier
T1618	Intelligente Hybridgleitlager	Sebastian Wolking, SAINT-GOBAIN



NR.	THEMA // FÖRDERGEBER // LAUFZEIT	PROJEKTLEITUNG
T1619	Korrelationsframework für ZfP Daten zu Defekten	Dr. Christian Amann, Siemens
T1621	KI-Anwendung auf Gleitlagersysteme	Klaus Steff, Siemens Dr. Marc ter Beek, Siemens
T1629	Prozessmediengeschmierte Gleitlager	Dr. Christoph Weißbacher, GTW
T1818	Kombinierte Dynamische Analysen (ComDynA): Analytik	Dr. Andreas Hartung, MTU Aero Engines
T1918	Kombinierte Dynamische Analysen (ComDynA): Validierung	Dr. Andreas Hartung, MTU Aero Engines
Laufende Projekte		
1232	Sekundärlufteinfluss // FVV-EM // 01-10-2016 bis 30-06-2021	Stephan Behre, MTU Aero Engines
1252	Versagenshypothesen II // DFG, FVV-EM // 01-12-2016 bis 31-08-2020	Dr. Ümit Mermertas, Siemens
1259	Dickwandige Gehäuse II // AVIF // 01-01-2017 bis 31-12-2020	Dr. Martin Reigl, GE Power
1270	Selbsterregte Verbrennungs-Schwingungen in Mehrbrenner Anordnungen (ROLEX) // FVV-EM // 01-05-2017 bis 30-04-2021	Dr. Michael Huth, Siemens
1272	Strukturdeformation bei Gleitlagern // BMWi/AiF // 01-04-2017 bis 30-09-2020	Michael Bottenschein, Voith Hydro
1273	Radialturbinentemperaturfeld II // BMWi/AiF // 01-04-2017 bis 31-12-2020	Dr. Tom Heuer, BorgWarner
1279	Design und Aufbau des FVV Industrieverdichters // FVV-EM // 01-07-2017 bis 30-09-2020	Dr. Matthias Schleer, Howden Turbo
1288	Lebensdauermethoden, multiaxial und anisotherm (LEBEMAN) // BMWi/AiF // 01-09-2017 bis 31-05-2021	Dr. Hartmut Schlums, Rolls-Royce Deutschland
1291	Quetschöldämpfer – Elemente einer optimierten äußeren Lagerabstützung // BMWi/AiF // 01-09-2017 bis 31-10-2020	Thomas Klimpel, ABB Turbo Systems
1299	Stützwirkung Stahlguss // AVIF // 01-01-2018 bis 31-12-2020	Henning Almstedt, Siemens
1325	Absicherung Rissverhalten Mehrachsrig (ARIMA) // BMWi/AiF // 01-10-2018 bis 31-03-2021	Dr. Andreas Fischersworrung-Bunk, MTU Aero Engines
1326	Relaxationsverhalten II // BMWi/AiF // 01-04-2018 bis 31-03-2021	Dr. Martin Reigl, GE Power
1329	Berechnungsmethoden HT-Schwellenwert // BMWi/AiF // 01-10-2018 bis 31-03-2021	Frank Vöse, MTU Aero Engines
1330	Metall-Graphit-Verbunde für Gleitlager (MeGraV) // BMWi/AiF // 01-09-2018 bis 31-12-2020	Dan Roth-Fagaraseanu, Rolls-Royce Deutschland
1331	Aeroelastische Kaskade DELTA // CORNET // 01-06-2018 bis 31-01-2021	Dr. Sabine Schneider, Rolls-Royce Deutschland
1337	Umfangsinhomogene Radialverdichterströmung // BMWi/AiF // 01-12-2018 bis 31-05-2021	Dr. Thomas Hildebrandt, NUMECA



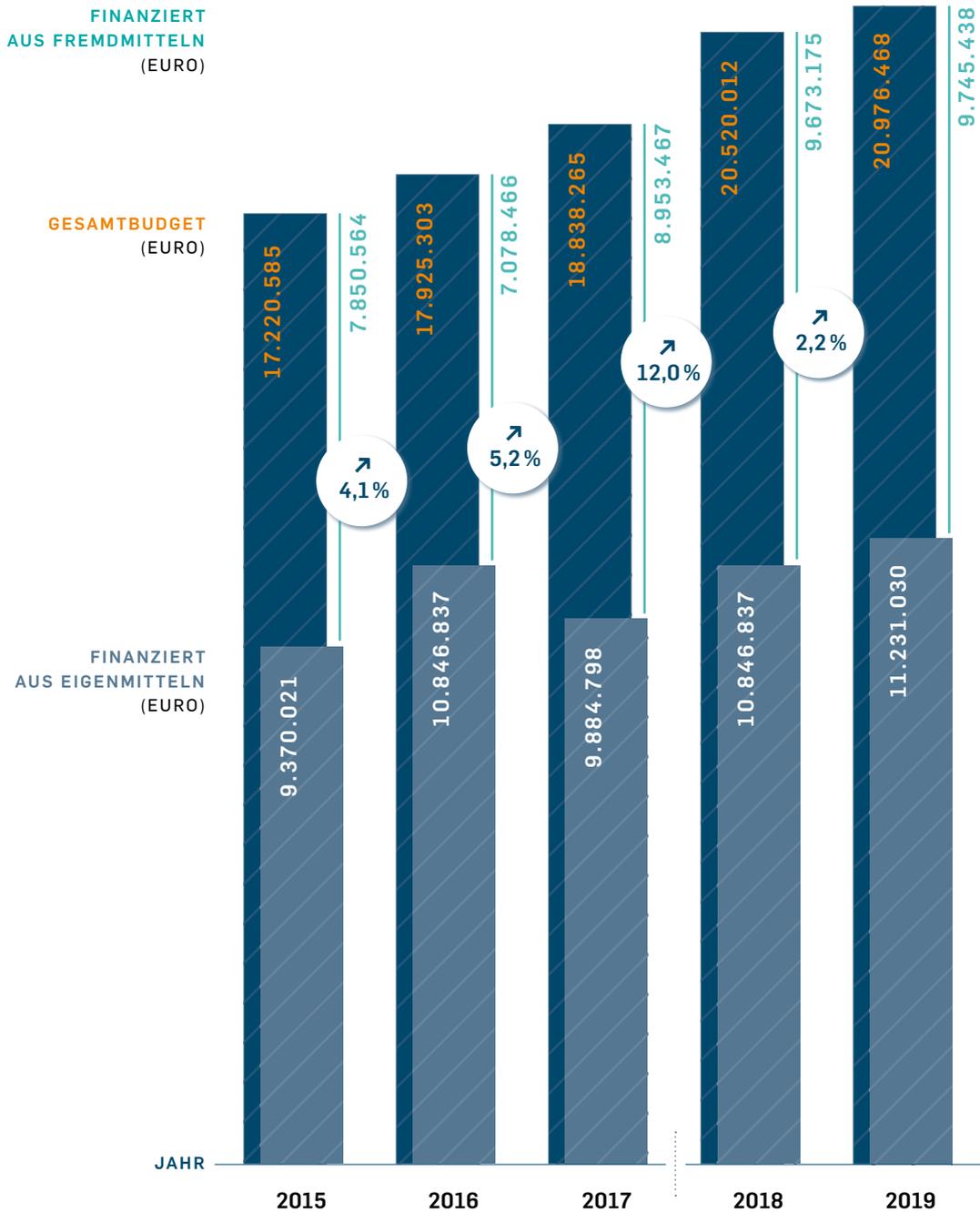
NR.	THEMA // FÖRDERGEBER // LAUFZEIT	PROJEKTLEITUNG
1345	Heißgaseinzug in Radseitenräume von Gasturbinen – Versuchsturbine // FVV-EM // 01-02-2019 bis 31-10-2021	Dr. Marco Konle, MTU Aero Engines
1351	TMF-Rissverlaufsrechnung für ATL-Heißeile // BMWi/AiF // 01-02-2019 bis 31-01-2022	Dr. Andreas Koch, Rolls-Royce Solutions
1353	Radseitenraumabdichtung II // BMWi/AiF // 01-04-2019 bis 30-09-2021	Dr. Karsten Kusterer, B&B-AGEMA
1354	Industrieverdichter mit breitem Kennfeld // BMWi/AiF // 01-02-2019 bis 31-07-2021	Dr. Matthias Schleer, Howden Turbo
1356	Dynamische Kippsegmentlagermodellierung // BMWi/AiF, FVV-EM // 01-03-2019 bis 31-08-2021	Klaus Steff, Siemens
1358	Dynamik von Drall- und Strahlflammen // FVV-EM // 01-04-2019 bis 31-03-2022	Lukasz Panek, Siemens
1360	Instationäre Tandemströmung // DFG, FVV-EM // 01-10-2019 bis 30-09-2021	Dr. Henner Schrapp, Rolls-Royce Deutschland
1371	Robuste Bruchverformungskennwerte // FVV-EM, AVIF // 01-07-2019 bis 30-06-2022	Dr. Torsten-Ulf Kern, Siemens
1373	Dynamik von ATL-Rotoren mit gekoppelter Lagerung // BMWi/AiF // 01-10-2019 bis 31-03-2022	Thomas Klimpel, ABB
1375	Bürstendichtungen – Statistische Betrachtung // FVV-EM // 01-12-2019 bis 31-05-2022	Joris Versluis, MTU Aero Engines
1376	Rotordynamik-Gehäusemodelle und Model-Update // BMWi/AiF // 01-11-2019 bis 30-04-2022	Dr. Joachim Schmied, Delta JS
1380	Probabilistischer Lebensdauermodellvergleich – Kriechermüdung // AVIF // 01-01-2020 bis 31-12-2022	Henning Almstedt, Siemens
1383	Akustik in Druckleitungen II // FVV-EM, DFG // 01-02-2020 bis 31-07-2022	Dr. Irhad Buljina, MAN
1386	Turbohochtemperaturstahl // BMWi/AiF // 01-02-2020 bis 31-01-2023	Dr. Markus Dinkel, Schaeffler
1388	Schaufelkräfte und Systemdämpfung // BMWi/AiF // 01-01-2020 bis 30-06-2022	Dr. Thomas Hildebrandt, NUMECA
1389	Intentional Mistuning // BMWi/AiF // 01-01-2020 bis 30-06-2022	Thomas Winter, PBS Turbo
1390	Aluminium Hochtemperaturermüdung // BMWi/AiF // 01-01-2020 bis 30-06-2022	Dr. Reiner Böschen, Rolls-Royce Deutschland
1392	Werkstoffanwendung FeAl (WAFEAL) // BMWi/AiF // 01-01-2020 bis 31-12-2021	Dan Roth-Fagaraseanu, Rolls-Royce Deutschland
1397	Vorhersage von Gasturbinen-Emissionen // DFG, FVV-EM // 01-04-2020 bis 31-03-2022	Dr. Ruud L.G.M. Eggels, Rolls-Royce Deutschland
1399	Validierung TISG // FVV-EM // 01-04-2020 bis 31-08-2020	Frank Vöse, MTU Aero Engines
1401	LPBF Hochtemperaturlebensdauer // BMWi/AiF // 01-05-2020 bis 30-04-2023	Dr. Roland Herzog, MAN



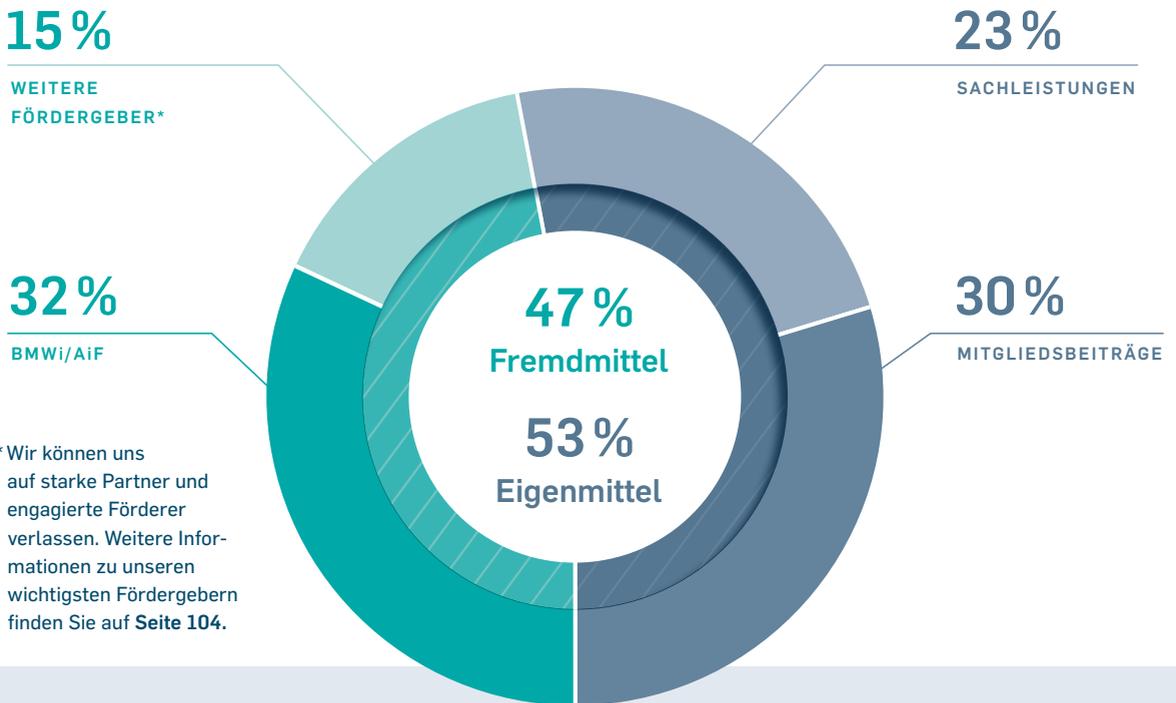
NR.	THEMA // FÖRDERGEBER // LAUFZEIT	PROJEKTLEITUNG
836 I	Alternative Lagermetalle für Gleitlager // BMWi/AiF // 01-06-2018 bis 30-11-2020	Martin Limmer, RENK
847 I	Mikrostrukturierung von Gleitlagerflächen // BMWi/AiF // 01-11-2018 bis 31-01-2021	Dr. Oliver Alber, MAN
880 I	Werkstoffqualifizierung // BMWi/AiF // 01-11-2019 bis 30-04-2022	Martin Limmer, RENK
T0318	Robuste Bruchverformungskennwerte (3D-Messsystems) // FVV-EM // 01-07-2019 bis 30-06-2022	Dr. Torsten-Ulf Kern, Siemens
Abgeschlossene Projekte		
1217	Schweißverbindungen Kriechermüdnungsriss // AVIF // 01-01-2016 bis 30-09-2019	Dr. Shilun Sheng, Siemens
1218	Thermisch induzierte Spannungsgradienten (TISG) // FVV-EM // 01-05-2016 bis 30-04-2019	Dr. Kathrin Anita Fischer, Siemens
1238	Thermisch beeinflusste ATL-Lagerreibung // FVV-EM // 01-07-2016 bis 30-06-2019	Uwe Tomm, BorgWarner Turbo Systems
1240	Radseitenraumabdichtung // BMWi/AiF // 01-10-2016 bis 31-03-2019	Dr. Karsten Kusterer, B&B-AGEMA
1251	Simulation-Rissverhalten-Grobkorn // BMWi/AiF // 01-11-2016 bis 31-10-2020	Markus Fried, MTU Aero Engines
1255	Bürstendichtungen – Materialkombinationen // FVV-EM // 01-04-2017 bis 30-04-2019	Joris Versluis, MTU Aero Engines
1258	Thermisch erweiterte Rotordynamik von Turboladern // BMWi/AiF // 01-01-2017 bis 30-09-2019	Thomas Klimpel, ABB Turbo Systems
1261	Aerodynamik des Tandemgitters II // BMWi/AiF / / 01-01-2017 bis 30-06-2020	Dr. Henner Schrapp, Rolls-Royce
1267	Folienlager II // BMWi/AiF // 01-03-2017 bis 31-08-2019	Dr. Joachim Schmied, Delta JS
1269	Mistuning mit Aero-Kopplung II // DFG, FVV-EM // 01-07-2017 bis 31-12-2019	Dr. Harald Schönenborn, MTU Aero Engines
1308	Bidirektionale aeromechanische Kopplung // DFG, FVV-EM // 01-06-2018 bis 31-05-2020	Dr. Andreas Hartung, MTU Aero Engines
1334	Modellbasierte Rotorüberwachung (Literaturstudie) // FVV-EM // 01-10-2018 bis 31-03-2019	Dr. Joachim Schmied, Delta JS
314 V	Schadenstoleranz an Gleitlagern // BMWi/AiF // 01-10-2016 bis 30-06-2019	Michael Lutz, MAN

Forschungsfinanzierung

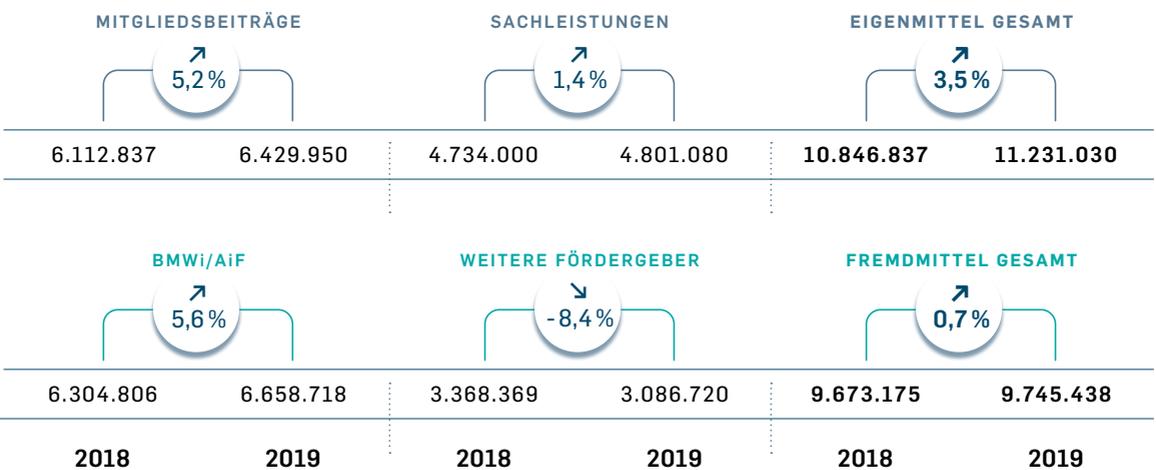
AUSGABEN FÜR FORSCHUNG



VERTEILUNG DER INVESTIERTEN MITTEL



JAHRESVERGLEICH



Forschungsförderung

FÖRDERGEBER

Innovative und nachhaltige Forschungsk Kooperationen benötigen einen stabilen Finanzierungsrahmen. Unsere Projekte werden aus den Beiträgen der Mitgliedsunternehmen, Kooperationen (z. B. AICE, DVGW, FVA) und aus Mitteln der öffentlichen Forschungsförderung finanziert. Wir bedanken uns bei allen Forschungspartnern für die großzügige Unterstützung!

EINE AUSWAHL DER FÖRDERGEBER



BMWi/AiF – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie/ Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungs- vereinigungen ›Otto von Guericke‹ e.V.

Die vorwettbewerbliche Industrielle Gemeinschaftsforschung (IGF) findet in enger Partnerschaft mit dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) statt. Das BMWi stellt im Rahmen der IGF aktuell rund 180 Millionen Euro für herausragende Forschungsprojekte und die Netzwerkbildung zwischen mittelständischen Unternehmen und Forschungseinrichtungen bereit. Als Träger der Industriellen Gemeinschaftsforschung und weiterer Förderprogramme des Bundes und der Länder setzt sich die AiF für die Leistungsfähigkeit des Mittelstands ein. Sie verknüpft Wirtschaft, Wissenschaft und staatliche Förderung zu einem Innovationsnetzwerk und bietet praxisnahe Innovationsberatung an.

www.aif.de



DFG – Deutsche Forschungsgemeinschaft e.V.

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft ist die zentrale Selbstverwaltungseinrichtung der Wissenschaft zur Förderung der Forschung an Hochschulen und öffentlich finanzierten Forschungsinstitutionen in Deutschland.

www.dfg.de



CORNET – COLlective Research NETworking

CORNET ist ein internationales Netzwerk von Ministerien und Finanzierungsagenturen, die ihre bestehenden Förderprogramme kombinieren, um die Wettbewerbsfähigkeit von kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) zu erhöhen. Auf diese Weise unterstützt CORNET neue Förderorganisationen weltweit bei der Einführung von Pilotaktionen und -programmen für vorwettbewerbliche Industrielle Gemeinschaftsforschung.

www.cornet.online



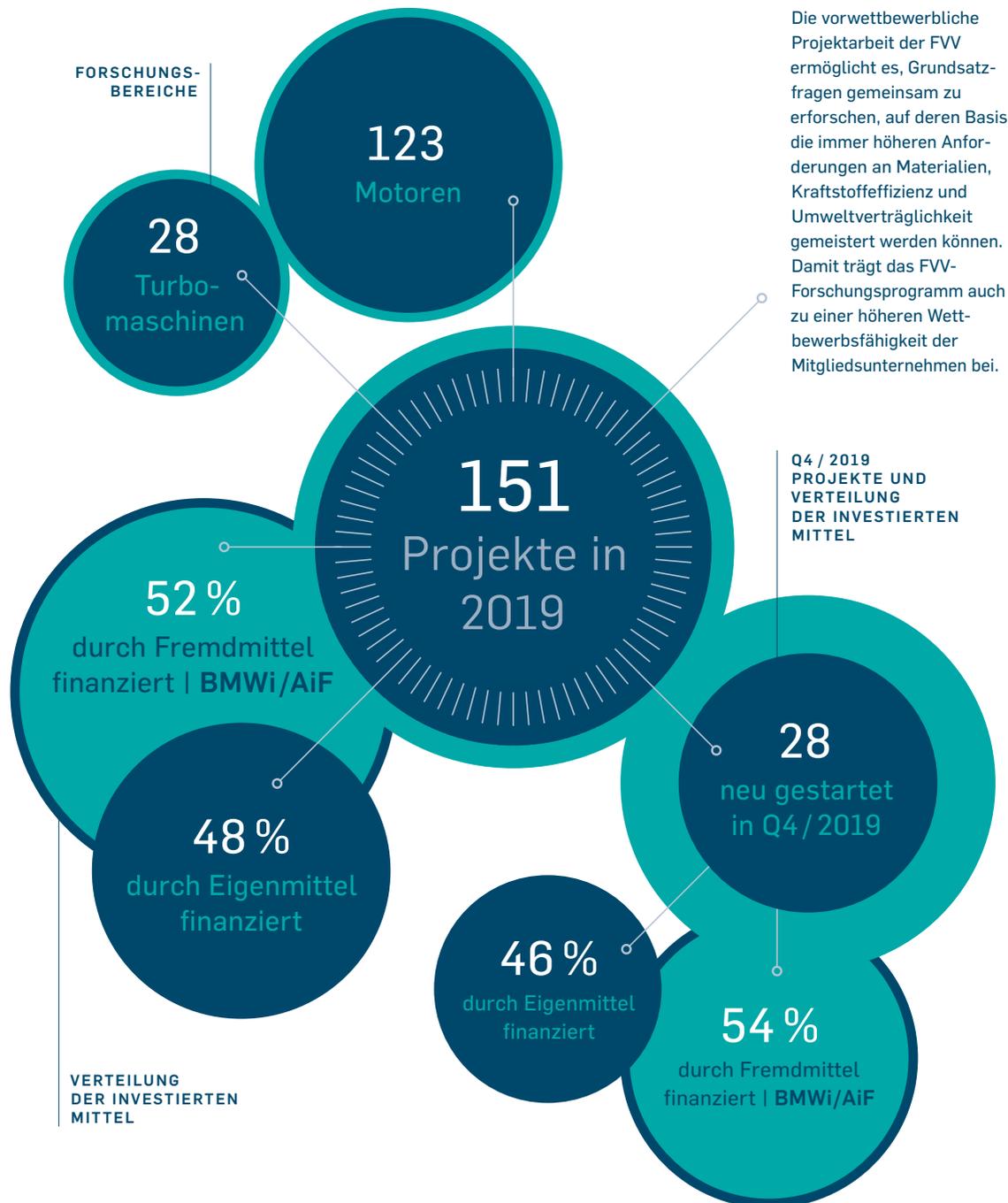
AVIF – Forschungsvereinigung der Arbeitsgemeinschaft der Eisen und Metall verarbeitenden Industrie e. V.

Ziel der AVIF ist die Förderung der Forschung auf dem Gebiet der Stahlverarbeitung und -anwendung in Deutschland. Seit ihrer Gründung hat die AVIF ca. 240 Forschungsprojekte mit einem Fördervolumen von 55 Millionen Euro gefördert. Sie trägt in hohem Maße dazu bei, in der stahlverarbeitenden Industrie das Wissen um die Einsatzmöglichkeiten von Stahl zu erhöhen. Steigenden Anforderungen kann so besser begegnet werden, die Wettbewerbsfähigkeit wird gestärkt.

www.avif-forschung.de

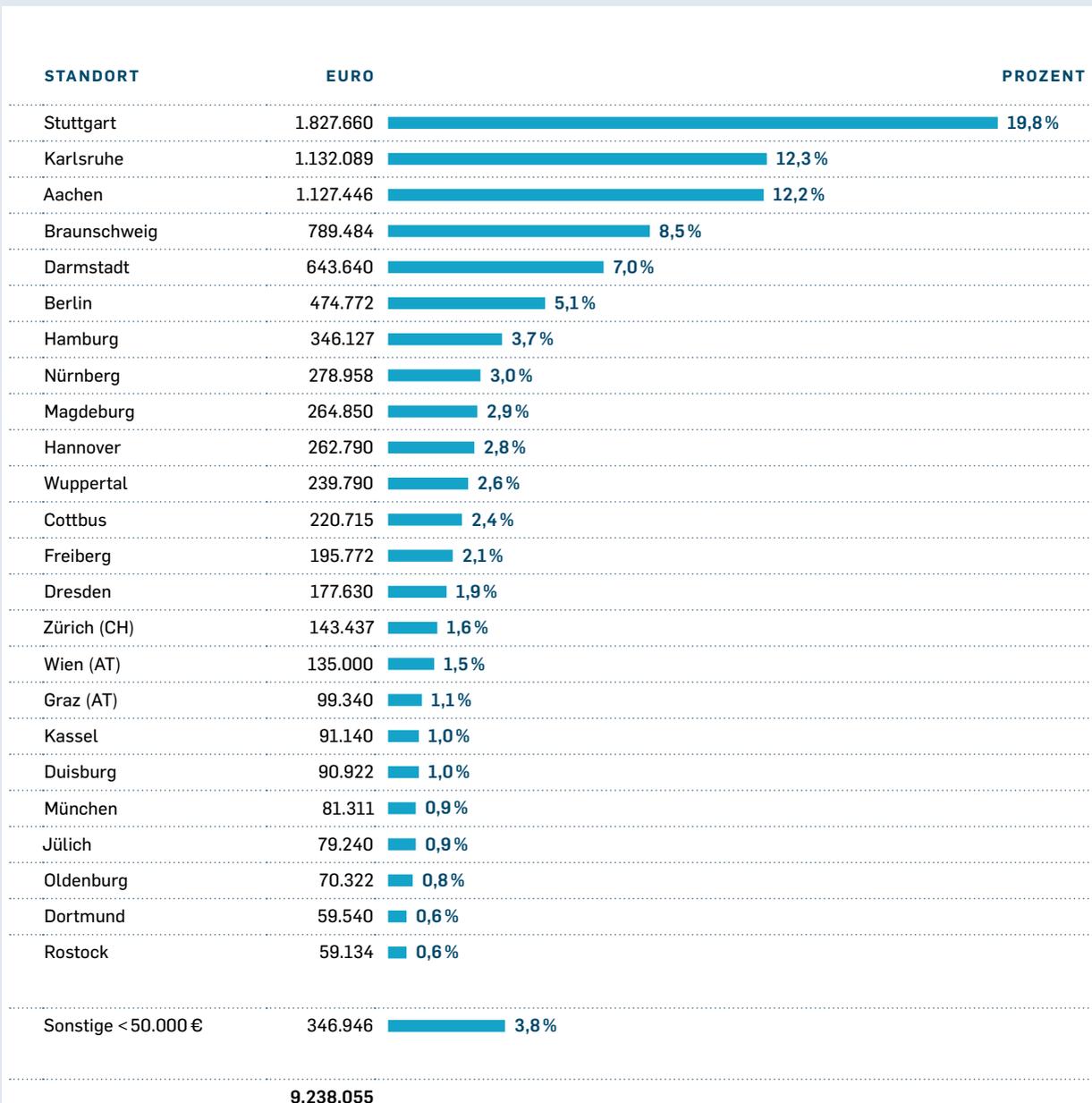
Realisierte Projekte

AUFGLIEDERUNG



Forschungspartner Motoren

MITTELVERTEILUNG | BMWi/AiF UND EIGENMITTEL



Ein ausführliches Verzeichnis unserer Forschungspartner finden Sie unter → www.fvv-net.de | **Forschung**

FORSCHUNGSSTELLEN



Forschungspartner Turbomaschinen

MITTELVERTEILUNG | BMWi/AiF UND EIGENMITTEL

STANDORT	EURO	PROZENT
Aachen	573.420	24,7%
Magdeburg	252.810	10,9%
Darmstadt	228.168	9,8%
Berlin	222.831	9,6%
Dresden	168.320	7,2%
Clausthal	153.005	6,6%
Hannover	124.882	5,4%
Freiberg	123.286	5,3%
Freiburg	120.000	5,2%
Stuttgart	106.050	4,6%
Bremen	65.350	2,8%
München	61.045	2,6%
Cottbus	60.879	2,6%
Braunschweig	44.320	1,9%
Karlsruhe	17.492	0,8%
	2.321.858	

Ein ausführliches Verzeichnis unserer Forschungspartner finden Sie unter → www.fvv-net.de | *Forschung*

FORSCHUNGSSTELLEN



Jahresabschluss

VERMÖGENSÜBERSICHT

AKTIVSEITE	31.12.2019		31.12.2018	
	EURO	EURO	EURO	EURO
A. Umlaufvermögen				
I. Forderungen und sonstige Vermögensgegenstände				
01. Geleistete Anzahlungen	2.765.042,77		2.324.585,42	
02. Sonstige Vermögensgegenstände	35.860,25		203.058,50	
		2.800.903,02		2.527.643,92
II. Kassenbestand und Guthaben bei Kreditinstituten		7.375.920,50		6.600.399,62
B. Anlagevermögen				
I. Wertpapiere		81.386,13		65.004,88
		10.258.209,65		9.193.048,42
PASSIVSEITE	EURO	EURO	EURO	EURO
A. Vortrag für Forschungsaufgaben				
01.a Eigenmittel	7.204.300,19		6.475.825,23	
01.b Eigenmittelreserve	224.000,00		224.000,00	
02. Fremdmittel	17.658,97		761.283,21	
		7.445.959,16		7.461.108,44
B. Rückstellungen				
01. Rückstellungen für Pensionen und ähnliche Verpflichtungen	281.820,00		258.164,00	
02. Sonstige Rückstellungen	123.963,94		114.474,33	
		405.783,94		372.638,33
C. Verbindlichkeiten				
01. Verbindlichkeiten gegenüber Forschungsinstituten	2.363.231,85		1.327.413,25	
02. Sonstige Verbindlichkeiten	43.234,70		31.888,40	
		2.406.466,55		1.359.301,65
		10.258.209,65		9.193.048,42

BESTÄTIGUNG DES WIRTSCHAFTSPRÜFERS

GGV

Wirtschaftsprüfungsgesellschaft
Steuerberatungsgesellschaft

- 9 -

4. Schlussbemerkung und Bescheinigung

Wir haben die Jahresrechnung unter Einbeziehung der Buchführung des Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen e.V., Frankfurt am Main, bestehend aus der Vermögensübersicht zum 31. Dezember 2019 und der Ertrags- und Aufwandsrechnung für die Zeit vom 1. Januar bis 31. Dezember 2019, mit Ausnahme der zu statistischen Zwecken erfassten Sachleistungen der Mitglieder, geprüft.

Wir haben unsere Prüfung unter analoger Anwendung von §§ 317 ff. HGB und Beachtung der vom Institut der Wirtschaftsprüfer (IDW) festgestellten deutschen Grundsätze ordnungsmäßiger Abschlussprüfung sowie unter Beachtung des IDW Prüfungsstandards: Prüfung von Vereinen (IDW PS 750) durchgeführt.

Nach dem Ergebnis unserer Arbeiten erteilen wir der als Anlagen I und II beigefügten Jahresrechnung des Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen e.V., Frankfurt am Main, für das Rechnungsjahr vom 1. Januar bis zum 31. Dezember 2019 die folgende Bescheinigung:

Die Buchführung und die Jahresrechnung entsprechen nach unserer pflichtgemäßen Prüfung den Grundsätzen einer ordnungsmäßigen Rechnungslegung. Die zu statistischen Zwecken erfassten Sachleistungen der Mitglieder haben wir nicht beurteilt.

Frankfurt am Main, den 22. April 2020

GGV GmbH
Wirtschaftsprüfungsgesellschaft
Steuerberatungsgesellschaft

Gähler
Wirtschaftsprüfer

Achim Königstein, Opel Automobile GmbH, und Prof. Dr. Christoph Brands, Schaeffler Technologies AG & Co. KG, nahmen am 05.08.2020 die interne Rechnungsprüfung für das Geschäftsjahr 2019 vor. Die Prüfungen führten zu keinerlei Beanstandungen: Die von der Mitgliederversammlung bestellten Rechnungsprüfer schließen sich hinsichtlich der Verwendung der Mittel dem Bestätigungsvermerk des Wirtschaftsprüfers an.



Der Bezug des Jahresmagazins ›PrimeMovers.« ist im FVV-Mitgliedsbeitrag enthalten. Alle Angaben sind ohne Gewähr, Änderungen vorbehalten. Nachdruck, Vervielfältigung und Onlinestellung des Magazins – ganz oder in Teilen – ist nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers gestattet. Alle Rechte vorbehalten.

Sie können über den QR-Code eine elektronische Kopie des FVV-Jahresmagazins 2020 herunterladen oder gerne unter kommunikation@fvv-net.de die Printausgabe bestellen.

Das FVV-Jahresmagazin ›PrimeMovers.« ist online abrufbar:

→ www.fvv-net.de | **Medien**



HERAUSGEBER

Forschungsvereinigung
Verbrennungskraftmaschinen e.V.
Lyoner Strasse 18
60528 Frankfurt am Main
www.fvv-net.de
www.primemovers.de

AUSGABE

09 | 2020

AUTOREN

Johannes Winterhagen, Frankfurt am Main
Mathias Heerwagen, Wiesbaden

REDAKTION

Petra Tutsch, Dietmar Goericke
und Stephanie Smieja, FVV

GRAFISCHE KONZEPTION
UND UMSETZUNG

Lindner & Steffen GmbH, Nastätten

DRUCK

h. reuffurth gmbh, Mühlheim am Main

PrimeMovers. ist ein jährlich erscheinendes Forschungsmagazin zur Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) an Verbrennungsmotoren, Hybriden, Turbomaschinen und Brennstoffzellen, veröffentlicht von der Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen (FVV). Das Magazin beinhaltet ausgewählte Artikel zu relevanten Themen des vorangegangenen Jahres. Zudem kommen Persönlichkeiten aus Wissenschaft und Wirtschaft zu Wort und weiten den Blick auf die Forschung rund um die Energie- und Verkehrswende. Das Magazin wird durch den Geschäftsbericht der FVV ergänzt.

Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen e.V.
Research Association for Combustion Engines

Lyoner Strasse 18 | 60528 Frankfurt/M. | Germany
T +49 69 6603 1345 | F +49 69 6603 2345 | info@fvv-net.de

www.fvv-net.de | www.primemovers.de