

Vom künstlichen Herzen bis hin zur Nachrüstung von Dieselfahrzeugen

VON RAINER HÄBERER

Das Seminar zur Produktentwicklung startet mit dem Ziel, die Studierenden früher und intensiver an die spätere Praxis heranzuführen. Dabei sollen sie das bislang an der Hochschule erlernte Wissen an einer komplexen Baugruppe selbstständig anwenden und vertiefen. Dieses komplexe Thema wird in verschiedenen Teams mit einem studentischen Projektleiter bearbeitet. Parallel dazu führt der Professor die Studierenden auf einem hohen abstrakten Niveau.

Immer wieder kann man feststellen, dass es Teilnehmer gibt, die darin nur eine notwendige Pflichtveranstaltung sehen, was in diesem fortgeschrittenen Stadium des Studiums etwas befremdlich ist. Bei angehenden Ingenieuren möchte ich in deren Augen bei solch praxisorientierten Veranstaltungen einfach ein Feuer der Begeisterung sehen.

Es handelt sich einerseits um Minimalisten, andererseits um Studierende, die immer noch stark dem schulischen Denken verfallen sind und demzufolge eine konkrete Aufgabe erwarten, die sie mit dem bislang erlernten Fachwissen systematisch abarbeiten können, quasi eine Übungsaufgabe. Es besteht also noch Handlungsbedarf.

Als wir das Seminar ins Leben riefen, dachte ich des Öfteren über die Arbeitsweise von Formula Student nach. Hier bearbeitet ein Team mit großer Begeisterung selbstständig ein komplexes Projekt. Was ich zu diesem Zeitpunkt jedoch nicht bedachte, war die Tatsache, dass diese Studierenden „Autonarren“ sind und eine Vision haben. Das Ziel ist also der Weg.

Genau diesen Effekt konnte ich bei den Themen „Entwicklung eines künstlichen Herzens“ oder „Nachrüstung von älteren Dieselfahrzeugen auf die Abgasnorm EUROVI“ beobachten. Themen, die die Studierenden entweder selbst betreffen oder die permanent in der Presse diskutiert werden, scheinen der Schlüssel zum Erfolg zu sein. Mitt-

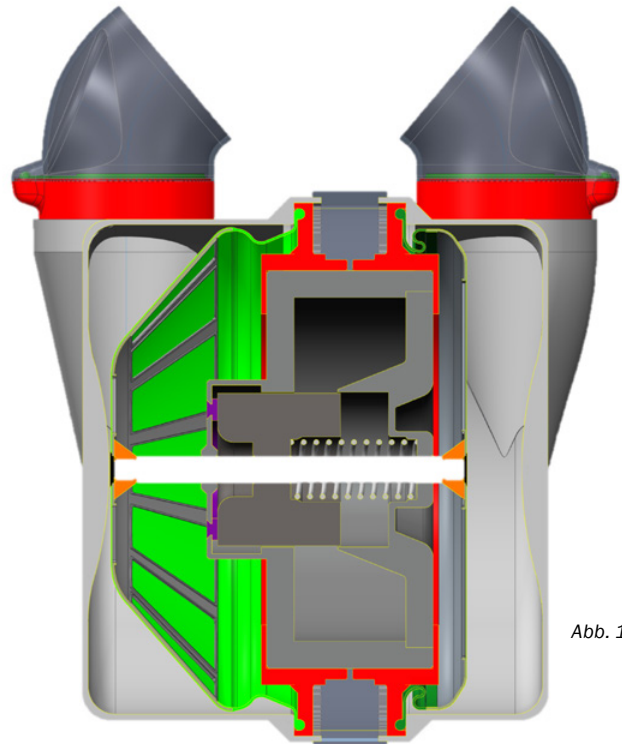


Abb. 1

lerweile informieren sich die Studierenden bereits beim vorangegangenen Semester und drängen sogar darauf, deren Thema weiterführen zu dürfen. Die Bearbeitung eines komplexen Themas über mehrere Semester erfordert allerdings eine sehr gute Dokumentation der Entwicklungsergebnisse. Nur so kann sich das Nachfolgesemester in kürzester Zeit problemlos einarbeiten und in den dann noch verbleibenden zwei Monaten das Thema weiter voranbringen.

Was das künstliche Herz anbelangt, wollte ich eigentlich für die Förderung von wässriger Harnstofflösung eine Pumpe mit einem geräuscharmen Gleichstrommagneten entwickeln. Dieses wichtige Thema faszinierte mich, doch konnte ich mir nicht vorstellen, meine Studierenden dafür begeistern zu können. Glücklicherweise erkannte ich die Analogie zu einem künstlichen Herzen. Die Aufgabe lautete somit „Entwicklung eines künstlichen Herzens“. Das Thema, das wir in mehreren Semestern bis zum Prototyp entwickelten und gar im Versuch testeten, faszinierte alle. Jedes Semester zerlegten wir ein Schweineherz und zeigten die Analogie zum menschlichen Herzen oder gar zum Verbrennungsmotor auf. Wir beschäftigten uns einerseits mit der Auslegung eines Gleichstrommagneten und einer hydraulischen Pumpe, andererseits mit medizinischen Fragestellungen. Die Herausforderung, bei dem notwendigen Fördervolumen und den thermischen

Themen, die die Studierenden entweder selbst betreffen oder die permanent in der Presse diskutiert werden, scheinen der Schlüssel zum Erfolg zu sein.

Randbedingungen ein Gewicht kleiner als ein Kilogramm zu erreichen, führte zu der in Abb. 1 dargestellten Ausführung.

Die Studierenden waren hoch motiviert und erarbeiteten sich die medizinischen Grundkenntnisse. Gelegentlich sprachen wir über die gesundheitlichen Probleme von Menschen in ihrem Umfeld. Hier wurde mir klar, dass das Thema so mächtig sein muss, dass es alle mitreißt. Alle hatten ein gemeinsames Ziel. Die Kreativität und das Engagement der Teilnehmer waren so gewaltig, dass ich nur noch beratend zur Seite stehen musste. Man erkannte, dass im digitalen Zeitalter alle Informationen mit einem Tastendruck erhältlich sind. Allerdings besteht die Herausforderung darin, diese Informationen zu verstehen, sie miteinander zu verknüpfen und sie hinsichtlich ihrer Plausibilität kritisch zu hinterfragen. Dies ist jedoch nur möglich, wenn das in den ersten Semestern gelehrt Basiswissen nicht auswendig gelernt, sondern verstanden wurde.

In den vergangenen zwei Semestern ließ ich das Thema „Nachrüstung von älteren Dieselfahrzeugen für die Abgasnorm EURO VI“ bearbeiten. Auch hierbei handelt es sich um ein äußerst komplexes System mit anspruchsvollen Komponenten. Dieses Thema erfordert eine simultane System- und Komponentenentwicklung. Die Bearbeitung erfordert überdies spezielles Fachwissen zu Verbrennungsmotoren, zur Gemischaufbereitung und zur dazugehörigen Abgasnachbehandlung. Neben der rein fachlichen Betrachtungsweise analysieren wir das Thema natürlich auch hinsichtlich seiner gesellschaftspolitischen Bedeutung. Welche Konsequenzen hat der Abgasskandal? Wie wird die Thematik in den Medien aufgearbeitet? Zählen Fakten, oder ist die Angelegenheit bereits emotional außer Kontrolle geraten? Wie wird das Problem in anderen Ländern gesehen? Diese gesamtheitliche Betrachtungsweise ist zwar ungemein aufwändig, für einen kritischen und erfolgreichen Ingenieur jedoch äußerst wichtig.

Entwicklung eines Nachrüstsatzes für nicht EURO VI-taugliche Dieselfahrzeuge

Aus der Presse ist bekannt, dass in Stuttgart mindestens 200 000 nicht EUROVI-taugliche Dieselfahrzeuge von einem Fahrverbot betroffen sind. Geht man davon aus, dass dadurch jedes Fahrzeug einen Wertverlust von 5.000€ erfährt, so wird klar, wieviel privates Kapital vernichtet wird. In Anbetracht dieser Kapitalvernichtung ist es umso erstaunlicher, dass die Automobilhersteller mit dem Hinweis, die vorhandene Kapazität in die zukünftige Elektromobilität stecken zu wollen, keine Abhilfemaßnahmen anbieten. Das Thema ist nahezu täglich in den Medien, was natürlich eine

optimale Motivation für die Seminarteilnehmer ist. Eine von der Politik und vom ADAC immer wieder zitierte Nachrüstlösung ist noch weit von einer Serienlösung entfernt. Das Packaging des Tanks wird am Fahrzeug sehr große Änderungen erfordern und eine sichere Serienbereitschaft wird noch Jahre brauchen. Ferner muss man sich fragen, ob für 4 bis 9 Jahre alte Fahrzeuge Nachrüstkosten von über 3.000€ ökonomisch sinnvoll sind.

Eine Patent- und Marktrecherche zeigte, dass nur das derzeit in EURO VI-tauglichen Dieselfahrzeugen eingesetzte SCR-Verfahren zielführend ist. Bei diesem Verfahren wird dem Abgas wässrige Harnstofflösung in Form eines feinen Sprays zugeführt. Diese Flüssigkeit verdampft im heißen Abgas und bildet Ammoniak, das sich im SCR-Katalysator einnistet und die ankommenden Stickoxide in elementaren Stickstoff und Wasser umwandelt. Das Dosiersystem für ein SCR-System besteht aus einem Kunststofftank, einem Fördermodul und einem Dosiermodul. Die Förderpumpe saugt die Flüssigkeit an, verdichtet diese und führt sie dem Dosierventil, das am Abgasrohr positioniert ist, zu. Da die Dosiermenge über die Bestromungsdauer des Dosierventils verändert wird, muss der Systemdruck zwischen Förderpumpe und Dosierventil über einen Druckregler auf einen konstanten Wert eingeregelt werden. Das Abgas ist eine Funktion des Motorbetriebs, weshalb das Dosiersystem stark mit dem Motorenmanagement verknüpft ist. Wässrige Harnstofflösung gefriert unterhalb -11°C. Das gesamte System muss deshalb bei tiefen Temperaturen beheizt werden, und, falls einmal eingefroren, wieder aufgetaut werden. Da sich wässrige Harnstofflösung beim Phasensprung von flüssig in fest um etwa 10% ausdehnt, muss das komplette Dosiersystem eisdruckfest ausgelegt werden.

Aufgrund der fehlenden AdBlue-Infrastruktur und dem nicht ganz trivialen Handling der Flüssigkeit erfolgt bei den heutigen EURO VI-tauglichen Personewagen die Nachbefüllung des Tanks im Service. Daraus resultiert je nach Fahrzeug eine Tankgröße von 15 bis 30 Liter, was aufgrund des Zusatzgewichtes jedoch nicht gerade CO₂-freundlich ist.

Das heutige EURO VI-fähige SCR-System ist äußerst komplex und demzufolge mit hohen Kosten verbunden. Dieses komplexe System nachträglich in ein vorhandenes EURO V-Fahrzeug einzubauen, ist aus Gründen des Bauraums nahezu unmöglich. Wer möchte schon in seinem Fahrzeug auf den Kofferraum verzichten?

Im Seminar setzten wir uns deshalb das Ziel, ein stark vereinfachtes SCR-Dosiersystem zu konzipieren – ein System, das auch in bestehende EURO V-Fahrzeuge nachgerüstet werden könnte und hinsichtlich der Kosten attraktiv ist.

Aufgrund des begrenzten Bauraums sehen wir einen kleinen Tank (3-4 Liter; ausreichend für ca. 3.000 Km) vor, der vom Fahrer mit den an den Tankstellen vorhandenen AdBlue-Zapfpistolen selbst nachgefüllt werden kann. Die Öffnung für die Nachbetankung ist im Motorraum. Dies erspart eine nachträglich anzubringende Öffnung an der Karosserie. Aus Kostengründen und zur Verringerung der Komplexität verfolgen wir das Ziel, die Heizung und möglichst viele Sensoren einzusparen. Der Verbrennungsmotor erzeugt ausreichend Wärme, die ab-

>>

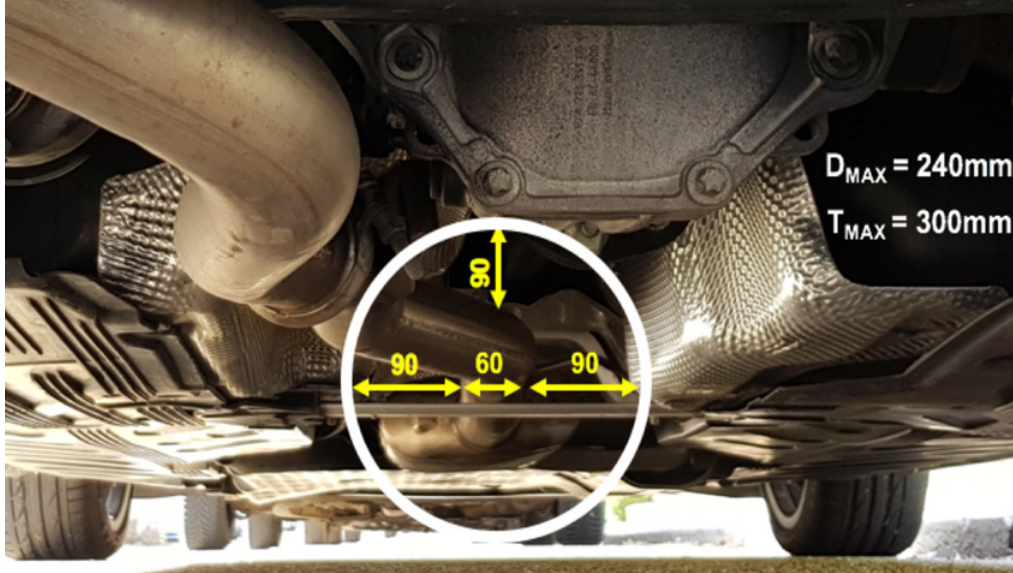


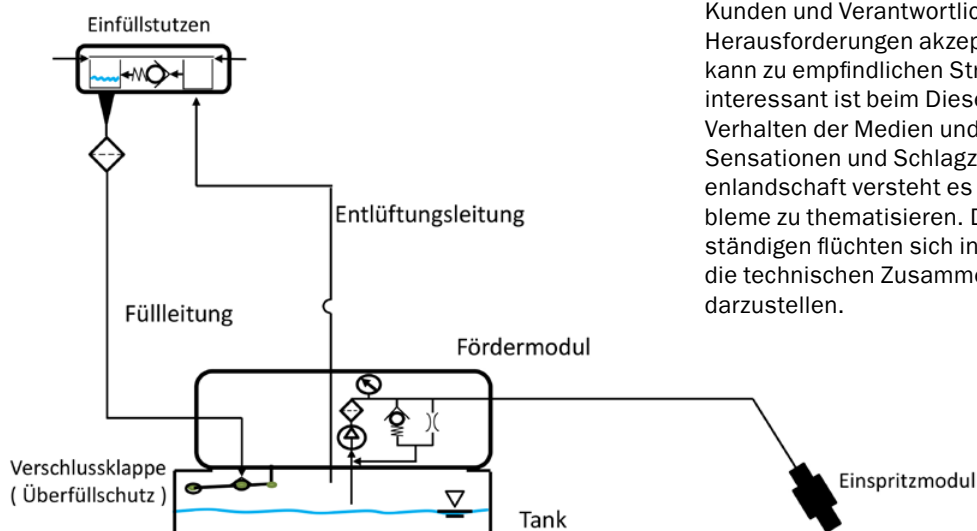
Abb. 2

gegriffen werden kann. Außerdem hat ein Fahrzeug bereits heute sehr viele Sensoren, die man direkt oder indirekt verwenden könnte.

Die Studierenden untersuchten ihre privaten Fahrzeuge und erarbeiteten daraus eine erfolgsversprechende Variante, die bei zahlreichen Fahrzeugen realisierbar wäre (Abb. 2).

Zwischen dem Abgasrohr, das im Extremfall 1.000°C heiß ist, und der bodenseitigen Karosserie ist aus Brandschutzgründen stets ein Freiraum vorhanden. Dieser Freiraum erscheint geeignet, einen kleinen Tank aus Edelstahl aufzunehmen. Der Tank könnte ein Bestandteil der Abgasanlage werden. Die unmittelbare Nähe zum Abgasrohr erspart eine zusätzliche elektrische Heizung. Das Fördermodul, überwiegend aus Kunststoff, wird zwischen Tank und Karosserie angeordnet und ist somit nicht unmittelbar der hohen Temperatur ausgesetzt. Zur Regelung des Systemdrucks wird ein auf dem Markt verfügbarer AdBlue-tauglicher Drucksensor eingesetzt. Der Tankfüllstand wird indirekt über eine Drosselanordnung am Ansaugrohr und die damit verbundene Änderung der Stromaufnahme der Förderpumpe ermittelt. Für die Umgebungstemperatur wird das Signal eines bereits im Fahrzeug verbauten Temperatursensors verwendet. Abb. 3 zeigt die Systemarchitektur.

Abb. 3



Eine Verschlussklappe sorgt dafür, dass der Tank nicht überfüllt werden kann. Somit kann das über der Flüssigkeit verbleibende Luftpolster die mit dem Einfrieren einhergehende Volumenzunahme aufnehmen und der Tank ist damit eisdruckfest. Die nächste Abbildung zeigt das Fördermodul in einer Explosionsdarstellung (Abb. 4).

Dieses Fördermodul, das auf dem Tank positioniert ist, beinhaltet alle Komponenten und Sensoren. Der Tank beschränkt sich somit nur auf die Funktion „Lagerung von AdBlue“ (Abb. 5).

Kernkomponente des Fördermoduls ist eine eisdruckfeste Membranpumpe. Durch die Membrane ist das korrosive Medium vom antreibenden Elektromotor getrennt. Die Membrane garantiert auch die Eisdruckfestigkeit. Das Fördermodul beinhaltet außerdem ein druckseitiges Filter und die Komponenten der Druckregelung.

Unsere Kostenschätzung zeigt, dass die starke Vereinfachung des Dosiersystems zu einer kostengünstigen Lösung führen kann. Der Systemansatz ist innovativ, das Entwicklungsrisiko ist überschaubar und erscheint aufgrund der Vereinfachung beherrschbar.

Das Thema zur Abgasnachbehandlung hat gezeigt, in welchem Spannungsfeld sich der Ingenieur heutzutage bewegt. Da sind der Gesetzgeber, der Kunde, die Presse, die Politik, die Zielkosten und letztendlich die eigenen Vorgesetzten. Die Seminarteilnehmer erkennen, dass die Entwicklung eines Produkts gegenüber den Kunden und Verantwortlichen transparent und offen erfolgen muss. Kunden und Verantwortliche müssen Tatsachen und Herausforderungen akzeptieren. Eine Missachtung kann zu empfindlichen Strafen führen. Besonders interessant ist beim Dieselskandal natürlich das Verhalten der Medien und der Experten. Eine auf Sensationen und Schlagzeilen ausgerichtete Medienlandschaft versteht es nicht, die wirklichen Probleme zu thematisieren. Die sogenannten Sachverständigen flüchten sich in emotionale Phrasen statt die technischen Zusammenhänge klar und sauber darzustellen.

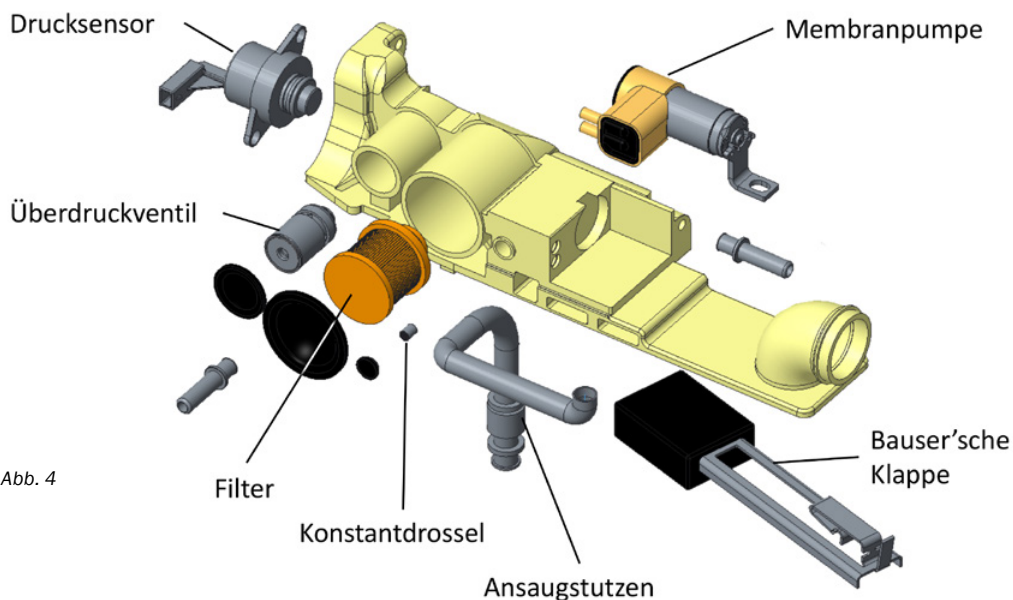


Abb. 4

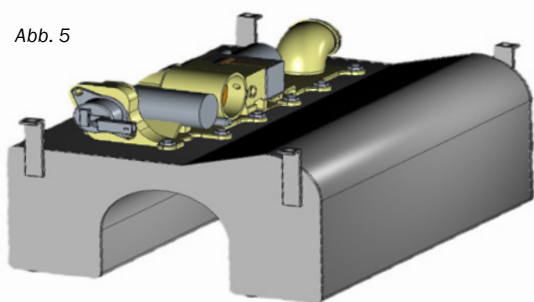


Abb. 5

Abschließende Gedanken zum Produktentwicklungsseminar

Die Beispiele zeigen, dass man die Teilnehmer mit einem Thema so begeistern kann, dass die Lehrveranstaltung zum Selbstläufer wird. Besonders vorteilhaft ist es, ein komplexes System mit mehreren anspruchsvollen Komponenten zu wählen. So entsteht ein permanentes Zusammenspiel von globaler Systemarchitektur und detailorientierter Komponentenentwicklung. Die Teilnehmer lernen, dass Ziele, um ein wirklich optimales Produkt zu erreichen, nicht fest, sondern diskutierbar sind. Die Studierenden erfahren, dass ein komplexes Produkt nur im gemeinsamen Dialog entstehen kann.

Beim Seminar werden die Teilnehmer in fachliche Teams aufgeteilt, die unter der Leitung eines Studierenden arbeiten. Neben den Komponententeams gibt es ein Team für die Systemarchitektur und ein Team, das praktische Basisversuche beisteuert. Der aktuelle Stand wird wöchentlich im großen Plenum vorgestellt und gemeinsam diskutiert. Neben der Funktionalität interessieren natürlich die Werkstoffe, die Fertigbarkeit und die Herstellkosten. Gemeinsam wird das weitere Vorgehen festgelegt und vom Projektleiter in einer offenen Punkteliste mit Verantwortlichem und Terminen festgehalten. Diese Vorgehensweise fördert die Kreativität und führt zu einem einheitlichen Informationsstand. So entsteht eine Kultur der Zusammenarbeit. Im Rahmen dieser Kultur besprechen wir auch allgemeine, den Ingenieur betreffende Themen, wie mögliche Berufsfelder, Gehälter, Führungsstile, Globalisierung oder Verantwortungsbewusstsein.

Die Studierenden erfahren, dass ein komplexes Produkt nur im gemeinsamen Dialog entstehen kann.

Die Teilnehmer lernen, dass nur das optimale Ergebnis zählt, und dass dieses nur durch eine evolutionäre Entwicklungsweise mit einfachen Lösungen erreicht werden kann. Dazu muss man jedoch die physikalischen Wirkzusammenhänge verstehen. Am Ende des Semesters präsentieren die Teilnehmer ihre Ergebnisse einem Publikum aus Studierenden, Professoren und externen Gästen. Das Interesse der Zuhörer ist sehr groß und führt zu angeregter Diskussion, in der die Seminarteilnehmer einen kompetenten Eindruck hinterlassen.

Das Produktentwicklungsseminar hat zum Ziel, die spätere Praxis abzubilden, die Studierenden damit vertraut zu machen und sie zu begeistern. Den Teilnehmern muss bewusst werden, was für einen interessanten Beruf sie gewählt haben. Die Rückmeldungen aus den Bachelorarbeiten und das Feedback ehemaliger Absolventen zeigen, dass unser Curriculum mit seinem Produktentwicklungsseminar die angehenden Ingenieure optimal auf ihren zukünftigen Beruf vorbereitet.

DR.-ING. RAINER HÄBERER

ist Professor im Studiengang Maschinenbau.

Für ihr Konzept des Seminars »Produktentwicklung und Konstruktion« im 6. Semester der beiden Maschinenbau-Studiengänge sind die beiden Professoren Dr.-Ing. Rainer Häberer und Dr.-Ing. Rupert Zang mit dem Hochschullehrpreis 2017 ausgezeichnet worden.