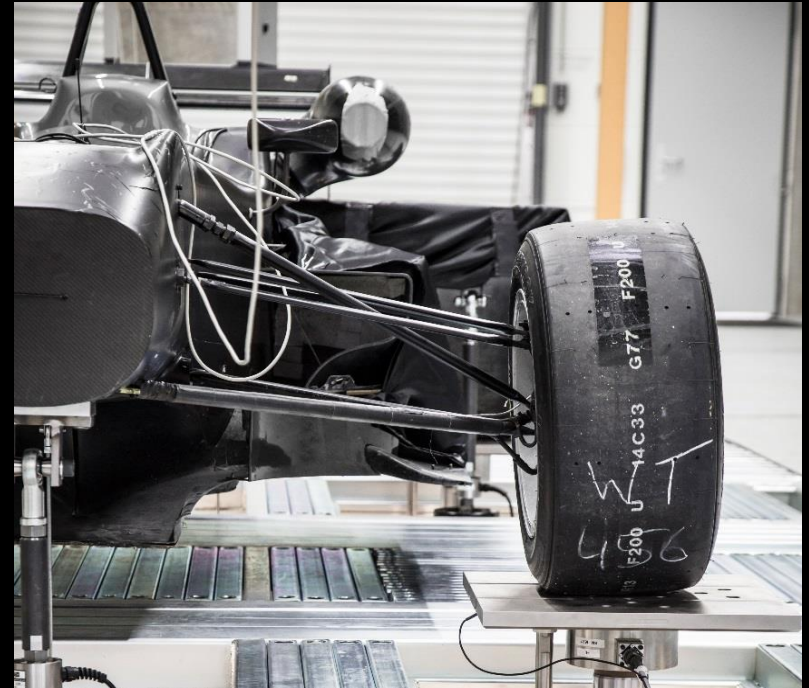
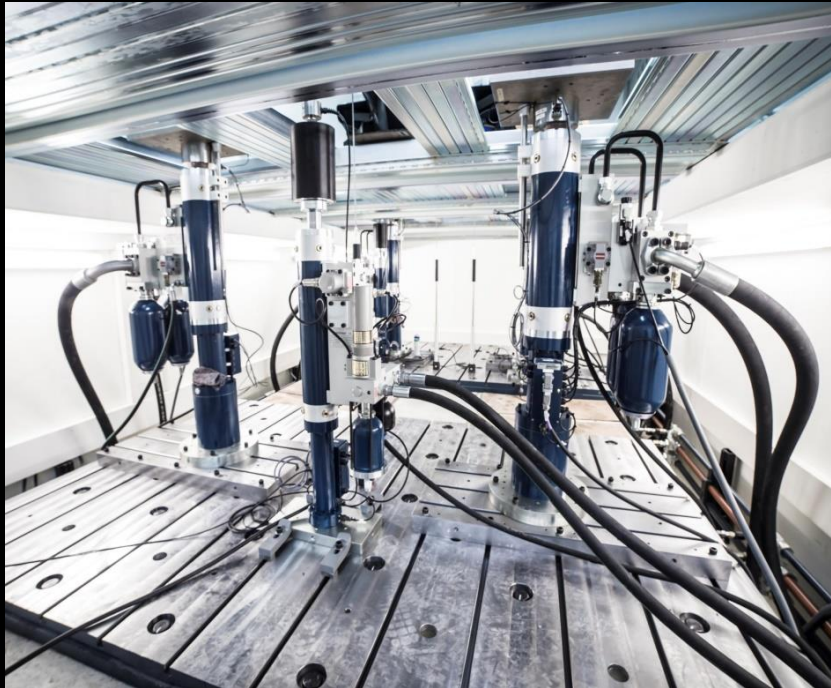


# TRE GMBH – VEHICLE DYNAMICS

## FAHRWERKSABSTIMMUNG IN DER „FORMULA STUDENT“ MITTELS 4-POST-RIG UND DÄMPFERPRÜFSTAND



## Inhaltsverzeichnis

1.) TRE-Konzept für Formula-Student-Teams.....	Seite 3
2.) Kompakt: Funktionsweise & Vorteile eines 4-Post-Tests.....	Seite 4
3.) Angebotene Pakete für Formula-Student-Teams.....	Seite 5
3.1) Workshop.....	Seite 6
3.2) Dämpferprüfstand.....	Seite 7
3.2.1) Im Detail: Hydraulischer Dämpferprüfstand.....	Seite 7
3.2.2) Exemplarische Messergebnisse: Dämpferprüfstand.....	Seite 8
3.3) 4-Post-Rig-Test.....	Seite 9
3.3.1) Im Detail: 4-Post-Rig.....	Seite 9
3.3.2) Exemplarische Messergebnisse: 4-Post-Test.....	Seite 10
3.3.3) Auswertungsbeispiel: Setup-Matrix.....	Seite 11
4.) Anmeldung, Sponsoring, Ausblick & Termine.....	Seite 12

# FAHRWERKSABSTIMMUNG FÜR FORMULA STUDENT

## 1.) TRE-KONZEPT FÜR FORMULA-STUDENT-TEAMS



**Konzept:** Die TRE GmbH möchte in enger Zusammenarbeit mit einem technischen Partner aus dem Bereich Dämpfertechnologie 4-Post-Tests zu stark reduzierten Konditionen im Rahmen eines Sponsorings anbieten (Informationen zum Sponsoring siehe Seite 12). Unser Fokus liegt dabei auf:

- Enger Zusammenarbeit mit den Studenten
- Wissensvermittlung in Form eines vorbereitenden Workshops
- Einbindung der Studenten in die direkte Prüfstandsarbeit

### 1.) Workshop (Do-It-Yourself) – 1. Quartal 2017

1-tägiger Workshop in Zusammenarbeit mit unserem technischen Partner im Bereich Dämpfertechnologie (weitere Details zum Inhalt siehe Seite 6)

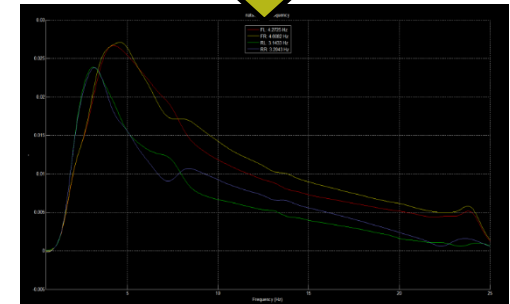
### 2.) Testvorbereitung

Fahrzeug- und Testvorbereitung wird im Detail besprochen, sodass wir das Maximum aus eurem 4-Post-Test rausholen und keine Zeit verloren geht

### 3.) Testdurchführung & Auswertung

Die Testdurchführung und das Post-Processing geschieht in enger Zusammenarbeit mit euch

Nutzt die Gelegenheit und lernt Methodiken zur Setupoptimierung kennen, die in den höchsten nationalen und internationalen Rennserien Anwendung finden (F1, LMP1, GT-Sport, etc.). Gelerntes kann zusammen mit uns direkt an eurem Fahrzeug angewendet werden.



### Funktionsprinzip in Kürze:

- Das Fahrzeug wird mittels vier Hydraulikaktuatoren dynamisch angeregt
- Die Standardanregung ist eine symmetrische Anregung in Form einer Sinusschwingung
- Die Anregung durchläuft ein vorgegebenes Frequenzband (Beispiel: 1-25 Hz) bei einer konstanten Aktuatorgeschwindigkeit (Beispiel: 150 mm/sec.)
- Durch die Messung der Beschleunigungen an Rad und Chassis, in Verbindung der Federwege können verschiedene Performance-Parameter und physikalische Größen berechnet und bewertet werden

### Vorteile eines 4-Post-Tests bei der TRE GmbH

- Optimierung und Analyse des Fahrwerkssetups eures Fahrzeugs auch im nicht fahrbereiten Zustand möglich
- Ohne Kosten für Streckenmiete und Verschleiß!
- Je Testtag bis zu 150 verschiedene Setupvarianten untersuchbar
- Absolute Reproduzierbarkeit ohne Umwelt-, Fahrer- oder Verschleißeinflüsse
- Automatisierte Auswertung und Bewertung der Ergebnisse mit TRE-eigenem Softwaretool
- Unterstützung bei Testplanung und Vorbereitung, um euren Prüfstands-Test bestmöglich zu nutzen
- Gemeinsames Lokalisieren von Problemen und Erarbeiten von Lösungsansätzen
- Verwendung des TRE-eigenen Sensorequipments (keine eigenen Sensoren notwendig)
- Zusammenfassung der Ergebnisse in einem finalen Testbericht

# FAHRWERKSABSTIMMUNG FÜR FORMULA STUDENT

## 3.) ANGEBOTENE PAKETE FÜR FORMULA-STUDENT-TEAMS



### **Workshop: 4-Post-Testing & Dämpfertechnologie**

- Dauer:** - 1 Tag, inklusive Live 4-Post- & Dämpferprüfstand-Session mit Formula-Student-Fahrzeugen
- Inhalt:** - Grundlagen der Vertikaldynamik, Prüfstands- und Dämpfertechnik  
- Live-Messungen und Vorbereitungen anhand von Formula-Student-Fahrzeugen & -Dämpfern

### **Dämpfer-Paket: Dämpferprüfstand**

- Testzeit:** - 1 Tag, inklusive Post-Processing
- Testinhalt:** - Alle Dämpfer werden auf Funktion und Symmetrie geprüft  
- Matrix-Test zur Untersuchung des kompletten Einstellbereich des Dämpfers  
- Messung des Temperatureinflusses auf das Dämpferverhalten  
- Federraten- und Bumpstopkennlinien-Messungen

### **4-Post-Paket: 4-Post-Rig-Test**

- Testzeit:** - ¼ Tag Aufbau, Anbringung der Messtechnik und Einspeisung ins System  
- ¾ Tag 4-Post-Test + Post-Processing
- Testinhalt:** - Anregung mit konstanter Geschwindigkeit und steigender Frequenz  
- Test mit verschiedenen Setup-Einstellungen  
- Erstellung einer Setup-Matrix

### **Komplett-Paket: 4-Post-Rig-Test + Dämpferprüfstand**

- Testzeit:** - 1 Tag Dämpfervermessung + Fahrzeugvorbereitung für 4-Post-Test  
- 1 Tag 4-Post-Test + Post-Processing
- Testinhalt:** - Vorteil des Komplett-Paketes liegt darin, dass zur Fahrzeugvorbereitung keine Testzeit während des 4-Post-Tests verloren geht  
- Während der Dämpfer- und Federmessung wird das Fahrzeug entsprechend vorbereitet

# FAHRWERKSABSTIMMUNG FÜR FORMULA STUDENT

3.1) WORKSHOP – 1. QUARTAL 2017



## Workshop

Wir bieten im Vorfeld in enger Zusammenarbeit mit unserem technischen Partner einen vorbereitenden Workshop an.

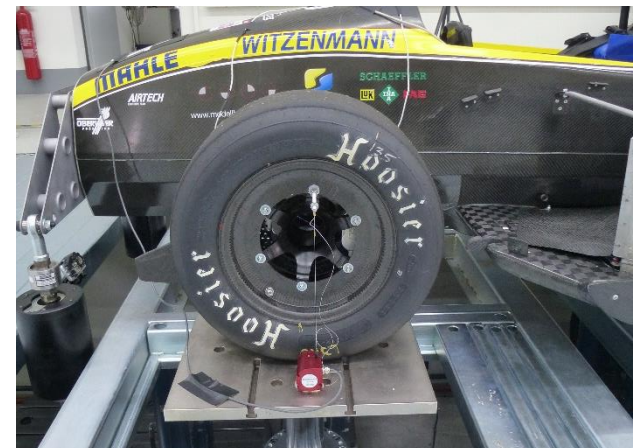
Ziel des 1-tägigen Workshops ist es, euch alle theoretischen und praktischen Vorkenntnisse zu vermitteln, um einen 4-Post-Test sinnvoll nutzen zu können.

Während des Workshops geben wir euch die Möglichkeit mit unserer Anleitung ein Fahrzeug und die benötigte Messtechnik für einen Test vorzubereiten.

Anschließend werden Live-Setup-Optimierungen und Tests anhand von Formula-Student-Fahrzeugen und entsprechender Formula-Student-Dämpfer vorgenommen.

## Workshop Inhalte:

- Einleitender Theorieteil
- Grundlagen Dämpfer- und Prüfstandstechnik
- Gemeinsames Vorbereiten der Fahrzeuge und Messtechnik
- **Live:** Damper-Testing
- **Live:** 4-Post-Testing und gemeinsame Optimierung an Formula-Student-Fahrzeugen



# FAHRWERKSABSTIMMUNG FÜR FORMULA STUDENT

## 3.2.1) IM DETAIL: HYDRAULISCHER DÄMPFERPRÜFSTAND



### Performance-Parameter:

- max. Geschwindigkeit **6 m/sec**
- max. Arbeitshub **+/- 100mm**
- max. statische Kraft des Aktuators **45kN**
- max. dynamische Kraft des Aktuators **36kN**

### Zusätzliche Besonderheiten:

- Reibungs- und Gasvorspannungstests
- Einfluss der Temperatur auf die Dämpferleistung (Cold-to-Hot-Test)
- Federraten- und Bumpstopkennlinien-Messung möglich
- Besonders für Dämpfer mit integrierter Luftfeder sehr sinnvoll
- Durch variablen Hub können auch Streckendaten abgespielt werden (Trackreplay)

# FAHRWERKSABSTIMMUNG FÜR FORMULA STUDENT

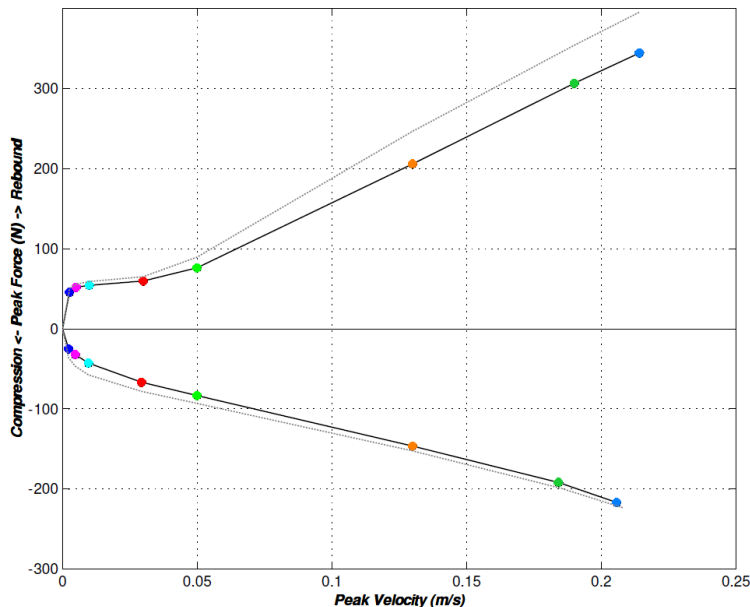
## 3.2.2) EXEMPLARISCHE MESSERGEBNISSE: DÄMPFERPRÜFSTAND



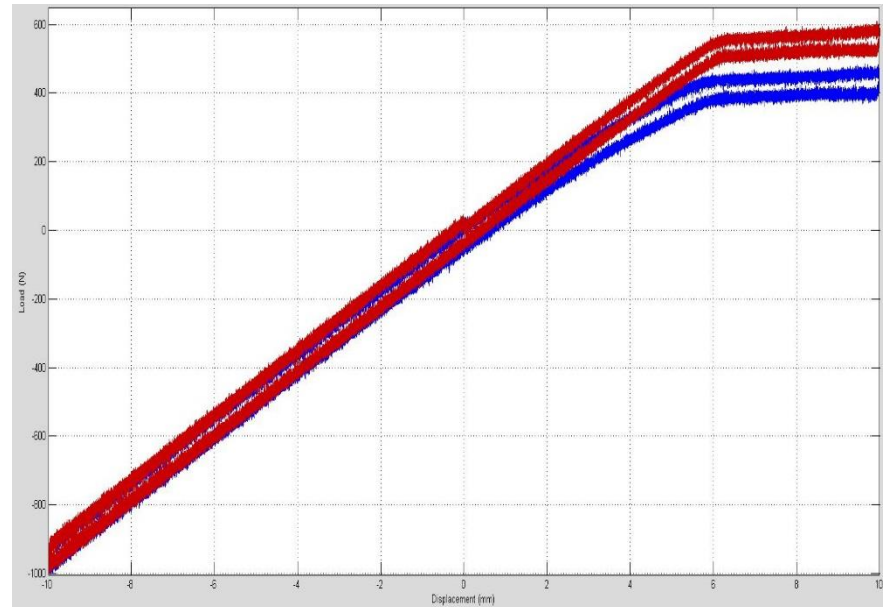
Unser hydraulischer Dämpferprüfstand bietet neben der Standard-Leistungsmessung noch weitere Einsatzmöglichkeiten. Durch die Nutzung eines Hydraulik-Stempels ist die Anlage nicht auf einen bestimmten Arbeitshub festgelegt. Somit können auch quasi-statische Feder- und Bumstop-Steifigkeiten gemessen werden. Auf eure Anwendung zugeschnittene Tests sind somit schnell umgesetzt. Anbei findet ihr zwei exemplarische Messergebnisse:

- 1.) Zeigt den Temperatureinfluss auf die Dämpferleistung und Charakteristik (Zug/Druck)
- 2.) Zeigt die resultierende Steifigkeit eines Federpakets mit Helperfeder

Temperatureinfluss auf die Dämpferleistung

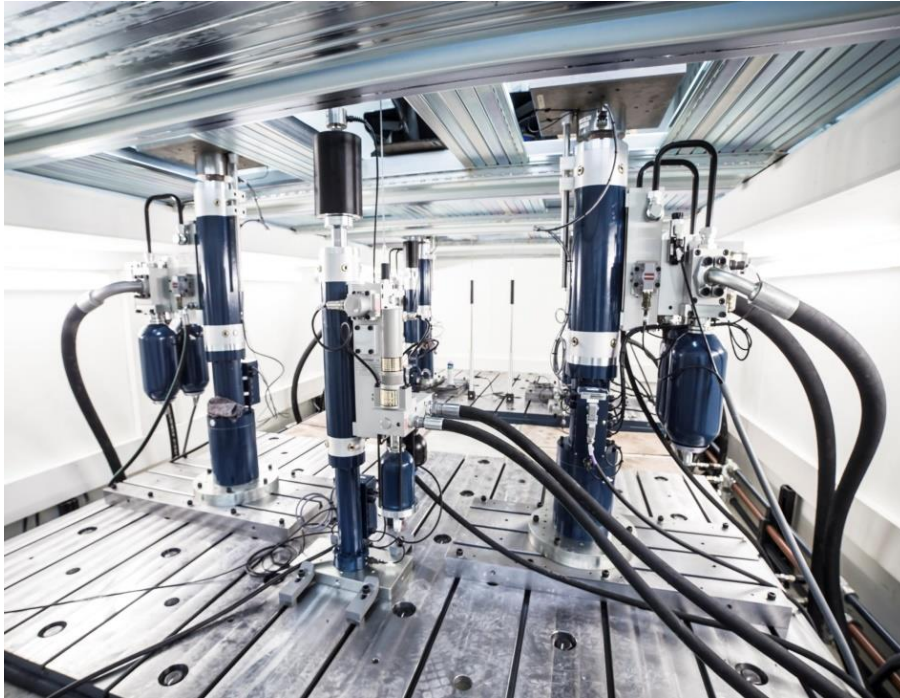


Messung der resultierenden Federrate eines Federpakets samt Helper-Feder



# FAHRWERKSABSTIMMUNG FÜR FORMULA STUDENT

## 3.3.1) IM DETAIL: 4-POST-RIG



### Performance-Parameter:

#### 4 x Rad-Aktuatoren (4-Post)

- Dynamische Kraft eines Aktuators bis zu **36kN**
- Arbeitshub **+/- 125mm**
- Min./Max. Radstand **1500 / 4600mm**
- Min./Max. Spurbreite **740 / 2600mm**

#### 3 x Chassis-Aktuatoren (7-Post)

- Dynamische Kraft eines Aktuators bis **29kN** in Zug- und bis zu **5kN** in Druck-Richtung
- Arbeitshub **+/- 150mm**



Erstes Ziel des Tests ist ein besseres Verständnis für euer Fahrzeug und Auswirkungen verschiedener Setupänderung auf das Fahrzeugverhalten zu erlangen. Auf welche Änderungen reagiert euer Fahrzeug sensitiv? Welche Nicht-Linearitäten gilt es zubeachten? War die Grundausslegung sinnvoll?

### **Sensorik – Testfahrzeug:**

- 4 x Radbeschleunigung (1-achsig)
- 4 x Aufbaubeschleunigung (1-achsig)
- 1 x Aufbaubeschleunigung am Schwerpunkt (3-achsig)
- 4 x Federwege

### **Messergebnisse (Auszug):**

- Komplette Matrix der Dämpfereinstellungen und deren Auswirkungen auf das Fahrverhalten
- Erstellung einer Setup-Matrix
- Auswirkung von Parametervariationen und deren Auswirkungen auf das Gesamtfahrzeug (Federrate, Dämpfung, Reifendruck, etc.)
- Gemeinsames Erarbeiten eines Basis-Setups und verschiedener Setup-Optionen

### **Performance-Parameter (Auszug):**

- Eigenfrequenzlage von Aufbau und Rad
- Dämpfungsmaß
- Nickverhalten
- Aufbaubewegung
- Dynamische Fahrhöhenänderung
- Dynamische Radlastschwankungen
- Dynamische Zug-/Druckstufenverhältnisse
- Dynamische Reifensteifigkeiten
- Etc.

**Alle Messdaten stehen euch anschließend zusammen mit unseren Auswertungen im Matlab- & Excel-Format zu Verfügung**

# FAHRWERKSABSTIMMUNG FÜR FORMULA STUDENT

## 3.3.3) AUSWERTUNGSBEISPIEL: SETUP-MATRIX



### Front Damper Matrix - Results

<b>Y-Axis</b>	17	59.56	50.68	45.05	41.76	40.48
Axle: Front	13	62.96	51.77	46.97	43.83	42.69
Parameter: Bump - Low Speed	9	65.41	54.32	50.20	46.71	42.52
Unit: Klicks	4	78.10	60.70	57.23	42.81	42.45
	1	72.75	73.70	73.29	41.36	40.58
<b>Displayed Value</b>		1	6	11	16	21
Axle: Front	<b>X-Axis</b>					
Parameter: Damping Ratio	Axle: Front					
Unit: deg	Parameter: Rebound - Low Speed					
	Unit: Klicks					

<b>Y-Axis</b>	17	52.71	53.96	54.62	53.62	54.12
Axle: Front	13	52.62	53.70	54.49	54.50	53.85
Parameter: Druck - Low Speed	9	52.29	53.34	53.89	54.25	53.78
Unit: Klicks	4	51.64	52.52	52.77	53.63	53.70
	1	50.14	51.02	51.12	53.75	53.78
<b>Displayed Value</b>		1	6	11	16	21
Axle: Rear	<b>X-Axis</b>					
Parameter: Damping Ratio	Axle: Front					
Unit: deg	Parameter: Rebound - Low Speed					
	Unit: Klicks					

- Die gezeigte Übersicht zeigt einen Auszug einer beispielhaften Matrixuntersuchung für das Dämpfungsmaß der Vorder- und Hinterachse (Damping Ratio) bei Variierung der Dämpfereinstellung an der Vorderachse und Beibehaltung des Basis-Setups an der Hinterachse:
- **Diese Methodik bietet folgende Erkenntnisse:**
  - Abgleich mit eigenen Simulationen und Vorauslegungen
    - Weichen die Ergebnisse stark ab und wenn ja warum?
    - War die Grundausslegung sinnvoll?
  - Auswirkungen des gesamten Einstellbereichs auf verschiedene Performance-Parameter kann betrachtet und bewertet werden
    - Wie beeinflussen sich Vorder- und Hinterachse?
    - Welche Parameter sind sensitiv, welche variieren kaum?
    - Sind die Auswirkungen von Setupänderungen linear über den Einstellbereich?
    - Welche Wechselwirkung besteht zwischen verschiedenen Performance-Parametern  
Beispiel: Welche Auswirkungen hat das Dämpfungsmaß auf die Radlastschwankungen und das Nickverhalten des Fahrzeugs?
  - **Diese Erkenntnisse erhöhen das Gesamt-Verständnis für das eigene Fahrzeug enorm**
  - **Die Auswertungen der Matrixtests eignen sich hervorragend als Setup-Tool für Testfahrten**

# FAHRWERKSABSTIMMUNG FÜR FORMULA STUDENT

## 4.) ANMELDUNG, SPONSORING, AUSBLICK UND TERMINE



### Anmeldung

Zur Anmeldung für den Workshop und zur Buchung eines Pakets kontaktiert bitte

**formula-student@iav.de**

Für Fragen zur Technik wendet euch bitte an Daniel Pfeiffer  
und bei organisatorischen Fragen an Niels Jung (Kontaktdaten siehe Seite 13)

### Sponsoring

Für den hier beworbenen Preisnachlass für Formula-Student-Teams, würden wir uns sehr freuen, wenn ihr um Gegenzug die TRE GmbH auf dem Fahrzeug und eurer Homepage samt Social-Media präsentieren könntet. Über ein entsprechendes Angebot würden wir uns sehr freuen!

### Ausblick

- Wir werden in den kommenden Wochen offiziell die Zusammenarbeit mit unserem technischen Partner im Bereich Dämpfungstechnologie bekanntgeben. Danach können wir euch noch besser und gezielter hinsichtlich der Optimierung eurer Dämpfer unterstützen.
- Der offizielle Termin für unseren Workshop (1. Quartal 2017) wird ebenso in den kommenden Wochen bekanntgegeben

**Buchung der Pakete und Kontaktaufnahme ist ab sofort möglich!**

**NOCH FRAGEN? SPRECHT UNS AN!**

**WIR FREUEN UNS JEDERZEIT ÜBER EIN  
PERSÖNLICHES GESPRÄCH UND EURE  
RÜCKMELDUNG!**

**Daniel Pfeiffer**  
Senior Test Engineer

Nachtweide 35  
67433 Neustadt/Weinstraße  
Phone +49 6321 8786-142  
formula-student@iav.de  
www.tre-gmbh.com

**Tobias Schroden**  
Test Engineer

Nachtweide 35  
67433 Neustadt/Weinstraße  
Phone +49 6321 8786-117  
formula-student@iav.de  
www.tre-gmbh.com