

# Neuer Temperaturfühler für Innenmischer ermöglicht präzisere Prozessführung

M. Hesse, H. Keuter, B. Koop, M. Schlichting

*Die Verfügbarkeit von Maschinen und Anlagen, deren Langlebigkeit und die verfahrenstechnische Prozessführung sind wesentliche Kostenfaktoren im Mischsaal. Die genaue Messung der Materialtemperatur zu jedem Zeitpunkt des Mischzykluses ist für eine genaue Prozessführung maßgeblich. Aufgrund der rauen Umgebungsbedingungen im Innenmischer müssen Temperaturfühlerspitzen robust gebaut werden, was jedoch insbesondere bei großen Temperaturgradienten zu Abweichungen zwischen der gemessenen und der realen Temperatur führt. Die HF Mixing Group hat daher einen Temperatursensor mit verbessertem Ansprechverhalten entwickelt, der auch kritische Temperaturgrenzen genau bestimmen kann.*

*The availability of machines and equipment, their durability and the procedural process control are essential cost factors in the mixing room. The accurate measurement of material temperature at any given point in the mixing cycle is critical for a precise process control. Due to the harsh conditions in the internal mixer, temperature sensor tips must be built robustly, which, however, leads to deviations between the measured and the real temperature, especially in the case of high temperature gradients. The HF Mixing Group has therefore developed a temperature sensor with improved response behaviour that can accurately measure even critical temperature limits.*

## 1 Einleitung

Seit 2018 erlebt die Automobilindustrie weltweit stark sinkende Absatzzahlen. Der Verkauf von Neufahrzeugen ist um ca. 30 % gesunken, was nur zum Teil durch die Covid-19-Pandemie verursacht war. Hierdurch sinkt nicht nur der Bedarf an Reifen in der Neuaustrüstung, sondern auch von anderen Gummiproducten für Fahrzeuge, was zu einer geringeren Auslastung in der Kautschukverarbeitenden Industrie führt. Es ist davon auszugehen, dass sich hierdurch eine Konsolidierungsphase von Kapazitäten ergibt und Zulieferer preislich weiter unter Druck

geraten [1]. Die Zuliefererindustrie wird in der Konsequenz Herstellungsprozesse weiter optimieren und Potenziale heben müssen.

Wesentliche Kostenfaktoren im Mischsaal sind durch die Verfügbarkeit von Maschinen und Anlagen, deren Langlebigkeit und durch die verfahrenstechnische Prozessführung gegeben. Die HF Mixing Group hat sich daher auf die Fahnen geschrieben, entsprechende Kostensenkungspotenziale zu untersuchen und Lösungen zur weiteren Senkung von Kosten in der Mischungsherstellung anzubieten.

Es ist allgemein bekannt, dass die Kenntnis der genauen Mischtemperatur in bestimmten Mischphasen von großer Bedeutung ist. Im Folgenden soll daher auf die schwierige Messung der Mischungstemperatur im Innenmischer eingegangen werden. Bei der Verarbeitung von Silicamischungen ist es z. B. von ausschlaggebender Bedeutung, die Silanisierungstemperatur in der entsprechenden Silanisierungsphase nicht zu überschreiten, da es dann zu Vernetzeffekten kommen kann. Fährt man den Prozess aus Sicherheitsgründen mit zu niedriger Silanisierungstemperatur, verzögert sich der Mischprozess, da die Silanisierungsgeschwindigkeit kleiner ist. Aber auch bei Fertigmischprozessen ist leicht vorstellbar, dass

eine exaktere Prozessführung Risiken minimiert und die Wirtschaftlichkeit erhöht. Sicherlich gibt es noch deutlich mehr Beispiele, die die Bedeutung einer genaueren Temperaturmessung belegen könnten.

## 2 Entwicklung eines neuen Temperaturfühlers

Für eine genaue Prozessführung ist die exakte Messung der Materialtemperatur zu jedem Zeitpunkt des Mischzykluses von entscheidender Bedeutung. Übersteigt die Temperatur eine materialabhängige Grenztemperatur im Innenmischer, führt dies zu thermischer Schädigung der inneren Strukturen des Mischgutes und vermindert die Qualität des Endprodukts.

In einem Innenmischer herrschen rauen Umgebungsbedingungen. Abrasive Materialien werden unter Einwirkung großer Kräfte miteinander vermischt. Durch ihre exponierte Lage müssen besonders die Temperaturfühler robust gebaut und geschützt werden. Aus diesem Grund haben viele konventionelle Sensoren dickwandige, massive Temperaturfühlerspitzen, welche die von außen aufgeprägten Temperaturen nur langsam an das eigentliche Thermoelement weiterleiten. Diese Trägheit führt besonders bei großen

Dr.-Ing. Markus Hesse  
markus.hesse@hf-mixinggroup.com

Dr.-Ing. Harald Keuter  
Börge Koop  
Martin Schlichting

Harburg Freudenberger Maschinenbau GmbH,  
Freudenberg  
www.hf-mixinggroup.com

Alle Abbildungen und Tabellen wurden, sofern nicht anders angegeben, freundlicherweise von den Autoren zur Verfügung gestellt.

Temperaturgradienten zu Abweichungen zwischen der gemessenen und der realen Temperatur (Abb. 1).

Ein sensibler, stabiler Temperatursensor, der auch schnelle Temperaturänderungen agil und genau bestimmen kann, war die Zielvorgabe bei diesem Entwicklungsvorhaben. Um eine schnellere Ansprechzeit der Materialtemperaturfühlerspitze im Vergleich zu der konventionellen Fühlerspitze zu erreichen, wurde die Geometrie der Fühlerspitze verbessert (Abb. 2).

Die stromlinienförmige Ausführung des Sensors hat zwei Vorteile. Zum einen wird der Sensor weniger durch die Reibungswärme des vorbeiströmenden Materials beeinflusst und zum anderen reduziert sich die auf den Sensor wirkende Kraft. Dies in Kombination mit einer inneren Versteifungsstruktur ermöglicht dünnere Außenwände der Sensorspitze bei gleicher Stabilität und Haltbarkeit.

In der Entwicklungsphase wurden die Reaktionszeiten der Sensoren mithilfe der Finite-Elemente-Methode (FEM) analysiert (Abb. 3). Für die Simulation wurden beide Sensorspitzen schlagartig von 20 °C auf 150 °C erwärmt und die Wärmeübertragungsprozesse für einen Zeitraum von 180 s berechnet.

Die Ergebnisse der vergleichenden FEM-Simulation zeigen zwei Unterschiede:

1. In der Anfangsphase zeigt der neue Sensor eine schnellere Erwärmung im Bereich der Fühlerspitze (Abb. 3/1). Die simulierte Reaktionszeit auf Temperaturänderungen ist somit kürzer.
2. Nach 180 s ist der Schaft des neuen Fühlers weniger stark erwärmt (Abb. 3/2). Auch dies ist ein Indiz für ein verbessertes dynamisches Ansprechverhalten des Sensors.

Nach der Herstellung des neuen Fühlers wurde die Reaktionszeit der beiden Sensoren mithilfe eines temperierten Ölbadts auch praktisch untersucht (Abb. 4). Für die Analyse wurden die Sensoren zeitgleich in ein auf 150 °C vorgewärmtes Ölbad getaucht. Besonders deutlich wird die verbesserte Ansprechzeit in den ersten 20 s, also bei großen

Abb. 1: Abweichungen zwischen gemessener und realer Temperatur

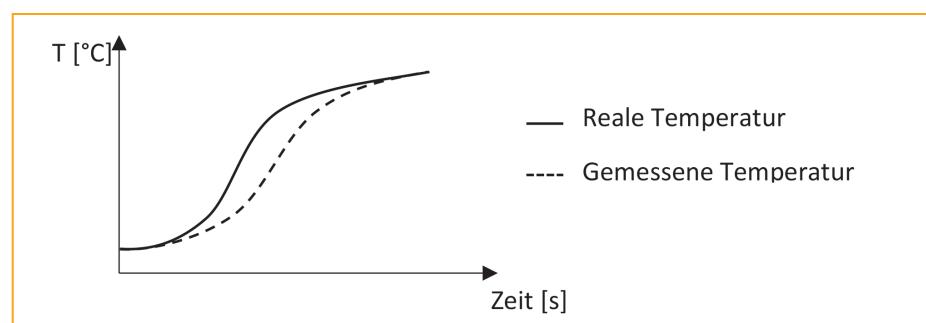


Abb. 2: Geometrievergleich der Sensorspitzen

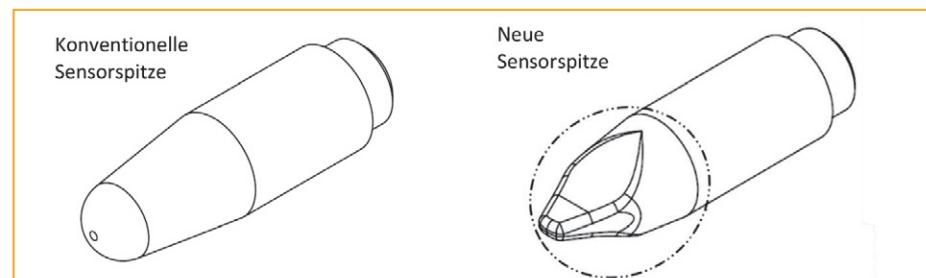


Abb. 3: FEM-Simulation der Aufheizung des konventionellen und des neuen Sensors.

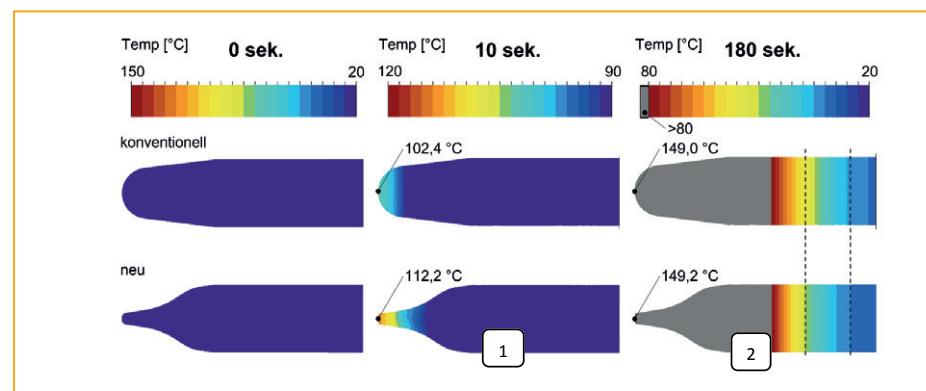
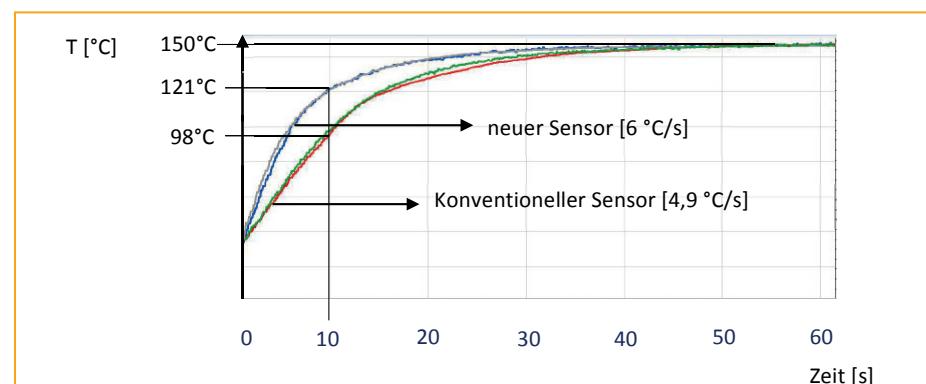


Abb. 4: Sensorvergleich im Ölbad (vier Messungen)



Temperaturgradienten. Hier konnten Temperaturunterschiede von bis zu 20 °C gemessen werden.

Nach den erfolgreichen Vorversuchen im Ölbad wurde der neue Sensor in die Entleerungsklappe eines IM 45 E eingebaut. Ein

direkter Vergleich mit der herkömmlichen Bauform war möglich, da das Entleerungsklappenoberteil der Testmaschine mit zwei Temperaturfühlerbohrungen ausgestattet ist und somit eine parallele Aufzeichnung der Temperatur von zwei Sensoren ermöglicht (Abb. 5).

Das verbesserte Ansprechverhalten des neuen Sensors kann schon aus der Kurvengeometrie abgeleitet werden (Abb. 6). Die relative Trägheit der herkömmlichen Fühlerspitze dämpft und glättet das Messignal. Der Kurvenverlauf ist aus diesem Grund gleichmäßiger und weniger schwankend.

Des Weiteren konnten drei Vorteile festgestellt werden:

1. In der Materialeinzugsphase (Abb. 6/1) liegt die gemessene Temperatur des neuen Sensors unter der des Standardföhlers. Dieses Verhalten ist auf den ver-

ringerten Fließwiderstand der neuen Fühlerspitze und die damit verbundene reduzierte Reibungswärme zurückzuführen (Abb. 6/1). Im weiteren Prozessverlauf kommt es aufgrund der zunehmenden Inkorporation der Füllstoffe zu erhöhten Energieeinträgen. Der damit verbundene schnelle Temperaturanstieg wird von dem herkömmlichen Sensor nur zeitversetzt erfasst, sodass die Temperaturkurve des neuen Sensors die des herkömmlichen übersteigt (Abb. 6/2). Vorteil: Oft wird die Materialtemperatur in dieser Phase genutzt, um Mischpro-

zesse zu steuern (...mische bis zu einer gewissen Temperatur, dann...). In diesem Fall führt eine genauere Bestimmung der Materialtemperatur zu einer verbesserten Prozessführung und kürzeren Mischzyklen.

2. Nach einem Lüftschritt erreicht der Stempel die Endlage. Der Energieeintrag ist in dieser Mischphase sehr hoch. Der resultierende Temperaturanstieg wird von dem neuen Sensor genauer und 10 s schneller erfasst (Abb. 6/3). Vorteil: Kautschukmischungen dürfen in der Regel bestimmte Temperaturgrenzen nicht überschreiten. Durch eine agile präzise Bestimmung der Materialtemperatur in dieser Prozessphase können kritische Temperaturgrenzen genauer „angefahren“ werden. Hierdurch entstehen dem Betreiber verschiedenen Vorteile:
  - bessere Materialqualität (keine Überhitzung)
  - kürzere Mischzeiten und höhere Durchsätze
  - weniger Energieverbrauch

Abb. 5: Entleerungsklappenoberteil mit zwei Fühlerbohrungen

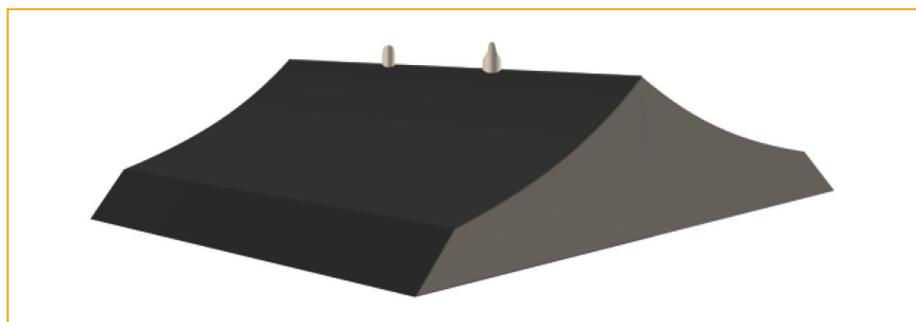
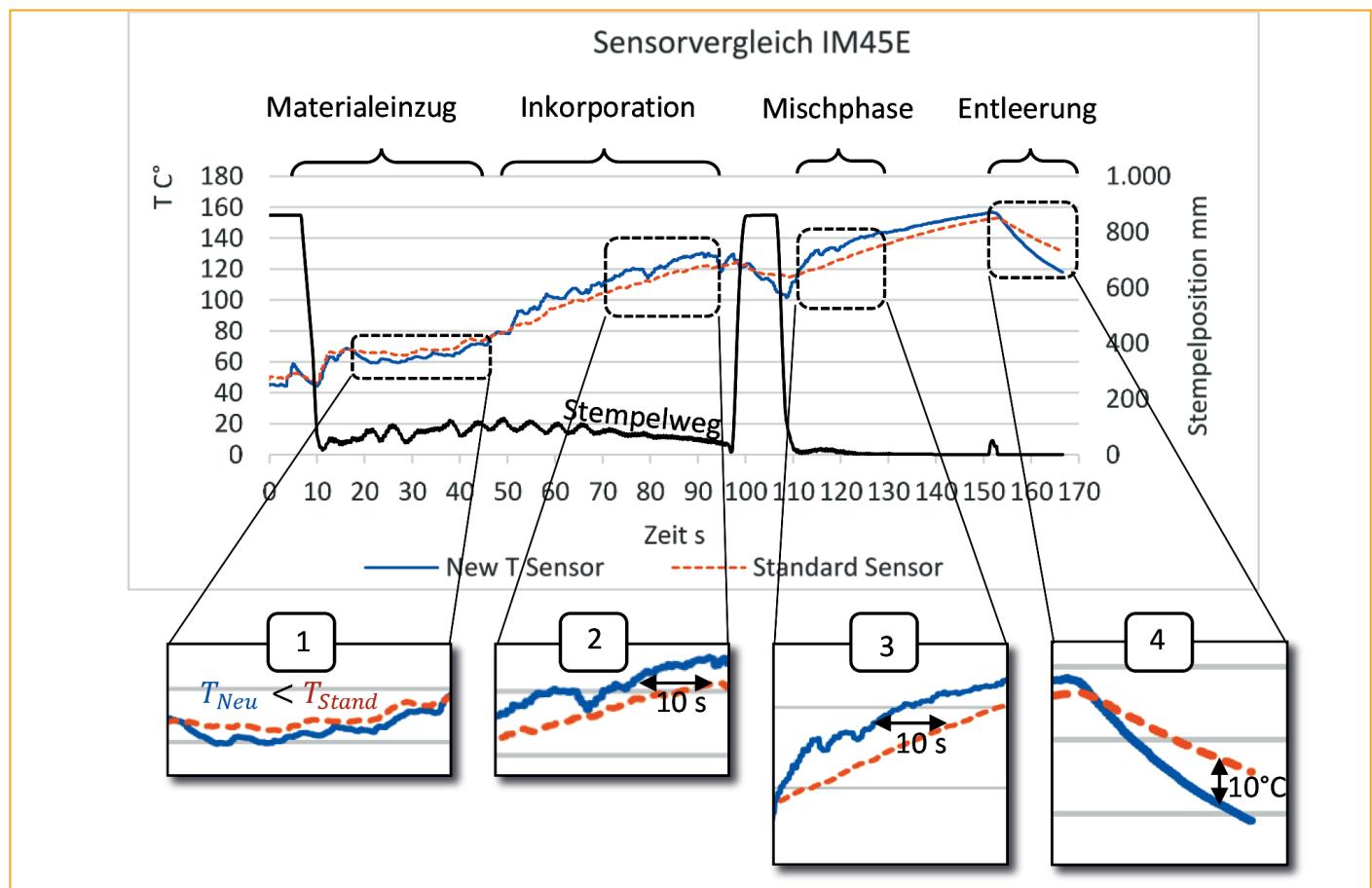


Abb. 6: Sensorvergleich im ineinandergreifenden Innenmischer



3. Nach der Entleerung kühlt sich die neue Fühlerspitze schneller ab (**Abb. 6/4**). Vorteil: Die Temperaturmessung der nachfolgenden Rezeptur wird weniger durch eine vorgewärmte Fühlerspitze beeinflusst.

### 3 Wirtschaftliches Potenzial

Neben den positiven verfahrenstechnischen Auswirkungen ergeben sich durch die verbesserte Prozesseffizienz auch wirtschaftliche Vorteile. Wird eine Mischzeitreduktion von 10 s angenommen, so lässt sich an folgendem Fallbeispiel eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchführen.

#### Maschinendaten:

Maschinengröße: IM320E  
Mischkammervolumen:  $V = 332 \text{ L}$   
Anlagenverfügbarkeit/Jahr:  $h = 6.000 \text{ h/Jahr}$   
Durchschnittliche Leistungsaufnahmen:  $P = 800 \text{ kW}$

#### Prozessdaten:

Zykluszeit:  $t_z = 300 \text{ s}$   
Füllfaktor:  $f = 0,65$   
Mischzeitreduzierung durch neuen Sensor:  $t_R = 10 \text{ s}$

#### Materialdaten:

Dichte:  $\rho = 1,2 \text{ kg/dm}^3$

Für den oben beschriebenen Mischer ergibt sich somit eine Durchsatzsteigerung durch den Einsatz des neuen Fühlers von:

$$M = V \cdot f \cdot \rho \cdot h \cdot 3600 \\ \cdot \left( \frac{1}{t_z - t_R} - \frac{1}{t_z} \right) \approx 643 \text{ t/Jahr}$$

Wird das zusätzliche Volumen nicht benötigt, ist durch den effizienteren Prozess eine Energieeinsparung von

$$E = \frac{M \cdot t_z \cdot P}{V \cdot f \cdot \rho \cdot 3600} \\ \approx 165.517 \text{ kWh/Jahr}$$

möglich. Bei einem Strompreis von 0,12 EUR/kWh beträgt somit die Kosteneinsparung ca. 20.000 EUR/Jahr.

### 4 Fazit

Die Untersuchungsergebnisse haben gezeigt, dass die entwickelte Temperaturfühlerspitze eine genauere Prozessführung ermöglicht. Besonders deutlich wird dies z. B. in der Inkorporationsphase, in welcher die Materialtemperatur schnell ansteigt. Die großen Temperaturgradienten werden genauer erfasst, so dass Regel- und Steuerungsprozesse präzise

eingeleitet werden können. Hieraus ergeben sich dem Anwender verschiedene Vorteile.

Kritische Temperaturgrenzen werden schärfer aufgelöst, wodurch eine temporäre Überhitzung durch ein zeitversetztes trüges Messsignal vermieden wird. Die Vermeidung von thermischen Schäden verbessert die Qualität des Mischguts.

Temperaturgeregelte Mischphasen, in welchen definierte Materialtemperaturen den nächsten Prozessschritt freigeben, verkürzen sich. Versuche haben gezeigt, dass Temperaturweiterschaltmarken um bis zu 10 s früher erreicht wurden. Dies wird sich positiv auf Durchsatz bzw. Energieverbrauch der Mischlinie auswirken.

Zusammengefasst kann gesagt werden, dass die verbesserte Transparenz der Temperaturrentwicklung Qualität, Durchsatz und Energieeffizienz einer Produktionslinie erhöhen kann. Darüber hinaus gewährleisten Material, Form und Struktur des Sensors einen reibungslosen Betrieb sowie eine lange Sensorlebensdauer.

### 5 Literatur

[1] Global Automotive Supplier Study, August 2019; Lazard & Roland Berger

## Deutsche Kautschukindustrie: Automobilzulieferer am Rande des Abgrunds

Wie der Wirtschaftsverband der deutschen Kautschukindustrie e. V. (wdk) berichtet, erreichen den Verband aus den verschiedensten Automobilzulieferer-Industriebranchen Meldungen über existenzbedrohende Liquiditätsengpässe.

Die Stillstände bei den Automobilherstellern aufgrund fehlender Halbleiter seien öffentlich bekannt. Weit weniger beachtet werde die sich zuspitzende Situation bei den Automobilzulieferunternehmen: Die Lager seien voll, die Liquidität der Unternehmen sei so gebunden. Banken zeigten aktuell wenig Bereitschaft, kurzfristig weitere Kredite zu gewähren. Bis zum Jahresende werde es in der Lieferkette zu Insolvenzen und Liefer-

abbrüßen kommen, so die mit der Situation vertrauten Experten.

Aus Sicht von **Boris Engelhardt**, Hauptgeschäftsführer des wdk, müssen die Einkaufsabteilungen der Automobilhersteller und ihre Zulieferer ganz zeitnah und offen miteinander kommunizieren. Es sei dringend erforderlich, dass die Automobilhersteller die Liquidität der Zulieferer durch Teilzahlun-

gen, z. B. von bereits angefallenen Projekt- und Werkzeugkosten oder durch finanzielle Beteiligung an der Rohstoffbeschaffung stützen. Andernfalls würden der aktuellen Halbleiter-Knappheit weitere Mangelbereiche folgen.

„Am Beispiel japanischer Automobilhersteller zeigt sich, dass auch in der aktuellen Situation eine bessere Kommunikation zwischen Automobilherstellern und Zulieferunternehmen möglich ist. Hersteller und Zulieferer müssen schnellstmöglich das Miteinander stärken und gemeinsam Problemlösungen finden. Und zwar jetzt!“, so Engelhardt abschließend.

[www.wdk.de](http://www.wdk.de)