

# JOINING PLASTICS

# FÜGEN VON KUNSTSTOFFEN

[www.fuegen-von-kunststoffen.de](http://www.fuegen-von-kunststoffen.de)

[www.joining-plastics.info](http://www.joining-plastics.info)

Kunststoffschweißtechnik in Perfektion

*Plastics Welding Technology in Perfection*



Warmgasschweißgeräte  
Extrusionsschweißgeräte  
Stumpfschweißmaschinen  
Biegemaschinen  
Sondermaschinen

*Hot Air Welding Tools*  
*Extrusion Welders*  
*Butt Welding Machines*  
*Bending Machines*  
*Custom Designed Machines*



Besuchen  
Sie uns

Halle 11,  
Stand A34

Visit us

Hall 11,  
booth A34



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



## Themen der Fachbeiträge

- Laserdurchstrahlsschweißen von Thermoplasten mit längeren Wellenlängen
- Thermisches Nieten von polymeren Werkstoffen
- Zerstörungsfreie Aushärtegradprüfung mit unilateraler NMR
- Ermüdungsverhalten von vibrationsgeschweißten Verbindungen aus Polyamid 6.6

## Topics of the Peer-reviewed Papers

- Laser transmission welding of thermoplastics at longer wavelengths
- Thermal riveting of polymer materials
- Non-destructive testing of the degree of curing with unilateral NMR
- Fatigue behaviour of vibration-welded joints made of Polyamide 6.6

Innovation – Made in Germany

# INGENIA



CUSTOM-MADE MACHINES FOR THERMOPLASTIC MATERIALS & SEMI-FINISHED PARTS



**Sheet butt welder  
(CNC-controlled)**

Stumpf-Schweißmaschinen  
(mit CNC-Steuerung)

**Bending machines  
(CNC-controlled)**

Biegemaschinen  
(mit CNC-Steuerung)



**Tank welding machine**

Behälterschweißanlage



**Box welding machine**

Kisten-Schweißmaschine



**Tailored machinery/individual solutions**

Individuelle Kundenlösungen



**NEW GENERATION**



**Huge surface butt welder**

Große Flächen-Schweißmaschinen



## Liebe Leserin, lieber Leser, Dear Reader,



Kunststoffe und -produkte sind von unschätzbarem Wert für unser tägliches Leben. Das mag hochgegriffen klingen, leuchtet aber unmittelbar ein, wenn wir uns die einfache Frage stellen: Wie sähe unser Alltag beispielsweise in der Mobilität, bei Bau und Infrastruktur oder in der Medizintechnik ohne Kunststoffe aus? Ein spannendes, aber vermutlich ernüchterndes Gedankenexperiment.

Viele Kunststoffprodukte und Hybridbauteile erfordern zur Fertigstellung sichere Fügeverfahren – darunter auch Schweißen, Kleben oder auch thermisches Direktfügen. Besonders am Beispiel der Multi-Material-Verbunde, welche im Leichtbau zunehmend an Bedeutung gewinnen, wird deutlich, dass Fügeverfahren Querschnittstechnologien sind. Es überrascht daher kaum, dass die Gesamtwertschöpfung eines gefügten Bauteils bzw. einer Baugruppe mit Verbindungselementen signifikant höher liegt als die Wertschöpfung aus diesen Einzelkomponenten. Deshalb ist ein funktionierender und reproduzierbar ablaufender Fügeprozess auch so elementar wichtig: Kommt es in diesem abschließenden Fertigungsschritt zu Problemen, so werden gesamte vorgelagerte Prozessketten obsolet. Die Folgen sind: Materialausschuss, Entsorgung ganzer Baugruppen, hohe Kosten, gestörte Kundenbeziehungen sowie im schlimmsten Fall Sach- oder Personenschäden mit Haftungsrisiken. Es ist daher notwendig, dem Thema Verbindungstechnik in Forschung und Entwicklung einen hohen Stellenwert beizumessen.

Die Wettbewerbsfähigkeit unserer Kunststoffindustrie, insbesondere auch die der Fügeverfahren, hängt maßgeblich von Innovationen ab. Für sie sind universitäre und außeruniversitäre F&E-Partner oft entscheidende Wegbereiter. Aber nicht nur die angewandte Forschung, sondern auch die gewerblich technische Aus- und Weiterbildung leisten einen wichtigen Beitrag zur Weiterentwicklung der stark mittelständisch geprägten Kunststoffbranche in Deutschland und werden sicher auch künftig ein Garant für wettbewerbsfähige Produkte „Made in Germany“ sein. Praxisnahe F&E mit geringer Eintrittshürde und Erwachsenenbildung beflügeln nicht nur die Wirtschaft, sondern leisten auch einen wichtigen Beitrag, um gesellschaftliche Ziele zu erreichen, u. a. bei Kreislaufwirtschaft, Umweltschutz oder Digitalisierung.

Ganz reibungslos wird der Start in das Jahr 2022 aus Sicht der Forschungstreibenden und -willigen aber wohl nicht verlaufen, denn es stehen noch große Unwägbarkeiten im Raum. Zu nennen sind hier aus meiner Sicht die noch nicht endgültig definierten Rahmenbedingungen in wichtigen Förderprogrammen. Vor uns liegen große Herausforderungen, vor uns liegen aber auch gewaltige Chancen. Lassen sie uns optimistisch sein und die Chancen, die unweigerlich entstehen werden, konsequent nutzen; beispielsweise durch die Potenziale der Digitalisierung. Dann können wir – davon bin ich fest überzeugt – in bester Erwartung der „Zeit nach Corona“ entgegenblicken!

Plastics and plastic products are invaluable to our daily lives. This may sound like an exaggeration, but it is immediately obvious when we ask ourselves the simple question: What would our everyday life look like without plastics, for example in mobility, construction and infrastructure or medical technology? An exciting but probably sobering thought experiment.

Many plastic products and hybrid components require safe joining techniques to be completed - including welding, adhesive bonding or even direct thermal joining. Especially the example of multi-material composites, which are becoming increasingly important in lightweight construction, makes it clear that joining techniques are general purpose technologies. It is therefore hardly surprising that the total value added of a joined component or an assembly with joining elements is significantly higher than the value added from its individual components. This is why a functioning and reproducible joining process is so fundamentally important: if problems occur in this final production step, entire upstream process chains become obsolete. The consequences are: Material waste, disposal of entire assemblies, high costs, disrupted customer relations and, in the worst case, property damage or personal injury with liability risks. It is therefore necessary to attach great importance to the topic of joining technology in research and development.

The competitiveness of our plastics industry, especially that of joining technology, depends to a large extent on innovations. For them, university and non-university R&D partners are often decisive pioneers. But not only applied research but also industrial technical education and training make an important contribution to the further development of the plastics industry in Germany, which is strongly characterised by small and medium-sized enterprises, and will certainly continue to be a guarantor for competitive products „Made in Germany“ in the future. Practical R&D with low entry barriers and adult education not only stimulate the economy, but also make an important contribution to achieving social goals, for example in recycling management, environmental protection or digitalisation.

However, the start of 2022 will probably not be entirely smooth from the point of view of those doing and willing to do research, because there are still major imponderables. In my view, the framework conditions in important funding programmes that have not yet been finally defined should be mentioned here. There are great challenges ahead of us, but there are also tremendous opportunities. Let us be optimistic and make consistent use of the opportunities that will inevitably arise; for example, through the potential of digitalisation. Then - of this I am firmly convinced - we can look forward to the „time after Corona“ with the best of expectations!

*Eduard Kraus*

Dr. Eduard Kraus

Bereichsleiter „Fügen und Oberflächentechnik“  
am SKZ – Das Kunststoff-Zentrum

Business Unit Manager for „Joining and Surface Technology“  
at SKZ - Das Kunststoff-Zentrum

	<b>Autor Author</b>	<b>Seite Page</b>	
	Awiszus, Birgit	20	
	Balzer, Christian	44	
	Bastian, Martin	28	
	Baudrit, Benjamin	28, 44	
	Beckensträter, Hanna	44	
	Brückner, Eric	20	
	Engelsing, Kurt	44	
	Gehde, Michael	20	
	Hack, Ulrich	28	
	Halmen, Norbert	28	
	Härtel, Sebastian	20	
	Hochrein, Thomas	28, 44	
	Kraus, Eduard	28, 44	
	Mittelberg, Linda	28	
	Russek, Ulrich A.	36	
	Schollmayer, Andreas	36	
	Thomas, Sven	36	

### Aktuelles

- 6** Konjunktur in der Kunststoffbranche: Kaum Entspannung bei Versorgung und Preisentwicklung
- 8** IKV: Abteilung Aus- und Weiterbildung hat neuen Geschäftsführer
- 9** Neuer Leiter am akkreditierten Prüflabor des KUZ
- 10** Neue Ultraschall-Schweißmaschine an der Kunststofftechnik Paderborn (KTP)

### Veranstaltungen

- 13** Alle Neuigkeiten zur K 2022

### aus Unternehmen

- 14** Rinco Ultrasonics expandiert nach Marokko
- 14** Trelleborg: Verbinden von Thermoplasten und Duroplasten im Mehrkomponentenverfahren
- 15** Herrmann Ultraschall eröffnet Tech-Center in Frankreich

### Produkte

- 16** Herz: Neuer Dohle Schweißextruder ExOn C3
- 17** Rehau: Schweißadapter spart Zeit beim Schweißen von Abwasserrohren

### Fachbeiträge

- 20** Thermisches Nieten von polymeren Werkstoffen – Numerische Prozessabbildung und Abgleich mit experimentellen Daten  
Professur Kunststoffe am Institut für Fördertechnik und Kunststoffe sowie Professur Virtuelle Fertigungstechnik am Institut für Werkzeugmaschinen und Produktionsprozesse, Technische Universität Chemnitz; Fachbereich Hybride Fertigung, Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg
- 28** Zerstörungsfreie Aushärtegradprüfung mit unilateraler NMR  
SKZ – Das Kunststoff-Zentrum, Würzburg
- 36** Laserdurchstrahlschweißen von Thermoplasten mit längeren Wellenlängen  
Rheinische Fachhochschule Köln gGmbH, Köln
- 44** Ermüdungsverhalten von vibrationsgeschweißten Verbindungen aus Polyamid 6.6  
SKZ – Das Kunststoff-Zentrum, Würzburg

### Weitere Rubriken

- 50** Impressum
- 63** Inserentenverzeichnis
- 63** Veranstaltungsübersicht

**JOINING PLASTICS**  
**FÜGEN VON KUNSTSTOFFEN**  
**NEWSLETTER**

## News

- 6 Economic situation in the plastics industry: Little improvement in supply and price outlook
- 8 IKV: New Managing Director for Training and Development Department
- 9 New manager at the accredited KUZ testing laboratory
- 10 New ultrasonic welding machine at the Kunststofftechnik Paderborn (KTP)

## Events

- 13 All news about the K 2022

## from Companies

- 14 Rinco Ultrasonics expands into Morocco
- 14 Trelleborg: Bonding thermoplastics and thermosets in a multi-component process
- 15 Herrmann Ultraschall opens tech centre in France

## Products

- 16 Herz: New Dohle welding extruder ExOn C3
- 17 Rehau: Welding adapter saves time when welding sewer pipes

## Peer-reviewed Papers

- 20 Thermal riveting of polymer materials - Computeraided process modeling and comparison with experimental data  
Chair of Plastics at the Institute for Materials Handling and Plastics and Chair of Virtual Production Engineering at the Institute for Machine Tools and Production Processes, University of Technology Chemnitz; Hybrid Manufacturing, Brandenburg University of Technology Cottbus-Senftenberg
- 28 Non-destructive testing of the degree of curing with unilateral NMR  
SKZ – Das Kunststoff-Zentrum, Würzburg
- 36 Laser transmission welding of thermoplastics at longer wavelengths  
Rheinische Fachhochschule Köln gGmbH, Cologne
- 44 Fatigue behaviour of vibration-welded joints made of Polyamide 6.6  
SKZ – Das Kunststoff-Zentrum, Würzburg

## Regular Features

- 50 Imprint
- 63 Advertiser listing
- 63 Meeting Diary



# SICHERE FÜGUNG.

Mit unseren Kunden verbindet uns ein hoher Qualitätsanspruch. Deshalb sind wir ein starker Partner, wenn es um perfekte Verbindungen geht. Wir beraten Sie, welches Schweiß- oder Nietverfahren für Ihre Materialkonstellation, Bauteilgeometrie und Stückzahlenanforderungen optimal ist, auch in Kombination.



Die FRIMO Augmented Reality App – Spannende 3D-Einblicke in unsere Technologien!

FÜGEN / KLEBEN

Anmeldung auf/Registration on:  
[www.joining-plastics.info/newsletter](http://www.joining-plastics.info/newsletter)

**KUTENO**  
Kunststofftechnik Nord

Besuchen Sie uns! Kuteno 2022  
 Rheda Wiedenbrück, Deutschland  
 10. - 12.05.2022 | Halle 5 / L7

[www.frimo.com](http://www.frimo.com)

# Konjunktur in der Kunststoffbranche: Kaum Entspannung bei Versorgung und Preisentwicklung

## Economic situation in the plastics industry: Little improvement in supply and price outlook

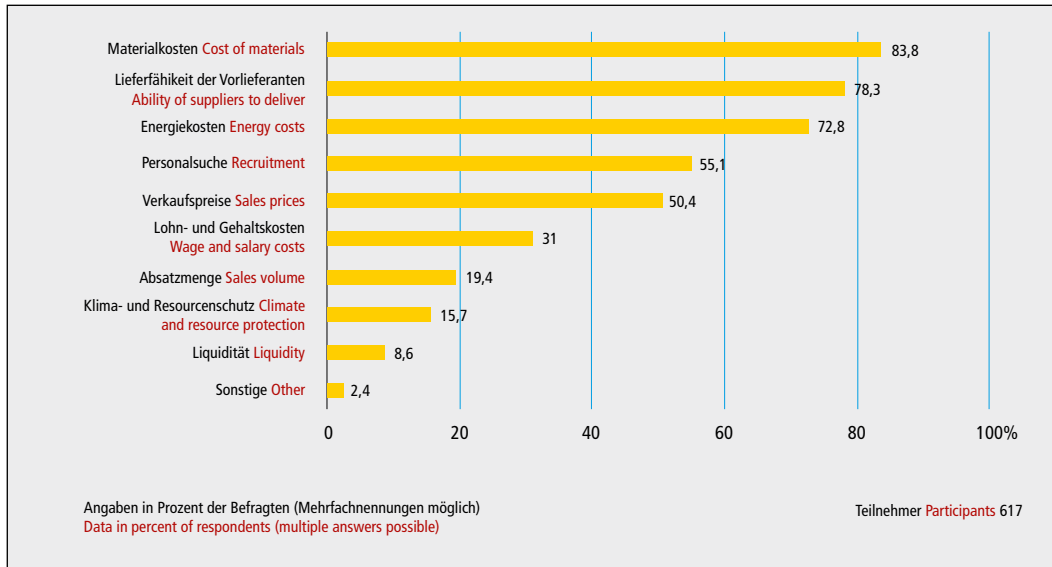


Bild 1: Die größten Herausforderungen in 2022

Fig. 1: The biggest challenges in 2022

Zweckpessimismus auf breiter Front: Das zweite Jahr der Coronapandemie hat die Kunststoffbranche Zurückhaltung gelehrt. Durch die Bank blicken die Unternehmen mit gemischten Gefühlen zurück – und auch in die Zukunft. Von Aufbruchstimmung ist in dem Wirtschaftsegment wenig zu spüren. Einzige Ausnahme: Bei den Unternehmen,

die sich mit Kunststoffrecycling beschäftigen, boomt es. Zu diesem Ergebnis kommt der „42. KI Dialog“, die aktuelle Umfrage zur Konjunktur in der Kunststoffbranche des Wirtschaftsinformationsdienstes „KI – Kunststoff Information“. Seit 2001 befragt KI im halbjährlichen Rhythmus Führungskräfte der Kunststoffindustrie u. a. zu Geschäftsverlauf

Functional pessimism exists across the board: The second year of the coronavirus pandemic has taught the plastics industry restraint. Collectively, companies look back – and toward the future – with mixed feelings. There is little sense of turnaround in this economic segment. The only exception is that companies involved in plastics recycling are boom-

ing. This is the verdict of the „42nd KI Dialog“, the current survey on the economic situation in the plastics industry by the business information service „KI - Kunststoff Information“. Since 2001, KI has been surveying managers in the plastics industry every six months on topics such as business development and expectations, investments and employment. Between the beginning of December 2021 and mid-January 2022, 623 companies from all sectors of the plastics industry took part in the survey. About three quarters of the participants (73.7%) are from Germany, just under one in ten from the German-speaking neighbouring countries of Austria and Switzerland. Significantly more than half of the participating companies (56.5%) are plastics processors, about 8% each can be assigned to the areas of plastics production, raw materials distribution and plastics trade. And almost every 20th company is active in the recycling sector.

As uniform as the summary view of the aggregated figures appears, the results of the 42nd KI Dialogue reveal differences after detailed evaluation of the individual questions: Although a good third of the companies (37.1%) report an improvement in their business in the second half of 2021, just under one in four companies (22.9%) also state that business in the last six months of 2021 was worse than in the first half of the year.

### Expectations for business development in the year 2022

When it comes to expectations for business development in the new year 2022, it becomes clear that companies are less optimistic and much more conservative about the future. While 34% of companies in the KI Dialog survey in winter 2020/21 reported expectations for their business to improve, this figure initially fell by just one percentage

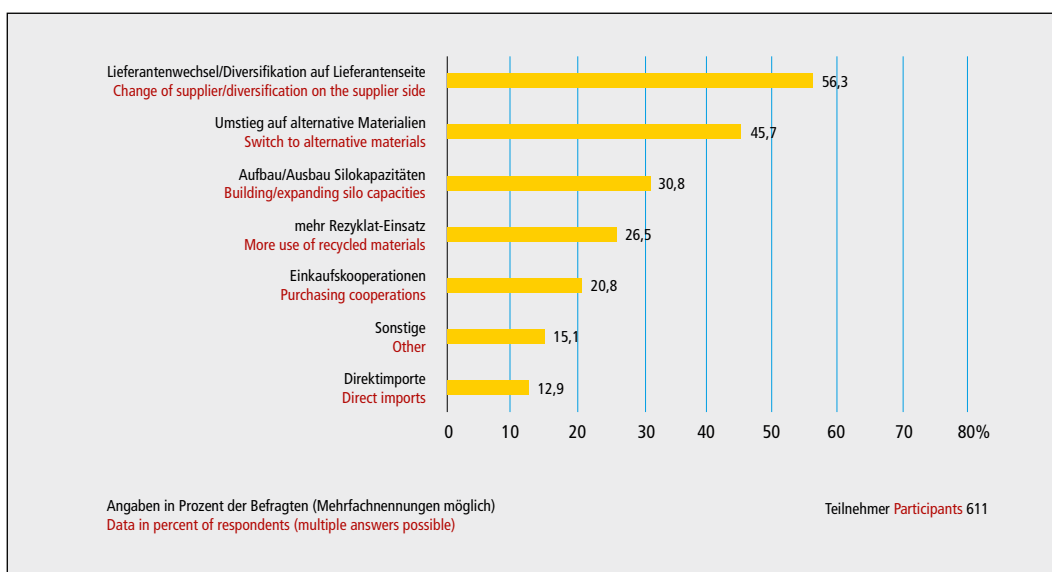


Bild 2: Versorgungsengpässe und Kostenexplosionen

Fig. 2: Supply bottlenecks and cost explosions

und -erwartung, Investitionen und Beschäftigung.

An der Umfrage hatten sich zwischen Anfang Dezember 2021 und Mitte Januar 2022 exakt 623 Unternehmen aus allen Zweigen der Kunststoffindustrie beteiligt. Rund drei Viertel der Teilnehmer (genau 73,7%) kommen aus Deutschland, dazu knapp jeder zehnte aus den deutschsprachigen Nachbarländern Österreich und Schweiz. Deutlich mehr als die Hälfte der teilnehmenden Unternehmen (56,5%) sind Kunststoffverarbeiter, jeweils rund 8% lassen sich den Bereichen Kunststoffherzeugung, Rohstoffdistribution und Handel mit Kunststoffen zuordnen. Und knapp jedes 20. Unternehmen ist im Recyclingbereich aktiv.

So homogen der resümierende Blick auf die aggregierten Zahlen erscheint, so differenziert präsentieren sich die Ergebnisse des 42. KI Dialogs bei der detaillierten Auswertung der einzelnen Fragen: Zwar meldet ein gutes Drittel der Unternehmen (37,1%) eine Verbesserung seiner Geschäfte im zweiten Halbjahr 2021. Knapp jedes vierte Unternehmen (22,9%) jedoch sagt auch, dass das Geschäft in den letzten sechs Monaten des Jahres 2021 schlechter gelaufen sei als in der ersten Jahreshälfte.

#### Erwartungen an die Geschäftsentwicklung im Jahr 2022

Bei den Erwartungen an die Geschäftsentwicklung im neuen Jahr 2022 zeigt sich: Die Unternehmen blicken weniger optimistisch und deutlich konservativer in die Zukunft. Hatten bei der KI-Dialog-Umfrage im Winter 2020/21 noch 34% der Unternehmen berichtet, sie erwarteten eine Verbesserung ihrer Geschäfte, so nahm dieser Wert zunächst im Sommer um lediglich einen Prozentpunkt auf 33% ab – und sackte jetzt nochmal deutlich ab. Derzeit rechnen nur 29% der befragten Unternehmen damit, dass sich ihre Geschäfte in den nächsten sechs Monaten positiver entwickelten.

Vorsichtige Zurückhaltung spiegelt sich auch in der Personalpolitik der

Unternehmen wider. Jedes zehnte der befragten Unternehmen hat im vergangenen Stellen abgebaut. Neues Personal einstellen wollen in diesem Jahr immerhin 39,3% der Unternehmen – das ist gegenüber dem Halbjahr zuvor ein kaum veränderter Wert. Besonders rege sind auch hier wieder die Recycler mit 62,1%, während die Erzeuger mit 22,4% noch mehr Zurückhaltung an den Tag legen als im zweiten Halbjahr 2021.

Besonders prägende Herausforderungen des vergangenen Jahres waren die durch Fachkräftemangel immer schwieriger werdende Personalsuche (53,5%), die Verkaufspreise (42,2%) und die Energiekosten (41,4%). Dass sich die Versorgungssituation und Kostensituation in absehbarer Zeit auf ein Normalniveau normalisieren werde, damit rechnet fürs erste Halbjahr 2022 gerade einmal jedes zwölfte Unternehmen. Zwei Drittel (68,1%) hingegen erwarten, dass sich die Lage „frühestens im zweiten Halbjahr 2022“ entspannen werde – und rund ein Viertel der Befragten (24,2%) hält eine Rückkehr zum Vor-Krisen-Zustand sogar für „nicht absehbar“.

#### Kreislaufwirtschaft bleibt ein wichtiges Thema

Auch dieses Jahr ist die Kreislaufwirtschaft ein wichtiges Thema. Der 42. KI Dialog hat die Unternehmen danach befragt, wen sie für den Haupttreiber für ihre Klima- und Ressourcenschutzaktivitäten hielten. Rund ein Drittel der Befragten gibt an, sie seien „aus eigenem Antrieb“ aktiv. Von Politik oder Regulierern getrieben sehen sich nur 23,3% der Unternehmen. Die in der öffentlichen Debatte oft angeführten Wünsche und Erwartungen von Seiten der „Endverbraucher“ spielen mit 11,3% nur eine untergeordnete Rolle. Den Einsatz einer verbindlich vorgeschriebenen Einsatzquote für Rezyklate wird von fast der Hälfte der Umfrageteilnehmer (49,8%) abgelehnt.

Quelle: Kunststoff Information Verlagsgesellschaft mbH, Bad Homburg

point to 33% in the summer – and has now plummeted again. Currently, only 29% of the companies surveyed expect their business to develop positively in the next six months. Cautious restraint is also reflected in the companies' personnel policies. Every tenth company surveyed has cut jobs in the past. After all, 39.3% of the companies want to hire new staff this year – this number has hardly changed compared to the previous six months. Recyclers are again particularly active with 62.1% recruiting, while producers, at 22.4%, are showing even more restraint than in the second half of 2021. Particular challenges of the past year were the increasingly difficult search for personnel due to a shortage of skilled workers (53.5%), sales prices (42.2%) and energy costs (41.4%). Only one in twelve companies expects the supply and cost situation to return to a normal level in the foreseeable future in the first half of 2022. Two-thirds (68.1%), on the

other hand, expect the situation to improve „in the second half of 2022 at the earliest“ – and about a quarter of the respondents (24.2%) even consider a return to the pre-crisis state to be „not foreseeable“.

#### Circular economy still important

The circular economy is also an important topic this year. The 42nd KI Dialog asked companies who they thought was the main driver of their climate and resource protection activities. About a third of the respondents said they were active „of their own accord“. Only 23.3% of the companies see themselves driven by politicians or regulators. The wishes and expectations of „end consumers“, which are often cited in the public debate, play only a subordinate role with 11.3%. The use of a mandatory input quota for recyclates is rejected by almost half of the survey participants (49.8%). Source: Kunststoff Information Verlagsgesellschaft mbH, Bad Homburg



**LEISTER**  
PLASTIC FABRICATION

**WELDPLAST 600**

- + bürstenloser Antriebsmotor für lange Lebensdauer
- + Leister Quality System (LQS) zur Datenaufzeichnung
- + digitales Interface für Fernsteuerung

swiss made

# IKV: Abteilung Aus- und Weiterbildung hat neuen Geschäftsführer

## IKV: New Managing Director for Training and Development Department

Zum 1. Januar 2022 hat Dr.-Ing. Martin Facklam die Geschäftsführung der Abteilung Aus- und Weiterbildung vom langjährigen Geschäftsführer Dipl.-Ing. Leo Wolters übernommen und komplettiert zugleich die Geschäftsleitung des Instituts für Kunststoffverarbeitung (IKV).

Aufgrund seiner umfangreichen Erfahrung und fachlichen Expertise sind mit Dr. Facklam die Weichen für Kontinuität in den Aktivitäten der Abteilung gestellt: Nach einer handwerklichen Ausbildung zum Dachdecker absolvierte Martin Facklam auf dem zweiten Bildungsweg ein Maschinenbaustudium mit der Vertiefung Kunststofftechnik an der RWTH Aachen. Anschließend war er als wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Kunststofffügetechnik am IKV tätig und promovierte zum Thema „Schweißen thermisch hochleitfähiger thermoplastischer Kunststoffe am Beispiel von Graphitkompositen“. Zuletzt fungierte er als Abteilungsleiter und gestaltete sehr erfolgreich ein breites Forschungsfeld rund um die „Extrusion und Kautschuktechnologie“.

Er tritt mit der neuen Position in die direkte Nachfolge von Dipl.-Ing. Leo Wolters, einer Koryphäe für kunststofftechnische Aus- und Weiterbildungsaktivitäten im handwerklichen sowie industriellen Umfeld. Gemeinsam mit zahlreichen Partnern und einem großen Netzwerk wird Martin Facklam den erfolgreich eingeschlagenen Weg der Abteilung Aus- und Weiterbildung fortführen und ausbauen.

Leo Wolters hat durch sein langjähriges Mitwirken in der Geschäftsleitung des IKV das Institut in vielfältiger und herausragender Weise mitgestaltet und geprägt. Insbesondere engagierte er sich intensiv in der Entwicklung von Qualifikationsmaßnahmen für die Kunststoffbranche und führte die Abteilung Aus- und Weiterbildung zur Zertifizierung ihres Qualitätsmanagements nach ISO 9001:2015.

Qualität ist im Handwerk ein entscheidender Erfolgsfaktor und erfordert neben handwerklichen Fertigkeiten ein



Abteilungsübergabe in der Aus- und Weiterbildung am IKV: Dr.-Ing. Martin Facklam (links) und Dipl.-Ing. Leo Wolters (rechts) (Foto: IKV/Froels)

Handover of the Training and Development Department at the IKV: Dr.-Ing. Martin Facklam (left) and Dipl.-Ing. Leo Wolters (right) (Photo: IKV/Froels)

fundiertes Fachwissen. Leo Wolters baute das nötige Aus- und Weiterbildungsangebot kontinuierlich aus: Auf ihn gehen die Neu- und Weiterentwicklung zahlreicher zertifizierter Weiterbildungsmöglichkeiten, unter anderem zum/r Kunststoffschweißer/in, -kleber/in oder -laminierer/in sowie berufliche Weiterbildungsmaßnahmen in verschiedenen anderen Handwerksberufen zurück. Nach einer Neuausrichtung der Abteilung im Jahr 2000 gelang es ihm, die bundesweite Anzahl der vom IKV betreuten Kunststoffkursstätten auf aktuell 44 zu erweitern – sie sichern mit über 110 Ausbilderinnen und Ausbildern eine hohe Qualität der Vermittlung. Die Qualifikationsmaßnahmen werden jährlich von über 20.000 Teilnehmerinnen und Teilnehmern besucht und sind auch international sehr gefragt.

Leo Wolters ist zum 31. Dezember 2021 nach 38 Jahren Tätigkeit am IKV in den Ruhestand getreten. Allerdings bleibt er noch bis Ende 2022 als ausgewiesener Fachmann in vielen nationalen und internationalen Gremien aktiv und steht dem IKV beratend zur Seite.

Quelle: Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV) in Industrie und Handwerk an der RWTH Aachen

a luminary for plastics training and development activities in the craft as well as industrial environment. Together with numerous partners and a large network, Martin Facklam will continue and expand the successful path taken by the Training and Development Department.

Leo Wolters has helped shape the Institute in many different and outstanding ways through his many years of involvement in the management of the IKV. In particular, he was intensively involved in the development of qualification measures for the plastics industry and helped the Training and Development Department certify its quality management according to ISO 9001:2015.

Quality is a decisive factor for success in the craft sector and requires not only craftsmanship but also sound specialist knowledge. Leo Wolters has continuously expanded the necessary training and development programmes: The implementation and development of numerous certified training opportunities, among others for plastic welding, plastic glueing or plastic laminating, as well as vocational training measures in various other crafts, can be attributed to him. After reorganisation of the department in 2000, he successfully expanded the nationwide number of plastics training centres supervised by the IKV to currently 44 – with more than 110 trainers they ensure a high quality of teaching. The qualification measures are attended by over 20,000 participants annually and are also in great demand internationally.

Leo Wolters retired on 31 December 2021 after 38 years of service at the IKV. However, he will remain active in many national and international committees as a proven expert until the end of 2022 and will be available to the IKV in an advisory capacity. Source: Institute for Plastics Processing in Industry and Craft at RWTH Aachen University of Technology

On 1 January 2022, Dr.-Ing. Martin Facklam took over the management of the Education and Development Department from long-time Managing Director Dipl.-Ing. Leo Wolters and at the same time completes the management of the Institute for Plastics Processing (IKV).

Due to his extensive experience and technical expertise, Dr. Facklam has set the course for continuity in the department's activities: After training as a roofer, Martin Facklam completed a additional degree in mechanical engineering with focus on plastics technology at RWTH Aachen University. He then worked as a research assistant in plastics joining technology at the IKV and completed his doctorate on the topic of „Welding of thermally highly conductive thermoplastics using the example of graphite composites“. Most recently, he acted as head of department and very successfully shaped a broad research field around „extrusion and rubber technology“.

With the new position, he directly succeeds Dipl.-Ing. Leo Wolters,



## Neuer Leiter am akkreditierten Prüflabor des KUZ

### New manager at the accredited KUZ testing laboratory

Dr. Christian Schurig ist seit dem 1. Januar 2022 neuer Laborleiter des akkreditierten Prüflabors der Kunststoff-Zentrum in Leipzig gGmbH (KUZ). Vor seinem Eintritt in das KUZ leitete er verschiedene akkreditierte Prüflabore als Labor- und Standortleiter. Er löst in dieser Funktion Dr. Thomas Lüpke ab, dem das KUZ an dieser Stelle für das langjährige Engagement herzlich dankt.

Dr. Schurig wird sich sowohl der Laborleitung sowie der Weiterentwicklung des Fachbereichs Kunststoff-Prüfung widmen. Hierzu zählen neben dem Dienstleistungsangebot auch das Management verschiedener Forschungsprojekte im Bereich Kunststoff-Prüfung sowie der Wissenstransfer der gewonnenen Er-



Dr. Christian Schurig, neuer Leiter am akkreditierten Prüflabor des KUZ

Dr. Christian Schurig, new manager at the accredited KUZ testing laboratory

kenntnisse in Schulungsangebote für die Branche.

Quelle: Kunststoff-Zentrum in Leipzig gGmbH (KUZ)

Dr. Christian Schurig has been the new manager at the accredited testing laboratory of Kunststoff-Zen-

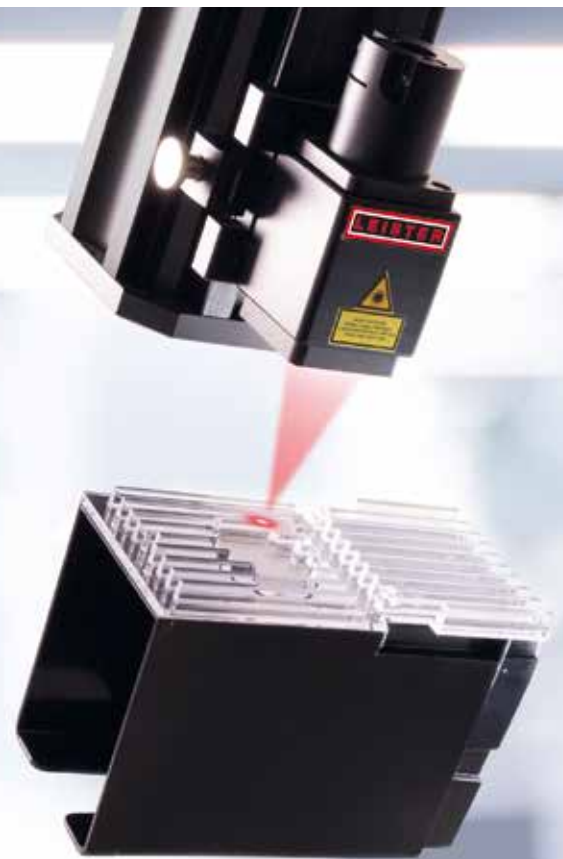
trum in Leipzig gGmbH (KUZ) since 1 January 2022. Before joining the KUZ, he managed various accredited testing laboratories as laboratory and site manager. In this role, he succeeds Dr. Thomas Lüpke, whom the KUZ would like to extend their gratitude to for his many years of commitment.

Dr. Schurig will dedicate himself to both laboratory management and the advanced development of the plastics testing department. This includes, in addition to the range of services, managing various research projects in the field of plastics testing as well as the transfer of acquired knowledge in training courses for the industry. Source: Kunststoff-Zentrum in Leipzig gGmbH (KUZ)

# LEISTER

LASER PLASTIC WELDING

## Your Experts in Laser Plastic Welding.



swiss made

# Neue Ultraschall-Schweißmaschine an der Kunststofftechnik Paderborn (KTP)

## New ultrasonic welding machine at the Kunststofftechnik Paderborn (KTP)

Die Kunststofftechnik Paderborn konnte ihren Maschinenpark im Bereich Kunststoffschweißen um eine Ultraschallschweißmaschine erweitern. Dabei handelt es sich um eine Tisch-Schweißmaschine des Typs „MS sonxTop Genesis 20/4000“ der MS Ultraschall Technologie GmbH, die der Kunststofftechnik Paderborn zur Verfügung gestellt wurde. Die Maschine arbeitet mit einer Betriebsfrequenz von 20 kHz bei einer Maximalleistung von 4000 W und zeichnet sich u. a. durch einen elektrischen Antrieb aus, der höchste Positioniergenauigkeit ermöglicht. Dabei verhindert der Einsatz eines patentierten Systems die Aufbiegung infolge der Schweißkraft und sorgt so für die Einhaltung kleinster Toleranzen. Weiterhin ist das System mit diversen Kommunikationsschnittstellen, einer intuitiven Bedienoberfläche und detaillierter Schweißdatenaufzeichnung ausgestattet. Dadurch erfüllt die Schweißanlage die Marktanforderungen jeglicher Industriezweige und kann für Forschungs- und Industrieprojekte eingesetzt werden.



(v. l. n. r.): Sascha Vogtschmidt (KTP), Harry Tonn (MS Ultraschall Technologie GmbH), Prof. Dr.-Ing. Volker Schöppner (Leiter des Lehrstuhls für Kunststoffverarbeitung an der Universität Paderborn), Max Bialaschik (KTP)

(from left to right): Sascha Vogtschmidt (KTP), Harry Tonn (MS Ultraschall Technologie GmbH), Prof. Dr.-Ing. Volker Schöppner (Head of the Chair of Plastics Processing at Paderborn University), Max Bialaschik (KTP)

Die neue Ultraschallschweißmaschine reiht sich in das im Fügelabor der Kunststofftechnik Paderborn bestehende Portfolio an modernen Anlagen für das Heizelement-, Vibrations-, Infrarot- und das Laserdurchstrahlenschweißen ein.  
Quelle: Kunststofftechnik Paderborn, Universität Paderborn

The Kunststofftechnik Paderborn was able to expand its machinery for plastics welding by an ultrasonic welding machine. This is a table welding machine "MS sonxTop Genesis 20/4000" which was provided to KTP by MS Ultraschall Technologie GmbH. The machine operates at

a frequency of 20 kHz with a maximum power of 4000 W and is characterised, among others, by an electric drive allowing the highest positioning accuracy. At the same time, the use of a patented system prevents deflection caused by the welding force, guaranteeing compliance with extremely small tolerances. The new system meets all process control requirements in combination with consistently high welding quality and short process times. Furthermore, the system is equipped with various communication interfaces, an intuitive user interface and detailed welding data recording. As a result, the welding system meets the market requirements of any industry and can be used for research and industrial projects. The new ultrasonic welding machine joins the existing portfolio of modern equipment for hot plate, vibration, infrared and laser transmission welding in the joining laboratory at the KTP.  
Source: Kunststofftechnik Paderborn, Universität Paderborn

# HSK

HSK Kunststoff Schweisstechnik GmbH  
HSK plastic welding equipment

Zilkreuz 1  
D-53604 Bad Honnef  
Germany

Tel.: +49 (0)2224-90175-01  
mail: info@hsk-kunststoff.de



Warmgasschweißgeräte und Schweißextruder  
hot air welders and welding extruders



Heizelemente  
socket welders



Heizwendelschweißen  
electro fusion welding



Industriextruder  
industrial extruders



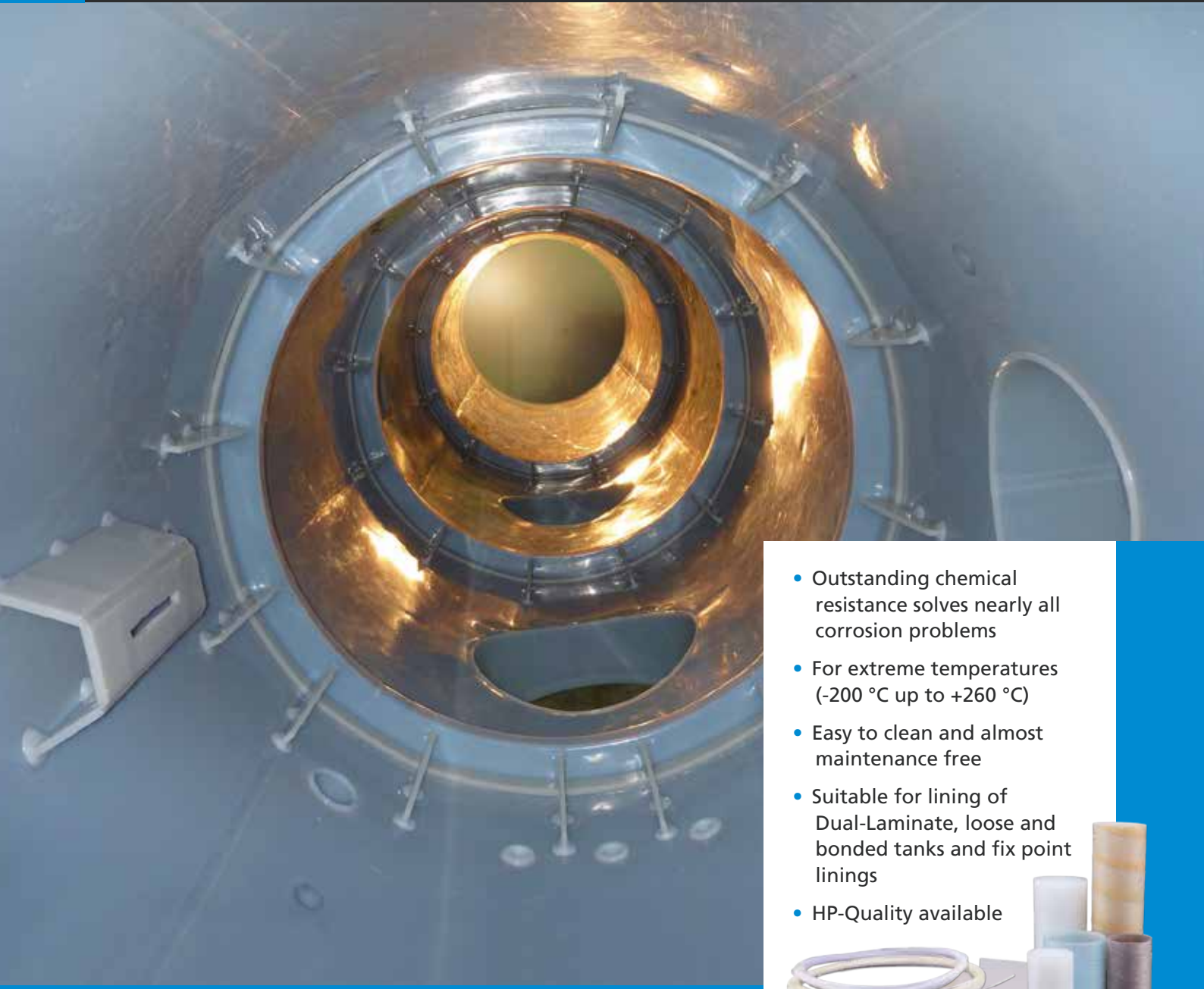
Planenschweißen  
wedge welding



Rohrschweißen  
pipe butt welding

# SEMI-FINISHED PRODUCTS

for extreme applications  
made of PE, PP, PVDF, ECTFE, FEP, PFA



- Outstanding chemical resistance solves nearly all corrosion problems
- For extreme temperatures (-200 °C up to +260 °C)
- Easy to clean and almost maintenance free
- Suitable for lining of Dual-Laminate, loose and bonded tanks and fix point linings
- HP-Quality available



# JOINING PLASTICS FÜGEN VON KUNSTSTOFFEN

[www.joining-plastics.info](http://www.joining-plastics.info)

## The NEWSLETTER of JOINING PLASTICS



Be fully informed with the JOINING PLASTICS NEWSLETTER:

- Four times a year
- News hot off the press
- Latest research developments
- More about upcoming fairs and events

Sign up at [www.joining-plastics.info/newsletter](http://www.joining-plastics.info/newsletter)

## Alle Neuigkeiten zur K 2022

### All news about the K 2022

In ein paar Monaten öffnet die K 2022 vom 19. bis 26. Oktober 2022 ihre Türen. Besonders stark werden in diesem Jahr erneut die Anbieter aus Europa, vor allem aus Deutschland, Italien, Österreich, der Türkei, den Niederlanden, der Schweiz und Frankreich vertreten sein, aber auch aus den USA. Die Anzahl und die Präsentationsfläche der Unternehmen aus Asien sind seit einigen Jahren auf konstant hohem Niveau. Mit starken Auftritten werden vor allem China, Taiwan, Indien, Südkorea und Japan beeindrucken. Die rund 3.000 Aussteller aus 61 Ländern werden das gesamte Düsseldorfer Messegelände belegen. Die Ausstellerdatenbank der K 2022 ist unter [www.k-online.com/1410](http://www.k-online.com/1410) abrufbar.

#### K-Talk

Schon jetzt präsentiert die K 2022 mit dem K-Talk Experten-know-how. Dieser digitale Live-Talk in englischer Sprache bietet einmal im Monat spannende Diskussionsrunden mit wechselnden internationalen Teilnehmern zu unterschiedlichen Schwerpunkten. Dabei immer im Fokus sind die drei Leitthemen der diesjährigen K: Klimaschutz, Kreislaufwirtschaft und Digitalisierung. Der erste K-Talk, der am 20. Januar unter dem Motto „Climate protection and plastics – do they go together?“ stattfand, ist auch jetzt noch, wie alle folgenden K-Talks, on-demand abrufbar. Der K-Talk im Februar steht ganz im Zeichen von Kunststoff



Der Ticketshop für die K 2022 startet im April 2022.

The Ticketshop for K 2022 opens in April 2022.

in der Medizin, während sich die Diskussion im März dem Maschinenbau widmet.

#### K-Mag und K-monthly

Das im April 2021 gestartete Onlinemagazin K-MAG und liefert rund ums Jahr Fakten, Nachrichten, Stories und Trends aus der internationalen Kunststoff- und Kautschukbranche in Deutsch und Englisch.

K-monthly heißt der neue Newsletter der K in Düsseldorf. Wer ihn abonniert, erhält monatlich interessanteste News und Stories aus den K-MAG via E-Mail sowie aktuelle Informationen rund um die K in Düsseldorf und zu den internationalen Fachmessen der K-Global-Gate-Produktfamilie. Die Anmeldung ist über die K-Homepage oder das K-MAG möglich.

Quelle: Messe Düsseldorf GmbH

In a few months it will be that time again and K 2022 will open its doors from 19 to 26 October 2022. Suppliers from Europe, especially from Germany, Italy, Austria, Turkey, the Netherlands, Switzerland and France will be particularly well represented again this year, but also from the USA. At the same time, K clearly reflects the changes affecting the global market: the number and presentation areas of companies from Asia have remained at a constant high for several years now. We can expect impressive appearances, especially from China, Taiwan, India, South Korea and Japan. The approximately 3,000 exhibitors from 61 countries will occupy Düsseldorf Exhibition Centre in its entirety. The exhibitor database of K 2022 is accessible at [www.k-online.com/2410](http://www.k-online.com/2410)

#### K-Talk

K 2022 is already now providing expert know-how with its K-Talk. Once a month, this digital live talk in English offers exciting discussion rounds with changing international participants on different topics. Always focusing on the three main themes of this year's K: climate protection, circular economy and digitalisation. The first K-Talk, already held on 20 January under the heading "Climate Protection and Plastics – Do they Go Together?" – like all following K-Talks – is still available on-demand. The K-Talk in February will be all about plastics in medicine while the discussion in March is dedicated to mechanical engineering.

#### K-Mag and K-monthly

Launched last April, the online magazine K-MAG delivers facts, news, stories and trends from the international plastics and rubber industry in German and English all year round. K-monthly is the name of the new Newsletter of K in Düsseldorf. Subscribers not only receive the most interesting news and stories from the K-MAG via e-mail on a monthly basis but also current information revolving around K in Düsseldorf and the international trade fairs of the K-Global Gate family of products. Subscription is possible on the K website or the K-MAG.

Source: Messe Düsseldorf GmbH



**MUNSCH**  
Kunststoff-Schweißtechnik



**/ More than 40 years of experience in building tools for plastic welding**

**/ The specialist sold more than 31.000 extruders worldwide**

**/ For every application in container engineering and geosynthetics installation, Munsch supplies extrusion welders; wedge welders; hand tools; test equipment and accessories**

**Munsch Kunststoff-Schweißtechnik GmbH**

Im Staudchen  
D-56235 Ransbach-Baumbach  
+49 (0) 2623 - 898-80  
+49 (0) 2623 - 898-85  
[info-kst@munsch.de](mailto:info-kst@munsch.de)  
[www.munsch-welding.com](http://www.munsch-welding.com)

## Rinco Ultrasonics expandiert nach Marokko

### Rinco Ultrasonics expands into Morocco

Marokko hat mit der Einführung der zollfreien Zone eine optimale Grundlage für Unternehmen geschaffen. Auch die Rinco Ultrasonics AG möchte mit der Gründung der Tochterfirma Rinco Marokko die eigene Position im marokkanischen Markt stärken und lokal für die Kunden verfügbar sein. Der marokkanische Markt gilt als sehr preissensibel. Dies bedeutet jedoch nicht, dass billige Produkte zwingend einen Vorteil haben. Serge Patamia, Managing Director der Rinco Ultrasonics, beschreibt den marokkanischen Markt als preis- und qualitäts-

bewusst. Die Erwartungen sowie der Qualitätsanspruch in Marokko sind hoch. Es gilt das richtige Produkt zum richtigen Preis anzubieten.

Besonders die Automotive-Industrie sowie auch die Textil-Industrie sind in Marokko besonders stark vertreten, aber auch die Lebensmittel-Industrie bietet viele spannende Projekte. Lokaler Ansprechpartner für Rinco Marokko ist Samir Aomar (s.aomar@rinco-ultrasonics.com / Rinco Ultrasonics Maroc S.A., Tanger Maroc).

Quelle: Rinco Ultrasonics AG, Romanshorn, Schweiz

Morocco has created an ideal basis for businesses with the introduction of the duty-free zone. Rinco Ultrasonics AG wants to strengthen its position in the Moroccan market and be available locally for customers by founding the subsidiary Rinco Morocco.

The Moroccan market is considered very price-sensitive. Cheap products, however, do not necessarily have an advantage. Serge Patamia, Managing Director of Rinco Ultrasonics, describes the Moroccan market as price and quality con-

scious. The expectations and quality standards in Morocco are high. It is important to offer the right product at the right price.

The automotive industry and the textile industry are particularly well represented in Morocco, also the food industry offers many exciting projects. The local contact for Rinco Morocco is Samir Aomar (s.aomar@rinco-ultrasonics.com / Rinco Ultrasonics Maroc S.A., Tanger Maroc).

Source: Rinco Ultrasonics AG, Romanshorn, Switzerland

## Trelleborg: Verbinden von Thermoplasten und Duroplasten im Mehrkomponentenverfahren

### Trelleborg: Bonding thermoplastics and thermosets in a multi-component process

Trelleborg Sealing Solutions ist gelungen, unterschiedliche Polymerwerkstoffe im Mehrkomponentenverfahren zu verbinden. Nun lassen sich zum Beispiel Thermoplaste und Elastomere mit einer notwendigen Festigkeit kombinieren. Im eigenen

„Multicomponent Development Center“ in Malta entwickelte der Dichtungsspezialist die technisch hoch anspruchsvolle Verbindung dieser verschiedenen Werkstoffgruppen.

Quelle: Trelleborg Sealing Solutions Germany GmbH, Stuttgart

Trelleborg Sealing Solutions has succeeded in joining different polymer materials in a multi-component process. Now, for example, thermoplastics and elastomers can be combined with the necessary strength. In its own „Multicomponent Development Center“ in Malta, the sealing specialist developed the technically highly sophisticated combination of these different material groups.

Source: Trelleborg Sealing Solutions Germany GmbH, Stuttgart



◆ Compact  
Light: only 3,4 Kg weight  
Powerful: up to 1 Kg/h  
Compliant with DVS 2207 - 4

◆ Kompakt  
Leicht: nur 3,4 kg Gewicht  
Leistungsstark: bis zu 1 Kg/h  
Richtlinie DVS 2207-4 konform



Patent Pending

The welding speed can be adjusted in both configurations thanks to a potentiometer  
Die Geschwindigkeitsregelung ist in beiden Konfigurationen möglich



Extrusion Welder

uno

RITMO S.p.A.

Via A. Volta, 35-37 - 35037 Bressano di Teolo (PADOVA) ITALY [www.ritmo.it](http://www.ritmo.it) - [info@ritmo.it](mailto:info@ritmo.it)

[www.ritmo.it](http://www.ritmo.it)

## Herrmann Ultraschall eröffnet Tech-Center in Frankreich Herrmann Ultraschall opens tech centre in France



Im Ultraschall-Schweißlabor des neuen Tech-Centers in Frankreich können Kunden zu den passenden Ultraschall-Schweißlösungen beraten werden.

In the ultrasonic welding laboratory of the new Tech Centre in France, customers can be advised on the appropriate ultrasonic welding solutions.

Mit der Eröffnung des neuen Standorts in Etaux, Region Auvergne-Rhones-Alpes, verstärkt die Herrmann Ultraschall GmbH & Co KG ihre Präsenz auf dem französischen Wachstumsmarkt. Von der Automobilbranche über die Medizintechnik bis hin zu Verpackungsunternehmen wird in der französischen Industrie zunehmend das Ultraschallschweißen als effiziente und nachhaltige Verbindungstechnologie eingesetzt. Die Betreuung vor Ort ist gerade auf dem französischen Markt essenziell. Die Hersteller setzen auf schnelle Lösungen, kurze Informationswege und Service in ihrer Landessprache. Diese Aufgaben erfüllen zukünftig die vier Mitarbeiter am neuen Standort. Neben einem modern ausgestatteten Ultraschall-Schweißlabor mit Mess- und Prüfinstrumenten kann das Team auf einen großen Meetingraum zurückgreifen, in dem künftig Schulungen für Kunden stattfinden. Quelle: Herrmann Ultraschalltechnik GmbH & Co. KG, Karlsbad

With the opening of its new location in Etaux, Auvergne-Rhones-Alpes region, Herrmann Ultraschall GmbH & Co KG is strengthening its presence in the French growth market. From the automotive industry to medical technology and packaging companies, ultrasonic welding is increasingly being used in the French industry as an efficient and sustainable joining technology. Especially in the French market local support is essential. The manufacturers rely on quick solutions, short lines of communication and service in their national language. In the future, these tasks will be fulfilled by the four employees at the new location. In addition to a modern ultrasonic welding laboratory with measuring and testing instruments, the team has access to a large meeting room where training courses for customers will be held. Source: Herrmann Ultraschalltechnik GmbH & Co. KG, Karlsbad

## Berichtigung Correction

„Kager: Klebstoff für mehr als eine einfache Verbindung“ anstatt „Karger“ soll die Überschrift des Beitrags auf S. 154 in der letzten Ausgabe 3-4/2021 richtigerweise heißen. Wir bitten unsere Leser sowie die Firma Kager Industrieprodukte GmbH, Dietzenbach, um Entschuldigung. (Die Redaktion)

“Kager: Adhesive for more than a simple bond” instead of “Karger” should correctly be the title of the article on p. 154 in the last issue 3-4/2021. We apologise to our readers and to the company Kager Industrieprodukte GmbH, Dietzenbach. (The Editorial Team)



## Komfortables Schweißen und Protokollieren über Ihr Smartphone

FRANK-Schweißgeräte mit Bluetooth können ab sofort noch komfortabler mit der neuen ElectroFusion App per Smartphone oder Tablet bedient werden. Zusätzlich lassen sich alle Details eines Schweißvorgangs schnell und sicher in Ihrem persönlichen Benutzerkonto ablegen. So ist es z. B. einfach möglich, die einzelnen Arbeitsschritte durch Fotos zu dokumentieren und dem jeweiligen Auftrag zuzuordnen. Die Auswertung aller hochgeladenen Daten erfolgt bequem über Ihr Portal auf [www.electrofusion.de](http://www.electrofusion.de).

Haben Sie Fragen?  
Wir beraten Sie gerne.



T +49 6105 4085 -158  
[www.frank-gmbh.de](http://www.frank-gmbh.de)

mehr Infos

## Herz: Neuer Dohle Schweißextruder ExOn C3

### Herz: New Dohle welding extruder ExOn C3

Der neue Schweißextruder der Marke Dohle verfügt über eine kompakte Bauform, die alle Komponenten wie aus einem Guss wirken lassen und mit 7,3 kg über ein geringeres Gewicht gegenüber dem Vorgänger. Mit einem Führungswagen, im Rahmen des Zubehörprogramms, wird das Handgerät zu einem geführten Gerät (Bild). Eine 4-Punkt-Auflage, drei Laufräder und der Schweißschuh im Nahtbereich sorgen für eine Erleichterung beim Führen des Extruders. Zu diesem Vorteil addiert sich die geringe Betriebslautstärke von 75 dB. Mit einer hohen Vorwärmeleistung ist ein schneller und gleichmäßiger Start des Fügevorgangs gegeben. Auch die Verarbeitungsgeschwindigkeit ist je nach zu verarbeitendem Werkstoff von PE über PVC bis hin zu ECTFE als hoch einzustufen. Besonders hervorzuheben ist, dass das neue Modell in der 3-kg/h-Outputklasse als Standard die Bandbreite in der Ausbringung je nach Werkstoff von 1 kg bis 3,3 kg abdeckt, ein Wechsel zu einem weiteren, passenden Gerät je nach Breite der Fugennaht ist nicht mehr erforderlich. Nach Aussagen des Herstellers bedeutet diese Neuheit eine Alleinstellung am Markt. Eine adaptive Arbeitsleuchte ermöglicht ein optimiertes Arbeiten. Je



Führungswagen am Dohle Schweißextruder „ExOn C3“

Guide trolley on the Dohle „ExOn C3“ welding extruder

nach vorgesehenem Einsatz ist die Leuchte an mehreren Stellen am Gerät anzubringen. Mit seiner „Multifix-360-Grad-SchweißschuhEinstellung“ sowie dem Standard-Schweißschuhprogramm „ExOn 2-8“ deckt das Zubehör alle wichtigen Einsatzfelder ab. Auch das Zubehör der bisherigen Dohle-Extruder ist mit dem neuen „ExOn C3“ kompatibel. Weitere Informationen unter [www.herz-gmbh.com](http://www.herz-gmbh.com). Quelle: Bucher Communications, Ratingen; Herz GmbH, Neuwied

The new welding extruder of the Dohle brand has a compact design, which makes all components look as if they were cast from one piece, and at 7.3 kg, it weighs less than its predecessor. With a guide trolley as part of the accessories, the hand-held unit turns into a guided unit (Fig.). A 4-point support, three running wheels and the welding shoe in the seam area make guiding the extruder easier. The low operating noise level of 75 dB is another

added benefit. With a high pre-heating capacity, a fast and even start of the joining process is given. The processing speed can also be classified as high, depending on the material to be processed, from PE to PVC to ECTFE. It is particularly noteworthy that the new model in the 3 kg/h output class covers the range from 1 kg to 3.3 kg as standard, depending on the material; it is no longer necessary to change to another, suitable device depending on the width of the joint seam. According to the manufacturer, this innovation represents a unique position on the market.

An adaptable work light allows optimised work. Depending on the intended use, the light can be attached at several points on the unit. With its „Multifix-360-degree welding shoe adjustment“ as well as the standard welding shoe programme „ExOn 2-8“, the accessory covers all important fields of application. The accessories of the predecessor models are also compatible with the new „ExOn C3“. More information is available at [www.herz-gmbh.com](http://www.herz-gmbh.com). Source: Bucher Communications, Ratingen; Herz GmbH, Neuwied



- Zirkular Reibschweißen **ZS**
- Rotation Reibschweißen **ROT**
- Linear VIBschweißen **VIB**
- Zirkular-Reib-Laserschweißen **ZSL**
- Infrarot & Laserschweißen **IR+LS**
- Integration von Spiegel- u. Ultraschallschweißen

Neues Verfahren:

- Rotatives - Vibrationschweißen **ROV**



Rotativer - Vibrationschweißkopf

### Fischer Kunststoff – Schweißtechnik GmbH

Mail: [info@fischer-st.de](mailto:info@fischer-st.de); Web: [www.fischer-st.de](http://www.fischer-st.de) - Meißnerstraße 5, D-37297 Berkatal – Tel. 05657 913021



# Rehau: Schweißadapter spart Zeit beim Schweißen von Abwasserrohren

## Rehau: Welding adapter saves time when welding sewer pipes

Immer häufiger werden Kanalrohre verschweißt. Gerade bei schwierigen Bodenverhältnissen und zur sicheren Ableitung von aggressiven Industrieabwässern bietet Rehau mit „Awadukt PP Fusion“ ein Komplettsystem aus Polypropylen, das eine sichere Verbindung der einzelnen Komponenten ermöglicht. Der neue Schweißadapter ermöglicht auch die Verarbeitung von Standardformteilen und sorgt für mehr Schnelligkeit und Flexibilität.

### Verarbeitung wie gewohnt

Die Montage erfolgt analog einer Verbindung mit Standard-Elektroschweißmuffen. Nach entsprechenden mechanischen Vorarbeiten werden das Rohr und das Formteil an den Adapter angeschlossen und fixiert. Das Schweißen kann dann entweder nacheinander oder gleichzeitig mit Einsatz eines separaten Verbindungskabels ausgeführt werden. Nach der Schweißdauer von zwei Minuten und einer anschließenden Abkühlzeit von 20 Minuten kann der sicher geschweißte Rohrverbund im Boden verschwinden. Der Schweißadapter ist in den Abmessungen DN 110, DN 160 und DN 200 erhältlich.

### Flexibles Gesamtsystem

Das Abwasser-Komplettsystem „Awadukt PP Fusion“ beinhaltet Rohre, Schächte, Verbindungen, Anschlüsse sowie eine Vielzahl an Formteilen in SN 10 und SN 16. Da alle Bausteine miteinander verschweißt werden können, ergibt sich laut Unternehmen eine auf dem Markt einzigartige Gesamtlösung. Das Komplettsystem erfüllt höchste Sicherheitsansprüche an zugfeste Verbindungen und kann auch für thermisch und chemisch belastete Industrieabwässer eingesetzt werden. Weitere Informationen unter [www.rehau.de/fusion](http://www.rehau.de/fusion).

Quelle: Rehau AG + Co, Rehau



Schweißadapter „Awadukt PP“

Welding adapter „Awadukt PP“

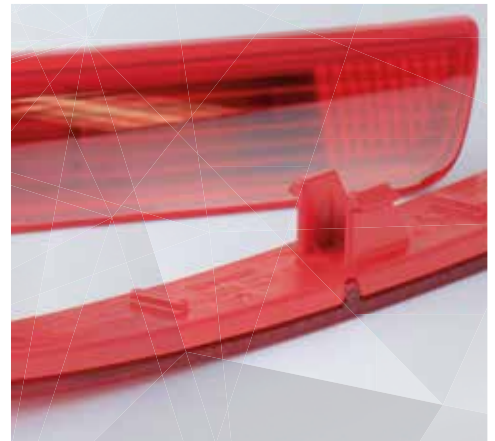
Sewer pipes are welded increasingly frequent. Especially for difficult soil conditions and safe drainage of aggressive industrial waste water, Rehau offers „Awadukt PP Fusion“, a complete system made of polypropylene, allowing a safe conjunction of the individual components. The new welding adapter also allows the processing of standard moulded parts and ensures more speed and flexibility.

### Processing as usual

The assembly is carried out in the same way as a connection with standard electrofusion sockets. After appropriate mechanical preparatory work, the pipe and the fitting are connected to the adapter and secured in place. Welding can then be performed either consecutively or simultaneously using a separate connecting cable. After a welding time of two minutes and a subsequent cooling time of 20 minutes, the securely welded pipe composite can be inserted into the ground. The welding adapter is available in the dimensions DN 110, DN 160 and DN 200.

### Flexible complete system

The complete wastewater system „Awadukt PP Fusion“ is made of polypropylene and includes pipes, manholes, joints, connections and a large number of fittings sizes SN 10 and SN 16. Since all the components can be welded with each other, the system presents a comprehensive solution that is unique on the market, according to the company. Further information at [www.rehau.de/fusion](http://www.rehau.de/fusion). Source: Rehau AG + Co, Rehau



## Ultraschall-Generator AGM PRO

zum Schweißen, Stanzen, Nieten, Einbetten und Schneiden von thermoplastischen Kunststoffen und synthetischen Textilien.



- ✓ Für den **Einbau in Automationslinien und Sondermaschinen**
- ✓ Einbindung via Feldbus-Schnittstellen
- ✓ Geringe Breite
- ✓ Webapplikation
- ✓ Reproduzierbarkeit
- ✓ Absolute Prozesskontrolle
- ✓ Beste Schweißresultate

**rinco**<sup>®</sup>  
ultrasonics  
AROUND YOU EVERY DAY

**+41 71 466 41 00**  
[rincoultrasonics.com](http://rincoultrasonics.com)  
[info@rincoultrasonics.com](mailto:info@rincoultrasonics.com)

 **SWISS MADE**  
SINCE 1976

A CREST GROUP COMPANY



<https://youtu.be/5U-FAXaAmgls>

Montage des neuen Schweißadapters

Assembly of the new welding adapter

# DIE WELT DES KUNSTSTOFFFÜGENS

VOR ORT

DIREKT

SPOT ON

Das Leitmedium  
für die Branche:

Zweisprachig  
Peer-reviewed  
Anwendungs-  
orientiert

## Ausgabe 2/2022

- Serienschweißen z.B.: Ultraschall-, Laserstrahl-, Heizelement-, Infrarot-, Vibrationsschweißen
- Mechanische Verbindungstechnik: Nieten, Schrauben
- Schulung und Prüfung

**Anzeigenschluss:**

10. Mai 2022

## Sonderverbreitung



**SKZ**

Würzburger Kunststoffrohr-  
Tagung in Würzburg  
21. & 22. Juni 2022



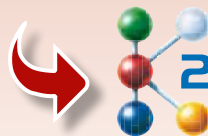
## Ausgabe 3/2022

- Messeausgabe K 2022
- Messen und Prüfen von Kunststoffverbindungen
- Kleben von Kunststoffen
- Schweißanlagen

**Anzeigenschluss:**

6. September 2022

## Sonderverbreitung



K 2022 in Düsseldorf  
19.10. – 26.10.2022



Vanessa Wollstein

+49 211 1591-152

✉ [vanessa.wollstein@dvs-media.info](mailto:vanessa.wollstein@dvs-media.info)



Britta Wingartz

+49 211 1591-155

✉ [britta.wingartz@dvs-media.info](mailto:britta.wingartz@dvs-media.info)

# THE WORLD OF PLASTIC JOINING



The leading medium  
for the industry:

Bilingual  
Peer-reviewed  
Application-oriented

ON SITE

DIRECTLY

SPOT ON

## Issue 2/2022

- Series welding e.g. : ultrasonic, laser beam, heating element, infrared, vibration welding
- Mechanical connection technology: rivets, screws
- Training and testing

**Advertising deadline:**  
May 10, 2022

## Additional distribution



**SKZ**

Würzburger Kunststoffrohr-  
Tagung in Würzburg (Germany)  
21. & 22. Juni 2022

## Issue 3/2022

- Fair issue K 2022
- Measuring and testing of plastic connections
- Adhesive bonding of plastics
- Welding systems

**Advertising deadline:**  
September 6, 2022

## Additional distribution



K 2022 in Düsseldorf (Germany)  
19.10. – 26.10.2022

# Thermisches Nieten von polymeren Werkstoffen – Numerische Prozessabbildung und Abgleich mit experimentellen Daten

## Thermal riveting of polymer materials - Computer-aided process modeling and comparison with experimental data

Dr.-Ing. Eric Brückner, Prof. Dr.-Ing. Michael Gehde, Professur Kunststoffe, TU Chemnitz; Prof. Dr.-Ing. Sebastian Härtel, Fachgebiet Hybride Fertigung, Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg, Cottbus; Prof. Dr.-Ing. Birgit Awiszus, Professur Virtuelle Fertigungstechnik, TU Chemnitz

### Kurzfassung

Die Anwendung einer präzisen, rechnergestützten Prozesssimulation entspricht beim thermischen Kunststoffnieten gegenwärtig nicht dem Stand der Technik. Aus diesem Grund basiert die konstruktive Gestaltung der Fügestelle vorrangig auf subjektiven Erfahrungswerten und empirischen Tests am (Serien-)Bauteil. Im Rahmen eines DFG-Vorhabens an der TU Chemnitz sollen diese Lücken durch die Entwicklung numerischer Modelle für das Erwärmungs- und Umformverhalten der thermischen Nietprozesse Warmumformen und Heißluftnieten geschlossen werden. Der vorliegende Beitrag fasst die wissenschaftlichen Untersuchungen von [1], [2] und in Auszügen von [3] in kompakter Form zusammen und zeigt die bisher ersten numerischen Modelle für reale Kunststoffnietprozesse unter Berücksichtigung realitätsnaher Werkstoff- und Prozessbedingungen. Die bisherigen Ergebnisse der numerischen Simulationen zeigen eine hohe Übereinstimmung mit den experimentellen Daten. Die Möglichkeiten einer rechnergestützten Prozesssimulation könnten zukünftig ein einheitliches Planungs- und Auslegungswerkzeug bereitstellen und damit die Bauteil- und Prozessgestaltung stark vereinfachen.

### 1. Einleitung

Intelligente Leichtbaukonstruktionen werden zunehmend als Multimaterialsysteme konzipiert, um durch eine gezielte Kombination von Werkstoffen optimierte Eigenschaften des Gesamtbauteils zu er-



**Dr.-Ing. Eric Brückner**  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Professur Kunststoffe am Institut für Fördertechnik und Kunststoffe  
Scientific assistant, Chair of Plastics at the Institute for Materials Handling and Plastics  
Technische Universität Chemnitz  
eric.brueckner@mb.tu-chemnitz.de



**Prof. Dr.-Ing. Sebastian Härtel**  
Leiter des Fachbereichs Hybride Fertigung  
Head of the Hybrid Manufacturing  
Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg, Cottbus  
Sebastian.haertel@b-tu.de



**Prof. Dr.-Ing. Michael Gehde**  
Leiter der Professur Kunststoffe am Institut für Fördertechnik und Kunststoffe  
Head of the Chair of Plastics at the Institute for Materials Handling and Plastics  
Technische Universität Chemnitz  
michael.gehde@mb.tu-chemnitz.de



**Prof. Dr.-Ing. Birgit Awiszus**  
Leiterin der Professur Virtuelle Fertigungstechnik am Institut für Werkzeugmaschinen und Produktionsprozesse  
Head of the Chair of Virtual Production Engineering at the Institute for Machine Tools and Production Processes  
Technische Universität Chemnitz  
birgit.awiszus@mb.tu-chemnitz.de

Mehr Informationen zu den Autoren auf [More information on the authors at www.joining-plastics.info/autoren](http://www.joining-plastics.info/autoren)

### Abstract

In the case of thermal plastics riveting, the application of precise, computer-assisted process simulation does not correspond to the state of the art at present. For this reason, the structural configuration of the joint is primarily based on subjective experience values and empirical tests on the (series) component. Within the framework of a project which is being promoted by the German Research Federation (DFG) and carried out at the Chemnitz University of Technology, it is intended to close these gaps by developing numerical models for the heating and forming behaviour of thermal riveting processes, i.e. hot forming and hot air riveting. The present article summarises the scientific investigations from [1], [2] and (in excerpts) [3] in a compact form and shows the, as yet, first numerical models for real plastics riveting processes taking account of realistic material and process conditions. The results of the numerical simulations until now show great congruence with the experimental data. In the future, the possibilities of computer-assisted

process simulation might provide a uniform planning and designing tool and thus simplify the component and process configuration to a great extent.

### 1. Introduction

Intelligent lightweight structures are increasingly being planned as multimaterial systems in order to achieve optimised properties of the overall component by combining materials in a targeted way. For

these structural approaches, there is a need for joining technologies which make it possible to join dissimilar materials with each other in a reliable way. Because of its cost-efficient process control and the typically short cycle times, plas-

zeiten ist das Kunststoffnieten ein häufig eingesetztes Fügeverfahren und wird insbesondere im Rahmen der Herstellung von Elektronik- und Sensorelementen sowie für das Verbinden von Bauteilen im Interieur- und Exterieur-Bereich angewendet. Es ermöglicht das zuverlässige Fügen von zwei oder mehreren Bauteilen durch eine form- und teilweise kraftschlüssig wirkende Verbindung. Beim konventionellen Kunststoffnieten wird das thermoplastische Verbindungselement, der Nietzapfen, unter Einwirkung von Druck und Energie stirnseitig umgeformt, wodurch sich in der Folge der Nietkopf ausbildet. Die charakteristische Geometrie des Nietkopfs ist hierfür in negativer Form als Kavität in den Umformstempel eingebracht und konstruktiv fest definiert. Der große Vorteil des Kunststoffnietens ist, dass der Prozess in diesem Zusammenhang nur einer geringen Limitierung der Werkstoffpaarung unterliegt.

Für eine sichere Prozessanwendung im industriellen Umfeld ist die Kenntnis der Wechselwirkungen zwischen Prozessführung, Werkstoff und Verbindungsqualität eine wesentliche Voraussetzung. Zur Klärung dieser Fragestellungen wurden in den letzten Jahren vielfältige wissenschaftliche Untersuchungen durchgeführt und veröffentlicht. Dem Ergebnisbericht [4] zum IGF-Vorhaben 17.997 BR sind nietverfahrensübergreifend die konstruktiven und prozesstechnischen Einflussgrößen zu entnehmen, während [5] auf Basis experimenteller Untersuchungen bereits erste Erkenntnisse zum Erwärmungs- und Umformverhalten beim thermischen Kunststoffnieten liefert. In [6] wurde experimentell und vorrangig in Bezug auf die mechanischen Eigenschaften das Heißluftnieten von langglasfaserverstärkten Thermoplasten untersucht. Im Rahmen von [3] wurden erstmalig die gesamtheitlichen Zusammenhänge zwischen dem Verfahrensablauf, den mechanischen Eigenschaften und dem resultierenden Versagensverhalten der Verbindung beim thermischen Kunststoffnieten analysiert und systematisch ausgearbeitet.

**2. Stand der Technik**

Numerische Untersuchungen für eine rechnergestützte Prozesssimulation des Kunststoffnietens bzw. für die Festigkeitsanalyse einer Kunststoffnietverbindung sind der wissenschaftlichen Literatur nur eingeschränkt zu entnehmen. Im Hinblick auf die numerische Prozesssimulation beschränken sich aktuelle Arbeiten auf den Infrarot-Nietprozess, wobei hier im Speziellen der Einfluss des Erwärmungs- und Abkühlverhaltens des Nietzapfens auf die Verbindungsfestigkeit untersucht wurde [7, 8]. Das viskose Materialverhalten der Kunststoffschmelze wurde in diesem Fall nicht berücksichtigt. Stattdessen wurde lediglich das elastisch-plastische Materialverhalten von Polypropylen von 25°C bis 100°C betrachtet. Beim thermischen Kunststoffnieten findet während der Umformung jedoch eine hohe Deformation und ein Fließen des Werkstoffs statt, weshalb die Beschreibung des rea-

tics riveting is a frequently utilised joining procedure and is applied, in particular, within the framework of the manufacturing of electronic and sensor elements as well as for the joining of components in interior and exterior areas. It permits the reliable joining of two or more components using a joint with positive-locking and, in part, non-positive-locking effects. In the case of conventional plastics riveting, the front side of the thermoplastic joining element (the rivet pin) is formed by the action of pressure and energy, thus shaping the rivet head. For this purpose, the characteristic geometry of the rivet head is incorporated into the forming punch in a negative form as a cavity and is permanently defined in relation to the structure. The great advantage of plastics riveting is that the process is subject to only slight limiting of the material combination in this connection.

One essential prerequisite for safe process application in the industrial environment is knowledge about the interactions between the process control, the material and the joint quality. In order to clarify these questions, a wide variety of scientific investigations have been conducted and published in recent years. Across various riveting procedures, the structural and process technology influencing variables are indicated in the results report [4] on the project for the promotion of joint industrial research (IGF 17.997 BR) while, on the basis of experimental investigations, [5] already supplies initial findings about the heating and forming behaviour during thermal plastics riveting. In [6], the hot air riveting of thermoplastics reinforced with long glass fibres was investigated experimentally and primarily in relation to the mechanical properties. Within the framework of [3], the holistic connections be-

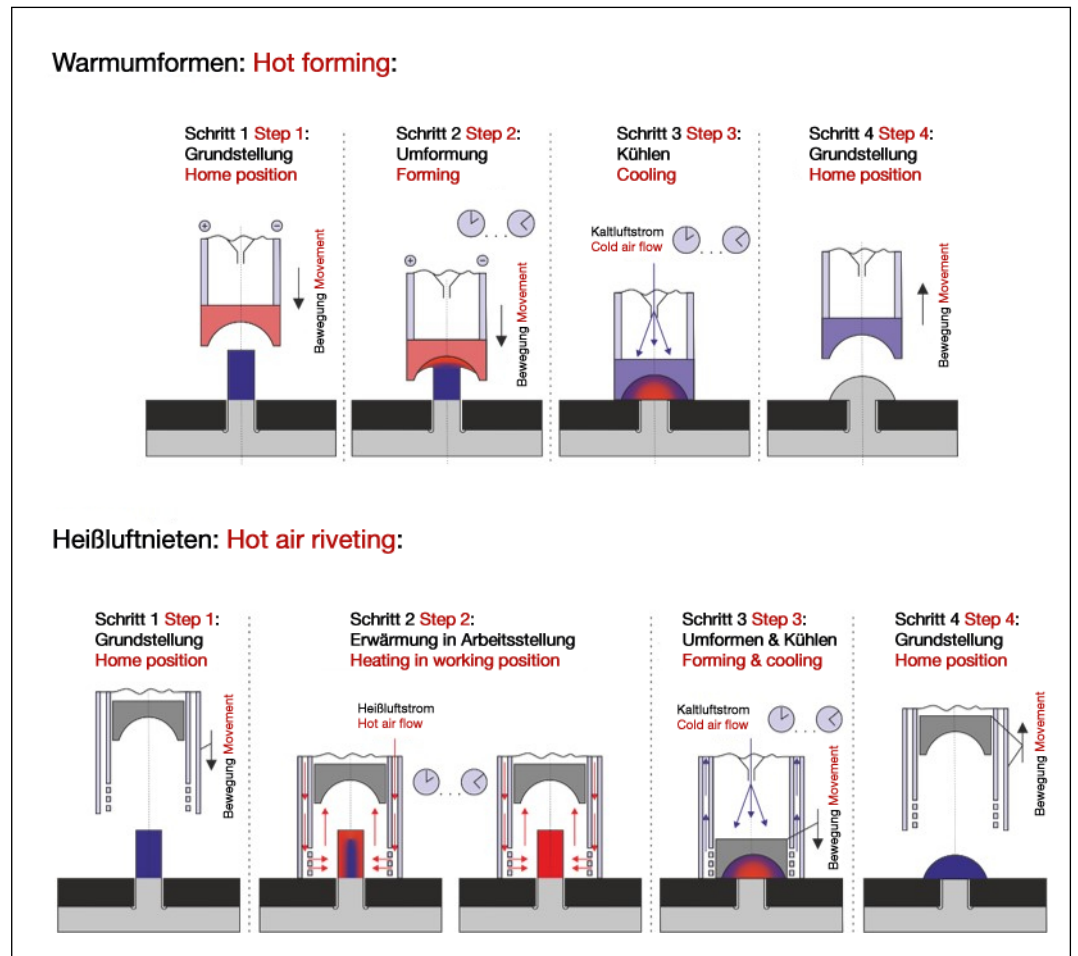


Bild 1: Schematische Darstellung der Prozessabläufe beim Warmumformen und Heißluftnieten [3]

Fig. 1: Schematic representation of the process sequences during hot forming and hot air riveting [3]

len Werkstoffverhaltens und die numerische Prozessabbildung nur unter Anwendung nicht-linearer viskoelastischer Modelle erfolgen kann. Die Generierung der hierfür erforderlichen Werkstoffdaten ist jedoch ungleich aufwendiger. [1] und [2] repräsentieren in diesem Zusammenhang die bisher ersten wissenschaftlichen Untersuchungen, die bei der numerischen Abbildung diese Werkstoff- und Prozessbedingungen berücksichtigen. Im Rahmen der Untersuchungen wurde hierbei zur Beschreibung des Werkstoffverhaltens im elastisch-plastischen Zustand der Hensel-Spittel-Ansatz angewendet. Zusätzlich wurde das Ostwald-de-Waele-Power-Law-Modell gewählt, um das Fließverhalten des thermoplastischen Werkstoffs in der Schmelze zu beschreiben. Im Gegensatz zu [7] und [8] wird somit auch das viskose Materialverhalten der Schmelze während des Nietvorgangs berücksichtigt und der Nietprozess damit realitätsnah abgebildet.

### 3. Material und Methoden

#### 3.1 Nietverfahren und Maschinenteknik

Die experimentellen Untersuchungen wurden an einer Heißenietanlage, Typ B2000-H, der Firma bdtro-nic GmbH durchgeführt. Der Nietprozess erfolgte stets kraftregelt. Bild 1 zeigt jeweils anhand einer schematischen Darstellung die Prozessabläufe beim Warmumformen und Heißluftnieten. Beide Prozesse unterscheiden sich sowohl im Erwärmungsprinzip als auch in der Prozessführung. Während es sich beim Warmumformen um einen einstufigen Nietprozess handelt und der Energieeintrag auf Wärmeleitung beruht, handelt es sich beim Heißluftnieten um eine zweistufige Prozessführung, bei welcher der Energieeintrag durch Konvektion erfolgt. In der Folge wird beim Heißluftnieten das überstehende Nietzapfenvolumen vor der Umformung kontaktlos erwärmt und anschließend in einem zweiten Schritt umgeformt, während sich beim einstufigen Warmumformen ein sukzessives Abschmelzen des Nietzapfens einstellt. Beide Prozesse haben gemeinsam,

dass nach der vollständigen Umformung eine aktive Kühlung der Nietverbindung stattfindet.

#### 3.2 Werkstoffe, Probe- und Prüfkörper

Die im Rahmen dieses Beitrags gezeigten Ergebnisse wurden am Werkstoff Polypropylen (PP), Typ Moplen HP501 H, Hersteller LyondellBasell, generiert. Der Nietzapfendurchmesser betrug für alle Untersuchungen 3 mm und die Nietzapfenlänge konstant 10,8 mm. Unter Anwendung eines Fügepartners, Werkstoff Edelstahl X5CrNi18-10, 1.4301, mit einer Materialstärke von 3 mm, reduzierte sich der überstehende Nietzapfen auf eine Länge von 7,8 mm. Als Nietkopf wurde eine Halbkugelgeometrie mit einem Radius von 3 mm verwendet. Das überstehende Nietzapfenvolumen war hierbei konstruktiv an das Volumen des angestrebten Nietkopfs angepasst. Die verwendete Nietgeometrie ist industriell weit verbreitet und entspricht in ihrer Ausprägung der Nietkopfform B, gemäß der DVS Richtlinie 2216-3.

#### 3.3 Numerische Prozesssimulation

Für die numerische Prozesssimulation wurde die Software „simufact.forming“ (Simufact Engineering GmbH) verwendet. Die Prozesssimulation wurde jeweils mit einem 2D-rotationssymmetrischen Modell unter Verwendung der realen Nietzapfen-, Nietkopf- und Umformstempelgeometrie durchgeführt. Der detaillierte Aufbau der Simulationsmodelle sowie die darin definierten Ansätze und Randbe-

ween the procedural sequence, the mechanical properties and the resulting failure behaviour of the joint in the case of thermal plastics riveting were analysed and systematically elaborated for the first time.

#### 2. State of the art

Numerical investigations for the computer-assisted process simulation of plastics riveting and/or for the analysis of the strength of a riveted joint with plastics are indicated in the scientific literature to a limited extent only. With regard to numerical process simulation, current work is being restricted to the infrared riveting process. In this respect, especially the influences of the heating and cooling behaviour of the rivet pin on the joint strengths were investigated here [7, 8]. The viscous material behaviour of the plastic melt was not taken into account in this case. Instead, consideration was given merely to the elastic-plastic material behaviour of polypropylene from 25°C to 100°C. However, the material is deformed extremely and flows during the forming in the case of thermal plastics riveting. This is why the description of the real material behaviour and the numerical process mapping can only be carried out by applying non-linear viscoelastic models. However, the generation of the material data required for this purpose is disproportionately more complicated.

In this connection, [1] and [2] represent the, as yet, first scientific investigations which take account of these material and process conditions during the numerical map-

ping. Within the framework of the investigations here, the Hensel-Spittel approach was applied to the description of the material behaviour in the elastic-plastic state. In addition, the Ostwald-de-Waele-Power-Law model was chosen in order to describe the flow behaviour of the thermoplastic material in the melt. In contrast with [7] and [8], the viscous material behaviour of the melt during the riveting operation is hence taken into account too and the riveting process is thus mapped realistically.

### 3. Material and methods

#### 3.1 Riveting procedures and machine technology

The experimental investigations were conducted on a hot riveting installation (type: B2000-H) from bdtro-nic GmbH. The riveting process was always carried out in force-regulated operation. In each case on the basis of a schematic representation, Fig. 1 shows the process sequences during hot forming and hot air riveting. Both processes differ not only in the heating principle but also in the process control. While hot forming is a single-stage riveting process and the energy input is based on heat conduction, hot air riveting has two-stage process control with which the energy is input by means of convection. In the case of hot air riveting, the protruding rivet pin volume is consequently heated in a contactless method before the forming and is subsequently formed in a second step while the successive melting-off of the rivet pin occurs during one-stage hot forming. The common

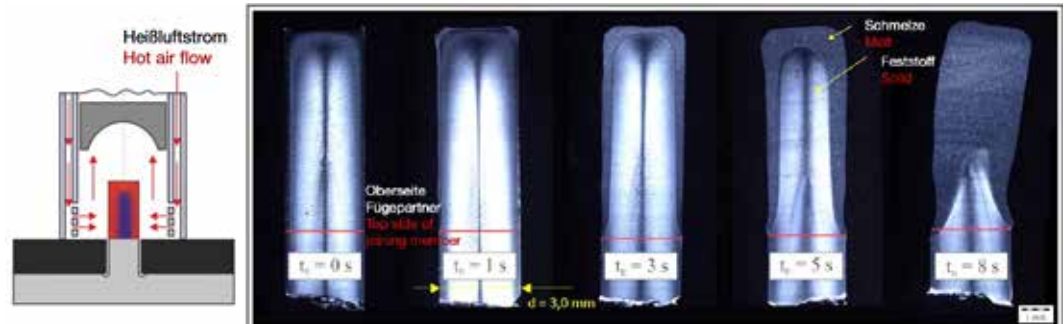
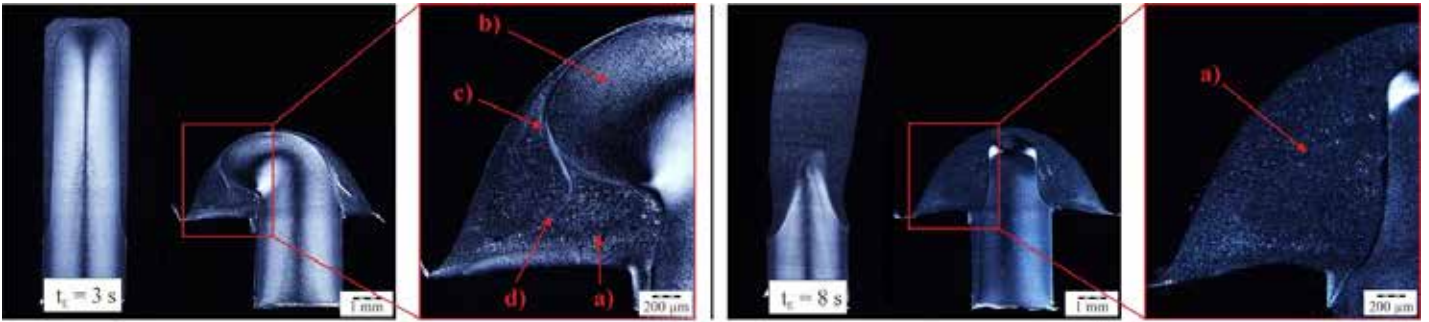


Bild 2: Mikroskopische Analysen zur Untersuchung der Schmelzebildung während der Erwärmungsphase beim Heißluftnieten, Nietzapfendurchmesser 3,0 mm, Lufttemperatur 300°C, Luftvolumenstrom 75 l/min [1]

Fig. 2: Microscopic analyses for the analysis of the melt formation during the heating phase in the case of hot air riveting, rivet pin diameter: 3.0 mm, air temperature: 300°C, air volume flow: 75 l/min [1]



**Bild 3:** Mikroskopische Analysen zur Untersuchung des Umformverhaltens und der entstehenden Werkstoffmorphologie in Abhängigkeit der Erwärmungszeit, Nietzapfendurchmesser 3,0 mm, Lufttemperatur 300°C, Luftvolumenstrom 75 l/min, Erwärmungszeit 3 s / 8 s, Fügekraft 80 N, Kühlzeit 12 s, Bereiche: a) plastifizierter und umgeformter Werkstoff, b) Grundwerkstoff, c) Scherzone, d) Bindenaht infolge Schmelze-Selbstkontakt (Bild modifiziert nach [1] und [3])

**Fig. 3:** Microscopic analyses for the investigation of the forming behaviour and the resulting material morphology depending on the heating time, rivet pin diameter: 3.0 mm, air temperature: 300°C, air volume flow: 75 l/min, heating time: 3 s / 8 s, joining force: 80 N, cooling time: 12 s, regions: a) plasticized and formed material, b) base material, c) shearing zone, d) weld line as a consequence of melt self-contact (figure modified according to [1] and [3])

dingungen für das Werkstoffverhalten und die Prozessführung sind in Bezug auf das Warmumformen der Veröffentlichung [2] sowie im Hinblick auf das Heißluftnieten der Ausarbeitung [1] frei zugänglich zu entnehmen.

#### 4. Ergebnisse und Diskussion

##### 4.1 Heißluftnieten

Bild 2 zeigt für den Prozess des Heißluftnietens und eine Erwärmungszeit von 0 s bis 8 s die zeitabhängige Schmelzebildung während der Erwärmungsphase. Anhand der mikroskopischen Aufnahmen wird deutlich, dass die Schmelzebildung gleichmäßig an den Außenseiten des überstehenden Nietzapfens beginnt. Während bei kurzen Erwärmungszeiten ein nicht-plastifizierter Bereich in der Mitte des Nietzapfens verbleibt, gelingt es bei langen Er-

wärmungszeiten, den überstehenden Nietzapfen nahezu vollständig zu plastifizieren. Hervorzuheben ist, dass die erzeugte Schmelzeschicht an der Oberseite des Nietzapfens stets größer ist als an dessen Außenseiten. Dieser Effekt muss im numerischen Modell für die Erwärmung berücksichtigt werden.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass die für die vollständige Umformung des Nietzapfens minimal benötigte Erwärmungszeit insbesondere von der Lufttemperatur und dem Luftvolumenstrom abhängig ist. Gleichzeitig besteht eine signifikante Abhängigkeit von der Fügekraft. Die Realisierung einer vollständigen Umformung des Nietzapfens ist jedoch nicht unmittelbar an eine vollständige Plastifizierung des überstehenden Nietzapfenvolumens gebunden. Bild 3 zeigt

feature of both processes is that the riveted joint is cooled actively after the complete forming.

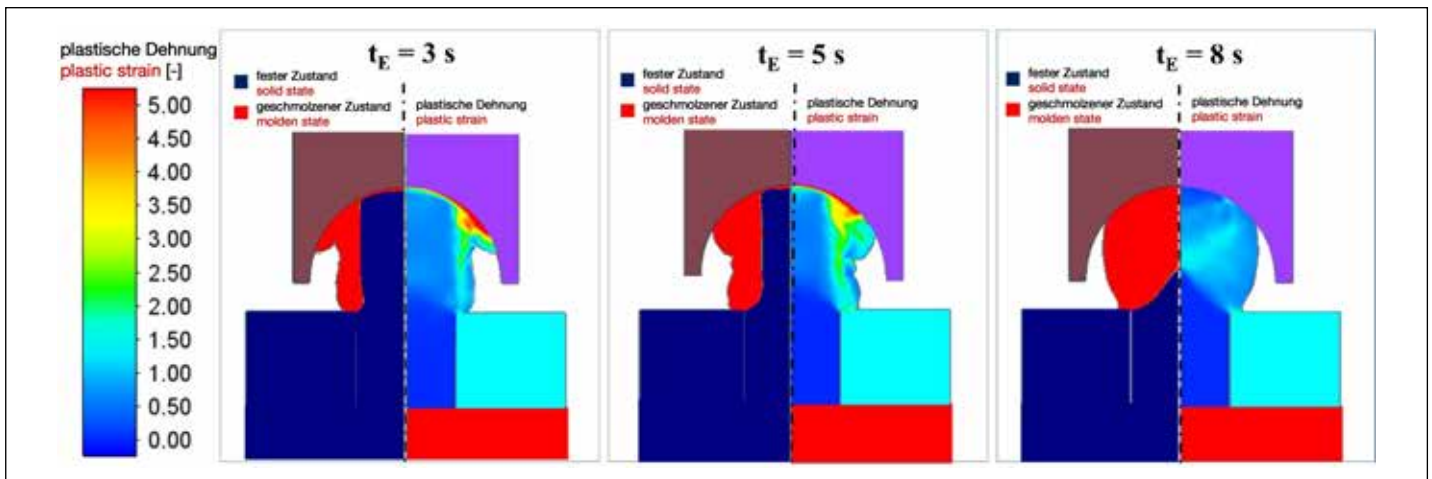
##### 3.2 Materials and test specimens

The results shown within the framework of this article were generated on the polypropylene (PP) material (type: Moplen HP501 H, manufacturer: LyondellBasell). For all the investigations, the rivet pin diameter was 3 mm and the rivet pin length constant at 10.8 mm. By utilising a joining member (material: high-grade steel X5CrNi18-10, 1.4301) with a material thickness of 3 mm, the protruding rivet pin was reduced to a length of 7.8 mm. A hemispherical geometry with a radius of 3 mm was used as the rivet head. In this respect, the protruding rivet pin volume was structurally adjusted to the

volume of the striven-for rivet head. The utilised rivet geometry is industrially widespread and its character corresponds to Rivet Head Shape B according to the DVS 2216-3 technical code.

##### 3.3 Numerical process simulation

The "simufact.forming" software (Simufact Engineering GmbH) was used for the numerical process simulation. In each case, the process simulation was carried out with a 2D rotationally symmetrical model using the real rivet pin, rivet head and forming punch geometries. The detailed setups of the simulation models as well as the approaches and boundary conditions defined therein for the material behaviour and the process control are freely accessible from the publication [2] in relation



**Bild 4:** Numerische Analyse zum Umformverhalten beim Heißluftnieten, charakterisiert durch die plastische Dehnung sowie die Schmelzbereiche und Feststoffbereiche für einen anteiligen Fügeweg von 80% und unterschiedliche Erwärmungszeiten  $t_E$  [1]

**Fig. 4:** Numerical analysis with regard to the forming behaviour in the case of hot air riveting, characterised by the plastic strain as well as the melt regions and solid regions for a pro-rata joining path of 80% and different heating times  $t_E$  [1]

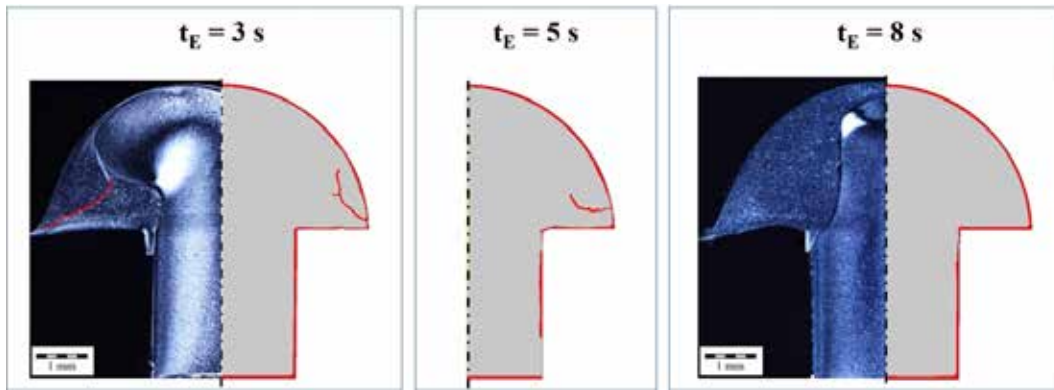


Bild 5: Numerische Analysen – Darstellung der entstehenden Bindenähte durch Selbstkontakt der aufgeschmolzenen Bereiche während der Umformung für verschiedene Erwärmungszeiten  $t_E$  sowie der jeweilige Vergleich mit den experimentellen Daten [1]

Fig. 5: Numerical analyses - Representation of the weld lines resulting from self-contact of the completely molten regions during the forming for various heating times  $t_E$  as well as the respective comparisons with the experimental data [1]

in diesem Zusammenhang den Vergleich von zwei erzeugten Nietverbindungen bei deutlich voneinander abweichenden Erwärmungszeiten. Bei einer Erwärmungszeit von 3 s wurde lediglich eine geringe Schmelzeschicht erzeugt, dennoch ist eine vollständige Umformung des Nietzapfens bei einer Fügekraft von 80 N möglich. Es muss jedoch erwähnt werden, dass sich bei dieser kurzen Erwärmungszeit eine inhomogene morphologische Ausprägung des Nietkopfs einstellt und ein hoher Volumenanteil des Nietzapfens kaltumgeformt wurde. Bei einer verlängerten Erwärmungszeit von 8 s stellt sich hingegen eine sehr homogene morphologische Ausprägung des Nietkopfs ein. Dies gilt insbesondere für den Anbindungsbereich zwischen Nietkopf und Nietzapfen, der gemäß den Erkenntnissen von [3] ein wesentliches Kriterium für die mechanische Belastbarkeit der Nietverbindung ist.

Das im Rahmen von [1] und auf Basis der experimentellen Daten aufgestellte numerische Modell offenbart jedoch noch weitere stichhaltige Erkenntnisse zur Bewertung und Interpretation der Zusammenhänge zwischen dem Erwärmungs- und Umformverhalten beim Heißluftnieten, welche auf der alleinigen Basis der experimentellen Daten nicht generiert werden können.

Wie in Bild 4 zu erkennen ist, findet bei kurzer Erwärmung und einer nur geringen erzeugten Schmelzeschicht während der Umformung ein Abschmelzvorgang des Nietzapfens, ähnlich der Prozessführung beim Warmumformen (Kapitel 4.2), statt. Hierbei wird die Schmelze während der Vorschubbewegung des Umformstempels in die Seitenbereiche der Stempelkalotte verdrängt und fließt von dort zur Ausbildung des Nietkopfs in die unteren Bereiche ab. Charakteristisch ist, dass sich auf diese Weise während

to hot forming as well as from the elaboration [1] with regard to hot air riveting.

#### 4. Results and discussion

##### 4.1 Hot air riveting

For the process of hot air riveting and a heating time from 0 s to 8 s, Fig. 2 shows the time-dependent melt formation during the heating phase. The micrographs illustrate that the melt formation begins uniformly on the outsides of the protruding rivet pin. While a non-plastified region remains in the centre of the rivet pin with short heating times, the protruding rivet pin can be plastified nearly completely with long heating times. It should be highlighted that the melt coat produced on the top side of the rivet pin is always thicker than that on its outsides. This effect must be taken into account in the numerical model for the heating. The investigation results show that the minimum heating time needed

for the complete forming of the rivet pin is dependent, in particular, on the air temperature and the air volume flow. At the same time, there is a significant dependence on the joining force. However, the implementation of the complete forming of the rivet pin is not directly linked to the complete plastification of the protruding rivet volume. In this connection, Fig. 3 shows the comparison of two riveted joints produced with heating times substantially deviating from each other. With a heating time of 3 s, merely a thin melt coat was produced but the complete forming of the rivet pin is nevertheless possible at a joining force of 80 N. However, it must be mentioned that this short heating time leads to an inhomogeneous morphological character of the rivet head and a high proportion of the rivet pin volume was cold-formed. In contrast, a very homogeneous morphological character of the rivet head occurs with an extended heating time of 8 s. This applies, in particular, to the fusion region between the rivet head and the rivet pin which, according to the findings from [3], is an essential criterion for the mechanical load-bearing capacity of the riveted joint. However, the numerical model elaborated within the framework of [1] and on the basis of the experimental data reveals even more sound findings for the assessment and interpretation of those connections between the heating and forming behaviour in the case of hot air riveting which cannot be generated on the sole basis of the experimental data.

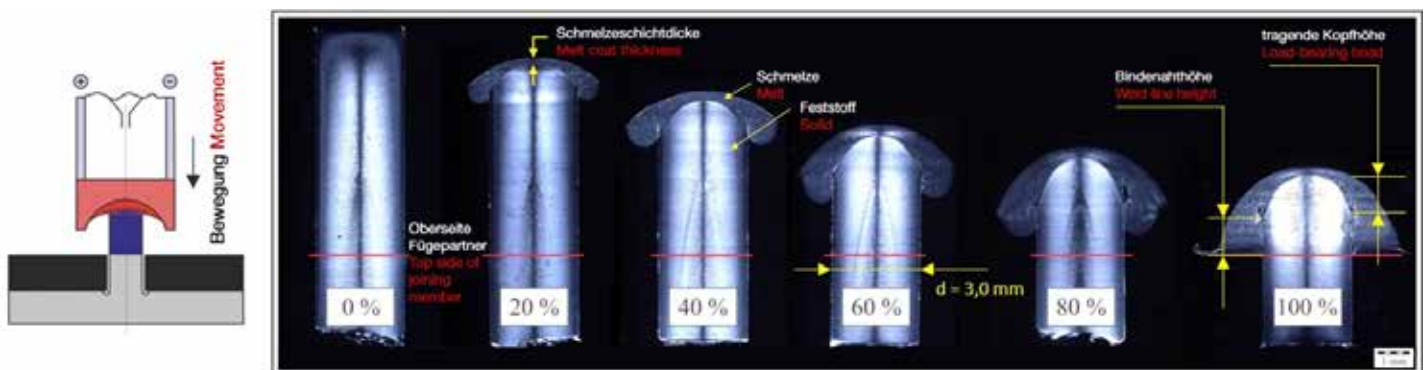
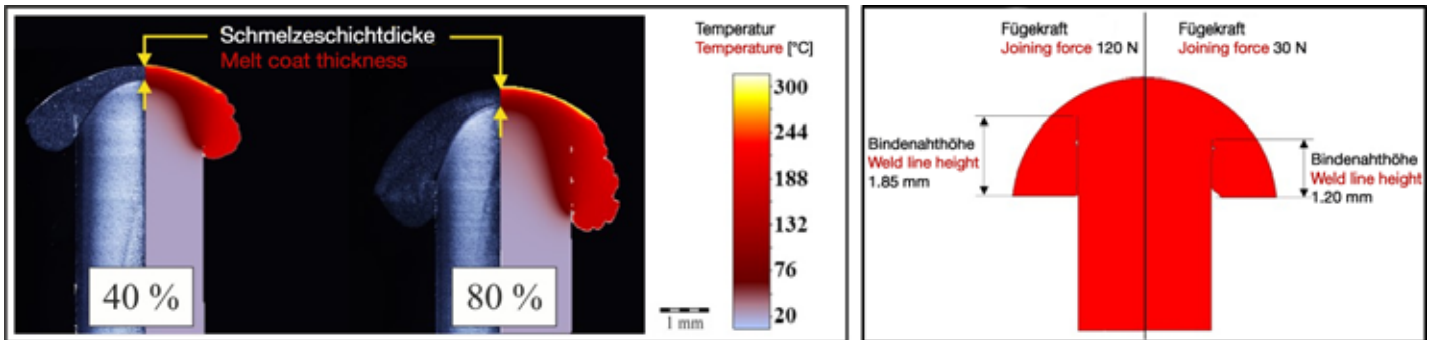


Bild 6: Umformstudie beim Warmumformen, stufenweise Abfolge des Umformvorgangs von 0% bis 100% Umformung, Umformstempeltemperatur 300°C, Fügekraft 30 N (Bild modifiziert nach [2] und [3])

Fig. 6: Forming study in the case of hot forming, step-by-step progression of the forming operation from 0% to 100% forming, forming punch temperature: 300°C, joining force: 30 N (figure modified according to [2] and [3])





**Bild 7:** links: Vergleich zwischen den experimentellen Daten der Umformung gemäß Bild 6 und den numerisch generierten Ergebnissen für zwei Umformzustände von 40% und 80% Umformung, rechts: Auswertung der Bereiche mit Schmelze-Selbstkontakt und resultierender Bindenahthöhe für zwei Fügekräfte von 30 N und 120 N (modifiziert nach [2])

**Fig. 7:** Left: comparison between the experimental data of the forming according to Fig. 6 and the numerically generated results for two forming conditions with 40% and 80% forming, right: evaluation of the regions with melt self-contact and resulting weld line height for two joining forces, i.e. 30 N and 120 N (modified according to [2])

der Umformung Zonen mit Schmelze-Selbstkontakt einstellen und sich charakteristische Bindenahte in den Seitenbereichen des Nietkopfs ausbilden (Bild 3d).

Wie im Vergleich von Bild 4 und 5 zu erkennen ist, verändert sich die Lage und die Art der Ausbildung dieser Bindenahte infolge des Selbstkontakts in Abhängigkeit der Erwärmungszeit. Die Ursache liegt darin, dass sich das Umformverhalten mit einer verlängerten Erwärmungszeit grundlegend verändert. Gemäß den Ergebnissen in Bild 4 findet bei einer Erwärmungszeit von 8 s infolge des großen Schmelzevolumens während der Umformung lediglich ein Stauchen des Nietzapfens statt, wodurch die Zonen mit Schmelze-Selbstkontakt vermieden werden können (Bild 5). Daraus resultiert eine im Vergleich homogenere morphologische Ausprägung des Nietkopfs, was durch das Experiment und die Simulation in gleicher Weise gezeigt wird. Die Hintergründe dieser prozessspezifischen Effekte konnten jedoch nur mit Hilfe der numerischen Prozesssimulation abgebildet und verstanden werden.

#### 4.2 Warmumformen

Bild 6 zeigt anhand experimenteller Daten das Erwärmungs- und Umformverhalten beim Warmumformen. Es ist zu erkennen, dass sich zu Beginn des Prozesses und infolge der thermischen Einwirkung des Umformstempels an der Oberfläche des Nietzapfens eine dünne Schmelzeschicht ausbildet. Aufgrund des gleichzeitig wirken-

den Fügedrucks wird die erzeugte Schmelze in die Seitenbereiche des Umformstempels verdrängt und der Nietzapfen somit sukzessive abgeschmolzen. Dieser Vorgang spiegelt auf den ersten Blick eine sehr einfache und kontrollierbare Prozessführung wider. Eine lichtmikroskopische Betrachtung des erzeugten Nietkopfs offenbart jedoch, dass sich infolge der vorliegenden thermisch-rheologischen Randbedingungen keine vollständige Anbindung des Nietkopfs an den Nietzapfen ausbildet und in einer charakteristischen Bindenaht resultiert, welche die maximale tragende Kopfhöhe und somit die mechanische Belastbarkeit des Nietkopfs reduziert. Die Zusammenhänge zwischen den gewählten Prozessparametern und der entstehenden Werkstoffmorphologie sowie deren Wechselwirkungen mit den mechanischen Eigenschaften der Nietverbindung sind [3] umfassend zu entnehmen. Bild 7 zeigt die Ergebnisse des auf Basis der experimentellen Daten erzeugten numerischen Modells zur simulativen Prozessabbildung. Dieses zeigt über den gesamten Umformvorgang, und wie exemplarisch für die Umformzustände von 40% und 80% dargestellt, eine sehr gute Übereinstimmung im Hinblick auf die geometrische Ausprägung des Nietkopfs und die Vorhersage der Schmelzeschicht(-dicke). Gleichwohl ist es möglich, die Zonen mit Schmelze-Selbstkontakt gezielt auszuwerten und somit die entstehende Bindenahthöhe und

As can be recognised on Fig. 4, a melting-off operation of the rivet pin, similar to the process control in the case of hot forming (Chapter 4.2), takes place with short heating and an only thin melt coat produced during the forming. In this respect, the melt is dispelled into the side regions of the punch dome during the feed movement of the forming punch and flows from there into the lower regions in order to form the rivet head. It is characteristic that, in this way during the forming, zones with melt self-contact occur and characteristic weld lines form in the side regions of the rivet head (Fig. 3d).

As can be recognised in the comparison of Figs. 4 and 5, the location and type of the formation of these weld lines alter as a consequence of the self-contact depending on the heating time. This is caused by the fundamental alteration in the forming behaviour with an extended heating time. According to the results on Fig. 4, the rivet pin is merely upset with a heating time of 8 s as a consequence of the large melt volume during the forming and the zones with melt self-contact can be avoided in this way (Fig. 5). This results in a comparatively more homogeneous morphological character of the rivet head. This is shown by the experiment and the simulation in the same way. However, it was possible to map and understand the backgrounds to these process-specific effects only with the aid of numerical process simulation.

#### 4.2 Hot forming

Fig. 6 shows the heating and forming behaviour in the case of hot forming on the basis of experimental data. It can be recognised that a thin melt coat forms at the beginning of the process and as a consequence of the thermal action of the forming punch on the surface of the rivet pin. Because of the simultaneously acting joining pressure, the produced melt is dispelled into the side regions of the forming punch and the rivet pin is thus melted off successively. At first glance, this operation reflects very simple and controllable process control. However, if the produced rivet head is viewed under a light microscope, this reveals that, as a consequence of the existing thermal-rheological boundary conditions, no complete fusion of the rivet head to the rivet pin forms, thus resulting in a characteristic weld line which reduces the maximum load-bearing head height and thus the mechanical load-bearing capacity of the rivet head. The connections between the chosen process parameters and the resulting material morphology as well as its interactions with the mechanical properties of the riveted joint are indicated comprehensively in [3].

Fig. 7 shows the results of the numerical model which was intended for simulative process mapping and was produced on the basis of the experimental data. Throughout the forming operation and as portrayed for the 40% and 80% forming conditions as examples, this shows very good congruence with regard to the

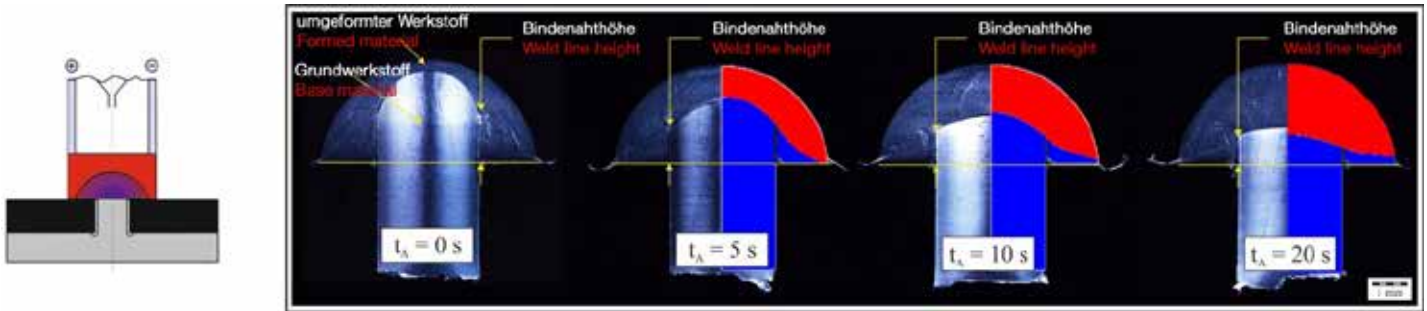


Bild 8: Vergleich der experimentell und numerisch ermittelten Daten zur Schmelzeinstellung während der Nachheizphase (Nachheizzeit  $t_h$ ), Auswertung der plastifizierten (rot eingefärbten) und nicht-plastifizierten (blau eingefärbten) Werkstoffbereiche zur Bestimmung der Bindenahöhe (modifiziert nach [2])

Fig. 8: Comparison of the experimentally and numerically established data about the melt development during the reheating phase (reheating time  $t_h$ ), evaluation of the plastified (coloured red) and non-plastified (coloured blue) material regions for the determination of the weld line height (modified according to [2])

im Umkehrschluss die tatsächlich tragende Kopfhöhe zu bestimmen. Die Simulation zeigt in Übereinstimmung mit dem Experiment, dass eine höhere Fügekraft des Umformstempels zu einer ebenfalls höheren Bindenaht (Bild 7) führt und im Gegensatz dazu eine verringerte Fügekraft die Anbindungsqualität infolge der breiteren Schmelzschicht bei geringerem Fügedruck grundsätzlich erhöht. Die simulierten Werte für die Bindenahöhe lagen bei einer Fügekraft von 120 N bei einem Wert von 1,85 mm (Experiment: 1,90 mm) und bei einer Fügekraft von 30 N bei 1,20 mm (Experiment: 1,20 mm) und bestätigte die Qualität und Genauigkeit der numerischen Modelle.

Eine Möglichkeit, die Anbindungsqualität des Nietkopfs im Prozess noch weiter zu verbessern, ist gemäß Bild 8 ein zusätzliches Nachheizen in Endlage. Die Bindenaht-

höhe besitzt hierbei eine starke Abhängigkeit von der Nachheizzeit. Diese Prozessanpassung wurde im Rahmen der numerischen Betrachtungen ebenfalls detailliert untersucht und nachgebildet. Wie in Bild 8 anhand der Ergebnisse zu erkennen ist, besitzt die Schmelzschichtdicke hierbei mit ansteigender Nachheizzeit jedoch lediglich eine degressive Zunahme. Durch das numerische Modell können diese Vorgänge präzise abgebildet und nachgestellt werden. Hinsichtlich einer in der Praxis anzustrebenden Prozesszeitoptimierung ist es unter Anwendung des Simulationsmodells nun möglich, die sich sukzessive reduzierende Bindenahöhe realitätsgetreu zu simulieren und darauf aufbauend Aussagen zur Zunahme der mechanischen Festigkeit des Nietkopfs innerhalb eines wirtschaftlichen Prozessfensters abzuleiten.

geometrischen Charakter der Nietkopf- und die Vorhersage der Schmelzschichtdicke. Dennoch, es ist möglich, die Zonen mit Schmelzselbstkontakt in einer gezielten Weise zu bestimmen und somit die resultierende Bindenaht- und, umgekehrt, die tatsächlich lasttragende Kopfhöhe zu bestimmen. In Übereinstimmung mit dem Experiment, zeigt die Simulation, dass eine höhere Fügekraft des Umformstempels zu einer ebenfalls höheren Bindenaht (Bild 7) führt und im Gegensatz dazu eine verringerte Fügekraft die Anbindungsqualität infolge der breiteren Schmelzschicht bei geringerem Fügedruck grundsätzlich erhöht. Die simulierten Werte für die Bindenahöhe lagen bei einer Fügekraft von 120 N bei einem Wert von 1,85 mm (Experiment: 1,90 mm) und bei einer Fügekraft von 30 N bei 1,20 mm (Experiment: 1,20 mm) und bestätigte die Qualität und Genauigkeit der numerischen Modelle.

According to Fig. 8, one possibility of improving the fusion quality of the rivet head in the process even further is additional reheating in the end position. In this respect, the weld line height is extremely dependent on the reheating time. This process adjustment was also investigated and reproduced in detail within the framework of the numerical deliberations. However, as can be recognised on the basis of the results on Fig. 8, the melt coat thickness here exhibits merely a degressive increase with a rising reheating time. Due to the numerical model, these operations can be mapped and reconstructed precisely. With regard to the process optimisation to be striven for in practice, the simulation model can now be applied in order to simulate successive reducing weld line heights realistically and, building upon this, to derive statements about the increase in the me-

## Literatur References

- [1] Härtel, S.; Brueckner, E.; Awiszus, B.; Gehde, M.: Development of a Numerical Model of the Hot Air Staking Process Based on Experimental Data. Appl. Sci. 2020, 10, 7115. <https://doi.org/10.3390/app10207115>.
- [2] Härtel S., Brückner E., Awiszus B., Gehde M.: Computer-Aided Modeling of the Hot Forming Staking Process Based on Experimental Data. (2021) In: Daehn G., Cao J., Kinsey B., Tekkaya E., Vivek A., Yoshida Y. (eds) Forming the Future. The Minerals, Metals & Materials Series. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-75381-8\\_117](https://doi.org/10.1007/978-3-030-75381-8_117).
- [3] Brückner, E.: Thermisches Kunststoffnieten – Verfahrensablauf, mechanische Eigenschaften, Versagensverhalten. (2021) Dissertation, Technische Universität Chemnitz. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:ch1-qucosa2-735102>.
- [4] Final Report IGF Project. Konstruktions- und Prozessoptimierung von Kunststoffnietverbindungen; Projektnummer 17.997 BR; Technische Universität Chemnitz-Professur Kunststoffe, Chemnitz, 2015.
- [5] Brückner, E.; Gehde, M.: Analyse des Prozessablaufs beim thermischen Kunststoffnieten am Beispiel von Polypropylen. 25. Technomer - Fachtagung über Verarbeitung und Anwendung von Polymeren, 2017, ISBN 978-3-939382-13-3.
- [6] Hahn, O.; Finkeldey, C.: Warmluftnieten von langglasfaserverstärkten Thermoplasten mit beschichteten metallischen Werkstoffen, Berichte aus dem Laboratorium für Werkstoff- und Fügetechnik, (2004) Vol. 63, Shaker Verlag, Aachen.
- [7] Park, H. S.; Nguyen, T. T.: Development of infrared staking process for an automotive part. IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 2015, 95, pp. 12/9.
- [8] Park, H. S.; Nguyen, T. T.: Development of a new staking process for an automotive part. Int. J. Adv. Manuf. Technol. 2017, 89, pp. 1053/68.

## 5. Zusammenfassung und Ausblick

Die erarbeiteten numerischen Modelle zeigen für beide Nietprozesse eine hohe qualitative und quantitative Übereinstimmung mit den experimentellen Daten und repräsentieren das Werkstoffverhalten während der Erwärmungs- und Umformphase sehr realistisch. Auf diese Weise ist es möglich, Aussagen zur sich einstellenden Werkstoffmorphologie und zur Anbindungsqualität des Nietkopfs in Abhängigkeit vom Erwärmungsprinzip und der Erwärmungszeit abzuleiten. Die numerische Prozesssimulation ermöglicht in diesem Zusammenhang bereits Aussagen zur Vorhersage von Bünden infolge von Schmelze-Selbstkontakt und erlaubt ebenfalls eine Abschätzung der minimalen Erwärmungszeiten beim Heißluftnieten und Warmumformen. Ebenfalls können mittels der numerischen Modelle Aussagen zu einer optimierten

Nachheizzeit beim Warmumformen getroffen werden. Im Rahmen des noch bis November 2022 laufenden DFG-Vorhabens sollen die Ergebnisse nun auf weitere Werkstoffe (u. a. Polyamid) übertragen sowie zur Vorhersage der mechanischen Eigenschaften und des Versagensverhaltens genutzt und gleichzeitig die Übertragbarkeit der mechanischen Kurzeigenschaften auf das dynamische Betriebsverhalten einer Nietverbindung geprüft werden.

### Danksagung

Das für diesen Artikel zugrundeliegende Forschungsvorhaben (Projekt-Nr.: GE627/16-1) wird durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) finanziert. Für diese Förderung wird der DFG hiermit der Dank ausgesprochen. Darüber hinaus danken sich die Autoren ausdrücklich bei der Firma bdtronic GmbH für ihre technische und fachliche Unterstützung.

mechanical strength of the rivet head within an economically viable process window.

### 5. Summary and outlook

The elaborated numerical models show great qualitative and quantitative congruence with the experimental data for both the riveting processes and represent the material behaviour during the heating and forming phases very realistically. In this way, it is possible to derive statements about the occurring material morphology and the fusion quality of the rivet head depending on the heating principle and the heating time. In this connection, the numerical process simulation already permits statements about the prediction of weld lines as a consequence of melt self-contact and also allows an estimation of the minimum heating times in the case of hot air riveting and hot forming. Moreover, statements about an optimised

reheating time during hot forming can be made using the numerical models. Within the framework of the DFG project which will continue to run until November 2022, the results are now to be transferred to other materials (amongst others, polyamide) and used for the prediction of the mechanical properties and the failure behaviour and the transferability of the mechanical short-time properties to the dynamic operating behaviour of a riveted joint is to be checked at the same time.

### Acknowledgements

The research project on which this article is based (Project No.: GE627/16-1) is funded by the Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG). The DFG is hereby thanked for this funding. Furthermore, the authors would like to express their gratitude to the company bdtronic GmbH for their technical and professional support.



**FORSTHOFF**

**Heissluftgeräte für die Kunststoffverarbeitung**

Innovatives Design vereint mit moderner Technik

**QUALITY  
MADE IN  
GERMANY**  
**FJ FORSTHOFF**  
**MORE THAN  
40 YEARS**

FORSTHOFF GmbH  
Freiheitstraße 24 · D-42719 Solingen  
Telefon +49 212 336052  
Fax +49 212 336916  
E-Mail: [info@forsthoffwelding.com](mailto:info@forsthoffwelding.com)  
[www.forsthoffwelding.com](http://www.forsthoffwelding.com)



# Zerstörungsfreie Aushärtegradprüfung mit unilateraler NMR

## Non-destructive testing of the degree of curing with unilateral NMR

Dr. rer. nat. Norbert Halmen, Dipl.-Ing. Ulrich Hack, Dr. rer. nat. Linda Mittelberg, Dr. Eduard Kraus, Dr. rer. nat. Benjamin Baudrit, Dr. rer. nat. Thomas Hochrein, Prof. Dr.-Ing. Martin Bastian, SKZ – Das Kunststoff-Zentrum, Würzburg

### Kurzfassung

Die Klebtechnik gehört zu den Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts. Trends wie E-Mobilität und Leichtbau wirken auch zukünftig als treibende Kraft. Gleichzeitig nimmt die Qualitätssicherung von Klebeverbindungen einen immer größeren Stellenwert ein, vor allem unter dem Aspekt der zerstörungsfreien Prüfung. Mit der unilateralen Kernspinresonanz (uNMR) kann der Aushärtezustand von Klebstoffen berührungslos, direkt in geklebten Bauteilen gemessen werden. Die Resultate der uNMR sind mit denen etablierter Laborverfahren vergleichbar und offenbaren das Potenzial für einen industriellen Einsatz zur Aushärtegradüberwachung.

### 1. Einleitung

Durch Kleben lassen sich unterschiedliche Werkstoffe wirtschaftlich und langzeitstabil kombinieren. Die Klebtechnik verdrängt immer stärker andere Fügeverfahren und besitzt in der industriellen Fertigung in zahlreichen Branchen einen immensen Stellenwert. Treibende Kräfte für den Anstieg sind neben dem Wunsch nach innovativen Designs der zunehmende Bedarf an Leichtbaulösungen im Zuge der E-Mobilität.

Neben der richtigen Oberflächenvorbehandlung der Fügepartner stellt die Aushärtung des Klebstoffs das wichtigste Qualitätsmerkmal für eine Klebeverbindung dar. Die vollständige Ausbildung des dreidimensionalen Klebstoffnetzwerks ist essenziell für die mechanische Beständigkeit der Klebschicht. Zudem haben die Applikationsbedingungen (wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Klebstoffmenge



#### Dr. rer. nat. Norbert Halmen

Wissenschaftlicher Mitarbeiter und Projektleiter der Forschergruppe Spektroskopie  
Research associate and project manager of the Research Group Spectroscopy

SKZ – Das Kunststoff-Zentrum, Würzburg  
n.halmen@skz.de



#### Dipl.-Ing. Ulrich Hack

Laboringenieur in der Forschergruppe Fügen  
Laboratory Engineer in the Research Group Joining

SKZ – Das Kunststoff-Zentrum, Würzburg  
u.hack@skz.de



#### Dr. rer. nat. Linda Mittelberg

Leiterin der Forschergruppe Spektroskopie  
Head of the Research Group Spectroscopy

SKZ – Das Kunststoff-Zentrum, Würzburg  
l.mittelberg@skz.de



#### Dr. Eduard Kraus

Leiter des Bereichs „Fügen und Oberflächentechnik“  
Head of the „Joining and Surface Technology“ Division

SKZ – Das Kunststoff-Zentrum, Würzburg  
e.kraus@skz.de



#### Dr. rer. nat. Benjamin Baudrit

Leiter der Bereiche „Materialentwicklung, Compoundieren und Extrudieren“ und „Produkte und Prozesse“  
Head of the Divisions „Material Development, Compounding and Extrusion“ and „Products and Processes“

SKZ – Das Kunststoff-Zentrum, Würzburg  
b.baudrit@skz.de



#### Dr. rer. nat. Thomas Hochrein

Geschäftsführer der Forschung und Bildung des SKZ  
Managing Director of the Research and Training of the SKZ

SKZ – Das Kunststoff-Zentrum, Würzburg  
t.hochrein@skz.de



#### Prof. Dr.-Ing. Martin Bastian

Institutsleiter des SKZ  
Institute Director of the SKZ

SKZ – Das Kunststoff-Zentrum, Würzburg  
m.bastian@skz.de

Mehr Informationen zu den Autoren auf [More information on the authors at www.joining-plastics.info/autoren](http://www.joining-plastics.info/autoren)

### Abstract

Adhesive bonding technology is one of the key technologies of the 21st century. Trends such as e-mobility and lightweight construction will act as a driving force in the future too. At the same time, the quality assurance on adhesive-bonded joints is becoming ever more significant, above all with regard to the aspect of non-destructive testing. Unilateral nuclear magnetic resonance (uNMR) can be used in order to measure the curing state of adhesives in a contactless method, directly in adhesive-bonded components. The results of uNMR are comparable with those of established laboratory procedures and reveal the potential for industrial utilisation for the monitoring of the degree of curing.

### 1. Introduction

Adhesive bonding can be used in order to combine different materials with economic viability and long-time stability. Adhesive bonding technology is superseding other joining procedures to an ever greater extent and has immense significance in industrial fabrication in numerous sectors. Driving forces for the rise are not only the wish for innovative designs but also the increasing need for lightweight construction solutions in the wake of e-mobility. In addition to the correct surface pretreatment of the joining members, the curing of the adhesive constitutes the most important quality characteristic for an adhesive-bonded joint. The complete formation of the three-dimensional adhesive network is essential for the mechanical resistance of the adhesive bonding layer. Moreover, the application

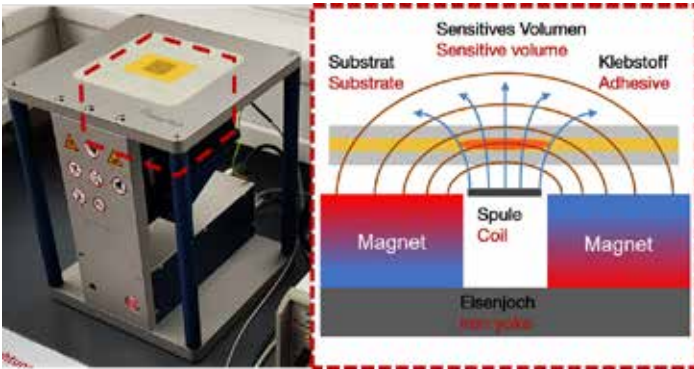


Bild 1: „NMR-Mouse PM5“ und Funktionsprinzip

Fig. 1: „NMR-Mouse PM5“ and functional principle

etc.) einen entscheidenden Einfluss auf die Klebstoffaushärtung [1]. Der Aushärtegrad kann auf vielfältige Weise im Labor geprüft werden. Klebeverbindungen werden jedoch meist mechanisch und zerstörend in Form von Zug(scher)prüfungen charakterisiert. Um den Einsatz von härtenden Klebstoffen kosteneffizienter zu gestalten und das Anwendervertrauen in die Klebtechnik auszubauen, wird eine zerstörungsfreie Aushärtegradüberwachung direkt in der Klebeverbindung benötigt [2]. Eine vielversprechende Möglichkeit bietet die berührungslos messende uNMR. In Untersuchungen der letzten Jahre wurde das Potenzial dieses Verfahrens zur prozessnahen Qualitätssicherung von Klebeverbindungen mehrfach am SKZ demonstriert und auch die Eignung der uNMR zur industriellen Nutzung aufgezeigt [3]. Die Prüfmethode detektiert die beim Ausbilden des Klebstoffnetzwerks abnehmende Beweglichkeit der Klebstoffmoleküle und ermöglicht somit auf zerstörungsfreie Weise einen Rückschluss auf die Aushärtung. In diesem Artikel werden das Messverfahren sowie in Auszügen die Ergebnisse des Forschungsprojekts „NMRBond“ für ausgewählte Klebstoffe vorgestellt [3]. Neben der uNMR wurde unter anderem die dielektrische Analyse (DEA) als Referenzverfahren verwendet. Die Ergebnisse weiterer Klebstoffe und Prüfverfahren sind im entsprechenden Projektbericht enthalten [3].

## 2. Stand der Technik und Forschung

Die Reaktionskinetik und der Aushärtegrad können im Zuge der Kleb-

stoffentwicklung oder zur Schadensfallanalyse mit verschiedenen Labormessmethoden charakterisiert werden. Gängige Verfahren sind dabei die dynamische Differenzkalorimetrie (DSC) [4], rheologische Untersuchungen mittels Platte/Platte-Rheometer [5], die dynamisch-mechanische Analyse [6], die DEA [3, 4, 6], die Spektroskopie im Nahinfrarot [7] sowie die Benchtop-NMR [8]. Durch die Abhängigkeit der Aushärtung von der Materialmenge ist anhand der Laborergebnisse mit geringen Probenmengen nur eine Abschätzung des Verhaltens im realen Anwendungsfall möglich. Zur prozessnahen Überwachung von Klebeverbindungen eignen sich die Verfahren aufgrund ihres zerstörenden Charakters oder der sehr spezifischen Anforderungen an Probenmenge bzw. -geometrie oftmals nicht. Selbst die zur Aushärtegradüberwachung im Duroplast-Bereich etablierte DEA kann für Klebeverbindungen nicht wirtschaftlich eingesetzt werden, da hierfür ein Sensor mit direktem Kontakt zum Klebstoff in das Bauteil integriert werden müsste. Die Untersuchung der Materialpaarung von Klebstoff und Substrat sowie die Wirksamkeit von Oberflächenvorbehandlungen werden bis dato mit der normierten Zugscherprüfung bzw. dem Zentrifugal-Adhäsions-Test (CAT) geprüft [9]. Beide Verfahren liefern zuverlässige und reproduzierbare Ergebnisse, sind jedoch zerstörend und können nicht an finalen Bauteilen erfolgen. Zerstörungsfreie und prozessnahe Ansätze zur Aushärtegradkontrolle direkt an Klebeverbindungen bieten der Einsatz von berührungslosem, luftgekoppeltem Ultraschall [10] oder

conditions (temperature, air humidity, adhesive quantity etc.) have decisive influences on the adhesive curing [1].

The degree of curing can be tested in the laboratory in a wide variety of ways. However, adhesive-bonded joints are mostly characterised mechanically and destructively in the form of tensile (shear) tests. In order to organise the utilisation of curing adhesives more cost-efficiently and to consolidate the users' trust in adhesive bonding technology, the non-destructive monitoring of the degree of curing is needed directly in the adhesive-bonded joint [2]. One promising possibility is offered by uNMR with contactless measurement. In investigations in recent years, the potential of this procedure for near-process quality assurance on adhesive-bonded joints has been demonstrated many times at the German Plastics Centre (SKZ) and the suitability of uNMR for industrial use has been highlighted too [3]. The testing method detects the adhesive molecule mobility which decreases during the formation of the adhesive network. Thus, it permits conclusions about the curing in a non-destructive way. The measuring procedure as well as, in excerpts, the results of the research project entitled "NMRBond" for selected adhesives are presented in this article [3]. Amongst other methods, dielectric analysis (DEA) was used as the reference procedure in addition to uNMR. The results of other adhesives and test procedures are included in the corresponding project report [3].

## 2. State of the art and research

In the wake of the adhesive development or for the damage case analysis, the reaction kinetics and the degree of curing can be characterised with various laboratory measuring methods. In this respect, common procedures are differential scanning calorimetry (DSC) [4], rheological investigations using plate/plate rheometers [5], dynamic-mechanical analysis [6], DEA [3, 4, 6], spectroscopy in the near infrared [7] as well as benchtop NMR [8]. Because the curing depends on the material

quantity, just one estimation of the behaviour in the real application is possible on the basis of the laboratory results with small specimen quantities. The procedures are often not suitable for the near-process monitoring of adhesive-bonded joints because of their destructive character or the very specific requirements on the specimen quantity and/or geometry. Even DEA which is established for the monitoring of the degree of curing in the thermosetting plastic field cannot be utilised for adhesive-bonded joints with economic viability since a sensor with direct contact to the adhesive would have to be integrated into the component for this purpose. The investigation into the material combination consisting of the adhesive and the substrate as well as the effectiveness of any surface pretreatments have, until now, been tested with the standardised tensile shear test and/or the centrifugal adhesion test (CAT) [9]. Both procedures supply reliable and reproducible results but are destructive and cannot be carried out on final components.

Non-destructive and process-appropriate approaches for the checking of the degree of curing directly on adhesive-bonded joints are offered by the utilisation of contactless, air-coupled ultrasound [10] or terahertz technology [11]. Both procedures are already being used in various industrial applications (thickness measurement, defect inspection) but the checking of the degree of curing of adhesive-bonded joints is still at the research stage.

uNMR with contactless measurement is also the subject of ongoing research projects [3, 12]. This magnetic measuring procedure is based on the measurement of nuclear magnetic relaxation times which are sensitive to the molecular mobility of molecules, such as those of adhesives. The degree of curing of adhesives can be quantified on this basis. Due to the special system set-up of uNMR, it is possible to analyse adhesive bonding layers down to depths from a few millimetres (depending on the construction shape of uNMR: up to 25 mm). The measuring spot covers a few hundred mm<sup>2</sup>

die Terahertz-Technik [11]. Beide Verfahren werden bereits in verschiedenen industriellen Anwendungen (Dickenmessung, Fehlerinspektion usw.) genutzt, die Aushärtgradkontrolle von Klebeverbindungen befindet sich aber noch im Forschungsstadium. Die berührungslos messende uNMR ist ebenfalls Gegenstand laufender Forschungen [3, 12]. Grundlage dieses magnetischen Messverfahrens ist die Messung von Kernspin-Relaxationszeiten, welche sensitiv auf die molekulare Beweglichkeit von Molekülen, wie die der Klebstoffe, sind. Anhand dieser kann der Aushärtgrad von Klebstoffen quantifiziert werden. Durch den besonderen Systemaufbau der uNMR können Klebschichten in Tiefen von einigen Millimetern – je nach Bauform der uNMR bis zu 25 mm – analysiert werden. Der Messfleck liegt bei einigen Hundert mm<sup>2</sup> und die Messdauer kann je nach gewünschtem Signal-Rausch-Verhältnis (SNR) zwischen wenigen Sekunden und mehreren Minuten eingestellt werden. Da elektromagnetische Wellen in dem verwendeten Frequenzbereich von etwa 20 MHz nahezu ungehindert durch Kunststoffsubstrate durchdringen können, ist auch eine Untersuchung der Klebschicht im gefügten Bauteil möglich. Bei Verwendung kurzer Messdauern von wenigen Sekunden ist das Verfahren für die produktionsnahe Qualitätssicherung geeignet.

### 3. Versuchsaufbau und -durchführung

#### 3.1 Untersuchte Klebstoffe

Die im Rahmen dieser Arbeit verwendeten Klebstoffe sind in Tabelle 1 ge-

zeigt. Dabei handelt es sich um einen lichthärtenden 1K-Klebstoff und unterschiedlich schnell aushärtende 2K-Klebstoffe auf Basis verschiedener Klebstoffchemie. Mit den Klebstoffen wurden Klebeverbindungen von Labordeckgläsern (Glas/Glas), unterschiedlichen Kunststoffen, beispielsweise Polycarbonat und Polymethylmethacrylat sowie Kombinationen von Glas und Kunststoff hergestellt. Die Substrate hatten jeweils Dicken von  $(1.000 \pm 20)$   $\mu\text{m}$  und wurden vor dem Kleben gereinigt. Die Klebschichtdicken wurden mittels Mikro-Glaskugeln auf eine Dicke von  $(90 \pm 10)$   $\mu\text{m}$  eingestellt.

Der 1K-Klebstoff wurde mit einer LED-Aushärtelampe (Delolux 20/400, Wellenlänge 400 nm) in einem Abstand von 15 cm über den Proben ausgehärtet. In dieser Höhe war die Wirkung des Magnetfelds vernachlässigbar. Zur Vergleichbarkeit der Messungen wurde der Sicherheitsabstand auch für die DEA-Versuche verwendet. Die an der Klebschicht ankommende Intensität variierte je nach Substrat (Glas und PMMA:  $(32 \pm 2)$  mW/cm<sup>2</sup> PC:  $(29 \pm 2)$  mW/cm<sup>2</sup>), war aber in allen Fällen ausreichend zum Aushärten.

#### 3.2 Referenzprüfung mit dielektrischer Analyse

Bei den DEA-Messungen bei Raumtemperatur (23 bis 26°C) wurde darauf geachtet, den Aushärteverlauf möglichst vollständig zu erfassen. Zur Bewertung von Reproduzierbarkeit und Messgenauigkeit der Messverfahren wurden die Untersuchungen aller Klebstoffe mindestens dreimal wiederholt.

and the measuring duration can be set between just a few seconds and several minutes according to the desired signal-to-noise ratio (SNR). Since electromagnetic waves in the utilised frequency range from approx. 20 MHz can penetrate through plastic substrates with hardly any hindrance, it is also possible to investigate the adhesive bonding layer in the joined component. If short measuring durations of just a few seconds are used, the procedure is suitable for near-production quality assurance.

### 3. Test setup and execution

#### 3.1 Investigated adhesives

The adhesives used within the framework of this paper are shown in Table 1. These are one light-curing one-component adhesive as well as two-component adhesives which exhibit different curing speeds and are based on various adhesive chemistry. The adhesives were used in order to manufacture adhesive-bonded joints between laboratory cover glasses (glass/glass), different plastics (e.g. polycarbonate and polymethyl methacrylate) as well as combinations of glass and plastic. In each case, the substrates had thicknesses of  $(1,000 \pm 20)$   $\mu\text{m}$  and were cleaned before the adhesive bonding. The adhesive bonding layer thicknesses were set to  $(90 \pm 10)$   $\mu\text{m}$  using glass beads.

The one-component adhesive was cured with an LED curing lamp (Delolux 20/400, wavelength: 400 nm) at a distance of 15 cm above the specimens. At this height, the effect of the magnetic field is

negligible. For the comparability of the measurements, the safety distance was used for the DEA tests too. The intensity reaching the adhesive bonding layer varied depending on the substrate (glass and PMMA:  $(32 \pm 2)$  mW/cm<sup>2</sup>, PC:  $(29 \pm 2)$  mW/cm<sup>2</sup>) but was sufficient for the curing in all the cases.

#### 3.2 Reference testing with dielectric analysis

In the case of the DEA measurements at room temperature (23 - 26°C), attention was paid to recording the curing course as completely as possible. In order to assess the reproducibility and measuring accuracy of the measuring procedures, the investigations on all the adhesives were repeated at least three times.

The degree of curing was monitored on the basis of the dielectric properties of the adhesives during the curing with a „Netzsch DEA 288 Ionic“ (Netzsch-Gerätebau GmbH, Selb) and small comb sensors (Mini-Index 100/35) at a measuring frequency of 1 Hz. The measured ion viscosity was used as the measure for the curing.

#### 3.3 Non-destructive testing with uNMR

The adhesives and the adhesive-bonded joints were investigated with an „NMR-Mouse PM5“ with the Kea2 spectrometer (Magritek GmbH, Aachen) and a related high-precision lift. The measuring setup and the measuring principle are portrayed on Fig. 1. Due to the targeted arrangement of low-field permanent magnets, their boundary field exhibits a region with par-

**Tabelle 1: Untersuchte Klebstoffe und Aushärte- bzw. Belichtungsdauern. Die Angaben der Delo-Klebstoffe beruhen auf verschiedenen Festigkeiten: Handfestigkeit (A): 1–2 MPa, Funktionsfestigkeit (B): >10 MPa, Endfestigkeit (C): Maximalwert, je nach Klebstoff. Die Kürzel sollen in Diagrammen einen einfacheren Vergleich der Klebstoffchemie ermöglichen.**  
**Table 1: Investigated adhesives as well as curing and light exposure durations. The information about the Delo adhesives is based on various strengths: handling strength (A): 1 - 2 MPa, functional strength (B): > 10 MPa, final strength (C): maximum value, according to the adhesive. The abbreviations should permit a simpler comparison of the adhesive chemistry on diagrams.**

Klebstoff Adhesive	Kürzel Abbreviation	Materialbasis Material basis	Aushärtedauer bei 23°C Curing duration at 23°C
Delo-Photobond AD491	1K-AC	1K, Urethanacrylat, lichthärtend 1C, urethane acrylate, light-curing	Belichtung: Mind. 3 s Light exposure: min. 3 s, LED 400 nm, 200mW/cm <sup>2</sup>
Delo-Duopox 03 rapid	2K-EP-03		A: 11 min, B: 2 h, C: 24 h
Delo-Duopox SJ8665	2K-EP-SJ	2K, Epoxid (EP)-Harz, Polyaddition 2C, epoxy (EP) resin, polyaddition	A: 3,5 3.5 h, B: 5,0 5.0 h, C: 7 d
Delo-Duopox AD840	2K-EP-AD		A: 7 h, B: 16 h
SikaPower-1277	2K-EP-SP		Fixierzeit Fixing time: 11 h, Aushärtezeit curing time: 24 h
Delo-Pur 9895	2K-PUR	2K, Polyurethan (PUR), Polyaddition 2C, polyurethane, polyaddition	A: 5,5 h, B: 24 h, C: 72 h
SikaFast-555	2K-AC	2K, Acrylat, radikalische Polymerisation 2C, acrylate, radical polymerisation	Fixierzeit Fixing time: 15 min

Die Aushärtegradüberwachung anhand der dielektrischen Eigenschaften der Klebstoffe während der Aushärtung erfolgte mit einer „Netzsch DEA 288 Ionic“ (Netzsch-Gerätebau GmbH, Selb) und kleinen Kammsensoren (Mini-Idex 100/35) mit einer Messfrequenz von 1 Hz. Als Maß für die Aushärtung wurde die gemessene Ionenviskosität verwendet.

### 3.3 Zerstörungsfreie Prüfung mit uNMR

Die Klebstoffe und Klebeverbindungen wurden mit einer „NMR-Mouse PM5“ mit dem Spektrometer Kea2 (Magritek GmbH, Aachen) und zugehörigem Hochpräzisionslift untersucht. Der Messaufbau und das Messprinzip sind in Bild 1 dargestellt. Durch die gezielte Anordnung von Niederfeld-Permanentmagneten existiert in deren Randfeld ein Bereich mit parallel verlaufenden Feldlinien an einer festen Position über der Magnetoberfläche. Durch die Anregung dieses sensitiven Volumens mit einem Hochfrequenzpuls aus einer Spule sind somit berührungslose NMR-Relaxationsmessungen möglich [13]. Die zu untersuchenden Proben werden hierzu in dem Volumen platziert oder durch dieses bewegt.

Die Magneten des Messsystems haben eine Feldstärke von 0,47 T und die Spule sendet bei der Frequenz 20,17 MHz. Die laterale Auflösung beträgt  $13 \times 13 \text{ mm}^2$ , bzw. die Tiefenaufklärung max.  $10 \text{ }\mu\text{m}$ . Die ma-

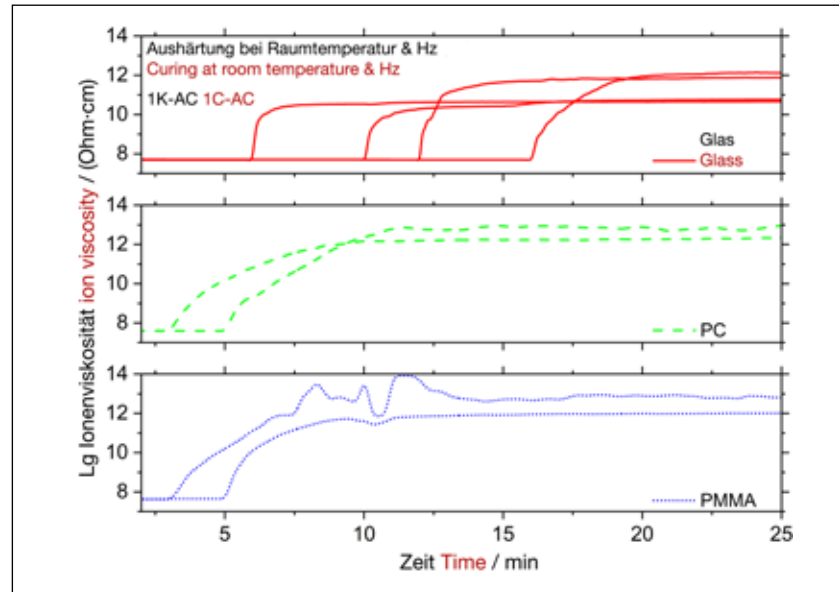


Bild 2: Ergebnisse der DEA-Messungen an „Delo-Photobond AD491“ bei Verwendung unterschiedlicher Substrate. Die Belichtung wurde jeweils zu unterschiedlichen Zeitpunkten eingeschaltet.

Fig. 2: Results of the DEA measurements on „Delo-Photobond AD491“ using different substrates. The light exposure was switched on at different points in time in each case.

ximale Messtiefe von 5,3 mm kann durch die Verwendung spezieller Spacer zu Gunsten einer höheren Sensitivität reduziert werden. Da es sich um eine magnetische Messtechnik handelt, können nur nichtleitende Materialien untersucht werden. Der vorliegende Messaufbau ist zudem nur für planare Proben geeignet. Die Messungen erfolgten bei Raumtemperatur. Aufgrund der Temperaturempfindlichkeit der Magnete kann sich die Position des sensitiven Volumens bei Veränderung der Magnettemperatur verschieben [3, 13]. Daher wurden die Temperaturen der Magnete mit Thermoelementen und die der Proben mittels IR-Thermometer bzw. -Kamera überwacht.

allel-running field lines in fixed positions above the magnet surface. Thus, it is possible to take contactless NMR relaxation measurements by exciting this sensitive volume with a high-frequency pulse from a coil [13]. For this purpose, the specimens to be investigated are placed in the volume or it moved through this.

The magnets of the measuring system have a field strength of 0.47 T and the coil transmits at a frequency of 20.17 MHz. The lateral resolution is  $13 \times 13 \text{ mm}^2$  and the depth resolution max.  $10 \text{ }\mu\text{m}$ . The maximum measuring depth of 5.3 mm can be reduced in favour of a higher sensitivity by using special spacers. Since this is a magnetic measuring tech-

nology, only non-conductive materials can be investigated. Moreover, the present measuring setup is only suitable for planar specimens. The measurements were taken at room temperature. Because of the temperature sensitivity of the magnets, the position of the sensitive volume can be shifted if the magnet temperature alters [3, 13]. Therefore, the temperatures of the magnets were monitored with thermocouples and those of the specimens using IR thermometers and/or cameras.

The transversal relaxation time  $T_2$  relevant to the molecular mobility and thus to the adhesive curing was determined using CPMG multi-echo sequences according to Carr, Purcell, Meiboom and Gill [14, 15]. The curing courses were evaluated on the basis of normalised echo sums (integral of the signal amplitudes over a defined number of successive echos) since these constitute an amplitude-weighted mean value of  $T_2$ .

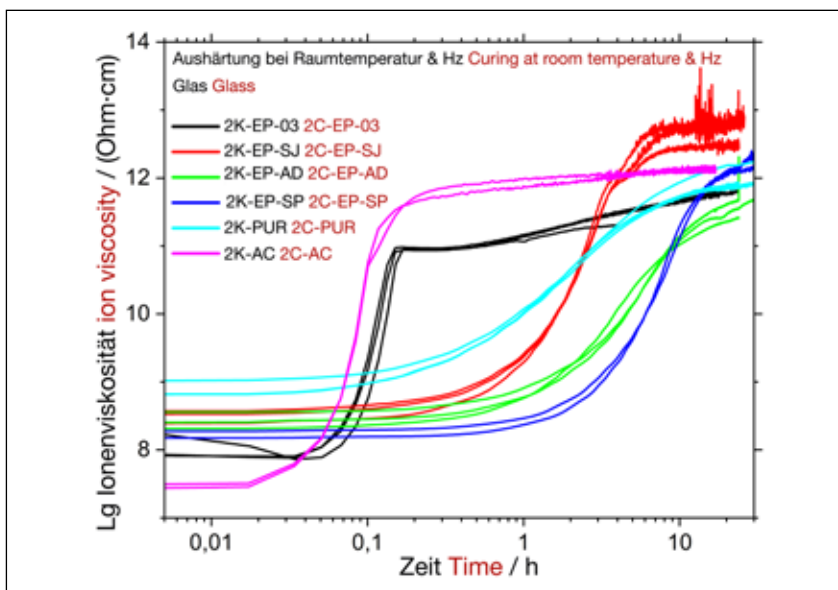


Bild 3: Ergebnisse der DEA-Messungen an 2K-Klebstoffen

Fig. 3: Results of the DEA measurements on two-component adhesives

## 4. Results and discussion

### 4.1 Dielectric analysis

Fig. 2 shows the signal courses of the light-curing adhesive which were measured with DEA at a frequency of 1 Hz when different substrates were used. In this respect, the ion viscosity rises substantially directly after the LED lamp has been switched on (at different points in time in each case) and reaches a plateau after just a few minutes. When PC and PMMA are used, the curing

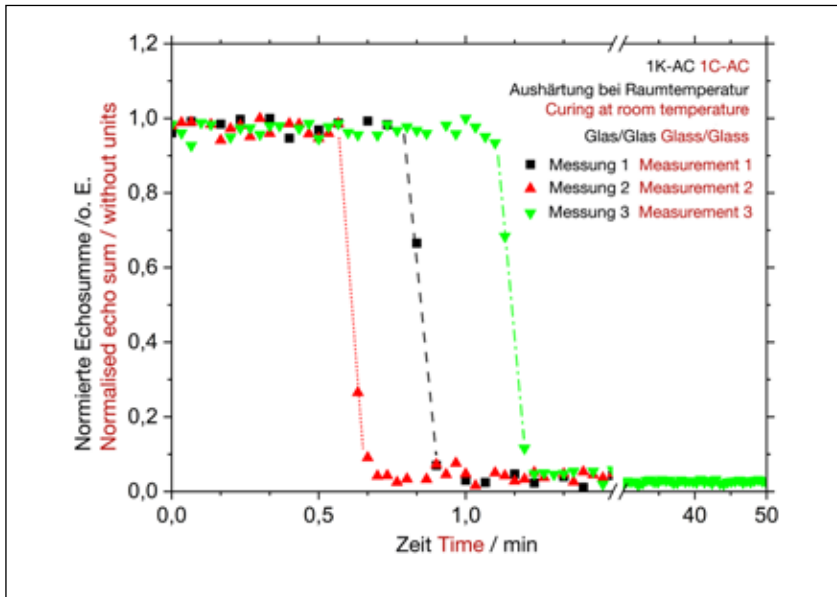


Bild 4: Normierte Echosummen des lichthärtenden Klebstoffs „Delo-Photobond AD491“ mit unterschiedlichen Startzeitpunkten der Belichtung (entsprechend Messung 1 bis 3)

Fig. 4: Normalised echo sums of the light-curing „Delo-Photobond AD491“ adhesive with different points in time for starting the light exposure (corresponding to Measurements 1 to 3)

Die für die molekulare Beweglichkeit und somit die Klebstoffaushärtung relevante transversale Relaxationszeit  $T_2$  wurde mittels CPMG-Multi-Echo-Sequenzen nach Carr, Purcell, Meiboom und Gill bestimmt [14, 15]. Die Aushärteverläufe wurden anhand von normierten Echosummen (Integral der Signalamplituden über eine definierte Anzahl aufeinanderfolgender Echos) ausgewertet, da diese einen amplitudengewichteten Mittelwert von  $T_2$  darstellen.

#### 4. Ergebnisse und Diskussion

##### 4.1 Dielektrische Analyse

Bild 2 zeigt die mit der DEA bei einer Frequenz von 1 Hz gemessenen Signalverläufe des lichthärtenden Klebstoffs bei Verwendung unterschiedlicher Substrate. Dabei steigt die Ionenviskosität direkt nach dem Einschalten der LED-Lampe (jeweils zu unterschiedlichen Zeitpunkten) deutlich an und erreicht nach wenigen Minuten ein Plateau. Bei Verwendung von PC und PMMA dauert die Aushärtung länger, da aufgrund größerer Absorption in den Kunststoffen eine geringere Lichtintensität an der Klebschicht vorhanden ist. Weiterführende Untersuchungen des Einflusses unterschiedlicher Belichtungsdauern sind im Forschungsbericht [3] enthalten.

Die Signalverläufe der 2K-Klebstoffe bei gleicher Messfrequenz sind in Bild 3 exemplarisch für die Glassubstrate dargestellt. Die Ionenviskosität steigt (analog zur Viskosität

im Platte/Platte-Rheometer) je nach Kinetik des Klebstoffs unterschiedlich steil an und erreicht bei vollständiger Aushärtung ein Plateau. Das finale Niveau der Ionenviskosität hängt neben der Klebstoffart zudem von der Klebstoffmenge, der lokalen Durchmischung der Klebstoffe bzw. der Anhaftung an den Messplatten ab. Bei Verwendung vergleichbarer Klebschichtdicken auf dem Sensor sind DEA-Messungen aber gut reproduzierbar.

Die DEA ist bei sorgfältiger Probenpräparation gut zur Aushärteüberwachung von Klebstoffen geeignet. Die Notwendigkeit des direkten Kontakts mit dem Klebstoff limitiert jedoch die Anwendung auf den Laboreinsatz.

takes longer since a lower light intensity is available at the adhesive bonding layer because of greater absorption in the plastics. Advanced investigations into the influences of different light exposure durations are included in the research report [3].

The signal courses of the two-component adhesives at the same measuring frequency are portrayed on Fig. 3 using the example of the glass substrates. In analogy to the viscosity in the plate/plate rheometer, the ion viscosity rises in gradients with different steepnesses according to the kinetics of the adhesive and reaches a plateau at the time of complete curing. Moreover, the final level of the ion viscosity depends not

only on the adhesive type but also on the adhesive quantity, the local thorough mixing of the adhesives and/or the adhesion to the measuring plates. However, DEA measurements exhibit good reproducibility when comparable adhesive bonding layer thicknesses are used on the sensor.

Subject to careful specimen preparation, DEA is extremely suitable for the monitoring of the curing of adhesives. However, the necessity of direct contact with the adhesive limits the application to laboratory utilisation.

##### 4.2 uNMR: Light-curing one-component adhesive

Since the curing of the light-curing „Delo-Photobond AD491“ adhesive had already been concluded just a few seconds after the light exposure, it was not possible to resolve the complete curing course using uNMR with any accuracy comparable with that, for example, using DEA. Mostly, just one measuring point in the interfacial region was visible. The system limits of the utilised „NMR-Mouse PM5“ with regard to the time-related resolution are recognisable here (low SNR at measuring times  $< 1$  s). However, the use of normalised echo sums permits a clear distinction between the liquid state (value: 1) and the cured state (value: close to 0). Fig. 4 portrays a few examples of measurements with the glass/glass substrate com-

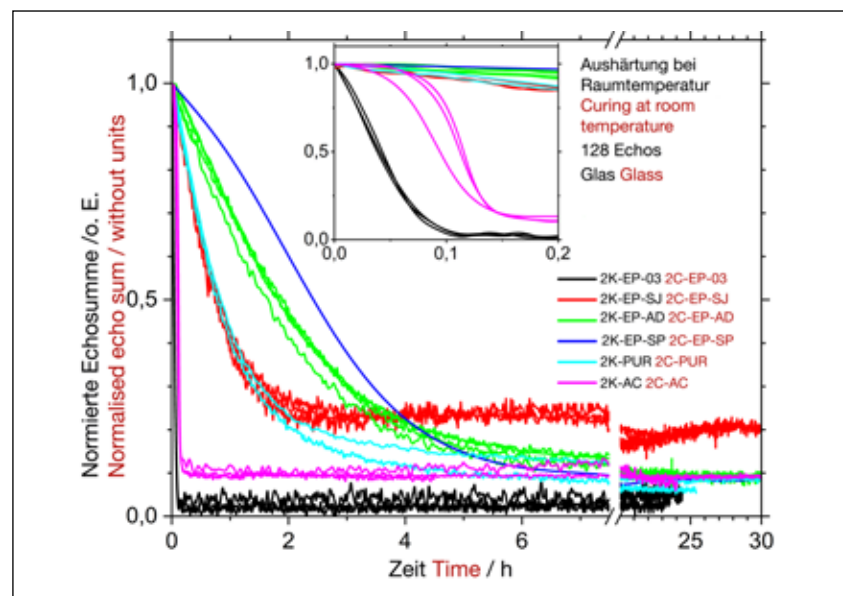


Bild 5: Normierte Echosummen der 2K-Klebstoffe während der Aushärtung. Der Einschub dient der Veranschaulichung der schnell härtenden Klebstoffe. Verschiedene Messungen des gleichen Klebstoffs sind in derselben Farbe dargestellt.

Fig. 5: Normalised echo sums of the two-component adhesives during the curing. The inset serves to illustrate the fast-curing adhesives. Various measurements on the same adhesive are portrayed in the same colour.



**4.2 uNMR: Lichthärtender 1K-Klebstoff**

Da die Aushärtung des lichthärtenden Klebstoffs „Delo-Photobond AD491“ bereits wenige Sekunden nach Belichtung abgeschlossen ist, konnte der vollständige Aushärteverlauf mittels uNMR nicht mit vergleichbarer Genauigkeit wie etwa mittels DEA aufgelöst werden. Meist war nur ein Messpunkt im Übergangsbereich sichtbar. Hier sind die Systemgrenzen der verwendeten „NMR-Mouse PM5“ bezüglich der zeitlichen Auflösung erkennbar (geringes SNR bei Messzeiten < 1 s). Die Verwendung von normierten Echosummen erlaubt jedoch eine klare Unterscheidung zwischen flüssigem (Wert 1) sowie ausgehärtetem Zustand (Wert nahe 0). In Bild 4 sind einige exemplarische Messungen mit der Substratkombination Glas/Glas mit unterschiedlichem Startzeitpunkt der Belichtung, ab dem die Aushärtung sofort einsetzt, dargestellt. Die Ergebnisse waren für alle verwendeten Substrate vergleichbar.

**4.3 uNMR: 2K-Klebstoffe**

In Bild 5 sind die normierten Echosummen über den Zeitraum der Aushärtung der 2K-Klebstoffe beispielhaft für Glassubstrate dargestellt. Die unterschiedliche Reaktionskinetik der Klebstoffe ist dabei deutlich zu erkennen. Durch die Normierung der Echosummen ließen sich selbst bei leicht schwankenden Klebschichtdicken verschiedener Messungen reproduzierbare Resultate erzielen (gute Übereinstimmung von Messkurven gleicher Farbe). Bei Verwendung unterschiedlicher Substrate ergeben sich ebenfalls vergleichbare Ergebnisse. Das Abklingen der Echosummenverläufe ist für die meisten Klebstoffe bis zum Erreichen der Handfestigkeit deutlich erkennbar. Hier ist die molekulare Beweglichkeit aus Sicht der uNMR so gering, dass der Klebstoff als ausgehärtet angesehen werden kann. Um noch weitere Aushärteprozesse mit geringen Einflüssen auf die Beweglichkeit aufzulösen, ist die Sensitivität der verwendeten uNMR nicht mehr ausreichend. Das höhere Endniveau des flexiblen Klebstoffs „Delo-Duopox SJ8665“ resultiert aus einer höheren Restbeweglichkeit der Molekülketten und

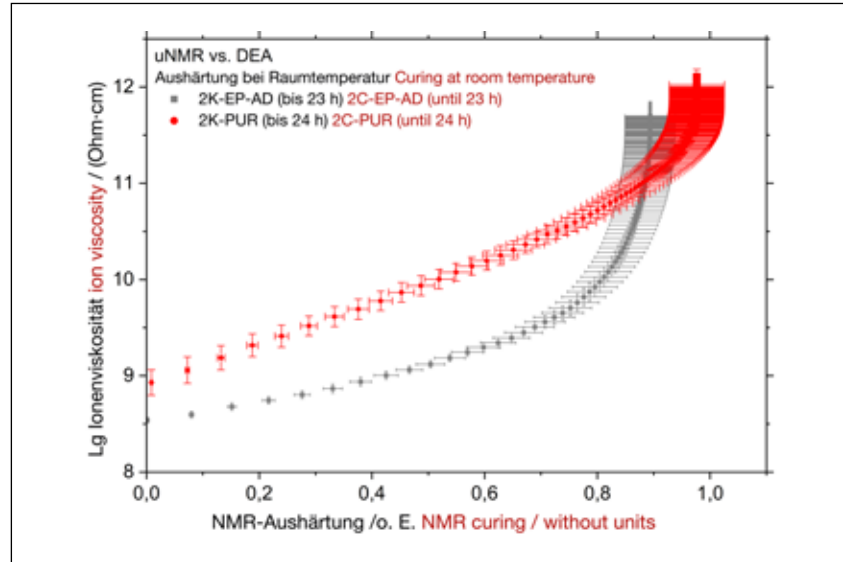


Bild 6: DEA-uNMR-Vergleichsmodelle der Klebstoffe „Delo-Duopox AD840“ und „Delo-Pur 9895“

Fig. 6: DEA/uNMR comparative models of the „Delo-Duopox AD840“ and „Delo-Pur 9895“ adhesives

wurde wahrscheinlich gezielt bei der Materialentwicklung eingestellt.

**4.4 uNMR: Prozessmodelle**

Auf Basis der Daten von Referenzverfahren können die uNMR-Ergebnisse zur Erstellung von Aushärtemodellen genutzt werden. Diese erlauben die Bewertung verschiedener Kenngrößen, wie der (Ionen)Viskosität, anhand der gemessenen Echosummen. Dadurch ist eine Überwachung des Klebstoffs über den kompletten Herstellungsvorgang von der Mischung des Klebstoffs bis zur späteren Endkontrolle des geklebten Bauteils möglich – und nicht getrennt nach Klebstoff (DSC, DEA, Rheometer) und Klebeverbindung (Zugscherprüfung, CAT). Um dies zu gewährleisten, sollten bei der Modellbildung auch Oberflächenvorbehandlungen bzw. deren Qualität berücksichtigt werden.

In Bild 6 sind exemplarisch die Vergleichsmodelle auf Basis der DEA- und NMR-Messdaten für die Klebstoffe „Delo-Duopox AD840“ und „Delo-Pur 9895“ gezeigt. Diese beinhalten einen linearen Bereich mit guter Korrelation. Ab einer gewissen Aushärtung ist die Sensitivität der DEA höher im Vergleich zur uNMR, sodass sich eher ein exponentieller Verlauf ergibt. Zudem wird die Messunsicherheit der uNMR größer.

Je nach Aushärtemechanismus der Klebstoffe und Referenzverfahren ergeben sich unterschiedliche Prozessmodelle. Weitere Beispiele sind im Projektbericht von NMRBond enthalten [3].

bination and different points in time for starting the light exposure, from which the curing commences immediately. The results were comparable for all the utilised substrates.

**4.3 uNMR: Two-component adhesives**

Fig. 5 portrays the normalised echo sums over the period of the curing of the two-component adhesives using the example of glass substrates. In this respect, the different reaction kinetics of the adhesives can be recognised clearly. Due to the normalisation of the echo sums, it was possible to achieve reproducible results even in the case of slightly fluctuating adhesive bonding layer thicknesses from various measurements (good congruence of measuring curves of the same colour). The use of different substrates also results in comparable results. The subsiding of the echo sum courses is clearly recognisable for most adhesives until the handling strength is reached. From the viewpoint of uNMR, the molecular mobility here is so low that the adhesive may be viewed as cured. The sensitivity of the utilised uNMR is no longer sufficient in order to resolve any more curing processes with small influences on the mobility. The higher final level of the flexible „Delo-Duopox SJ8665“ adhesive results from a higher residual mobility of the molecular chains and was probably set in a targeted way during the material development.

**4.4 uNMR: Process models**

On the basis of the data from reference procedures, the uNMR results can be used for the elaboration of curing models. These permit the assessment of various parameters, such as the (ion) viscosity, using the measured echo sums. Thus, it is possible to monitor the adhesive over the complete manufacturing process from the mixing of the adhesive to the subsequent final inspection of the adhesive-bonded component - and not separately according to the adhesive (DSC, DEA and rheometer) and the adhesive-bonded joint (tensile shear test and CAT). In order to guarantee this, surface pretreatments and/or their qualities should also be taken into account during the modelling.

Fig. 6 shows examples of the comparative models on the basis of the DEA and NMR measured data for the „Delo-Duopox AD840“ and „Delo-Pur 9895“ adhesives. These include a linear range with good correlation. From a certain degree of curing, the sensitivity of DEA is higher than that of uNMR, thus tending to result in an exponential course. Moreover, the measuring uncertainty of uNMR is greater.

The curing mechanisms of the adhesives and the reference procedures result in different process models. Further examples are included in the project report on NMRBond [3].

## 5. Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen des Forschungsprojekts NMRBond wurde der Einsatz der uNMR zur zerstörungsfreien Prüfung der Aushärtung von Klebstoffen in Klebeverbindungen untersucht. Das Messverfahren offenbarte – insbesondere durch die Möglichkeit, durch Fügebauteile hindurchzumessen – sowohl für die Untersuchung von lichthärtenden 1K- als auch 2K-Klebstoffen ein großes Potenzial in Bezug auf die industrielle Eignung zur Überwachung des Aushärtungsgrads. Die Verwendung von normierten Echosummen lieferte gut reproduzierbare Ergebnisse. Aufgrund der guten Korrelation mit verschiedenen Referenzverfahren, wie etwa der DEA, konnten erfolgreich Aushärtemodelle erstellt werden.

Der erforschte zerstörungsfreie Messansatz hat eine vergleichsweise geringe Sensitivität und ist beschränkt auf planare Proben. Da derart einfache Geometrien in industriellen Applikationen selten vorkommen, sind zukünftig Verbesserungen der Messtechnik notwendig – und laut Gerätehersteller Magritek in Grenzen auch möglich. Wenn dies gelingt, kann die uNMR perspektivisch nicht nur kostenaufwändige Laboruntersu-

chungen substituieren, sondern auch ihren Weg in die Prozesskontrolle finden.

### Danksagung

Das Vorhaben 20564 N der Forschungsvereinigung FSKZ e. V. wurde über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e. V. (AiF) im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Wir bedanken uns für die finanzielle Unterstützung. Weiterhin danken wir den Firmen Sika Deutschland GmbH und Delo Industrie Klebstoffe GmbH & Co. KGaA für die Bereitstellung der Klebstoffe und einer LED-Aushärtungsleuchte.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## 5. Summary and outlook

Within the framework of the research project entitled NMRBond, investigations were conducted into the utilisation of uNMR for the non-destructive testing of the curing of adhesives in adhesive-bonded joints. For the investigation of light-curing one-component and two-component adhesives, the measuring procedures revealed, particularly due to the possibility of measuring through joining parts, great potentials in relation to the industrial suitability for the monitoring of the degree of curing. The use of normalised echo sums provided extremely reproducible results. The good correlation with various reference procedures (e.g. DEA) permitted the successful creation of curing models.

The explored non-destructive measuring approach has a comparatively low sensitivity and is restricted to planar specimens. Since such simple geometries rarely occur in industrial applications, improvements in the measuring technology are necessary in the future - and, according to the device manufacturer Magritek, are also possible within limits. If this is successful, uNMR may, as a perspective, not only substitute cost-inten-

sive laboratory investigations but also find its way into process control.

### Acknowledgement

Project 20564 N of the Research Association FSKZ e. V. was funded through the German Federation of Industrial Research Associations „Otto von Guericke“ e. V. (AiF) within the framework of the programme for the promotion of joint industrial research (IGF) by the Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action (BMWK) on the basis of a resolution of the German Bundestag. We are grateful for the financial support.

Furthermore, we thank the companies Sika Deutschland GmbH and Delo Industrie Klebstoffe GmbH & Co. KGaA for providing the adhesives and an LED curing lamp.

Supported by:



on the basis of a decision  
by the German Bundestag

## Literatur References

- [1] Habenicht, G.: Kleben – erfolgreich und fehlerfrei: Handwerk, Praktiker, Ausbildung, Industrie, Wiesbaden: Springer Vieweg, 2016.
- [2] Doobe, M. (Hrsg.): Kunststoffe erfolgreich kleben: Grundlagen, Klebstofftechnologien, Best-Practice-Beispiele, Wiesbaden: Springer Vieweg, 2018.
- [3] Halmen, N. et al.: Aushärtung von Klebschichten im Blick: Zerstörungsfreie Qualitätssicherung mit unilateraler NMR, Düren: Shaker Verlag, 2021.
- [4] Hardis, R. et al.: Cure kinetics characterization and monitoring of an epoxy resin using DSC, Raman spectroscopy, and DEA, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, Jg. 49, 2013.
- [5] Russo, C. et al.: Rheological and Mechanical Characterization of Dual-Curing Thiol-Acrylate-Epoxy Thermosets for Advanced Applications, Polymers, Jg. 11, Nr. 6, 2019.
- [6] Lionetto, F.; Maffezzoli, A.: Relaxations during the postcure of unsaturated polyester networks by ultrasonic wave propagation, dynamic mechanical analysis, and dielectric analysis, J. Polym. Sci. B Polym. Phys., Jg. 43, Nr. 5, 2005.
- [7] Erdmann, M. et al.: Cure conversion of structural epoxies by cure state analysis and in situ cure kinetics using nondestructive NIR spectroscopy, Thermochemica Acta, Jg. 650, 2017.
- [8] Kimoto, H. et al.: Pulsed NMR study of the curing process of epoxy resin, Analytical sciences: the international journal of the Japan Society for Analytical Chemistry, Jg. 24, Nr. 7, 2008.
- [9] Kraus, E. et al.: Neue Methoden zur Prüfung geklebter Kunststoffe: Der Festigkeit schnell auf der Spur, Kunststoffe erfolgreich kleben: Grundlagen, Klebstofftechnologien, Best-Practice-Beispiele, M. Doobe (Hrsg.), Wiesbaden: Springer Vieweg, 2018.
- [10] Schober, G. et al.: Inline-Überwachung der Klebstoffaushärtung mit berührungslosem Ultraschall, Joining Plastics Jg. 13, Nr. 2, S. 90/5, 2019.
- [11] Sommer, S. et al.: Cure monitoring of two-component epoxy adhesives by terahertz time-domain spectroscopy, Polym. Sci. Ser. B, Jg. 58, Nr. 6, 2016.
- [12] Kelley, M. et al.: Monitoring real-time curing of epoxies in situ using single-sided NMR, J. Polym. Sci., Jg. 58, Nr. 4, 2020.
- [13] Casanova, F. et al. (Hrsg.): Single-Sided NMR, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2011.
- [14] Carr, H. Y.; Purcell, E. M.: Effects of Diffusion on Free Precession in Nuclear Magnetic Resonance Experiments, Phys. Rev., Jg. 94, Nr. 3, 1954.
- [15] Meiboom, S.; Gill, D.: Modified Spin-Echo Method for Measuring Nuclear Relaxation Times, Review of Scientific Instruments, Jg. 29, Nr. 8, 1958.

# The professional journal for **JOINING PLASTICS**

Plastics are today an indispensable part of our everyday life. During their manufacture and assembly, ever more significance is being attached to the joints in this case. JOINING PLASTICS – FÜGEN VON KUNSTSTOFFEN takes account of this development and, as a bilingual title (German/English), deals exclusively with the title subject.

Application-oriented specialist articles indicate the newest developments and the state of the art for series welding and for the joining of plastics in pipeline and tank construction and apparatus engineering. Furthermore, the reader learns everything important from the sections entitled companies, quality management and standardisation, research and development as well as safety at work and environmental protection.



[www.joining-plastics.info](http://www.joining-plastics.info)



## Subscribe now!

### Subscription Service

Jessica Santoro

Leserservice DVS Media  
65341 Eltville

P +49 61 23 92 38-145 | F +49 61 23 92 38-244  
[dvsmedia@vuservice.de](mailto:dvsmedia@vuservice.de) | [www.dvs-media.eu](http://www.dvs-media.eu)

# Laserdurchstrahlschweißen von Thermoplasten mit längeren Wellenlängen

## Laser transmission welding of thermoplastics at longer wavelengths

Andreas Schollmayer, M. Eng.; Sven Thomas, B. Eng.; Prof. Dr.-Ing. Ulrich A. Russek, Rheinische Fachhochschule Köln gGmbH, Köln

### Kurzfassung

Beim Laserdurchstrahlschweißen von Thermoplasten kann ein Wechsel von den üblich verwendeten Wellenlängen um 1  $\mu\text{m}$  zu einer längeren Wellenlänge um 1,5  $\mu\text{m}$  prozesstechnisch unerwünschte Strahlungsverluste reduzieren und/oder die Strahlungsintensität im Wechselwirkungsbereich erhöhen. Dies kann zu einer prozesstechnisch und wirtschaftlich verbesserten Prozessführung sowie neuen Produktoptionen führen, wie in einer experimentellen Studie am Beispiel des Konturschweißens gezeigt wird.



**Andreas Schollmayer, M. Eng.**

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am LaborLaserTechnik LLT  
Research associate at the LaboratoryLaserTechnology LLT

Rheinische Fachhochschule Köln gGmbH, Köln  
andreas.schollmayer@rfh-koeln.de



**Sven Thomas, B. Eng.**

Wissenschaftliche Hilfskraft am LaborLaserTechnik LLT  
Research assistant at the LaboratoryLaserTechnology LLT

Rheinische Fachhochschule Köln gGmbH, Köln  
sven.thomas@rfh-koeln.de



**Prof. Dr.-Ing. Ulrich A. Russek**

Professor für Physik und Lasertechnik und Leiter des LaborLaserTechnik LLT  
Professor of Physics and Laser Technology and Head of the LaborLaserTechnik LLT

Rheinische Fachhochschule Köln gGmbH, Köln  
ulrich.russek@rfh-koeln.de

Mehr Informationen zu den Autoren auf [More information on the authors at www.joining-plastics.info/autoren](http://www.joining-plastics.info/autoren)

### Abstract

As far as the laser transmission welding of thermoplastics is concerned, a change from the normally used wavelengths around 1  $\mu\text{m}$  to a longer wavelength around 1.5  $\mu\text{m}$  may reduce any radiation losses which are undesired with regard to process technology and/or increase the radiation intensity in the interaction region. This may lead not only to process control improvements in relation to process technology and economic aspects but also to new product options, as is shown in an experimental study using the example of contour welding.

### 1. Einleitung

Thermoplastischen Kunststoffen werden häufig Zusatzstoffe beigemischt, um beispielsweise technische Eigenschaften anzupassen, farblichen Designvorgaben zu entsprechen oder Herstellungsprozesse zu optimieren. Im Fall des Laserdurchstrahlschweißens führen Zusatzstoffe häufig zu unerwünschten prozessrelevanten Auswirkungen auf die optischen Eigenschaften – insbesondere beim transparenten Fügepartner – bei den üblicherweise verwendeten Laserstrahlwellenlängen um 1  $\mu\text{m}$ :

- höherer Reflexionsgrad (R)  
→ verminderte Prozessleistung,
- höherer Absorptionsgrad (A)  
→ verminderte Prozessleistung,
- geringerer Transmissionsgrad (T)  
→ verminderte Prozessleistung und
- höhere Streuung (S)  
→ verminderte Prozessleistung bzw. Laserstrahlintensität.

Diese prozesstechnischen und damit auch wirtschaftlichen Nachteile

könnten durch den Einsatz längerer Bestrahlungswellenlängen vermindert werden.

Daher wurden zunächst zahlreiche additivierete Thermoplaste hinsichtlich ihrer spektralen optischen Eigenschaften und anschließend einige ausgewählte Thermoplaste in systematischen Schweißexperimenten untersucht, um die Einsatzfähigkeit einer längeren Wellenlänge von 1.567 nm gegenüber 980 nm zu bewerten.

### 2. Bestimmung der optischen Eigenschaften

Die prozesstechnischen Voraussetzungen für den Laserdurchstrahlschweißprozess werden u. a. durch die optischen Eigenschaften des transparenten Fügepartners (tFp) bestimmt, welche im Folgenden bei dem Vergleich der beiden Wellenlängen 980 und 1.567 nm näher betrachtet werden.

Eine allgemeingültige Aussage bezüglich der Änderung der optischen Eigenschaften bei unterschiedlichen

### 1. Introduction

Additives are frequently admixed to thermoplastics in order, for example, to adjust technical properties, to correspond to colour design stipulations or to optimise manufacturing processes. In the case of laser transmission welding, additives frequently lead to undesired process-relevant effects on the optical properties (particularly of the transparent joining member) at the normally used laser beam wavelengths around 1  $\mu\text{m}$ :

- higher reflectance (R)  
→ decreased process efficiency
- higher absorptance (A)  
→ decreased process efficiency
- lower transmittance (T)  
→ decreased process efficiency
- higher scattering (S)  
→ decreased process efficiency and/or laser beam intensity

These process technological and thus also economic disadvantages might be alleviated by utilising longer radiation exposure wavelengths.

Therefore, the spectral optical properties of numerous thermoplastics with additives were investigated first of all. A few selected thermoplastics were subsequently investigated in systematic welding experiments in order to assess the usability of a longer wavelength of 1,567 nm as opposed to 980 nm.

### 2. Determination of the optical properties

The process technology requirements for the laser transmission welding process are determined, amongst other factors, by the optical properties of the transparent joining member (TJM) which are considered in greater detail below during the comparison of both the wavelengths, 980 nm and 1,567 nm.

However, a generally applicable statement with regard to the changes in the optical properties at different wavelengths is made more difficult, amongst other factors, by the

Wellenlängen wird jedoch erschwert u. a. durch die individuellen spektralen optischen Eigenschaften der

- verschiedenen Thermoplaste,
- verschiedenen Additive und
- Wechselwirkung zwischen Additiv und Thermoplast

sowie den Einfluss der Herstellungsbedingungen auf die optischen Eigenschaften.

Daher sollten jeweilige Werkstoffkombinationen stets messtechnisch bewertet werden.

Die spektralen optischen Eigenschaften (R, A, T, S) von etwa 400 verschiedenen, als tFp einsetzbaren Kunststoff-Additiv-Kombinationen der häufig eingesetzten Polymere (ABS, PC, PBT, PA, PP) wurden mittels eines Spektralphotometers (Perkin Elmer, Lambda 950S) im Wellenlängenbereich von 400 bis 2.500 nm untersucht. Die Auswertung der Spektren zeigt (Bild 1), dass die R-Grade bei einem Wellenlängenwechsel von 980 auf 1.567 nm tendenziell abnehmen, die reflexionsbedingten Prozessstrahlungsverluste sinken. Ob der Einsatz von 1.567 nm sinnvoll ist, hängt nicht nur vom R-Grad allein, sondern auch davon ab, wie sich eine R-Grad-Reduzierung auf den T- und A-Grad verteilt.

Die spektralen Untersuchungen zeigen, dass für die betrachteten Proben stets Farbadditivierungen existieren, die einen prozesstechnisch vorteilhaften Einsatz von 1.567 gegenüber 980 nm ermöglichen können (Bild 1). Zusammengefasst zeigen sich die Vorteile der untersuchten Proben durch:

- Reduzierung des R-Grads R um bis zu 43%-Punkte,
- Erhöhung des T-Grads T um bis zu 27%-Punkte,
- Reduzierung des A-Grads A um bis zu 16%-Punkte,

wobei die genannten Aspekte nicht gleichzeitig an einem Werkstoff auftreten.

Neben R, A und T zählt das optische Streuverhalten ebenfalls zu den prozessbeeinflussenden optischen Eigenschaften des tFp's. Kristalline Strukturen und eingesetzte Zusatzstoffe bilden Streuzentren, welche mit der Laserstrahlung wechselwirken. Die daraus resultierende Energieumverteilung kann prozesstechni-

sche Konsequenzen haben [1]. Durch die streuende Wirkung des transparenten Fügepartnermaterials erfährt der Laserstrahl bis zum Auftreffen auf den absorbierenden Fügepartner (aFp) eine Verbreiterung einhergehend mit einer Intensitätsminderung. Wird dieser Intensitätsverlust in der Fügezone durch eine Erhöhung der Laserstahlleistung und/oder der Bestrahlungsdauer kompensiert, entstehen breitere Nähte als ohne Streuung. Eine Erhöhung der Leistung birgt das Risiko von Oberflächenverbrennungen am tFp. Um die Wahrscheinlichkeit von Oberflächenverbrennungen – bedingt durch erhöhte Leistung oder streuende Zusätze – zu reduzieren, kann (in Grenzen) die Bestrahlungsdauer bei gleichbleibender oder niedrigerer Leistung erhöht werden, indem der Vorschub reduziert wird. Dies führt jedoch zu einer Erhöhung der Prozesszeit.

Zur Bewertung der Streuwirkung wurde eine auf T-Grad-Messungen basierende Methodik entwickelt [2], mittels der eine streuungsbeschreibende Kennzahl S abgeleitet werden kann. Größere S-Werte stehen für ein höheres Streuvermögen, eine ausgeprägtere Strahlverbreiterung. Bei diesen T-Grad-Messungen trifft ein Messstrahl mit definiertem

individual spectral optical properties of

- the various thermoplastics
  - various additives
  - interaction between the additive and the thermoplastic
- as well as the influences of the manufacturing conditions on the optical properties.

Thus, the respective material combinations should always be assessed using measurement technology.

The spectral optical properties (R, A, T and S) of approx. 400 different plastic/additive combinations with the frequently utilised polymers (ABS, PC, PBT, PA and PP) which can be utilised as TJMs were investigated in the wavelength range from 400 nm to 2,500 nm using a spectral photometer (Perkin Elmer, Lambda 950S). The evaluation of the spectra (Fig. 1) shows that the reflectances tend to decline when the wavelength is changed from 980 nm to 1,567 nm and the reflection-induced process radiation losses decrease. Whether the utilisation of 1,567 nm is sensible does not depend solely on the reflectance but instead also on how a reflectance reduction is distributed around the transmittance and the absorptance.

The spectral investigations show that colour additives always exist for the considered specimens and may make it possible to utilise 1,567 nm more advantageously than 980 nm (Fig. 1). In a summarised form, the advantages of the investigated specimens are shown by the following:

- reduction in the reflectance R by up to 43% points
- increase in the transmittance T by up to 27% points
- reduction in the absorptance A by up to 16% points

In this respect, the specified aspects do not arise on one material at the same time.

In addition to R, A and T, the optical scattering behaviour is also amongst the process-influencing optical properties of the TJM. Crystalline structures and utilised additives form scattering centres which interact with the laser radiation. The resulting energy redistribution may have process technology consequences [1]. Due to the scattering effect of the transparent joining member material, the laser beam undergoes widening accompanied by an intensity decrease until it strikes the absorbent joining member (AJM). If this intensity loss in the joining zone is compensated for by

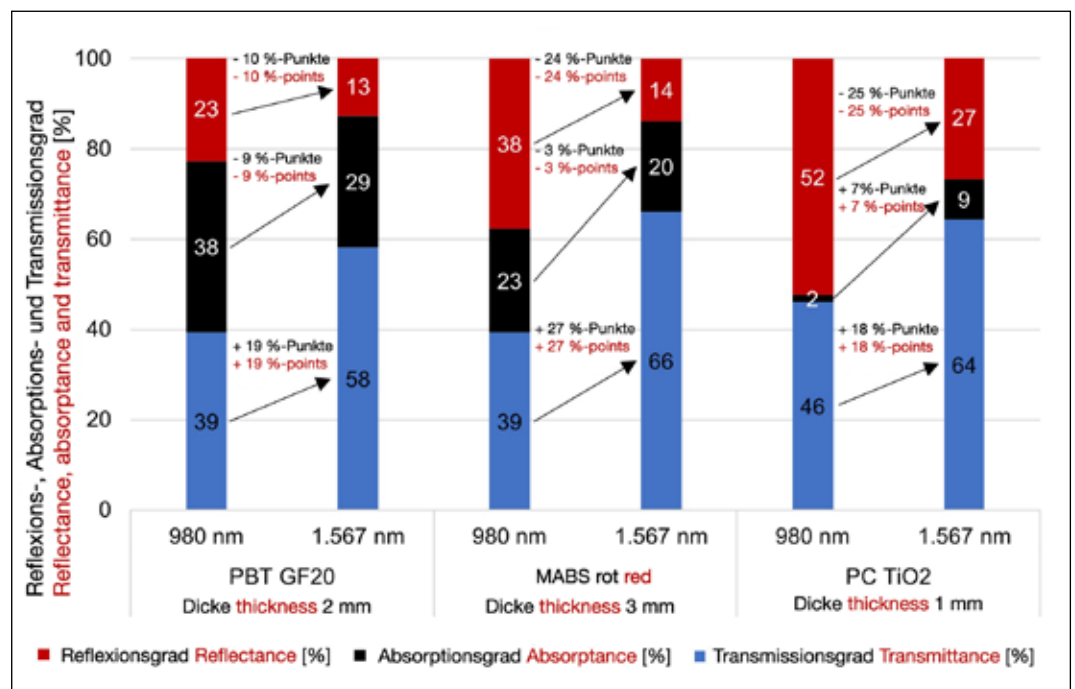


Bild 1: Optische Eigenschaften von PBT + Glasfasern, MABS + Rot-Pigment und PC + TiO2 für λ = 980 und 1.567 nm bei verschiedenen Dicken

Fig. 1: Optical properties of PBT + glass fibres, MABS + red pigment and PC + TiO2 for λ = 980 nm and 1,567 nm with various thicknesses

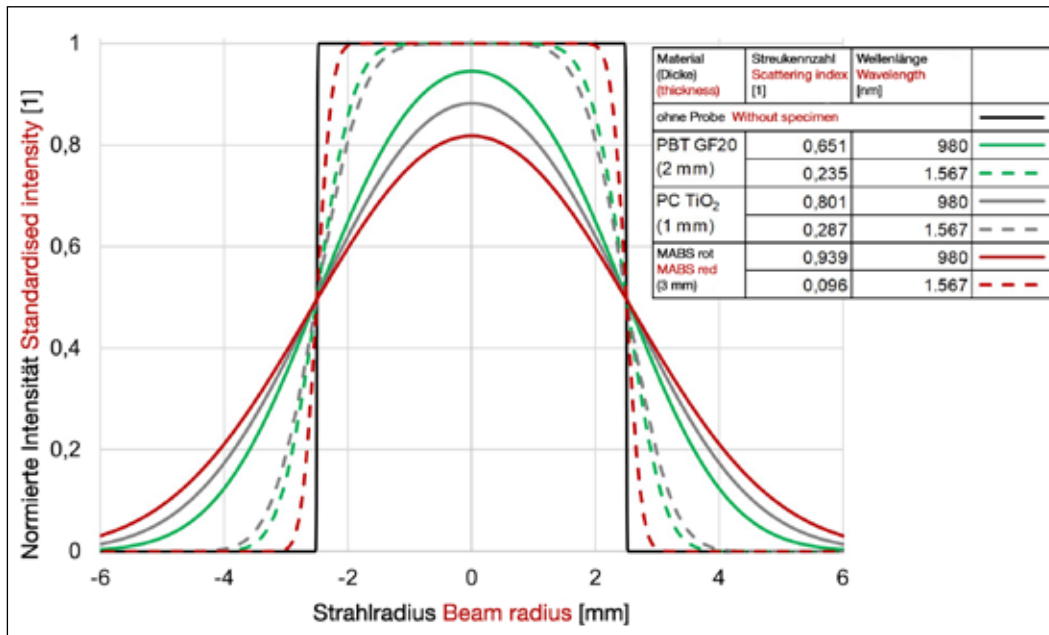


Bild 2: Simulierte Leistungsdichteverteilung der transmittierten Strahlung von PC + TiO<sub>2</sub>, PBT + Glasfasern und MABS + Rot-Pigment auf Basis spektroskopischer Messungen für  $\lambda = 980$  und  $1.567$  nm

Fig. 2: Simulated power density distributions of the radiation transmitted by PC + TiO<sub>2</sub>, PBT + glass fibres and MABS + red pigment on the basis of spectroscopic measurements for  $\lambda = 980$  nm and  $1.567$  nm

Strahlradius senkrecht auf die transparente Probe, wobei die transmittierte Strahlung mit einer im Durchmesser variablen Lochblende direkt hinter der Probe begrenzt wird. Mit Hilfe des in Abhängigkeit dieses Blendendurchmessers gemessenen T-Grads kann die Leistungsdichteverteilung des transmittierten Strahls unmittelbar hinter der Probe und damit die streuende Wirkung der Probe bewertet werden (Bild 2).

Die Messungen zeigen, dass der gerichtete T-Grad und die Streukennzahl  $S$  bei  $1.567$  stets eine geringere Streuwirkung als bei  $980$  nm aufzeigen (Bild 2, 4). Eine Vergrößerung der Wellenlänge gegenüber der Streuzentrengröße führt für additivierete Thermoplaste zur Reduktion der Streuwirkung [3, 4, 5, 6].

Zur Verdeutlichung der potenziellen prozesstechnischen und wirtschaftlichen Vorteile eines Wellenlängenwechsels von  $980$  auf  $1.567$  nm werden im Folgenden Ergebnisse experimenteller Untersuchungen einer ausgewählten Fügepartnerkombination vorgestellt.

### 3. Fügepartnercharakterisierung

Für die Schweißexperimente werden 2-Stufen-Flachproben (2 auf 3 mm) aus Polypropylen (PP) verwendet und im Überlapp angeordnet (Bild 3). PP

kommt als Massenkunststoff häufig zum Einsatz und weist durch seine geringe Feuchteaufnahme und Verarbeitungstemperatur ein günstiges Eigenschaftsprofil für die Herstellung und Verarbeitung auf.

Der transparente Fügepartner (tFp) ist mit 0,2% Cu-Phthalocyanin blau eingefärbt. Die optischen Eigenschaften des tFp's sind in Bild 4 dargestellt. Für  $980$  nm beträgt der integrale T-Grad 52%. Für  $1.567$  nm ist der integrale T-Grad mit 74% jedoch um 42% (22%-Punkte) höher.

Der gerichtete T-Grad entspricht dem Strahlungsanteil, der nahezu ungestreut die Probe durchstrahlt, und ist durch den Wellenlängenwechsel von  $980$  zu  $1.567$  nm um

an increase in the laser beam power and/or the radiation exposure duration, this results in wider welds than without any scattering. An increase in the power entails the risk of surface burns on the TJM. In order to reduce the probability of surface burns (caused by increased power or scattering additives), the radiation exposure duration can be increased (within limits) at a constant or lower power by reducing the feed speed. However, this leads to an increase in the process time.

A methodology which is based on transmittance measurements and can be used in order to derive a scattering-describing index  $S$  was developed for the assessment of

the scattering effect [2]. Higher  $S$  values represent higher scattering powers and more distinct beam widening.

In the case of these transmittance measurements, a measuring beam with a defined beam radius strikes the transparent specimen perpendicularly. In this respect, the transmitted radiation is limited with an aperture which has a variable diameter and is located directly behind the specimen. With the aid of the transmittance measured depending on this aperture diameter, the power density distribution of the transmitted beam can be assessed immediately behind the specimen and thus the scattering effect of the specimen (Fig. 2).

The measurements show that the directional transmittance and the scattering index  $S$  at  $1.567$  nm always demonstrate smaller scattering effects than those at  $980$  nm (Figs. 2 and 4). For thermoplastics with additives, an increase in the wavelength in relation to the size of the scattering centre leads to the reduction of the scattering effect [3-6].

In order to illustrate the potential process technology and economic advantages of a wavelength change from  $980$  nm to  $1.567$  nm, results of experimental investigations on a selected joining member combination are presented below.

### 3. Joining member characterization

Two-step flat specimens (2 mm to 3 mm) made of polypropylene (PP) are used for the welding experiments and arranged in lap joints

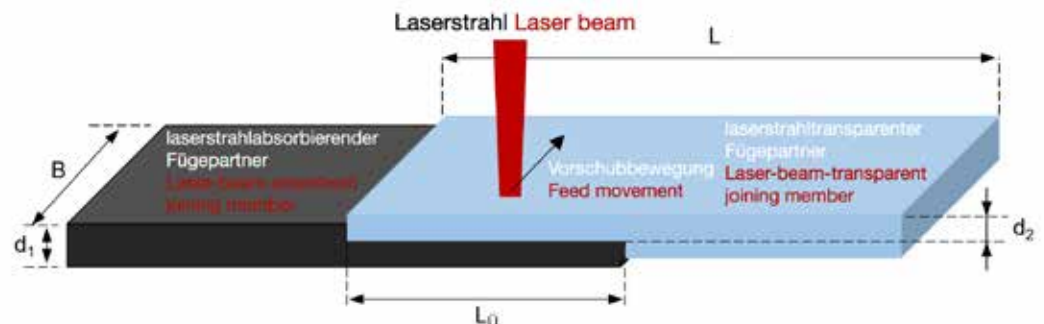


Bild 3: Schematische Darstellung der Überlappanordnung der beiden Fügepartner (Dicke  $d_1 = 3$  mm, Dicke  $d_2 = 2$  mm, Länge  $L = 82$  mm, Überlapplänge  $L_0 = 20$  mm, Breite  $B = 41$  mm, Nahtlänge = 20 mm)

Fig. 3: Schematic representation of the overlapping arrangement of both the joining members (thickness  $d_1 = 3$  mm, thickness  $d_2 = 2$  mm, length  $L = 82$  mm, overlapping length  $L_0 = 20$  mm, width  $B = 41$  mm, weld length = 20 mm)

den Faktor 3,7 höher (56 gegenüber 15%). In diesem Fall ist der ungestreute transmittierte Anteil bei 1.567 nm sogar höher als jener der gesamten Transmission bei 980 nm. Die Werte der Streukennzahl  $S$  mit 0,642 für 980 nm und 0,135 für 1.567 nm unterstreichen das geringere Streumaß bei der längeren Wellenlänge. Bei den betrachteten blauen PP-Proben sind die mit Strahlungsverlusten verbundenen R- und A-Grade bei 1.567 nm um 18 bzw. 4%-Punkte geringer als bei 980 nm.

Dieses Beispiel verdeutlicht, dass mit einem Wellenlängenwechsel ein erhöhter prozessrelevanter Strahlungsanteil in den Wechselwirkungsbe- reich eingebracht werden kann.

Als absorbierender Fügepartner (aFp) wird PP mit 0,5% Rußanteil verwendet, dessen prozessbestimmende optische Eigenschaft die optische Eindringtiefe  $\delta_{opt}$  ist. Diese ist ein Maß für die räumliche Ausprägung der Energieumwandlung der Laserstrahlung im Material in Wärme und beeinflusst bspw. den zeitlich-räumlichen Temperaturgradienten, die Schweißtiefe, das Schmelzvolumen und die zur Plastifizierung benötigte Leistung. Auch die über Rußadditivierung einstellbare optische Eindringtiefe ist wellenlängenabhängig und wächst im nahinfraroten Spektralbereich tendenziell mit steigender Wellenlänge an. Die optische Eindringtiefe  $\delta_{opt}$  für das hier eingesetzte PP wurde für die eingesetzten Wellenlängen plastographisch und spektroskopisch bestimmt:

- $\delta_{opt}$  (980 nm) = 36  $\mu\text{m}$ ,
- $\delta_{opt}$  (1.567 nm) = 55  $\mu\text{m}$ .

$\delta_{opt}$  (1.567 nm) ist im Vergleich zu  $\delta_{opt}$  (980 nm) um etwa 50% größer. Das daraus resultierende größere Schmelzvolumen erfordert einen höheren Leistungsbedarf zur Plastifizierung und muss in der vergleichenden (prozesstechnischen und wirtschaftlichen) Bewertung des Schweißergebnisses der beiden betrachteten Wellenlängen berücksichtigt werden. Das Mehr an Strahlungsleistung, das dem Prozess am aFp durch die günstigeren optischen Eigenschaften des tFp's bei 1.567 nm zur Verfügung steht, kann durch den höheren Leistungsbedarf zum Aufschmelzen ei-

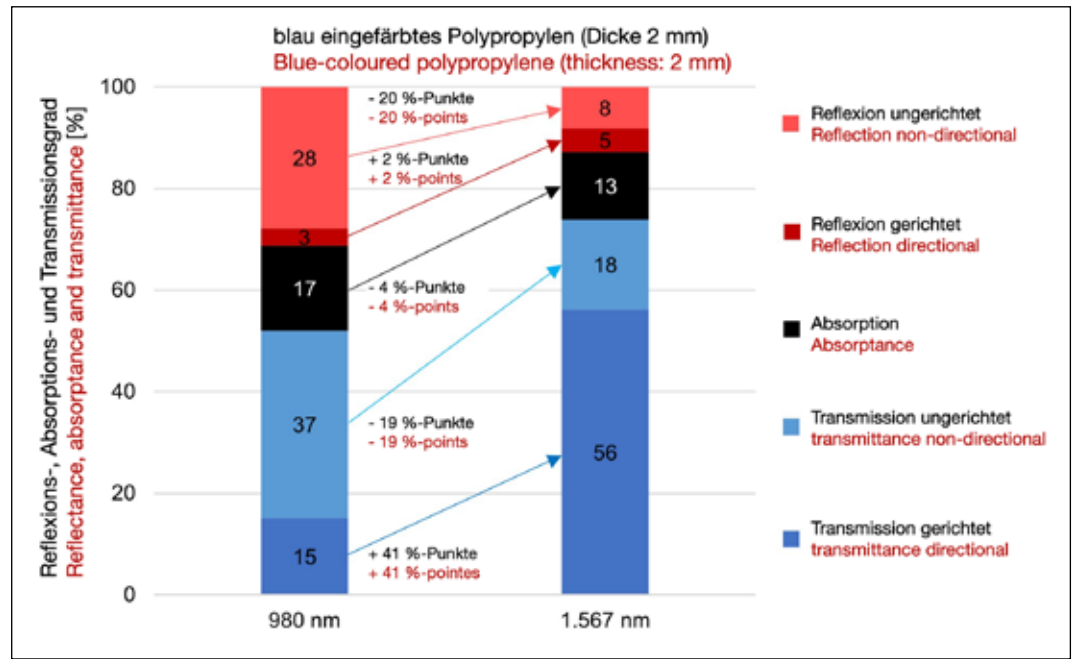


Bild 4: Optische Eigenschaften des transparenten Fügepartners mit gerichteten und ungerichteten Anteilen von Transmission und Reflexion bei  $\lambda = 980$  und 1.567 nm

Fig. 4: Optical properties of the transparent joining member with directional and non-directional proportions of transmission and reflection at  $\lambda = 980$  nm and 1,567 nm

nes größeren Volumens kompensiert werden.

Sind die prozesstechnischen Vorteile, die eine größere optische Eindringtiefe im aFp mit sich bringen kann (beispielsweise Spaltüberbrückbarkeit), nicht erforderlich, könnte der Rußanteil im aFp angepasst (erhöht) werden, um die Energieeinkopplung und damit verbundene wirtschaftliche Potenziale besser zu nutzen.

#### 4. Systematische Schweißexperimente

Im Folgenden werden der Versuchsaufbau und die Schweißergebnisse des Konturschweißens mit den Wellenlängen 980 und 1.567 nm vorgestellt und miteinander verglichen hinsichtlich Leistungsbedarf, Nahtfestigkeit und Prozesszeit.

Die Schweißexperimente werden mit zwei verschiedenen Laserquellen durchgeführt (Tabelle 1).

Zur Vergleichbarkeit werden die Fügeebenen so gewählt, dass die Strahlradien beider Laserstrahlen 0,6 mm betragen. Für den Faserlaser liegt die verwendete Fügeebene nicht wie beim Diodenlaser im Fokus, sondern im divergenten Bereich (Bild 5). Hier wäre die Lage im konvergenten Bereich der Strahlkaustik sinnvoller, doch ist der Arbeitsabstand zur Optik in diesem Falle zu gering.

(Fig. 3). PP is frequently utilised as a mass plastic and, due to its low moisture absorption and processing temperature, exhibits a favourable profile of properties for manufacturing and processing.

The transparent joining member (TJM) is coloured with 0.2% Cu phthalocyanine blue. The optical properties of the TJM are portrayed on Fig. 4. For 980 nm, the integral transmittance is 52%. However, for 1,567 nm, the integral transmittance is, at 74%, 42% (22% points) higher. The directional transmittance corresponds to the radiation proportion which passes through the specimen with hardly any scattering and, due to the wavelength change from 980 nm to 1,567 nm, is higher by a factor of 3.7 (56% as opposed to 15%). In this case, the unscattered transmitted proportion at 1,567 nm is even higher than that of the total transmission at 980 nm. The values of the scattering index  $S$  (i.e. 0.642 for 980 nm and 0.135 for 1,567 nm) highlight the lower measure of scattering at the longer wavelength. With regard to the considered blue PP specimens, the reflectance and absorptance connected with radiation losses at 1,567 nm are 18% points and 4% points lower than at 980 nm respectively.

This example illustrates that, with a wavelength change, an increased process-relevant radiation proportion can be input into the interaction region.

PP which has a carbon black proportion of 0.5% is used as the absorbent joining member (AJM), its process-defining optical property is the optical penetration depth  $\delta_{opt}$ . This is a measure of the spatial distinctness of the energy transformation of the laser radiation into heat in the material and influences, for example, the time-related/spatial temperature gradients, the welding depth, the molten volume and the power needed for plastification.

The optical penetration depth adjustable via the addition of carbon black is also wavelength-dependent and, in the near-infrared spectral range, tends to rise along with the wavelength. The optical penetration depth  $\delta_{opt}$  for the PP utilised here was determined plastographically and spectroscopically for the utilised wavelengths:

- $\delta_{opt}$  (980 nm) = 36  $\mu\text{m}$
- $\delta_{opt}$  (1,567 nm) = 55  $\mu\text{m}$

$\delta_{opt}$  (1,567 nm) is approx. 50% higher than  $\delta_{opt}$  (980 nm). The resulting larger molten volume necessitates a higher power requirement for plastification and must be tak-

**Tabelle 1: Spezifikationen der beiden verwendeten Laserquellen**  
**Table 1: Specifications of both the utilised laser sources**

	980 nm	1.567 nm
Laserquelle <i>Laser source</i>	Hochleistungsdiodenlaser <i>High-power diode laser</i>	Erbium-Faser-Laser <i>Erbium fibre laser</i>
Maximalleistung <i>Maximum power</i>	200 W	100 W
Betriebsart <i>Operating mode</i>	CW	CW
Strahlqualität <i>Beam quality</i> M <sup>2</sup>	≈ 60	1,05 - 1,1 1.05 - 1.1

Bild 5 zeigt die Leistungsdichteverteilungen (LDV) in der Fügeebene (ohne Fügepartner). Der Diodenlaser weist geringere Spitzenintensitäten in der Mitte und steilere Flanken im Randbereich der Verteilung auf, die mit einer besseren Lokalisierung [7] einhergehen. Der Faserlaser weist eine gaußähnliche LDV auf, deren Ausprägung ungünstiger für den Schweißprozess ist, da das Zersetzungsrisiko durch höhere Spitzenintensitäten (bei gleichen Leistungen) in der Nahtmitte höher ist. Dies wird in der Aus- und Bewertung der Schweißergebnisse und im Vergleich der beiden Wellenlängen argumentativ berücksichtigt.

Für die Schweißungen wird ein und dieselbe Spannvorrichtung, bestehend aus Werkstückaufnahme, Pneumatik-Zylinder, Spannfenster und strahlbegrenzender Maske (Nahtlänge = 20 mm), verwendet und die Relativbewegung ( $v = 50$  mm/s) zwischen Fügepartnern und Laserstrahl mit einem Linearachsensystem umgesetzt.

Die Qualität der erzeugten Schweißverbindungen wird mittels Zug-

Scher-Prüfung sowie makro- und mikroskopischer Auswertung der Wärmeeinflusszonen bewertet. Die Zug-Scher-Versuche werden an einer Zwick-Roell-Universalprüfmaschine und die Bruchflächen der geprüften Fügepartner mittels eines Leica-Steomikroskops untersucht.

Die verwendeten Prozessparameter sowie die sich aus den Zugprüfungen ergebenden Nahtfestigkeiten sind in Bild 6 für beide Wellenlängen dargestellt. Bei  $v = 50$  mm/s zeigt die Nahtfestigkeit über der Leistung bei 980 nm den charakteristischen parabelähnlichen Kurvenverlauf. Bei 1.567 nm sinkt jedoch die Festigkeit mit steigender Leistung. Die maximal erreichbare Festigkeit ist bei diesem Vorschub bei einer Leistung unterhalb der Laserschwelle von etwa 6,5 W zu erwarten, womit der prozesstechnisch notwendige Leistungsbedarf im Vergleich zu 980 nm (10 - 12 W) geringer wäre.

Um ein vollständiges Prozessfenster inklusive maximaler Nahtfestigkeit auch für 1.567 nm abbilden zu können, wurde der Vorschub  $v$  auf 100 mm/s verdoppelt.

en into account in the comparative (process technology and economic) assessment of the welding results of both the considered wavelengths. The plus of radiation power which is available to the process at the AJM due to the more favourable optical properties of the TJM at 1,567 nm may be compensated for by the higher power requirement for the complete melting of a larger volume.

If the process technology advantages which may be yielded by a greater optical penetration depth in the AJM (e.g. gap-bridging capacity) are not required, the proportion of carbon black in the AJM could be adjusted (increased) in order to make better use of the increased energy input and any economic potentials connected with this.

#### 4. Systematic welding experiments

The test setup and the welding results of the contour welding at the 980 nm and 1,567 nm wavelengths are presented below and compared with each other with regard

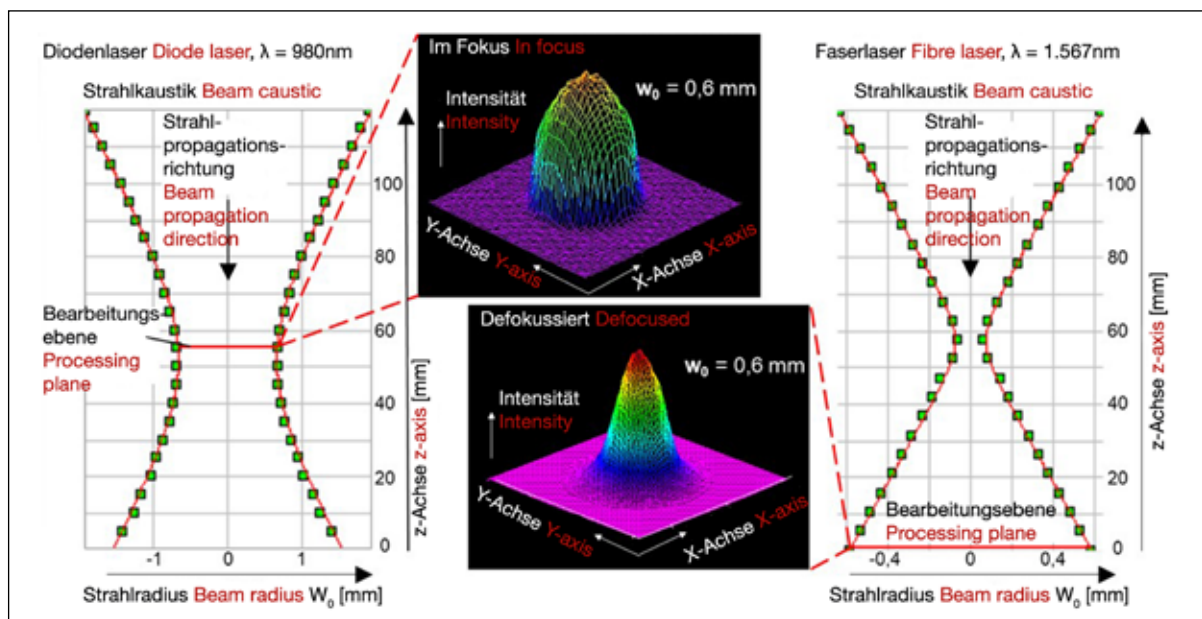
to the power requirement, the weld strength and the process time.

The welding experiments are carried out with two different laser sources (Table 1).

For comparability purposes, the joining planes are chosen in such a way that the beam radius of both the laser beams is 0.6 mm. For the fibre laser, the utilised joining plane is not located in the focus as in the case of the diode laser but instead in the divergent region (Fig. 5). The location in the convergent region of the beam caustic would be more sensible here but the working distance to the lens is too short in this case.

Fig. 5 shows the power density distributions (PDDs) in the joining plane (without the joining members). The diode laser exhibits lower peak intensities in the centre and steeper flanks in the peripheral region of the distribution which are accompanied by better localisation [7]. The fibre laser exhibits a Gaussian-like PDD whose distinctness is less favourable for the welding process since the decomposition risk is higher in the centre of the weld due to higher peak intensities (at the same powers). This is taken into account argumentatively in the evaluation and assessment of the welding results and in the comparison of both the wavelengths.

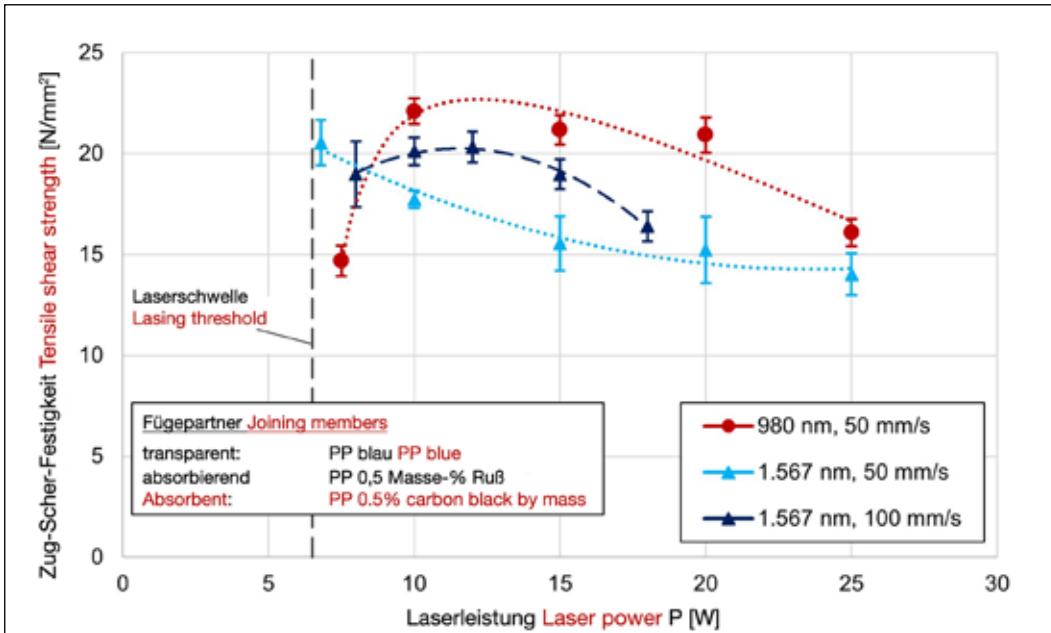
One and the same clamping jig, consisting of a workpiece holder, a pneumatic cylinder, a clamping



**Bild 5: Strahlkaustik, Ort der Bearbeitungsebene und dortige Leistungsdichteverteilung für den verwendeten Dioden- (links) und Faserlaser (rechts)**

**Fig. 5: Beam caustics, locations of the processing planes and power density distributions there for the utilised diode laser (left) and fibre laser (right)**





**Bild 6:** Zug-Scher-Festigkeiten der erzeugten Schweißnähte mit 980 und 1.567 nm im Konturschweißverfahren an PP-blau als transparentem Fügepartner in Abhängigkeit von Laserstrahlleistung und Vorschub

**Fig. 6:** Tensile shear strengths of the welds produced at 980 nm and 1,567 nm in the contour welding procedure on PP-blue as the transparent joining member depending on the laser beam power and the feed speed

Aus dem Vergleich der Festigkeiten bei 980 nm mit  $v = 50$  mm/s und 1.567 nm mit  $v = 100$  mm/s geht einerseits hervor, dass bei längerer Wellenlänge die maximale Festigkeit etwa 10% geringer (20 zu 22 N/mm<sup>2</sup>) und das Prozessfenster schmäler ist (gestauchter Kurvenverlauf). Dies könnte auf die „spitzere“ – und damit optimierbare – LDV bei 1.567 nm zurückgeführt werden. Andererseits werden trotz des verdoppelten Vorschubs (geringerer Wechselwirkungszeit), der ungünstigeren LDV und der größeren optischen Eindringtiefe bei 1.567 nm die maximalen Festigkeiten für beide Wellenlängen bei gleicher Laserleistung um 12 W erreicht, sodass die Laserstrahlwellenlänge 1.567 nm gegenüber 980 nm – in diesem Beispiel – folgende Vorteile bieten kann: Verringerung der benötigten Laserleistung und/oder Erhöhung der Produktivität durch höheren Vorschub bzw. kürzere Zykluszeiten. Der hier verwendete tFp hat für beide betrachteten Wellenlängen unterschiedliche R-, A-, T- und S-Werte. Bei 1.567 nm gelangt ein weniger gestreuter und deutlich höherer Strahlungsanteil durch den tFp in die Wechselwirkungszone. Der aFp hat unterschiedliche optische Eindringtiefen bei den beiden Wellenlängen.

Bei 1.567 nm muss nahezu das doppelte Volumen plastifiziert werden. Zusätzlich sind die Leistungsdichteverteilungen für die beiden Strahlungen unterschiedlich. Dies spiegelt sich im jeweiligen Leistungsbedarf und der geometrischen Ausprägung der Wärmeeinflusszone (WEZ) wider (Bild 7). Letztere sind daher hier nicht direkt vergleichbar. Jedoch, bei 1.567 nm kann die schmalere WEZ neben der geringeren Wechselwirkungszeit auf die geringere Streuung im tFp und die tiefere WEZ im aFp auf die größere optische Eindringtiefe zurückgeführt werden. Der positive Einfluss längerer Wellenlängen hinsichtlich einer verminderten Streuung zeigt sich insbesondere bei parallel durchgeführten Experimenten mit stark streuenden Additiven im tFp, zum Beispiel TiO<sub>2</sub>, welches in deckender Farbkonzentration eingesetzt wird. Eine stabile Prozessführung ist hier nur mit 1.567 nm möglich, da diese Wellenlänge sowohl einen geringeren R-Grad und höheren T-Grad als auch einen geringeren Streuvermögen gegenüber 980 nm bietet [8, 9]. Die erforderlichen höheren Leistungen (Intensitäten) bei 980 nm können Oberflächenverbrennungen am transparenten mit TiO<sub>2</sub> additiviertem Fügepartner und damit Nahtschwächungen oder gar -unterbrechungen bedingen.

window and a beam-limiting mask (weld length = 20 mm), is used for the welds and the relative movement ( $v = 50$  mm/s) between the joining members and the laser beam is implemented with a linear axis system. The qualities of the produced welded joints are assessed by means of tensile shear testing as well as the macroscopic and microscopic evaluation of the heat-affected zones. The tensile shear tests are carried out on a Zwick-Roell universal testing machine and the fracture faces of the tested joining members are investigated using a Leica stereomicroscope. The utilised process parameters as well as the weld strengths resulting from the tensile tests are portrayed on Fig. 6 for both the wavelengths. At  $v = 50$  mm/s, the weld strength shows the characteristic parabolic curve course over the power at 980 nm. However, at 1,567 nm, the strength drops as the power rises. At this feed speed, the maximum attainable strength is to be expected at a power below the lasing threshold of approx. 6.5 W. Thus, the power requirement necessary for the process technology would be lower than at 980 nm (10 - 12 W).

In order to be able to portray a complete process window including the maximum weld strength for 1,567 nm too, the feed speed  $v$  was doubled to 100 mm/s. On the one hand, the comparison of the strengths at 980 nm and  $v = 50$  mm/s as well as at 1,567 nm and  $v = 100$  mm/s indicates that, at a longer wavelength, the maximum strength is approx. 10% lower (20 N/mm<sup>2</sup> as opposed to 22 N/mm<sup>2</sup>) and the process window is narrower (bulged curve course). This might be attributed to the „more pointed“ (and thus optimisable) PDD at 1,567 nm. On the other hand, in spite of the doubled feed speed (shorter interaction time), the less favourable PDD and the greater optical penetration depth at 1,567 nm, the maximum strengths for both the wavelengths are achieved at the same laser power around 12 W. Thus, the laser beam wavelength of 1,567 nm may offer the following advantages over 980 nm (in this example): decrease in the required laser power and/or increase in the productivity due to a higher feed speed and/or shorter cycle times. The TJM used here has different R, A, T and S values for both the considered wavelengths. At 1,567 nm, a less scattered and substantially higher radiation proportion reaches the interaction zone through the TJM. The AJM has different optical penetration depths at both the wavelengths. At 1,567 nm, it is necessary to plastify nearly twice the volume. In addition, the power density distributions are different for both the radiation levels. This is reflected in the power requirement in question and in the geometrical distinctness of the heat-affected zone (HAZ), Fig. 7. Therefore, the latter are not directly comparable here. However, at 1,567 nm, the narrower HAZ may be attributed not only to the shorter interaction time but also to the lower scattering in the TJM and the deeper HAZ in the AJM to the greater optical penetration depth. The positive influences of longer wavelengths with regard to decreased scattering are shown, in particular, during experiments con-

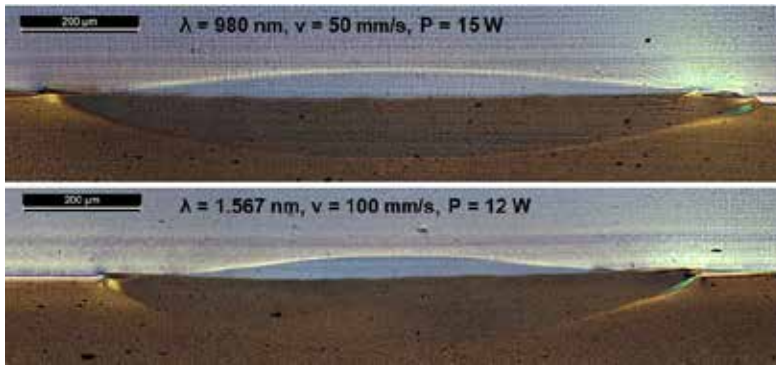


Bild 7: Mikroskopische Aufnahmen von Querschnitten der Wärmeeinflusszonen bei hohen Nahtfestigkeiten für die Bestrahlungswellenlängen 980 nm (oben) und 1.567 nm (unten)

Fig. 7: Micrographs of cross sections through the heat-affected zones with high weld strengths for the following radiation exposure wavelengths: 980 nm (top) and 1,567 nm (bottom)

## 5. Zusammenfassung

Thermoplasten werden häufig Zusatzstoffe beigemischt, welche die optischen Eigenschaften des transparenten Fügepartners beim Laserdurchstrahlschweißen meist nachteilig beeinflussen, da sie prozesstechnische Energieverluste bedingen. Die Auswertung der optischen Eigenschaften industriell relevanter Thermoplaste konnte den Nachweis der prinzipiell vorteilhaften Einsatzfähigkeit einer längeren Wellenlänge von 1.567 nm gegenüber 980 nm für einige Kunststoff-Additiv-Kombinationen erbringen. Eine generelle Empfehlung, ob ein Wellenlängenwechsel sinnvoll ist, wird jedoch durch die individuellen spektralen optischen Eigenschaften der verschiedenen Thermoplaste und der verschiedenen Additive sowie deren Wechselwirkung mit dem Polymer erschwert. Zusätzlich beeinflussen die Herstellungsbedingungen die optischen Eigenschaften (beispielsweise durch den Kristallisationsgrad), sodass stets eine individuelle Betrachtung der Werkstoffkombination notwendig ist.

Zur experimentellen Untersuchung wirtschaftlicher und prozesstechnischer Aspekte für den Einsatz der Laserstrahlwellenlängen 980 und 1.567 nm wurde als transparenter Fügepartner ein blaues Polypropylen (PP) mit einem rußadditivierten PP als absorbierender Fügepartner im Konturverfahren verschweißt. Die optischen Eigenschaften des transparenten Fügepartners weisen bei 1.567 nm deutlich günstigere Werte für das Laserdurchstrahlschweißen auf als bei 980 nm. Der T-Grad kann hier durch einen Wellenlängenwechsel um über 40% gesteigert werden. Die optische Eindringtiefe des absorbierenden Fügepartners nimmt bei 1.567 nm einen um 50% höheren Wert als bei 980 nm an. Dies korrespondiert zu einem größeren Schmelzvolumen und einer höheren Schmelzenthalpie und wirkt den günstigeren optischen Eigenschaften des transparenten Fügepartners entgegen. Dennoch sind bei der betrachteten Fügepartnerkombination mit 1.567 nm geringere Leistungen (etwa Faktor 0,5) nötig bzw. bei gleicher Leis-

ducting in parallel with extremely scattering additives in the TJM, e.g.  $\text{TiO}_2$  which is utilised in a covering colour concentration. Here, stable process control is only possible at 1,567 nm since this wavelength offers not only a lower reflectance and a higher transmittance but also a lower scattering power than at 980 nm [8, 9]. The higher powers (intensities) required at 980 nm may cause surface burns on the transparent joining member with  $\text{TiO}_2$  additives and thus weld weakening or even interruption phenomena.

## 5. Summary

Additives are frequently admixed to thermoplastics and mostly exert detrimental influences on the optical properties of the transparent joining member in the case of laser transmission welding since they cause process technology energy losses. The evaluation of the optical properties of industrially relevant thermoplastics was able to provide the proof of the principle of the advantageous usability of a longer wavelength of

1,567 nm as opposed to 980 nm for some plastic/additive combinations. However, a general recommendation about whether a wavelength change is sensible is made more difficult by the individual spectral optical properties of the various thermoplastics and the various additives as well as by their interaction with the polymer. In addition, the manufacturing conditions influence the optical properties (e.g. due to the degree of crystallisation) so that it is always necessary to consider the material combination individually.

For the experimental investigation of economic and process technology aspects for the utilisation of the 980 nm and 1,567 nm laser beam wavelengths, a blue polypropylene (PP) as the transparent joining member was welded together with a PP with the addition of carbon black as the absorbent joining member in the contour procedure.

The optical properties of the transparent joining member exhibit substantially more favourable values for laser transmission welding at 1,567 nm than at 980 nm. Here, the transmittance can be raised by over 40% due to a wavelength change. The optical penetration depth of the absorbent joining member assumes a 50% higher value at 1,567 nm than at 980 nm. This corresponds to a greater molten volume and a higher enthalpy of melting and counteracts the more favourable optical properties of the transparent joining member. In the case of the considered joining member combination at 1,567 nm, low-

## Literatur References

- [1] Prengel, M.: Laserschweißen von Thermoplasten – Numerische Lösung des 4-Fluss-Modells zur Bestimmung von Streukoeffizienten und Anisotropiefaktor. Bachelorthesis, RFH Köln, 2019.
- [2] Thomas, S.: Bewertung des Streuverhaltens von Thermoplasten mittels optischer Spektroskopie. Projektarbeit, Maschinenbau (B.Eng.), RFH Köln, 2020.
- [3] Bliedtner, J.; Müller, H.; Barz, A.: Lasermaterialbearbeitung. Hanser Verlag, 2013.
- [4] Klein, R. M.: Bearbeitung von Polymerwerkstoffen mit infraroter Laserstrahlung. RWTH Aachen, Dissertation, 1990.
- [5] Russek, U. A.: Prozesstechnische Aspekte des Laserdurchstrahlschweißens von Thermoplasten. Dissertation, RWTH Aachen, 2006.
- [6] Mie, G.: Beiträge zur Optik trüber Medien, speziell kolloidaler Metallösungen. Annalen der Physik, 1908.
- [7] Stuch, J.; Timpe, N. F.; Scholl, M.; Russek, U. A.: Localisation: characterisation of laser beam shape for materials processing using a new parameter, Photonics West, San Francisco, Session: High-Power Laser Materials Processing: Lasers, Beam Delivery, Diagnostics, and Applications V, Proc. of SPIE Vol. 9741 97410M-1, 2016.
- [8] Aden, M.; Mamuschkin, V.; Olowinsky, A.; Glaser, S.: Influence of Titanium Dioxide Pigments on the optical properties of Polycarbonate and Polypropylene for Diode Laser wavelengths, Journal of applied polymer science 131 No.7, Art. 40073, 5 pp., 2014.
- [9] Mamuschkin, V.; Roesner, A.; Aden, M.: Laser transmission welding of white thermoplastics with adapted wavelengths, LiM Lasers in Manufacturing. Seventh International WLT Conference on Lasers in Manufacturing. Munich, 2013.

tung höhere Prozessgeschwindigkeiten (Faktor 2) möglich, um eine vergleichbare Nahtfestigkeit wie bei 980 nm zu erreichen. Eine Anpassung des Rußgehalts an die längere Wellenlänge könnte die prozesstechnische Produktivität noch weiter steigern. Zusätzlich zur effizienteren Nutzung der längerwelligen Laserstrahlung könnte durch die Minderung der Extinktionsverluste am transparenten Fügepartner (Reflexion, Absorption und Streuung) die Bandbreite an laserstrahlschweißbaren Kunststoffen erweitert werden. Zum einen könnten Material- bzw. Additivkombinationen (wie mit TiO<sub>2</sub>) geschweißt werden, die bislang aufgrund der hohen Absorption / Streuung im transparenten Fügepartner nicht schweißbar waren. Zum anderen kann durch den Einsatz einer längeren Wellenlänge das Farbspektrum der Fügepartner gegenüber einer kürzeren Wellenlänge erweitert werden. Der größere Abstand der Laserstrahlwellenlänge zum visuellen Spektralbereich bietet Coloristen und Designern ggf. kos-

tengünstigere oder neue Möglichkeiten, durch Verwendung von entsprechenden Farbmitteln transparenten und absorbierenden Fügepartnern ein produktspezifisches farbiges Aussehen zu verleihen und gleichzeitig den prozesstechnischen Notwendigkeiten nachzukommen.

**6. Fazit**

Der Einsatz einer längeren Wellenlänge von 1.567 nm kann beim Laserdurchstrahlschweißen prozesstechnische und damit auch wirtschaftliche Vorteile mit sich bringen. Eine generelle Empfehlung zu längeren Wellenlängen ist jedoch aufgrund der Individualität der Kunststoffe und ihrer Additive hinsichtlich der optischen Eigenschaften nicht möglich.

**Danksagung**

Die Autoren danken der Treffert GmbH & Co. KG, Bingen, und der Lanxess Deutschland GmbH, Dormagen, für die umfangreiche Bereitstellung der Proben und die stets hervorragende Zusammenarbeit.

er powers (e.g. factor: 0.5) are nevertheless needed or higher process speeds (factor: 2) are possible at the same power in order to achieve a weld strength comparable with that at 980 nm. An adjustment of the carbon black content to the longer wavelength might raise the process technology productivity even further.

In addition to the more efficient use of the longer-wave laser radiation, the range of laser-beam-weldable plastics might be extended by decreasing the extinction losses on the transparent joining member (reflection, absorption and scattering). On the one hand, it might be possible to weld material and/or additive combinations (such as with TiO<sub>2</sub>) which have not been weldable until now because of the high absorption/scattering in the transparent joining member. On the other hand, the colour spectrum of the joining members can be extended by utilising a longer wavelength as opposed to a shorter wavelength. The greater distance between the laser beam wavelength

and the visual spectral range offer colourists and designers, if necessary, more cost-favourable or new possibilities of providing transparent and absorbent joining members with product-specific colour appearances and meeting the process technology needs at the same time.

**6. Conclusion**

In the case of laser transmission welding, the utilisation of a longer wavelength of 1,567 nm may yield process technology and thus also economic advantages. However, it is not possible to make a general recommendation for longer wavelengths because of the individuality of the plastics and their additives with regard to the optical properties.

**Acknowledgement**

The authors would like to thank Treffert GmbH & Co. KG, Bingen, and Lanxess Deutschland GmbH, Dormagen, for the extensive provision of samples and the always excellent cooperation.



Staatliche Versuchsanstalt 

## Kunststoff- und Umwelttechnik

Akkreditierte Prüf- und Inspektionsstelle



**Ausfertigung von Prüf- und Inspektionsberichten** nach nationalen und internationalen Vorschriften wie ÖNORM geprüft, ÖVGW, DVGW, SVGW, GRIS, DVS, Austria Gütezeichen und Umweltzeichen, ISO, EN, ÖNORM B 5014, DVGW W270, ÜA-Zeichen, DIN-CERTCO, ...

**Erstellung von Befunden und Gutachten** Schadensanalysen, Verfahrens- und Werkstoffentwicklung von Kunststoffen, ...

**Schulungen und Seminare** Grundlagen Kunststofftechnik, Werkstoffanalytik, Kunststoffschweißen, Spritzgießen, Extrusion, ...



1200 Wien, Jägerstraße 71  
t: +43 1 33126-478  
ku@tgm.ac.at | www.tgm.ac.at



*precise & concise  
clean & green*



**also available with long wavelengths for laser welding clear-to-clear**



**modular solutions for laser plastic welding**

www.probylas.com

# Ermüdungsverhalten von vibrationsgeschweißten Verbindungen aus Polyamid 6.6

## Fatigue behaviour of vibration-welded joints made of Polyamide 6.6

Dr. Christian Balzer, Hanna Beckensträter, M. Sc.; Dr.-Ing. Kurt Engelsing, Dr. Eduard Kraus, Dr. Benjamin Baudrit, Dr. Thomas Hochrein, SKZ - KFE gGmbH, Würzburg

### Kurzfassung

Das Ermüdungsverhalten von geschweißten Kunststoffverbindungen ist von elementarer Bedeutung für viele Kunststoffbauteile, die in der Anwendung schwingenden Belastungen ausgesetzt sind. Das SKZ hat deshalb im Rahmen eines Forschungsvorhabens die Ermüdungsfestigkeit von vibrationsgeschweißtem Polyamid 6.6 mit und ohne Glasfaserverstärkung untersucht. Hierfür wurden quasi-statische Zug-, Dauerschwing- und dynamische Laststeigerungsversuche durchgeführt, aus denen Kurz- und Langzeit-Schweißfaktoren ermittelt wurden. Anhand der Ergebnisse lässt sich aufzeigen, dass in allen betrachteten Fällen eine Vorhersage der Ermüdungsfestigkeit basierend auf Kurzzeitschweißfaktoren und Kennwerten der Grundmaterialien möglich gewesen wäre.

### 1. Einleitung

Seit den 1970er Jahren wird das Vibrationsschweißen von Kunststoffen vielfach in der industriellen Serienfertigung genutzt und dort für seine kurzen Prozesszeiten bei gleichzeitig hoher Verbindungsfestigkeit sowie Mediendichtigkeit geschätzt [1, 2]. Zusätzlich erlaubt das Vibrationsschweißen das Fügen einer breiten Palette von Kunststoffen. Der Prozessablauf wurde bereits Ende der 80er Jahre umfassend von Stokes, Potente und Schlarb untersucht [3–8] und gilt als gut verstanden.

Ein großer Einsatzbereich des Vibrationsschweißens ist der Automobilbau, in dem vielfach Krümmer, Filter, Ansaugstutzen, usw. durch Vibration gefügt werden [9]. Naturgemäß sind diese Bauteile in der Anwen-



**Dr. Christian Balzer**

Scientist im Bereich „Fügen und Oberflächentechnik“  
Scientist in the field of „Joining and Surface Technology“

SKZ – Das Kunststoff-Zentrum, Würzburg  
c.balzer@skz.de



**Hanna Beckensträter, M. Sc.**

Entwicklungsingenieurin  
Development Engineer

Sika Automotive Frankfurt-Worms GmbH, Worms



**Dr.-Ing. Kurt Engelsing**

Leiter der Gruppe „Bauteileigenschaften“  
Head of „Component Properties“ Division

SKZ – Das Kunststoff-Zentrum, Würzburg  
k.engelsing@skz.de



**Dr. Eduard Kraus**

Leiter des Bereichs „Fügen und Oberflächentechnik“  
Head of the „Joining and Surface Technology“ Division

SKZ – Das Kunststoff-Zentrum, Würzburg  
e.kraus@skz.de



**Dr. rer. nat. Benjamin Baudrit**

Leiter der Bereiche „Materialentwicklung, Compoundieren und Extrudieren“ und „Produkte und Prozesse“  
Head of the Divisions „Material Development, Compounding and Extrusion“ and „Products and Processes“

SKZ – Das Kunststoff-Zentrum, Würzburg  
b.baudrit@skz.de



**Dr. rer. nat. Thomas Hochrein**

Geschäftsführer der SKZ-KFE gGmbH  
Managing Director of SKZ-KFE gGmbH

SKZ – Das Kunststoff-Zentrum, Würzburg  
t.hochrein@skz.de

Mehr Informationen zu den Autoren auf [More information on the authors at www.joining-plastics.info/autoren](http://www.joining-plastics.info/autoren)

ding schwingenden Belastungen ausgesetzt, die im Allgemeinen bereits bei deutlich geringeren Spannungen zu Materialversagen führen können als quasi-statische Kurzzeitbelastungen [10]. Dieser Effekt wird als Ermüdung bezeichnet. Die Prüfung des Ermüdungsverhaltens von

### Abstract

The fatigue behaviour of welded plastic joints is of elementary significance for many plastic components which are exposed to vibratory loads in application. Within the framework of a research project, the South German Plastics Centre (SKZ) has therefore investigated the fatigue strength of vibration-welded Polyamide 6.6 with and without glass fibre reinforcement. Quasi-static tensile, vibration fatigue and dynamic load increase tests were performed for this purpose and short-time and long-time welding factors were established from these. On the basis of the results, it is possible to demonstrate that predictions of the fatigue strengths based on the short-time welding factors and characteristic values of the base materials would have been possible in all the considered cases.

dition, vibration welding permits the joining of a wide range of plastics. At the end of the 1980s, Stokes, Potente and Schlarb already conducted comprehensive investigations into the process sequence [3-8] which is regarded as well-understood.

One large utilisation field of vibration welding is automobile construction in which manifolds, filters, intake nozzles etc. are joined using vibration in many cases [9]. In application, these components are naturally exposed to vibratory loads which, in general, may already lead to material failures at substantially lower stresses than quasi-static short-time loads [10]. This effect is designated as fatigue. The testing of the fatigue behaviour of plastics and their joints is mostly very

Kunststoffen und deren Fügeverbindungen ist meist sehr zeitaufwendig (und damit kostenintensiv) und wird deshalb in der Praxis nur selten durchgeführt. Vor diesem Hintergrund hat das SKZ im Rahmen eines Forschungsvorhabens der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) das Ermüdungsverhalten von Kunststoffschweißnähten untersucht, um Handlungsempfehlungen zur konstruktiven Auslegung von schwingungsbelasteten Kunststoffbauteilen geben zu können. Die hier vorgestellten Ergebnisse stellen einen Auszug dieser Arbeiten dar.

## 2. Materialien und Methoden

### 2.1 Probekörper

Die verwendeten Grundwerkstoffe waren ein Polyamid 6.6 ohne Füllstoffe (PA) und ein Polyamid 6.6 mit einem Massenanteil von 30% Kurzglasfasern (PA-GF) der Firma DuPont (Produktbezeichnung Zytel 101L NC010 bzw. Zytel 70G30L NC010). Aus beiden Polyamid-Typen wurden Platten mit den Abmessungen 100 mm × 100 mm × 4 mm spritzgegossen (Bild 1). Mittels Computertomografie wurde die Ausrichtung der Fasern in den PA-GF-Platten bestimmt. Die für die Schweißversuche bestimmten Platten wurden in zwei Hälften gesägt, wobei die Schnittrichtung parallel zur Fließrichtung des Spritzgussprozesses verlief. Alle Schweißungen erfolgten in der Schnittebene der halbierten Platten. Um Einflüsse von Feuchteaufnahme in den Polyamid-Typen zu vermeiden, wurden alle Platten vor dem Schweißen bei 80°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet.

### 2.2 Vibrationsschweißen

Die linearen Vibrationsschweißversuche der halbierten Platten wurden mit den Anlagen ZMT2 der Firma Fischer Kunststoffschweißtechnik und M112H der Firma Branson/Emerson ausgeführt. Die ZMT2 verwendet ein servomotorisches Antriebssystem mit variabler Vibrationsfrequenz, während die M112H ein elektromagnetisches Antriebssystem nutzt, das in Resonanz bei einer Frequenz von etwa 240 Hz arbeitet. Mit den Schweißanlagen wurden für beide Polyamid-Typen Versuchspläne hin-

sichtlich Schweißdruck (0,5, 3,0 und 5,5 MPa), Vibrationsfrequenz (100, 140 und 240 Hz) sowie Schweißweg (0,8 und 1,4 mm) umgesetzt. Die Vibrationsamplitude betrug in allen Versuchen 0,8 mm und der Halte- druck entsprach stets dem Schweiß- druck. Ausgangsbasis für die ge- wählten Schweißparameter war die DVS-Richtlinie 2217 [9].

### 2.3 Mechanische Prüfungen

Um eine möglichst gute Vergleich- barkeit zwischen den Ergebnissen der Grundmaterialien und der Schweiß- verbindungen zu gewährleisten, wurde für alle mechanischen Prüfungen die Zugstabgeometrie Form 3 der DVS-Richtlinie 2203-2 verwendet (Bild 1c). Die Präparation der Zug- stäbe für das Grundmaterial erfolgte direkt aus den gespritzten Platten mittels Sägen und Fräsen, während die Zugstäbe aus den geschweißten Platten teils mittels Sägen und Fräsen und teils mittels Wasserstrahl- schneiden entnommen wurden. Das Wasserstrahlschneiden stellte sich hierbei insbesondere für schwächere Schweißverbindungen als das ge- eignere Präparationsverfahren dar. Soweit möglich, wurden aus jeder Platte an vier (in allen Fällen glei- chen) Positionen Zugstäbe entnom- men, was speziell bei sehr schwa- chen Schweißungen nicht immer zer- störungsfrei gelang. Alle Zugstäbe wurden vor ihrer jeweiligen Prüfung

time-consuming (and thus cost-inten- sive) and is therefore performed only rarely in practice. Against this back- ground, SKZ has investigated the fa- tigue behaviour of plastic welds with- in the framework of a research project for the promotion of joint industrial research (IGF) in order to be able to give recommendations for action for the constructive designing of plastic components subjected to vibratory loads. The results presented here con- stitute an excerpt of this work.

## 2. Materials and methods

### 2.1 Test specimens

The utilised base materials were a Polyamide 6.6 without fillers (PA) and a Polyamide 6.6 with a propor- tion of 30% short glass fibres by mass (PA-GF) from DuPont (product designations: Zytel 101L NC010 and Zytel 70G30L NC010). Plates with the dimensions 100 mm × 100 mm × 4 mm were injection-moulded from both polyamide types (Fig. 1). The orientation of the fibres in the PA- GF plates was determined by means of computer tomography. The plates destined for the welding tests were sawn into two halves. In this respect, the cutting direction ran parallel to the flow direction of the injection moulding process. All the welds were executed in the cutting plane of the halved plates. In order to avoid any influences of moisture absorption in the polyamide types, all the plates

were dried at 80°C down to weight constancy before the welding.

### 2.2 Vibration welding

The linear vibration welding tests on the halved plates were carried out with the following instal- lations: ZMT2 from Fischer Kunst- stoffschweißtechnik and M112H from Branson/Emerson. The ZMT2 uses a servo-motor drive system with a variable vibration frequen- cy, while the M112H uses an elec- tromagnetic drive system that oper- ates in resonance at a frequency of about 240 Hz. With the welding instal- lations, test plans were imple- mented for both polyamide types with regard to the welding pressure (0.5 MPa, 3.0 MPa and 5.5 MPa), the vibration frequency (100 Hz, 140 Hz and 240 Hz) as well as the welding path (0.8 mm and 1.4 mm). In all the tests, the vibration amplitude was 0.8 mm and the holding pressure al- ways corresponded to the welding pressure. The starting basis for the chosen welding parameters was the DVS 2217 technical code [9].

### 2.3 Mechanical tests

In order to guarantee the best pos- sible comparability between the re- sults of the base materials and the welded joints, the Shape 3 tension rod geometry in the DVS 2203-2 technical code was used for all the mechanical tests (Fig. 1c). The ten-

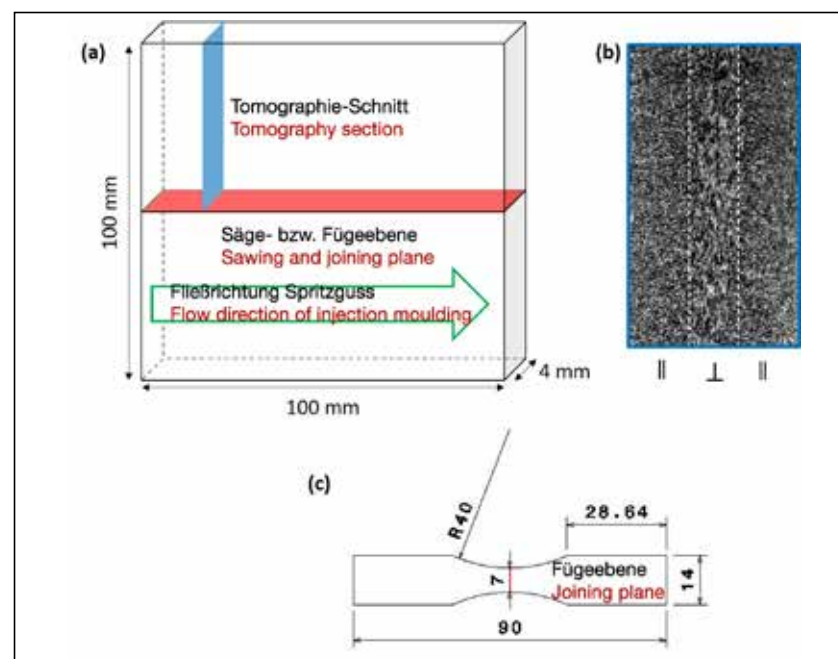


Bild 1: (a) Platten- förmiger Probekör- per, (b) Schnitt der computertomographi- schen Aufnahme mit Einteilung in Zonen paralleler bzw. senk- rechter Orientierung der Glasfasern zur Fügeebene und (c) Zugstab in Anlehnung an DVS-Richtlinie 2203 (alle Maße in mm)

Fig. 1: (a) Plate- shaped test specimen, (b) section of the computer tomograph with division into zones with parallel or perpendicular orientation of the glass fibres to the joining plane and (c) tension rod with reference to the DVS 2203 technical code (all dimensions in mm)

bei 80°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet, um einen Einfluss durch unterschiedliche Feuchtegehalte im Polyamid auszuschließen. Die Prüfungen erfolgten anschließend im Normklima bei 23°C und 50%rF.

Zunächst wurden mit Universalprüfmaschinen (Zwick Z10 und Zwick Z250) für beide Grundmaterialien und alle Punkte der Versuchspläne Zugversuche in Anlehnung an DIN EN ISO 527-2 durchgeführt. Basierend auf den Spannungs-Dehnungs-Diagrammen von acht Zugstäben wurden die mittleren Kurzzeit-Festigkeitswerte  $\sigma_k$  und deren Standardabweichungen bestimmt. Für das unverstärkte Polyamid wurde hierbei die Streckgrenze als festigkeitsbestimmend angesehen, während das faserverstärkte Polyamid und nahezu alle Schweißungen im Sprödbrechversagen. Aus den ermittelten Kurzzeit-Festigkeitswerten wurden dann die Kurzzeit-Schweißfaktoren bestimmt:  $f_k = \sigma_k(\text{Schweißung}) / \sigma_k(\text{Grundmaterial})$ . Die Unsicherheiten der Schweißfaktoren ergaben sich hierbei über Fehlerfortpflanzung aus den Standardabweichungen der Festigkeiten.

Anhand der Schweißfaktoren wurden weiterführend je Material vier Versuchseinstellungen ausgewählt und hinsichtlich ihres Ermüdungsverhaltens betrachtet (Tabelle 1). Hierbei wurden neben Prozessparametern, die zu hohen Kurzzeit-Schweißfaktoren führten, auch explizit Einstellungen berücksichtigt, die mittlere oder sogar vergleichsweise geringe Festigkeiten aufwiesen. Eine wesentliche Voraussetzung war, dass die Schweißstellen sowohl innerhalb einer Platte als auch über mehrere Platten hinweg gleichmäßige bzw. reproduzierbare Ergebnisse lieferten.

Für die Analyse des Ermüdungsverhaltens wurden zuerst sinusförmige Dauerschwingversuche an beiden Grundmaterialien durchgeführt (Zugbelastung, Frequenz 5 Hz, Lastverhältnis 0,1). Dabei wurde nach dem Perlschnurverfahren die Prüflast der Einzelversuche ausgehend von anfänglich hohen Lasten zu immer niedrigeren Lasten reduziert. Aus den Lastspielzahlen und Oberspannungen der Brüche wurden Wöhler-

kurven für beide Materialien erstellt. Da die Ermittlung von Wöhlerkurven für mehrere Punkte der Schweißversuchspläne den zeitlichen Rahmen des Forschungsvorhabens gesprengt hätte, wurde ergänzend zu den Dauerschwingversuchen auf das Hysterisis-Messverfahren in Form von zyklischen Laststeigerungsversuchen (LSV) zurückgegriffen [11]. Im LSV wird ausgehend von einer niedrigen, schwingenden, noch nicht schädigenden Belastung die Last jeweils um einen festen Betrag erhöht und für eine vorgegebene Anzahl an Schwingungen konstant gehalten. Parallel dazu wird der Dehnungsverlauf während der Schwingbeanspruchung aufgezeichnet. Aus dem Verlauf der Dehnungsantwort und weiterer aus der Hysterisischleife ableitbarer Größen wie Speicher- bzw. Verlustarbeit, dynamischer Modul, Phasenverschiebung und Dämpfung lassen sich häufig differenzierte Aussagen zu Schädigungsbeginn und -fortschritt machen. Der Beginn der Schädigung im LSV korrespondiert mit dem Dauerfestigkeitsniveau der Wöhlerkurve [12]. Anders als bei den Grundmaterialien war eine Auswertung des Schädigungsbeginns im LSV für die Schweißungen nicht immer sinnvoll möglich. Dies ist dadurch zu erklären, dass die Schweißnaht eine lokale Schwächung darstellt, die Verformungsmessung jedoch integral über die gesamte Einspannlänge erfolgt und die Dehnungsantwort deshalb sehr stark auch durch Bereiche außerhalb der Schweißnaht

tion rods for the base material were prepared directly from the injected plates by means of sawing and milling while the tension rods from the welded plates were removed partly by means of sawing and milling and partly by means of water jet cutting. In this respect, water jet cutting constituted the more suitable preparation procedure particularly for weaker welded joints. Wherever possible, tension rods were removed from four positions (identical in all cases) on each plate. Especially in the case of very weak welds, this did not always succeed without any destruction. Before their respective tests, all the tension rods were dried at 80°C down to weight constancy in order to exclude any influences caused by different moisture contents in the polyamide. The tests were subsequently executed in the standard climate at 23°C and 50%rh.

First of all, tensile tests with reference to DIN EN ISO 527-2 were performed with universal testing machines (Zwick Z10 and Zwick Z250) for both base materials and all the points in the test plans. The mean short-time strengths  $\sigma_k$  and their standard deviations were determined on the basis of the stress-strain diagrams for eight tension rods. In this respect, the yield point was viewed as strength-defining for the unreinforced polyamide while the fibre-reinforced polyamide and nearly all the welds failed in brittle fractures. The short-time welding factors were then determined from the es-

tablished short-time strengths:  $f_k = \sigma_k(\text{weld}) / \sigma_k(\text{base material})$ . The uncertainties of the welding factors were obtained by error propagation from the standard deviations of the strengths.

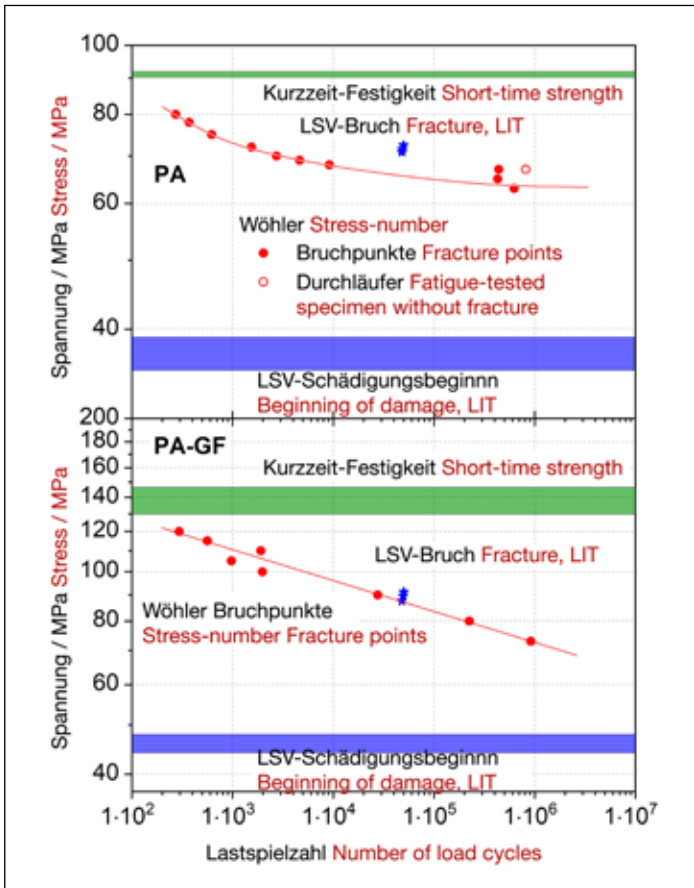
On the basis of the welding factors, four test settings were then selected per material and their fatigue behaviour was considered (Table 1). Not only process parameters which led to high short-time welding factors but also explicitly settings which exhibited medium or even comparatively low strengths were taken into account in this respect. One essential prerequisite was that the welding settings supplied uniform and reproducible results both inside one plate and over several plates.

For the analysis of the fatigue behaviour, sinusoidal vibration fatigue tests were firstly performed on both base materials (tensile load, frequency: 5 Hz, load ratio: 0.1). In this respect, the testing loads in the individual tests were reduced from high loads at the start to ever lower loads according to the string of pearls procedure. Stress-number curves for both materials were elaborated from the numbers of load cycles and the maximum stresses of the fractures. Since it would have been beyond the time frame of the research project to establish stress-number curves for several points in the welding test plans, reference was made to the hysteresis measuring procedure in the form of cyclic load increase tests (LITs) as a supplement to the vibration fatigue tests

**Tabelle 1: Schweißdruck p, Vibrationsfrequenz  $f_{\text{vib}}$ , Schweißweg s sowie Kurzzeit- $\sigma_k$  und LSV-Bruch-Festigkeit  $\sigma_{\text{LSV}}$  der ausgewählten Versuchseinstellungen (PA\_1 bis 4 bzw. PA-GF\_1 bis 4) und der Grundwerkstoffe (PA bzw. PA-GF). Die angegebenen Festigkeiten entsprechen den Mittelwerten und Standardabweichungen der jeweiligen Versuchsreihen.**

**Table 1: Welding pressures p, vibration frequencies  $f_{\text{vib}}$ , welding paths s as well as short-time strengths  $\sigma_k$  and fracture strengths  $\sigma_{\text{LSV}}$  in the LIT of the selected test settings (PA\_1 to PA\_4 and PA-GF\_1 to PA-GF\_4) and of the base materials (PA and PA-GF). The specified strengths correspond to the mean values and standard deviations in the respective test series.**

Bezeichnung Designation	p	$f_{\text{vib}}$	s	$\sigma_k$	$\sigma_{\text{LSV}}$
	MPa	Hz	mm	MPa	MPa
PA	-	-	-	91,1 ± 0,9 0,9 ± 0,9	71,6 ± 0,8 71,6 ± 0,8
PA_1	0,5 0,5	140	1,4 1,4	82,1 ± 12,3 82,1 ± 12,3	64,9 ± 3,5 64,9 ± 3,5
PA_2	3	140	0,8 0,8	56,0 ± 5,4 56,0 ± 5,4	52,8 ± 4,1 52,8 ± 4,1
PA_3	3	240	1,4 1,4	48,1 ± 12,7 48,1 ± 12,7	44,0 ± 2,0 44,0 ± 2,0
PA_4	5,5 0,5	140	0,8 0,8	48,0 ± 6,9 48,0 ± 6,9	41,6 ± 4,8 41,6 ± 4,8
PA-GF	-	-	-	138,2 ± 8,7 138,2 ± 8,7	89,5 ± 1,8 89,5 ± 1,8
PA-GF_1	0,5 0,5	140	0,8 0,8	86,6 ± 7,2 86,6 ± 7,2	68,0 ± 2,3 68,0 ± 2,3
PA-GF_2	0,5 0,5	240	0,8 0,8	78,9 ± 3,3 78,9 ± 3,3	51,1 ± 2,7 51,1 ± 2,7
PA-GF_3	5,5 5,5	140	0,8 0,8	48,4 ± 11,0 48,4 ± 11,0	50,6 ± 5,4 50,6 ± 5,4
PA-GF_4	5,5 5,5	100	0,8 0,8	42,7 ± 9,5 42,7 ± 9,5	37,1 ± 11,7 37,1 ± 11,7



**Bild 2:** Wöhlerkurven der betrachteten Polyamide (oben PA und unten PA-GF) inklusive der ermittelten Kurzzeitfestigkeiten sowie der Schädigungsniveaus und Bruchfestigkeiten der LSV. Im Falle der Dauerschwingversuche und der LSV entsprechen die angegebenen Spannungen den jeweiligen Oberspannungen.

**Fig. 2:** Stress-number curves of the considered polyamides (top: PA and bottom: PA-GF) including the established short-time strengths as well as the damage levels and the fracture strengths in the LIT. In the case of the vibration fatigue tests and the LITs, the specified stresses correspond to the respective maximum stresses.

bestimmt wird. Für die betrachteten Schweißungen wurde die Auswertung des LSV deshalb auf die Bruchfestigkeit  $\sigma_{LSV}$  begrenzt, aus denen abschließend die Langzeitschweißfaktoren  $f_L = \sigma_{LSV}(\text{Schweißung}) / \sigma_{LSV}(\text{Grundmaterial})$  berechnet wurden. Auch hier ergab sich die Unsicherheit der Schweißfaktoren über Fehlerfortpflanzung aus den Standardabweichungen der Festigkeiten. Schwingungsfrequenz und Lastverhältnis des LSV waren in allen Fällen identisch zu den Dauerschwingversuchen an den Grundmaterialien, das heißt 5 Hz bzw. 0,1.

### 3. Ergebnisse und Diskussion

#### 3.1 Grundwerkstoffe

Die für die Grundwerkstoffe ermittelten Kurzzeitfestigkeiten und Bruchfestigkeiten im LSV sind unter den Bezeichnungen PA (unverstärktes Polyamid) und PA-GF (glasfaserver-

stärktes Polyamid) in Tabelle 1 angegeben. Die ermittelte Kurzzeitfestigkeit des unverstärkten Polyamids liegt leicht über der Herstellerangabe von 82 MPa, das glasfaserverstärkte Polyamid weist hingegen einen deutlich niedrigeren Wert auf als die im Datenblatt aufgeführten 195 MPa. Diese Diskrepanzen lassen sich auf die hier verwendete Prüfkörpergeometrie zurückführen, der sich hinsichtlich Spannungsverteilung und Faserorientierung signifikant vom genormten Typ-1A-Zugstab unterscheidet. Zur Veranschaulichung dieses Sachverhalts ist in Bild 1a und b die Faserausrichtung innerhalb der spritzgegossenen Platten senkrecht zur Füge- bzw. Belastungsebene dargestellt. Wie zu erkennen sind die Glasfasern im Kern der Platte (etwa 25% der Plattenbreite) senkrecht zur Fügeebene orientiert, während die Randbereiche quasi vollständig eine parallele Aus-

[11]. In the LIT, starting from a low, vibratory, not yet damaging load, the load is increased by a fixed amount in each case and kept constant for a stipulated number of vibrations. Parallel to this, the strain course is recorded during the vibratory stresses. From the course of the strain response and from other variables which can be derived from the hysteresis loop (such as stored or lost energy, dynamic modulus, phase shift and damping), it is frequently possible to make differentiated statements about the beginning and progress of the damage. The beginning of the damage in the LIT corresponds to the endurance strength level on the stress-number curve [12]. Unlike the case of the base materials, it was not always sensibly possible to evaluate the beginning of the damage in the LIT for the welds. This may be explained by the fact that the weld constitutes local weakening but the deformation is measured integrally over the entire clamping length and the strain response is therefore determined also by regions outside the weld to a very great extent. For the considered welds, the evaluation of the LIT was therefore limited to the fracture strength  $\sigma_{LSV}$  from which the long-time welding factors  $f_L = \sigma_{LSV}(\text{weld}) / \sigma_{LSV}(\text{base materials})$  were finally calculated. Here too, the uncertainty of the welding factors resulted from the standard deviations of the strengths via error propagation. In all the cases, the vibration frequency and the load ratio in the LIT were identical to those in the vibration fatigue tests on the base materials, i.e. 5 Hz and 0.1 respectively.

### 3. Results and discussion

#### 3.1 Base materials

In table 1, the short-time strengths and fracture strengths established for the base materials in the LIT are specified under the following designations: PA (unreinforced polyamide) and PA-GF (glass-fibre-reinforced polyamide). The established short-time strength of the unreinforced polyamide is slightly above the manufacturer's specification of 82 MPa. In contrast, the glass-fibre-reinforced polyamide exhibits a considerably lower value than the 195 MPa indicated on the data

sheet. These discrepancies may be attributed to the test specimen geometry which is used here and differs significantly from the standardised Type 1A tension rod with regard to stress distribution and fibre orientation. In order to illustrate this subject matter, the fibre orientation inside the injection-moulded plates perpendicular to the joining and loading plane is portrayed on Figs. 1a and 1b. As can be recognised, the glass fibres in the core of the plate (approx. 25% of the plate width) are oriented perpendicular to the joining plane while the peripheral regions exhibit parallel orientation quasi-completely. In comparison with this, nearly all the fibres in a Type 1A tension rod are oriented perpendicular to the loading direction, thus resulting in higher strengths.

The stress-number curves of both polyamide types are portrayed on Fig. 2 together with the short-time strengths. At  $10^6$  load cycles, the strength of the unreinforced polyamide still amounted to approx. 66% of the short-time strength. In the case of the glass-fibre-reinforced type, this value was still approx. 50%. The beginning of the damage (blue vertical bar on Fig. 2) which is established from the LIT and may be viewed as an estimation of the endurance strength level was substantially below this in both cases at 40% and 33% of the short-time strength respectively. It may thus be assumed that the endurance strength is not reached for either the reinforced or unreinforced material at  $10^6$  load cycles. As the second result of the LIT, the fracture strengths in the LIT are portrayed on Fig. 2 with the relevant numbers of load cycles. As to be expected, these are slightly above the fatigue limit lines of the polyamides and serve as references for the welds below.

#### 3.2 Welds

In table 1, the short-time strengths of the welding settings for which fatigue tests were also performed within the framework of the research project are summarised under the following designations: PA\_1 to PA\_4 and PA-GF\_1 to PA-GF\_4. The relevant short-time welding factors are portrayed on Fig. 3. The quali-

richtung aufweisen. In einem Typ-1A-Zugstab sind im Vergleich dazu nahezu alle Fasern senkrecht zur Belastungsrichtung orientiert, woraus sich höhere Festigkeiten ergeben. Die Wöhlerkurven beider Polyamid-Typen sind zusammen mit den Kurzzeit-Festigkeiten in Bild 2 dargestellt. Bei  $10^6$  Lastspielen betrug die Festigkeit des unverstärkten Polyamids noch etwa 66% der Kurzzeitfestigkeit, bei dem glasfaserverstärkten Typ waren es noch etwa 50%. Der aus dem LSV ermittelte Schädigungsbeginn (blauer senkrechter Balken in Bild 2), der als Abschätzung des Dauerfestigkeitsniveaus angesehen werden kann, lag mit 40 bzw. 33% der Kurzzeitfestigkeit in beiden Fällen deutlich darunter. Es ist somit davon auszugehen, dass weder für das verstärkte noch für das unverstärkte Material bei  $10^6$  Lastspielen die Dauerfestigkeit erreicht ist. Als zweites Ergebnis der LSV sind in Bild 2 die LSV-Bruchfestigkeiten mit den zugehörigen Lastspielzahlen dargestellt. Diese liegen wie zu erwarten leicht oberhalb der Zeitfestigkeitslinien der Polyamide und dienen im Folgenden als Referenzen für die Schweißungen.

### 3.2 Schweißungen

Die Kurzzeitfestigkeiten der Schweißereinstellungen, für die im Rahmen des Forschungsvorhabens auch Ermüdungsprüfungen durchgeführt wurden, sind in Tabelle 1 unter den Bezeichnungen PA\_1 bis 4 bzw. PA-GF\_1 bis 4 zusammengefasst. Die zugehörigen Kurzzeitschweißfaktoren sind in Bild 3 dargestellt. Die Qualität der Schweißungen für das unverstärkte Polyamid reicht von hohen Kurzzeitschweißfaktoren von etwa 0,9 bis zu mäßigen Werten nahe 0,5. Die Kurzzeitschweißfaktoren des faserverstärkten Polyamids liegen insgesamt niedriger, was sich daraus ergibt, dass die Verstärkungsfasern in der Schweißnaht quasi vollständig parallel zur Naht bzw. Belastungsrichtung orientiert sind. Entsprechend tragen die Glasfasern – anders als beim Grundwerkstoff – nur unwesentlich zur Festigkeit der Verbindung bei. Dieser Sachverhalt wurde bereits mehrfach in der Literatur diskutiert, beispielsweise von Kamal u. a. oder Fiebig [13, 14].

Die im LSV ermittelten Bruchfestigkeiten der betrachteten Schweißungen sind zahlenmäßig in Tabelle 1 und grafisch als Funktion der Lastspielzahl in Bild 4 dargestellt. Wie zu erwarten, erfolgten die Brüche der Schweißungen im LSV bei niedrigeren Spannungen und niedrigeren Lastspielzahlen als für die Grundwerkstoffe. Anhand der Bruchfestigkeiten im LSV wurden die Langzeitschweißfaktoren für die einzelnen Schweißungen berechnet und den Kurzzeitschweißfaktoren gegenübergestellt (Bild 3). Dieser Vergleich zeigt, dass die ermittelten Langzeitschweißfaktoren für alle betrachteten Fälle mindestens genauso groß sind wie ihre zugehörigen Kurzzeitschweißfaktoren. Mit Hinblick auf das Ziel des Forschungsvorhabens, Anhaltspunkte zur konstruktiven Auslegung von schwingungsbelasteten Bauteilen zu finden, ergibt sich:  $f_L = \sigma_{LSV}(\text{Schweißung}) \geq f_K \cdot \sigma_{LSV}(\text{Grundmaterial})$ .

Das heißt, um die Ermüdungsfestigkeit einer Schweißverbindung abzuschätzen, wäre es in den hier betrachteten Fällen ausreichend gewesen, die Ermüdungsfestigkeit des Grundmaterials und den Kurzzeitschweißfaktor zu ermitteln. Dies deckt sich mit den Ergebnissen eines vorherigen IGF-Forschungsvorhabens des SKZ, in dem das Ermüdungsverhalten von Ultraschallschweißverbindungen untersucht wurde [15, 16]. Für obige Abschätzung ist es allerdings wichtig, dass Ermüdungs- und Kurzzeitprüfung in möglichst identischem Lastfall durchgeführt werden, also an der gleichen Prüfkörpergeometrie und in derselben Belastungsart.

### 4. Zusammenfassung

Im Rahmen eines IGF-Forschungsvorhabens wurden an glasfaserverstärktem und unverstärktem Polyamid 6.6 sowie entsprechenden linearen Vibrations-schweißungen quasi-statische Zug-, Dauerschwing- und dynamische Laststeigerungsversuche durchgeführt. Die aus den Bruchfestigkeiten des dynamischen Laststeigerungsversuchs ermittelten Langzeitschweißfaktoren waren in allen Versuchen größer oder gleich den zugehörigen Kurzzeitschweißfakto-

ries der welds for the unreinforced polyamide range from high short-time welding factors of approx. 0.9 down to moderate values near 0.5. All in all, the short-time welding factors of the fibre-reinforced polyamide are lower. As a result of this, the reinforcing fibres in the weld are quasi-completely oriented parallel to the weld and the loading direction. Unlike the case of the base material, the glass fibres correspondingly make an only insignificant contribution to the strength of the joint. This subject matter has already been discussed in the literature many times, e.g. by Kamal et al. or Fiebig [13, 14]. The fracture strengths of the considered welds which were established in the LIT are portrayed numerically in Table 1 and graphically as a function of the number of load cycles on Fig. 4. As to be expected, the fractures in the welds in the LIT occurred at lower stresses and lower numbers of load cycles than for the base materials. On the basis of the fracture strengths in the LIT, the long-time welding factors were calculated for the individual welds and compared to the short-time welding factors (Fig. 3). This comparison shows that the established long-time welding factors for all the considered cases are at least exactly as high as their relevant short-time welding factors. With regard to the objective of the

research project (i.e. to find indicators for the constructive designing of components subjected to vibratory loads), this results in:  $f_L = \sigma_{LSV}(\text{weld}) \geq f_K \cdot \sigma_{LSV}(\text{base materials})$ .

This means that, in order to estimate the fatigue strength of a welded joint, it would have been adequate in the cases considered here to establish the fatigue strength of the base material and the short-time welding factor. This is congruent with the results of a previous IGF research project which was conducted by SKZ and served to investigate the fatigue behaviour of ultrasonically welded joints [15, 16]. However, for the above estimation, it is important that the fatigue and short-time tests are performed in a load case which is as identical as possible, i.e. on the same test specimen geometry and in the same loading type.

### 4. Summary

Within the framework of an IGF research project, quasi-static tensile, vibration fatigue and dynamic load increase tests were performed on glass-fibre-reinforced and unreinforced Polyamide 6.6 as well as on corresponding linear vibration welds. In all the tests, the long-time welding factors established from the fracture strengths in the dynamic load increase test were greater than or equal to the relevant short-time welding factors. It can be derived from this that it would

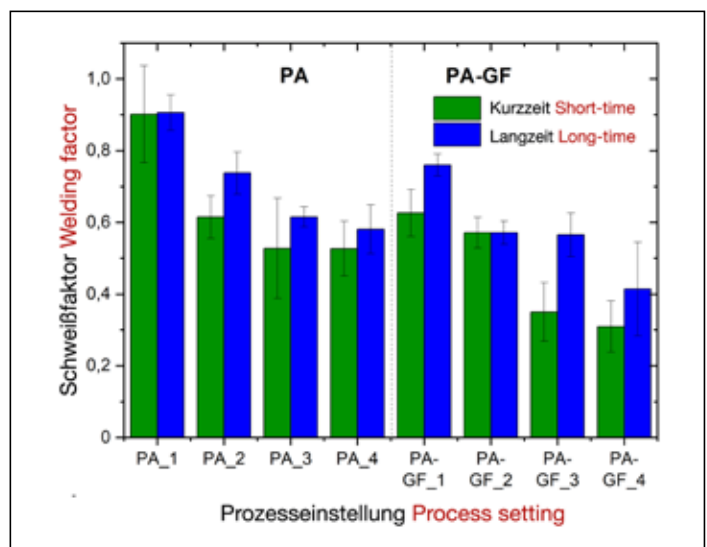


Bild 3: Kurz- und Langzeitschweißfaktoren der betrachteten Schweißungen (Bezeichnungen und Parameter in Tabelle 1) von unverstärktem und verstärktem Polyamid 6.6

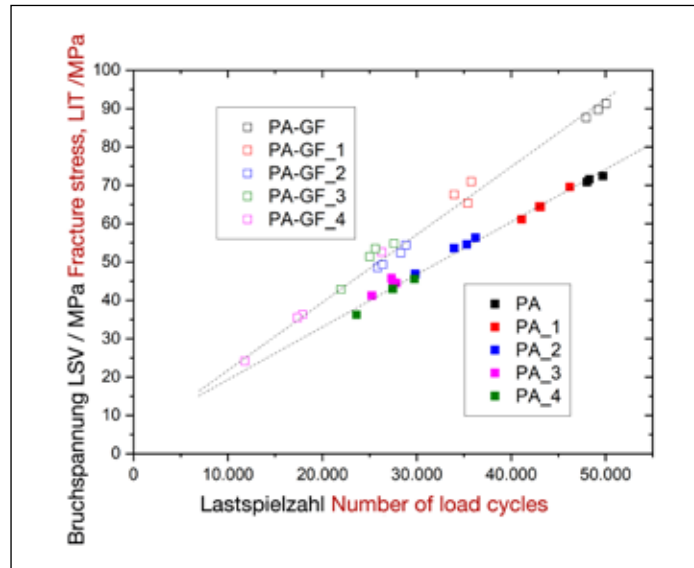
Fig. 3: Short-time and long-time welding factors of the considered welds (designations and parameters in Table 1) on unreinforced and reinforced Polyamide 6.6



ren. Daraus lässt sich ableiten, dass in allen betrachteten Fällen eine Vorhersage der Ermüdungsfestigkeit der Schweißverbindungen möglich gewesen wären. Grundlage hierfür sind der Kurzzeitschweißfaktor und die Bruchfestigkeit des Grundmaterials unter Ermüdungsbeanspruchung. Dieser Zusammenhang kann bei der konstruktiven Auslegung von schwingungsbelasteten Kunststoffbauteilen genutzt werden.

**Danksagung**

Das Vorhaben 19845 N der Forschungsvereinigung „Fördergemeinschaft für das Süddeutsche Kunststoff-Zentrum e. V.“ wurde über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klima (BMWK) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Die Autoren bedanken sich beim Fördergeber für die Bereitstellung der finanziellen Mittel und bei allen Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses für die aktive Mitarbeit an dem Forschungsvorhaben.



**Bild 4:** LSV-Bruchfestigkeiten von Grundwerkstoffen und Schweißverbindungen (Bezeichnungen und Parameter in Tabelle 1) als Funktion der Lastspielzahl

**Fig. 4:** Fracture strengths of base materials and welded joints (designations and parameters in Table 1) in the LIT as a function of the number of load cycles

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

have been possible to predict the fatigue strengths of the welded joints in all the considered cases. This is based on the short-time welding factor and the fracture strength of the base material exposed to fatigue stresses. This connection can be utilised during the constructive designing of plastic components subjected to vibratory loads.

**Acknowledgement**

Project 19845 N of the research association „Fördergemeinschaft für das Süddeutsche Kunststoff-Zentrum e. V.“ was funded by the Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action (BMWK) via the Federation of Industrial Research Associations (AiF) within the framework of the programme for the promotion of joint industrial research on the basis of a resolution of the German Bundestag. The authors would like to thank the funding body for providing the financial resources and all the members of the project-accompanying committee for their active cooperation in the research project.

Supported by:



on the basis of a decision by the German Bundestag

**Literatur References**

- [1] bielomatik Leuze GmbH: Kunststoff-Schweißverfahren richtig wählen. Joining Plastics 5 (2011) Nr. 3-4, S. 172/6.
- [2] Bonten, C.: Serienschweißen von Kunststoffen. Ein Überblick zum Stand der Technik. Kunststoffe 89 (1999), Ausgabe 8, S. 33/41.
- [3] Stokes, V. K.: Vibration welding of thermoplastics. Part I: Phenomenology of the welding process, Polymer Engineering and Science 28 (1988), pp. 718/27.
- [4] Stokes, V. K.: Vibration welding of thermoplastics. Part II: Analysis of the welding process, Polymer Engineering and Science 28 (1988), pp. 728/39.
- [5] Potente, H.; Michel, P.; Ruthmann, B.: Eine Analyse des Vibrations-schweißens. Kunststoffe 77 (1987), S. 711/6.
- [6] Potente, H.; Kaiser, H.: Process data acquisition in vibration welding of thermoplastics. Polymer Engineering and Science 29 (1989), pp. 1661/6.
- [7] Schlarb, A. K.: Zum Vibrations-schweißen von Polymerwerkstoffen: Prozess – Struktur – Eigenschaften, Dissertation, Universität Kassel, 1989.
- [8] Schlarb, A. K.; Ehrenstein, G. W.: The impact strength of butt welded vibration welds related to microstructure and welding history. Polymer Engineering and Science 29 (1989) S. 1677/82.
- [9] Richtlinie DVS 2217. Vibrations-schweißen von Formteilen und Halbzeugen aus thermoplastischen Kunststoffen in der Serienfertigung. In: Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e. V. (Hrsg.): Taschenbuch DVS-Merkblätter und -Richtlinien. Fügen von Kunststoffen. 18. Auflage. DVS Media GmbH, 2020.
- [10] Ehrenstein, G. W.: Mit Kunststoffen konstruieren: Eine Einführung. Carl Hanser Verlag, 2007.
- [11] Ehrenstein, G. W.: Hysteresis-Messverfahren: Das flexible Verfahren zur dynamischen Werkstoff- und Bauteilprüfung nach R. Renz. Lehrstuhl für Kunststofftechnik, Universität Erlangen-Nürnberg, 1993.
- [12] Clauß, G., Moosbrugger, E.: Hysteresis-Messverfahren zur dynamischen Prüfung. In: Ehrenstein, G. W. (Hrsg.): Hysteresis-Messverfahren: Das flexible Verfahren zur dynamischen Werkstoff- und Bauteilprüfung nach R. Renz, S. 18, Lehrstuhl für Kunststofftechnik, Universität Erlangen-Nürnberg, 1993.
- [13] Kamal, M. R.; Chung, Y.-M; Gomez, R.: Three-dimensional fiber orientation in vibration welded joints of glass fiber reinforced polyamide-6, Polymer Composites 29 (2008), pp. 954/63.
- [14] Fiebig, I.: Beitrag zur Erhöhung der Wirksamkeit der Faserverstärkung in der Schweißnaht faserverstärkter Thermoplaste, In: Institut für Leichtbau mit Hybridsystemen (ILH) Paderborn (Hrsg.): Schriftenreihe Institut für Leichtbau mit Hybridsystemen, Band 2019,36, Shaker-Verlag, 2019.
- [15] Pommer, C. et al.: Langzeitbelastung von Schweißverbindungen – Welchen Einfluss haben zyklische Lasten auf Ultraschallschweißverbindungen? In: Joining Plastics 13 (2019) Nr. 1, S. 22/8.
- [16] Pommer, C. et al.: Dynamische Eigenschaften von Ultraschallschweißverbindungen: Ermüdungsverhalten von ultraschallgeschweißten Kunststoffnähten, Shaker-Verlag, Herzogenrath, 2019.

## JOINING PLASTICS FÜGEN VON KUNSTSTOFFEN

### Herausgeber:

DVS – Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e. V.

### Verlag:

DVS Media GmbH, Postfach 101965, 40010 Düsseldorf, Aachener Straße 172, 40223 Düsseldorf, Telefon: (0211) 1591-0, Telefax: -150, E-Mail: media@dvs-media.info, Internet: www.dvs-media.eu, Geschäftsführung: Dirk Sieben.

### Redaktion:

Dipl.-Ing. Dietmar Rippegather (Leitung/verantwortlich), Telefon: (0211) 1591-276, Telefax: -350, dietmar.rippegather@dvs-media.info; Nicole Stramka M. A., Telefon: -289, Telefax: -350, nicole.stramka@dvs-media.info.

### Redaktionsbeirat:

Dr. rer. nat. Benjamin Baudrit, Dr.-Ing. Tobias Beiß, Prof. Dr.-Ing. Dietmar Drummer, Dipl.-Ing. Thomas Frank, Dr.-Ing. Martin Facklam, Dr.-Ing. Sven Friedrich, Prof. Dr.-Ing. Michael Gehde, Dr. Christoph Heering, Dr.-Ing. Odo Karger, Dr.-Ing. Eduard Kraus, Dr. Joachim Natrop, Dr.-Ing. Matthias Pöge, Prof. Dr. Ulrich Andreas Russek, B. Eng. Wirtschaftsingenieur Sebastian Schlegel, Prof. Dr.-Ing. Volker Schöppner, Dr. Mike Troughton.

### Anzeigen:

Markus Winterhalter (Leitung), Telefon: (0211) 1591-142, markus.winterhalter@dvs-media.info; Britta Wingartz, Telefon: -155, britta.wingartz@dvs-media.info. Gültig ist zurzeit die Preisliste Nr. 15 vom 1. Januar 2022.

### Übersetzungen:

Ian Widdows.

### Vertrieb:

DVS Media GmbH, Leserservice, Telefon: (06123) 92 38-242, Telefax: -244, E-Mail: dvsmedia@vuservice.de.

### Bezugsbedingungen:

„JOINING PLASTICS – FÜGEN VON KUNSTSTOFFEN“ erscheint viermal im Jahr. Sie erhalten die Zeitschrift im Rahmen der Mitgliedschaft im DVS zu ermäßigten Bezugsbedingungen. Im Abonnement können Sie „JOINING PLASTICS – FÜGEN VON KUNSTSTOFFEN“ durch den Buchhandel oder direkt beim Verlag beziehen. Einzelheft: 29,00 € (zuzüglich Versandkosten), jährliche Bezugskosten: Online: 60,00 €, Print und Online: 75,00 €, zuzüglich Versandkosten (Inland: 10,00 €, Ausland: 15,00 €, Luftpost auf Anfrage).

### Druck:

D+L Printpartner, Bocholt.

### Urheber- und Verlagsrecht:

Die Zeitschrift „JOINING PLASTICS – FÜGEN VON KUNSTSTOFFEN“ sowie alle in dieser Zeitschrift enthaltenen Beiträge, Bilder und Tabellen sind urheberrechtlich geschützt. Mit Ausnahme der gesetzlich zugelassenen Fälle ist eine Verwertung ohne Einwilligung der DVS Media GmbH strafbar. Mit Annahme des Manuskripts gehen das Recht zur Veröffentlichung sowie die Rechte zur Übersetzung, zur Vergabe von Nachdruckrechten, zur elektronischen Speicherung in Datenbanken, zur Herstellung von Sonderdrucken und Fotokopien an den Verlag über.

ISSN 1864-3450

### Publisher:

DVS – Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e. V.

### Publishing house:

DVS Media GmbH, P.O. Box 101965, 40010 Düsseldorf, Aachener Straße 172, 40223 Düsseldorf, Germany, telephone: +49 (0)211 1591-0, fax: -150, e-mail: media@dvs-media.info, Internet: www.dvs-media.eu, management: Dirk Sieben.

### Editorial Department:

Dipl.-Ing. Dietmar Rippegather (manager/responsible for production), telephone: +49 (0)211 1591-276, dietmar.rippegather@dvs-media.info; Nicole Stramka M. A., telephone: -289, fax: -350, nicole.stramka@dvs-media.info.

### Editorial advisory board:

Dr. rer. nat. Benjamin Baudrit, Dr.-Ing. Tobias Beiß, Prof. Dr.-Ing. Dietmar Drummer, Dipl.-Ing. Thomas Frank, Dr.-Ing. Martin Facklam, Dr.-Ing. Sven Friedrich, Prof. Dr.-Ing. Michael Gehde, Dr. Christoph Heering, Dr.-Ing. Odo Karger, Dr.-Ing. Eduard Kraus, Dr. Joachim Natrop, Dr.-Ing. Matthias Pöge, Prof. Dr. Ulrich Andreas Russek, B. Eng. Wirtschaftsingenieur Sebastian Schlegel, Prof. Dr.-Ing. Volker Schöppner, Dr. Mike Troughton.

### Advertising:

Markus Winterhalter (manager), telephone: +49 (0)211 1591-142, markus.winterhalter@dvs-media.info; Britta Wingartz, telephone: -155, britta.wingartz@dvs-media.info. Price list no. 15, dated January 1, 2022 is valid at present.

### Translations:

Ian Widdows.

### Distribution:

DVS Media GmbH, Leserservice, Telefon: +49 (0)6123 92 38-242, fax: -244, e-mail: dvsmedia@vuservice.de.

### Purchase conditions:

„JOINING PLASTICS – FÜGEN VON KUNSTSTOFFEN“ will be published every three month. As a member of DVS, you will receive the technical journal with discounted purchase conditions. You as a subscriber will be able to purchase „JOINING PLASTICS – FÜGEN VON KUNSTSTOFFEN“ via the book trade or directly from the publishing house. Single issue: € 29.00 (plus shipping costs), annual purchase costs online: € 60.00, print and online: € 75.00 plus shipping costs (Germany: € 10.00, abroad: € 15.00, air mail upon request).

### Printing:

D+L Printpartner, Bocholt, Germany.

### Copyright and publishing law:

The journal „JOINING PLASTICS – FÜGEN VON KUNSTSTOFFEN“ as well as all the articles, figures and tables included in this journal are protected by copyright. With the exception of the cases authorised by law, any utilisation without the consent of DVS Media GmbH will be liable to prosecution. When the manuscript is accepted, the right of publication and the rights to the translation, to the granting of reprinting rights, to the electronic storage in databases and to the manufacture of offprints and photocopies are transferred to the publishing house.

ISSN 1864-3450

# Bezugsquellenverzeichnis JOINING PLASTICS – FÜGEN VON KUNSTSTOFFEN

Ultraschallschweißen Dienstleister  
Heizelementschweißen international  
Warmgasstumpfschweißen Hersteller Englisch  
Laserdurchstrahlschweißen Infrarotschweißen Einkaufsführer  
Deutsch Vibrationsschweißen

[www.joining-plastics-bzv.de](http://www.joining-plastics-bzv.de)



Online mit Ihrem  
Firmenlogo



**Sie sind noch nicht gelistet?  
Das ist günstiger als Sie denken!  
Sprechen Sie mich gerne an.**



**Ihre Ansprechpartnerin:**

Vanessa Wollstein

☎ +49 211 1591-152

✉ [vanessa.wollstein@dvs-media.info](mailto:vanessa.wollstein@dvs-media.info)

# Veröffentlichung in / **Publication in:** FÜGEN VON KUNSTSTOFFEN – JOINING PLASTICS

<b>1.1</b>	Hersteller von Schweißmaschinen für die Serienfertigung <b>Manufacturers of welding machines for the serial production</b>
<b>1.2</b>	Hersteller von Schweißmaschinen für den Apparate-, Behälter- und Rohrleitungsbau <b>Manufacturers of welding machines for the apparatus engineering, tank-, and pipelineconstruction</b>
<b>2</b>	Hersteller von Halbzeugen <b>Manufacturers of semi-finished products</b>
<b>3</b>	Rohstoffe und Hilfsstoffe <b>Raw and auxiliary materials</b>
<b>4</b>	Messen und Prüfen <b>Measuring and testing</b>
<b>5</b>	Mechanisches Fügen von Kunststoffen <b>Mechanical joining of plastics</b>
<b>6</b>	Kleben von Kunststoffen <b>Adhesive bonding of plastics</b>
<b>7</b>	Ausbildung, Weiterbildung und Prüfung <b>Education, further training and examination</b>
<b>8</b>	Dienstleistungen / Ingenieurbüros <b>Services / Engineering consultants</b>
<b>9</b>	Messen, Tagungen und Veranstaltungen <b>Trade fairs, conferences and events</b>
<b>10</b>	Produkte aus Kunststoff <b>Products of plastics</b>

© DVS Media GmbH

Ansprechpartner / **Contact person:** Vanessa Wollstein  
 Aachener Straße 172      Tel.: +49 211 1591-152  
 40223 Düsseldorf      Fax: +49 211 1591-150  
 E-Mail: [vanessa.wollstein@dvs-media.info](mailto:vanessa.wollstein@dvs-media.info)

**1.1** Hersteller von Schweißmaschinen für die Serienfertigung  
Manufacturers of welding machines for serial production

▼ Laserstrahlschweißen 01040  
Laser welding



**CEMAS Germany GmbH**  
Rüttelweg 4, 63843 Niedernberg  
☎ +49 (0)6028/80778-100 ☎ +49 (0)6028/80778-200  
E-Mail: info@cemas-germany.com  
Internet: www.cemas-germany.com



**Evosys Laser GmbH**  
Felix-Klein-Straße 75, 91058 Erlangen  
☎ +49 9131 4088-0  
E-Mail: sales@evosys-laser.com  
Internet: www.evosys-group.com



**JENOPTIK Automatisierungstechnik GmbH**  
Konrad-Zuse-Straße 6, D-07745 Jena  
☎ +49 (0)3641/65-2570 ☎ +49 (0)3641/65-2571  
E-Mail: automation.marketing@jenoptik.com  
Internet: www.automation-jenoptik.com



**LPKF WeldingEquipment GmbH**  
Alfred-Nobel-Straße 55-57, D-90765 Fürth  
☎ +49 (0)911/669859-0 ☎ +49 (0)911/669859-77  
E-Mail: info.laserwelding@lpkf.com  
Internet: www.lpkf-laserwelding.de

▼ Reibschweißen 01060  
Friction welding



**BRANSON ULTRASCHALL**  
Niederlassung der EMERSON Technologies GmbH & Co. OHG  
Waldstraße 53-55, D-63128 Dietzenbach  
☎ +49 (0)6074/497-0 ☎ +49 (0)6074/497-199  
E-Mail: info@branson.de  
Internet: www.bransoneurope.de



**CEMAS Germany GmbH**  
Rüttelweg 4, 63843 Niedernberg  
☎ +49 (0)6028/80778-100 ☎ +49 (0)6028/80778-200  
E-Mail: info@cemas-germany.com  
Internet: www.cemas-germany.com



**Fischer Kunststoff-Schweißtechnik GmbH**  
Meißnerstraße 5, D-37297 Berkatal  
☎ +49 5657 913021 ☎ +49 5657 8265  
E-Mail: info@fischer-st.de  
Internet: www.fischer-st.de

▼ Zirkular-Reibschweißen 01070  
Circular friction welding



**Fischer Kunststoff-Schweißtechnik GmbH**  
Meißnerstraße 5, D-37297 Berkatal  
☎ +49 5657 913021 ☎ +49 5657 8265  
E-Mail: info@fischer-st.de  
Internet: www.fischer-st.de

▼ Ultraschallschweißen 01080  
Ultrasonic welding



**BRANSON ULTRASCHALL**  
Niederlassung der EMERSON Technologies GmbH & Co. OHG  
Waldstraße 53-55, D-63128 Dietzenbach  
☎ +49 (0)6074/497-0 ☎ +49 (0)6074/497-199  
E-Mail: info@branson.de  
Internet: www.bransoneurope.de



**CEMAS Germany GmbH**  
Rüttelweg 4, 63843 Niedernberg  
☎ +49 (0)6028/80778-100 ☎ +49 (0)6028/80778-200  
E-Mail: info@cemas-germany.com  
Internet: www.cemas-germany.com



**Herrmann Ultraschalltechnik GmbH & Co. KG**  
Decostraße 3-9, D-76307 Karlsbad  
☎ +49 (0)7248/79-0 ☎ +49 (0)7248/79-39  
E-Mail: info@herrmannultraschall.com  
Internet: www.herrmannultraschall.com



**INGENIA GmbH**  
Hauptstraße 72, D-56858 Altlay  
☎ +49 (0)6543 5049-0 ☎ +49 (0)6543 5049-0  
E-Mail: info@ingenia-gmbh.de  
Internet: www.ingenia-gmbh.de



**KLN Ultraschall AG**  
Odenwaldstrasse 8, D-64646 Heppenheim  
☎ +49 (0)6252/14-0 ☎ +49 (0)6252/14-277  
E-Mail: info@kln.de  
Internet: www.kln.de



**RINCO ULTRASONICS AG**  
Industriestraße 4, CH-8590 Romanshorn  
☎ +41 (0)714664100 ☎ +41 (0)714664101  
E-Mail: info@rincoultrasonics.com  
Internet: www.rincoultrasonics.com



**SONOTRONIC Nagel GmbH**  
Becker-Göring-Straße 17-25, D-76307 Karlsbad  
☎ +49 (0)7248 9166-0 ☎ +49 (0)7248 9166-157  
E-Mail: info@sonotronic.de  
Internet: www.sonotronic.de



**TELSONIC AG**  
Industriestrasse 6B, CH-9552 Bronschhofen  
☎ +41 (0)7191 398-88 ☎ +41 (0)7191 398-77  
E-Mail: main@ch.telsonic.com  
Internet: www.telsonic.com

▼ Ultraschall-Fügesysteme 01085  
Ultrasonic bonding systems



**CEMAS Germany GmbH**  
Rüttelweg 4, 63843 Niedernberg  
☎ +49 (0)6028/80778-100 ☎ +49 (0)6028/80778-200  
E-Mail: info@cemas-germany.com  
Internet: www.cemas-germany.com



**Herrmann Ultraschalltechnik GmbH & Co. KG**  
Decostraße 3-9, D-76307 Karlsbad  
☎ +49 (0)7248/79-0 ☎ +49 (0)7248/79-39  
E-Mail: info@herrmannultraschall.com  
Internet: www.herrmannultraschall.com



**KLN Ultraschall AG**  
Odenwaldstrasse 8, D-64646 Heppenheim  
☎ +49 (0)6252/14-0 ☎ +49 (0)6252/14-277  
E-Mail: info@kln.de  
Internet: www.kln.de

▼ Ultraschall-Siegelsysteme 01090  
Ultrasonic sealing systems



**CEMAS Germany GmbH**  
Rüttelweg 4, 63843 Niedernberg  
☎ +49 (0)6028/80778-100 ☎ +49 (0)6028/80778-200  
E-Mail: info@cemas-germany.com  
Internet: www.cemas-germany.com



**Herrmann Ultraschalltechnik GmbH & Co. KG**  
Decostraße 3-9, D-76307 Karlsbad  
☎ +49 (0)7248/79-0 ☎ +49 (0)7248/79-39  
E-Mail: info@herrmannultraschall.com  
Internet: www.herrmannultraschall.com



**KLN Ultraschall AG**  
Odenwaldstrasse 8, D-64646 Heppenheim  
☎ +49 (0)6252/14-0 ☎ +49 (0)6252/14-277  
E-Mail: info@kln.de  
Internet: www.kln.de



**SONOTRONIC Nagel GmbH**  
Becker-Göring-Straße 17-25, D-76307 Karlsbad  
☎ +49 (0)7248 9166-0 ☎ +49 (0)7248 9166-157  
E-Mail: info@sonotronic.de  
Internet: www.sonotronic.de

▼ **Vibrationsschweißen**  
Vibration welding

01100



**BRANSON ULTRASCHALL**  
Niederlassung der EMERSON Technologies GmbH & Co. OHG  
Waldstraße 53-55, D-63128 Dietzenbach  
☎ +49 (0)6074/497-0 ☎ +49 (0)6074/497-199  
E-Mail: info@branson.de  
Internet: www.bransoneurope.de



**CEMAS Germany GmbH**  
Rüttelweg 4, 63843 Niedernberg  
☎ +49 (0)6028/80778-100 ☎ +49 (0)6028/80778-200  
E-Mail: info@cemas-germany.com  
Internet: www.cemas-germany.com



**Fischer Kunststoff-Schweißtechnik GmbH**  
Meißnerstraße 5, D-37297 Berkatal  
☎ +49 5657 913021 ☎ +49 5657 8265  
E-Mail: info@fischer-st.de  
Internet: www.fischer-st.de



**KLN Ultraschall AG**  
Odenwaldstrasse 8, D-64646 Heppenheim  
☎ +49 (0)6252/14-0 ☎ +49 (0)6252/14-277  
E-Mail: info@kln.de  
Internet: www.kln.de

▼ **Infrarotschweißen**  
Infrared welding

01110



**AGRU Kunststofftechnik GmbH**  
Ing. Pesendorfer-Straße 31, A-4540 Bad Hall  
☎ +43 7258 790  
E-Mail: sales@agru.at  
Internet: www.agru.at/de



**BRANSON ULTRASCHALL**  
Niederlassung der EMERSON Technologies GmbH & Co. OHG  
Waldstraße 53-55, D-63128 Dietzenbach  
☎ +49 (0)6074/497-0 ☎ +49 (0)6074/497-199  
E-Mail: info@branson.de  
Internet: www.bransoneurope.de



**CEMAS Germany GmbH**  
Rüttelweg 4, 63843 Niedernberg  
☎ +49 (0)6028/80778-100 ☎ +49 (0)6028/80778-200  
E-Mail: info@cemas-germany.com  
Internet: www.cemas-germany.com



**KLN Ultraschall AG**  
Odenwaldstrasse 8, D-64646 Heppenheim  
☎ +49 (0)6252/14-0 ☎ +49 (0)6252/14-277  
E-Mail: info@kln.de  
Internet: www.kln.de



**Eugen Rixinger GmbH & Co. KG**  
Egarterning 2, 75378 Bad Liebenzell  
☎ +49 (0)7052-93090-0 ☎ +49 (0)7052-93090-33  
E-Mail: info@riex.de  
Internet: www.riex.de

▼ **Heizelementschweißen**  
Heated tool welding

01140



**AGRU Kunststofftechnik GmbH**  
Ing. Pesendorfer-Straße 31, A-4540 Bad Hall  
☎ +43 7258 790  
E-Mail: sales@agru.at  
Internet: www.agru.at/de



**BRANSON ULTRASCHALL**  
Niederlassung der EMERSON Technologies GmbH & Co. OHG  
Waldstraße 53-55, D-63128 Dietzenbach  
☎ +49 (0)6074/497-0 ☎ +49 (0)6074/497-199  
E-Mail: info@branson.de  
Internet: www.bransoneurope.de



**CEMAS Germany GmbH**  
Rüttelweg 4, 63843 Niedernberg  
☎ +49 (0)6028/80778-100 ☎ +49 (0)6028/80778-200  
E-Mail: info@cemas-germany.com  
Internet: www.cemas-germany.com



**FRANK GmbH**  
Starkenburgerstraße 1, D-64546 Mörfelden-Walldorf  
☎ +49 (0)6105/4085-0 ☎ +49 (0)6105/4085-249  
E-Mail: info@frank-gmbh.de  
Internet: www.frank-gmbh.de



**INGENIA GmbH**  
Hauptstraße 72, D-56858 Aitlay  
☎ +49 (0)6543 5049-0 ☎ +49 (0)6543 5049-0  
E-Mail: info@ingenia-gmbh.de  
Internet: www.ingenia-gmbh.de



**KLN Ultraschall AG**  
Odenwaldstrasse 8, D-64646 Heppenheim  
☎ +49 (0)6252/14-0 ☎ +49 (0)6252/14-277  
E-Mail: info@kln.de  
Internet: www.kln.de



**Leister Technologies Deutschland GmbH**  
Rohrstr. 16, D-58093 Hagen  
☎ +49 2331 9594 0  
E-Mail: Info.de@leister.com  
Internet: www.leister.de



**Eugen Rixinger GmbH & Co. KG**  
Egarterning 2, 75378 Bad Liebenzell  
☎ +49 (0)7052-93090-0 ☎ +49 (0)7052-93090-33  
E-Mail: info@riex.de  
Internet: www.riex.de



**SONOTRONIC Nagel GmbH**  
Becker-Göring-Straße 17-25, D-76307 Karlsbad  
☎ +49 (0)7248 9166-0 ☎ +49 (0)7248 9166-157  
E-Mail: info@sonotronic.de  
Internet: www.sonotronic.de



**Wegener International GmbH**  
Ernst-Abbe-Straße 30, D-52249 Eschweiler  
☎ +49 (0)2403/70484-0 ☎ +49 (0)2403/70484-99  
E-Mail: info@wegenerwelding.de  
Internet: www.wegenerwelding.de

▼ Rotations-schweißen  
Rotation welding 01160



**Fischer Kunststoff-Schweißtechnik GmbH**  
Meißnerstraße 5, D-37297 Berkatal  
☎ +49 5657 913021 ☎ +49 5657 8265  
E-Mail: info@fischer-st.de  
Internet: www.fischer-st.de



**KLN Ultraschall AG**  
Odenwaldstrasse 8, D-64646 Heppenheim  
☎ +49 (0)6252/14-0 ☎ +49 (0)6252/14-277  
E-Mail: info@kln.de  
Internet: www.kln.de

▼ Plattenschweißen  
Sheet welding 01180



**HERZ GmbH Kunststoff- & Wärmetechnologie**  
Biberweg 12, D-56566 Neuwied  
☎ +49 (0)2622/81086 ☎ +49 (0)2622/81080  
E-Mail: info@herz-gmbh.com  
Internet: www.herz-gmbh.com



**Wegener International GmbH**  
Ernst-Abbe-Straße 30, D-52249 Eschweiler  
☎ +49 (0)2403/70484-0 ☎ +49 (0)2403/70484-99  
E-Mail: info@wegenerwelding.de  
Internet: www.wegenerwelding.de

▼ Warmverstemmen  
Hot riveting 01190



**KLN Ultraschall AG**  
Odenwaldstrasse 8, D-64646 Heppenheim  
☎ +49 (0)6252/14-0 ☎ +49 (0)6252/14-277  
E-Mail: info@kln.de  
Internet: www.kln.de

▼ Heiß-Luft-Vernieten  
Hot Air Staking 01195



**KLN Ultraschall AG**  
Odenwaldstrasse 8, D-64646 Heppenheim  
☎ +49 (0)6252/14-0 ☎ +49 (0)6252/14-277  
E-Mail: info@kln.de  
Internet: www.kln.de



**Leister Technologies Deutschland GmbH**  
Rohrstr. 16, D-58093 Hagen  
☎ +49 2331 9594 0  
E-Mail: info.de@leister.com  
Internet: www.leister.de

1.2 Hersteller von Schweißmaschinen für den Apparate-, Behälter- und Rohrleitungsbau  
Manufacturers of welding machines for the apparatus engineering, tank- and pipeline construction

▼ Extrusionsschweißen  
Extrusion welding 01220



**FRANK GmbH**  
Starkenburgerstraße 1, D-64546 Mörfelden-Walldorf  
☎ +49 (0)6105/4085-0 ☎ +49 (0)6105/4085-249  
E-Mail: info@frank-gmbh.de  
Internet: www.frank-gmbh.de



**HERZ GmbH Kunststoff- & Wärmetechnologie**  
Biberweg 12, D-56566 Neuwied  
☎ +49 (0)2622/81086 ☎ +49 (0)2622/81080  
E-Mail: info@herz-gmbh.com  
Internet: www.herz-gmbh.com



**Leister Technologies Deutschland GmbH**  
Rohrstr. 16, D-58093 Hagen  
☎ +49 2331 9594 0  
E-Mail: Info.de@leister.com  
Internet: www.leister.de



**Munsch Kunststoff-Schweißtechnik GmbH**  
Im Staudchen, D-56235 Ransbach-Baumbach  
☎ +49 (0)2623/898-80 ☎ +49 (0)2623/898-85  
E-Mail: info@munsch.de  
Internet: www.munsch.de



**Wegener International GmbH**  
Ernst-Abbe-Straße 30, D-52249 Eschweiler  
☎ +49 (0)2403/70484-0 ☎ +49 (0)2403/70484-99  
E-Mail: info@wegenerwelding.de  
Internet: www.wegenerwelding.de

▼ Heizelementschweißen  
Heated tool welding 01240



**FORSTHOFF GmbH**  
Freiheitstr. 24, 42719 Solingen  
☎ +49 212 336052 ☎ +49 212 336916  
E-Mail: info@forsthoffwelding.com  
Internet: www.forsthoffwelding.com



**HERZ GmbH Kunststoff- & Wärmetechnologie**  
Biberweg 12, D-56566 Neuwied  
☎ +49 (0)2622/81086 ☎ +49 (0)2622/81080  
E-Mail: info@herz-gmbh.com  
Internet: www.herz-gmbh.com



**Eugen RieXinger GmbH & Co. KG**  
Egartenring 2, 75378 Bad Liebenzell  
☎ +49 (0)7052-93090-0 ☎ +49 (0)7052-93090-33  
E-Mail: info@riex.de  
Internet: www.riex.de



**Wegener International GmbH**  
Ernst-Abbe-Straße 30, D-52249 Eschweiler  
☎ +49 (0)2403/70484-0 ☎ +49 (0)2403/70484-99  
E-Mail: info@wegenerwelding.de  
Internet: www.wegenerwelding.de

▼ Rotations-schweißen  
Rotation welding 01260



**Fischer Kunststoff-Schweißtechnik GmbH**  
Meißnerstraße 5, D-37297 Berkatal  
☎ +49 5657 913021 ☎ +49 5657 8265  
E-Mail: info@fischer-st.de  
Internet: www.fischer-st.de

▼ Warmgasschweißen  
Hot gas welding 01280



**FORSTHOFF GmbH**  
Freiheitstr. 24, 42719 Solingen  
☎ +49 212 336052 ☎ +49 212 336916  
E-Mail: info@forsthoffwelding.com  
Internet: www.forsthoffwelding.com



**FRANK GmbH**  
Starkenburgerstraße 1, D-64546 Mörfelden-Walldorf  
☎ +49 (0)6105/4085-0 ☎ +49 (0)6105/4085-249  
E-Mail: info@frank-gmbh.de  
Internet: www.frank-gmbh.de



**HERZ GmbH Kunststoff- & Wärmetechnologie**  
Biberweg 12, D-56566 Neuwied  
☎ +49 (0)2622/81086 ☎ +49 (0)2622/81080  
E-Mail: info@herz-gmbh.com  
Internet: www.herz-gmbh.com



**Leister Technologies Deutschland GmbH**  
Rohrstr. 16, D-58093 Hagen  
☎ +49 2331 9594 0  
E-Mail: Info.de@leister.com  
Internet: www.leister.de



**Wegener International GmbH**  
Ernst-Abbe-Straße 30, D-52249 Eschweiler  
☎ +49 (0)2403/70484-0 ☎ +49 (0)2403/70484-99  
E-Mail: info@wegenerwelding.de  
Internet: www.wegenerwelding.de

▼ Sondermaschinenbau  
Special purpose machinery manufacture 01310



**INGENIA GmbH**  
Hauptstraße 72, D-56858 Alltlay  
☎ +49 (0)6543 5049-0 ☎ +49 (0)6543 5049-0  
E-Mail: info@ingenia-gmbh.de  
Internet: www.ingenia-gmbh.de



**Eugen Riexinger GmbH & Co. KG**  
Egartenring 2, 75378 Bad Liebenzell  
☎ +49 (0)7052-93090-0 ☎ +49 (0)7052-93090-33  
E-Mail: info@riex.de  
Internet: www.riex.de



**Wegener International GmbH**  
Ernst-Abbe-Straße 30, D-52249 Eschweiler  
☎ +49 (0)2403/70484-0 ☎ +49 (0)2403/70484-99  
E-Mail: info@wegenerwelding.de  
Internet: www.wegenerwelding.de

▼ Heizelementstumpfschweißmaschinen  
Hot plate butt welding machines 01320



**AGRU Kunststofftechnik GmbH**  
Ing. Pesendorfer-Straße 31, A-4540 Bad Hall  
☎ +43 7258 790  
E-Mail: sales@agru.at  
Internet: www.agru.at/de



**INGENIA GmbH**  
Hauptstraße 72, D-56858 Alltlay  
☎ +49 (0)6543 5049-0 ☎ +49 (0)6543 5049-0  
E-Mail: info@ingenia-gmbh.de  
Internet: www.ingenia-gmbh.de



**Wegener International GmbH**  
Ernst-Abbe-Straße 30, D-52249 Eschweiler  
☎ +49 (0)2403/70484-0 ☎ +49 (0)2403/70484-99  
E-Mail: info@wegenerwelding.de  
Internet: www.wegenerwelding.de

2 Hersteller von Halbzeugen  
Manufacturers of semi-finished products

▼ Platten aus thermoplastischen Kunststoffen  
Sheet made of thermoplastics 02010



**AGRU Kunststofftechnik GmbH**  
Ing. Pesendorfer-Straße 31, A-4540 Bad Hall  
☎ +43 7258 790  
E-Mail: sales@agru.at  
Internet: www.agru.at/de



**Röchling Engineering Plastics SE & Co. KG**  
Röchlingstraße 1, D-49733 Haren  
☎ +49 (0)5934 701-0 ☎ +49 (0)5934/701-299  
E-Mail: info@roechling-plastics.com  
Internet: www.roechling.com



**SIMONA AG**  
Teichweg 16, D-55606 Kirm  
☎ +49 (0)6752/14-0 ☎ +49 (0)6752/14-211  
E-Mail: mail@simona.de  
Internet: www.simona.de

▼ Rundstäbe aus thermoplastischen Kunststoffen  
Rod made of thermoplastics 02020



**AGRU Kunststofftechnik GmbH**  
Ing. Pesendorfer-Straße 31, A-4540 Bad Hall  
☎ +43 7258 790  
E-Mail: sales@agru.at  
Internet: www.agru.at/de



**Röchling Engineering Plastics SE & Co. KG**  
Röchlingstraße 1, D-49733 Haren  
☎ +49 (0)5934 701-0 ☎ +49 (0)5934/701-299  
E-Mail: info@roechling-plastics.com  
Internet: www.roechling.com



**SIMONA AG**  
Teichweg 16, D-55606 Kirm  
☎ +49 (0)6752/14-0 ☎ +49 (0)6752/14-211  
E-Mail: mail@simona.de  
Internet: www.simona.de

▼ Profile (U-Profile, Hohlprofile) aus thermoplastischen Kunststoffen  
Profiles (U-profiles, square tubes) made of thermoplastics 02030



**Röchling Engineering Plastics SE & Co. KG**  
Röchlingstraße 1, D-49733 Haren  
☎ +49 (0)5934 701-0 ☎ +49 (0)5934/701-299  
E-Mail: info@roechling-plastics.com  
Internet: www.roechling.com



**SIMONA AG**  
Teichweg 16, D-55606 Kirm  
☎ +49 (0)6752/14-0 ☎ +49 (0)6752/14-211  
E-Mail: mail@simona.de  
Internet: www.simona.de

▼ Schweißdraht aus thermoplastischen Kunststoffen  
Welding rod made of thermoplastics 02040



**AGRU Kunststofftechnik GmbH**  
Ing. Pesendorfer-Straße 31, A-4540 Bad Hall  
☎ +43 7258 790  
E-Mail: sales@agru.at  
Internet: www.agru.at/de



**Röchling Engineering Plastics SE & Co. KG**  
Röchlingstraße 1, D-49733 Haren  
☎ +49 (0)5934 701-0 ☎ +49 (0)5934/701-299  
E-Mail: info@roechling-plastics.com  
Internet: www.roechling.com



**SIMONA AG**  
Teichweg 16, D-55606 Kirm  
☎ +49 (0)6752/14-0 ☎ +49 (0)6752/14-211  
E-Mail: mail@simona.de  
Internet: www.simona.de

▼ Rohre und Formteile  
Pipes and Fittings 02050



**AGRU Kunststofftechnik GmbH**  
Ing. Pesendorfer-Straße 31, A-4540 Bad Hall  
☎ +43 7258 790  
E-Mail: sales@agru.at  
Internet: www.agru.at/de



**SIMONA AG**  
Teichweg 16, D-55606 Kirm  
☎ +49 (0)6752/14-0 ☎ +49 (0)6752/14-211  
E-Mail: mail@simona.de  
Internet: www.simona.de



▼ Fertigteile  
Finished Components 02060

**Röchling**

Röchling Engineering Plastics  
SE & Co. KG  
Röchlingstraße 1, D-49733 Haren  
☎ +49 (0)5934 701-0 ☎ +49 (0)5934/701-299  
E-Mail: info@roechling-plastics.com  
Internet: www.roechling.com

**SIMONA**

SIMONA AG  
Teichweg 16, D-55606 Kim  
☎ +49 (0)6752/14-0 ☎ +49 (0)6752/14-211  
E-Mail: mail@simona.de  
Internet: www.simona.de

4 Messen und Prüfen  
Measuring and testing

▼ Funkenprüfgeräte  
Sparktester 04010

**WEGENER**

Wegener International GmbH  
Ernst-Abbe-Straße 30, D-52249 Eschweiler  
☎ +49 (0)2403/70484-0 ☎ +49 (0)2403/70484-99  
E-Mail: info@wegenerwelding.de  
Internet: www.wegenerwelding.de

▼ Prüflabore  
Testing laboratories 04030

**DVS SLV MÜNCHEN**

GSI – Gesellschaft für Schweißtechnik International mbH  
Niederlassung SLV München  
Schachenmeiserstraße 37, 80636 München  
☎ +49 89 126 802 - 0 ☎ +49 89 123 939 - 11  
E-Mail: info@slv-muenchen.de  
Internet: www.slv-muenchen.de

5 Mechanisches Fügen von Kunststoffen  
Mechanical joining of plastic

▼ Kunststoff-Nietanlagen  
Plastic joining by hot forming 05010

**LEISTER**

Leister Technologies Deutschland GmbH  
Rohrstr. 16, D-58093 Hagen  
☎ +49 2331 9594 0  
E-Mail: info.de@leister.com  
Internet: www.leister.de

6 Kleben von Kunststoffen  
Adhesive bonding of plastics

▼ MMA Methacrylat-Klebstoffe  
MMA methyl methacrylate adhesives 06020

**WEICON**

WEICON GmbH & Co. KG  
Königsberger Straße 255, D-48157 Münster  
☎ +49 (0)251/9322-0 ☎ +49 (0)251/9322-244  
E-Mail: info@weicon.de  
Internet: www.weicon.com

7 Ausbildung, Weiterbildung und Prüfung  
Education, further training and examination

▼ Ausbildung, Weiterbildung, Prüfung  
Education, further training, examination 07020

**SKZ**  
Das Kunststoff-Zentrum

SKZ - KFE gGmbH  
Praxislehrgänge  
Frankfurter Straße 15-17, D-97082 Würzburg  
☎ +49 (0)931/4104-184 ☎ +49 (0)931/4104-277  
E-Mail: training@skz.de  
Internet: www.skz.de

**DVS SLV MÜNCHEN**

GSI – Gesellschaft für Schweißtechnik International mbH  
Niederlassung SLV München  
Schachenmeiserstraße 37, 80636 München  
☎ +49 89 126 802 - 0 ☎ +49 89 123 939 - 11  
E-Mail: info@slv-muenchen.de  
Internet: www.slv-muenchen.de

**GSI SLV**  
Nord

SLV Nord gGmbH  
Zum Handwerkszentrum 1, D-21079 Hamburg  
☎ +49 (0)40/35905-400 ☎ +49 (0)40/35905-722  
E-Mail: info@slv-nord.de  
Internet: www.slv-nord.de

**TÜVRheinland®**  
Genau. Richtig.

TÜV Rheinland Industrie Service GmbH  
Kunststoff Kompetenzzentrum Mendig  
Am Flugplatz 17, 56743 Mendig  
☎ +49 2652 9343-725  
E-Mail: kunststofftechnik@de.tuv.com  
Internet: www.tuv.com

▼ Schweißfehlerbewertung nach DVS 2202  
Assessment of defects in welded joints according to DVS 2202 07040

**SKZ**  
Das Kunststoff-Zentrum

SKZ - KFE gGmbH  
Praxislehrgänge  
Frankfurter Straße 15-17, D-97082 Würzburg  
☎ +49 (0)931/4104-184 ☎ +49 (0)931/4104-277  
E-Mail: training@skz.de  
Internet: www.skz.de

▼ Schweißprüfungen nach DVS 2212-1  
Welding qualification test according to DVS 2212-1 07060

**DVS SLV MÜNCHEN**

GSI – Gesellschaft für Schweißtechnik International mbH  
Niederlassung SLV München  
Schachenmeiserstraße 37, 80636 München  
☎ +49 89 126 802 - 0 ☎ +49 89 123 939 - 11  
E-Mail: info@slv-muenchen.de  
Internet: www.slv-muenchen.de

**GSI SLV**  
Nord

SLV Nord gGmbH  
Zum Handwerkszentrum 1, D-21079 Hamburg  
☎ +49 (0)40/35905-400 ☎ +49 (0)40/35905-722  
E-Mail: info@slv-nord.de  
Internet: www.slv-nord.de

**TÜVRheinland®**  
Genau. Richtig.

TÜV Rheinland Industrie Service GmbH  
Kunststoff Kompetenzzentrum Mendig  
Am Flugplatz 17, 56743 Mendig  
☎ +49 2652 9343-725  
E-Mail: kunststofftechnik@de.tuv.com  
Internet: www.tuv.com

8 Dienstleistungen / Ingenieurbüros  
Services / Engineering consultants

▼ Produktprüfung, Schadensanalytik  
Product Testing, Damage Analysis 08010

**JOINTEC consulting**

JoinTec Consulting  
Ingenieurbüro Friedrich  
Wartburgstraße 70, 09126 Chemnitz  
☎ +49 371 235 375 85  
E-Mail: info@jointec-consulting.de  
Internet: www.jointec-consulting.de

**SKZ**  
Das Kunststoff-Zentrum

SKZ - Testing gGmbH  
Prüfung, Überwachung, Zertifizierung  
Friedrich-Bergius-Ring 22, D-97076 Würzburg  
☎ +49 (0)931/4104-0 ☎ +49 (0)931/4104-477  
E-Mail: testing@skz.de  
Internet: www.skz.de



**GSI – Gesellschaft für Schweißtechnik International mbH**  
**Niederlassung SLV München**  
 Schachenmeiserstraße 37, 80636 München  
 ☎ +49 89 126 802 - 0 ☎ +49 89 123 939 - 11  
 E-Mail: info@slv-muenchen.de  
 Internet: www.slv-muenchen.de

▼ Statische Berechnung  
 Structural analysis

08020



**Röchling Engineering Plastics**  
**SE & Co. KG**  
 Röchlingstraße 1, D-49733 Haren  
 ☎ +49 (0)5934 701-0 ☎ +49 (0)5934/701-299  
 E-Mail: info@roechling-plastics.com  
 Internet: www.roechling.com



**TÜV Rheinland Industrie Service GmbH**  
**Kunststoff Kompetenzzentrum Mendig**  
 Am Flugplatz 17, 56743 Mendig  
 ☎ +49 2652 9343-725  
 E-Mail: kunststofftechnik@de.tuv.com  
 Internet: www.tuv.com



**Ingenieurbüro Waltemath**  
 Furkastraße 3A, D-12107 Berlin  
 ☎ +49 (0)30/79700818 ☎ +49 (0)30/79700819  
 E-Mail: info@calveta.de  
 Internet: www.calveta.de

▼ Software  
 Software

08040



**Röchling Engineering Plastics**  
**SE & Co. KG**  
 Röchlingstraße 1, D-49733 Haren  
 ☎ +49 (0)5934 701-0 ☎ +49 (0)5934/701-299  
 E-Mail: info@roechling-plastics.com  
 Internet: www.roechling.com



**SIMONA AG**  
**SIMONA® SmartTank entwickelt durch LU Software**  
**Engineering GmbH, Dr.-Ing. Ingo Lukas**  
 Teichweg 16, D-55606 Kirn  
 ☎ +49 (0)6752/14-0 ☎ +49 (0)6752/14-211  
 E-Mail: mail@simona.de  
 Internet: www.simona.de



**Ingenieurbüro Waltemath**  
 Furkastraße 3A, D-12107 Berlin  
 ☎ +49 (0)30/79700818 ☎ +49 (0)30/79700819  
 E-Mail: info@calveta.de  
 Internet: www.calveta.de

▼ Engineering / Technische Beratung zu allen Verfahren  
 und Automatisierungslösungen 08060  
 Engineering / Technical advise for processes and automation



**Fischer Kunststoff-Schweißtechnik GmbH**  
 Meißnerstraße 5, D-37297 Berkatal  
 ☎ +49 5657 913021 ☎ +49 5657 8265  
 E-Mail: info@fischer-st.de  
 Internet: www.fischer-st.de



**JoinTec Consulting**  
**Ingenieurbüro Friedrich**  
 Wartburgstraße 70, 09126 Chemnitz  
 ☎ +49 371 235 375 85  
 E-Mail: info@jointec-consulting.de  
 Internet: www.jointec-consulting.de



**KLN Ultraschall AG**  
 Odenwaldstrasse 8, D-64646 Heppenheim  
 ☎ +49 (0)6252/14-0 ☎ +49 (0)6252/14-277  
 E-Mail: info@kln.de  
 Internet: www.kln.de

▼ Schweißen von Versuchsreihen und Vorserienmustern  
 und Kleinserien im Lohnauftrag 08080  
 Welding of test runs, pilot lots and small runs on a piece basis



**Evosys Laser GmbH**  
 Felix-Klein-Straße 75, 91058 Erlangen  
 ☎ +49 9131 4088-0  
 E-Mail: sales@evosys-laser.com  
 Internet: www.evosys-group.com



**Fischer Kunststoff-Schweißtechnik GmbH**  
 Meißnerstraße 5, D-37297 Berkatal  
 ☎ +49 5657 913021 ☎ +49 5657 8265  
 E-Mail: info@fischer-st.de  
 Internet: www.fischer-st.de

▼ Behälterberechnungsprogramm nach den DVS Standards  
 Tank calculation programme following DVS standards 08100



**Röchling Engineering Plastics**  
**SE & Co. KG**  
 Röchlingstraße 1, D-49733 Haren  
 ☎ +49 (0)5934 701-0 ☎ +49 (0)5934/701-299  
 E-Mail: info@roechling-plastics.com  
 Internet: www.roechling.com



**SIMONA AG**  
**SIMONA® SmartTank entwickelt durch LU Software**  
**Engineering GmbH, Dr.-Ing. Ingo Lukas**  
 Teichweg 16, D-55606 Kirn  
 ☎ +49 (0)6752/14-0 ☎ +49 (0)6752/14-211  
 E-Mail: mail@simona.de  
 Internet: www.simona.de



**Ingenieurbüro Waltemath**  
 Furkastraße 3A, D-12107 Berlin  
 ☎ +49 (0)30/79700818 ☎ +49 (0)30/79700819  
 E-Mail: info@calveta.de  
 Internet: www.calveta.de

9 Messen, Tagungen und Veranstaltungen  
 Trade fairs, conferences and events

▼ Seminare, Fachtagungen, Kongresse  
 Workshops, Symposia, Congresses 09010



**SKZ - KFE gGmbH**  
**Tagungen und Seminare**  
 Frankfurter Straße 15-17, D-97082 Würzburg  
 ☎ +49 (0)931/4104-164 ☎ +49 (0)931/4104-277  
 E-Mail: training@skz.de  
 Internet: www.skz.de

## Firmenindex / Index to Companies

Firma / Company	Produkt / Product
AGRU Kunststofftechnik GmbH	01110, 01140, 01320, 02010, 02020, 02040, 02050
Branson Ultraschall Emerson Industrial Automation	01060, 01080, 01100, 01110, 01140
CEMAS Germany GmbH	01040, 01060, 01080, 01085, 01090, 01100, 01110, 01140
Evosys Laser GmbH	01040, 08080
Fischer Kunststoff-Schweißtechnik GmbH	01060, 01070, 01100, 01160, 01260, 08060, 08080
FORSTHOFF GmbH	01240, 01280
FRANK GmbH	01140, 01220, 01280
Herrmann Ultraschalltechnik GmbH & Co KG	01080, 01085, 01090
HERZ GmbH Kunststoff- und Wärmetechnologie	01180, 01220, 01240, 01280
INGENIA GmbH	01080, 01140, 01310, 01320
JENOPTIK Automatisierungstechnik GmbH	01040
JoinTec Consulting Ingenieurbüro Friedrich	08010, 08060
KLN Ultraschall AG	01080, 01085, 01090, 01100, 01110, 01140, 01160, 01190, 01195, 08060
Leister Technologies Deutschland GmbH	01140, 01195, 01220, 01280, 05010

Firma / Company	Produkt / Product
LPKF WeldingEquipment GmbH	01040
MUNSCH Kunststoff-Schweißtechnik GmbH	01220
Eugen Riexinger GmbH & Co. KG	01110, 01140, 01240, 01310
RINCO ULTRASONICS AG	01080
Röchling Engineering Plastics SE & Co. KG	02010, 02020, 02030, 02040, 02060, 08020, 08040, 08100
SIMONA AG	02010, 02020, 02030, 02040, 02050, 02060, 08040, 08100
SKZ - KFE gGmbH	07020, 07040, 08010, 09010
GSI mbH Niederlassung SLV München	04030, 07020, 07060, 08010
Schweißtechnische Lehr- und Versuchs- anstalt Nord gGmbH	07020, 07060
SONOTRONIC Nagel GmbH	01080, 01090, 01140
TELSONIC AG	01080
TÜV Rheinland Industrie Service GmbH	07020, 07060, 08020
Ingenieurbüro Waltemath	08020, 08040, 08100
Wegener International GmbH	01140, 01180, 01220, 01240, 01280, 01310, 01320, 04010
WEICON GmbH & Co. KG	06020

# Produktliste / List of Products

## 1.1 Hersteller von Schweißmaschinen für die Serierfertigung / Manufacturers of welding machines for serial production

01020	Hochfrequenzschweißen / High frequency welding
01040	Laserstrahlschweißen / Laser welding
01060	Reibschweißen / Friction welding
01070	Zirkular-Reibschweißen / Circular friction welding
01080	Ultraschallschweißen / Ultrasonic welding
01081	Schulung im Bereich Schweißkonstruktion beim Ultraschallschweißen / Training in the field of weld seam design for ultrasonic welding
01085	Ultraschall-Fügesysteme / Ultrasonic bonding systems
01090	Ultraschall-Siegelsysteme / Ultrasonic sealing systems
01100	Vibrationsschweißen / Vibration welding
01110	Infrarotschweißen / Infrared welding
01120	Gas-Konvektionsschweißen / Gas-convection welding
01140	Heizelementschweißen / Heated tool welding
01150	Heizkontaktschweißen / Heat contact welding
01160	Rotationsschweißen / Rotation welding
01180	Plattenschweißen / Sheet welding
01185	Wärmeimpulsschweißen / Thermal impuls welding
01190	Warmverstemmen / Hot riveting
01195	Heiß-Luft-Vernieten / Hot Air Staking

## 1.2 Hersteller von Schweißmaschinen für den Apparate-, Behälter- und Rohrleitungsbau / Manufacturers of welding machines for the apparatus engineering, tank- and pipeline construction

01220	Extrusionschweißen / Extrusion welding
01240	Heizelementschweißen / Heated tool welding
01260	Rotationsschweißen / Rotation welding
01280	Wargasschweißen / Hot gas welding
01300	Heizwendelschweißen / Electro fusion welding
01310	Sondermaschinenbau / Special purpose machinery manufacture
01320	Heizelementstumpfschweißmaschinen / Hot plate butt welding machines

## 2 Hersteller von Halbzeugen / Manufacturers of semi-finished products

02010	Platten aus thermoplastischen Kunststoffen / Sheet made of thermoplastics
02020	Rundstäbe aus thermoplastischen Kunststoffen / Rod made of thermoplastics
02030	Profile (U-Profile, Hohlprofile) aus thermoplastischen Kunststoffen / Profiles (U-profiles, square tubes) made of thermoplastics
02040	Schweißdraht aus thermoplastischen Kunststoffen / Welding rod made of thermoplastics
02050	Rohre und Formteile / Pipes and Fittings
02060	Fertigteile / Finished Components

## 3 Rohstoffe und Hilfsstoffe / Raw and auxiliary materialsBezugsquellenverzeichnis Buyers guide

## 4 Messen und Prüfen / Measuring and testing

04010	Funkenprüfgeräte / Sparktester
04020	Ionisationsgeräte / Antistatic equipment

## 5 Mechanisches Fügen von Kunststoffen / Mechanical joining of plastic

05010	Kunststoff-Nietanlagen / Plastic joining by hot forming
-------	---

## 6 Kleben von Kunststoffen / Adhesive bonding of plastics

06010	Acrylklebesysteme / Acrylic bonding systems
06020	MMA Methamethylacrylat-Klebstoffe / MMA methyl methacrylate adhesives

## 7 Ausbildung, Weiterbildung und Prüfung / Education, further training and examination

07020	Ausbildung, Weiterbildung, Prüfung / Education, further training, examination
07040	Schweißfehlerbewertung nach DVS 2202 / Assessment of defects in welded joints according to DVS 2202
07060	Schweißerprüfungen nach DVS 2212-1 / Welding qualification test according to DVS 2212-1

## 8 Dienstleistungen / Ingenieurbüros / Services / Engineering consultants

08010	Produktprüfung, Schadensanalytik / Product Testing, Damage Analysis
08020	Statische Berechnung / Structural analysis
08040	Software / Software
08060	Engineering / Technische Beratung zu allen Verfahren und Automatisierungslösungen / Engineering / Technical advise for processes and automation
08080	Schweißen von Versuchsreihen und Vorserienmustern und Kleinserien im Lohnauftrag / Welding of test runs, pilot lots and small runs on a piece basis
08100	Behälterberechnungsprogramm nach den DVS Standards / Tank calculation programme following DVS standards

## 9 Messen, Tagungen und Veranstaltungen / Trade fairs, conferences and events

09010	Seminare, Fachtagungen, Kongresse / Workshops, Symposia, Congresses
-------	---

## 10 Produkte aus Kunststoff / Products of plastic

10010	Abluftwäscher / Exhaust air scrubber
10020	Behälter aus Kunststoff / Containers in plastic
10030	Ventilatoren aus Kunststoff / Plastic fans

# Preisliste/Pricelist

## PRINT + ONLINE

Auflage: 4.000 Exemplare/  
 Circulation: 4,000 copies  
 Erscheinung: 3 x jährlich/  
 Frequency: 3 issues per annum  
 Sprache: Deutsch/Englisch/  
 Language: German/English

### Jetzt mit verbesserter Internetpräsenz!

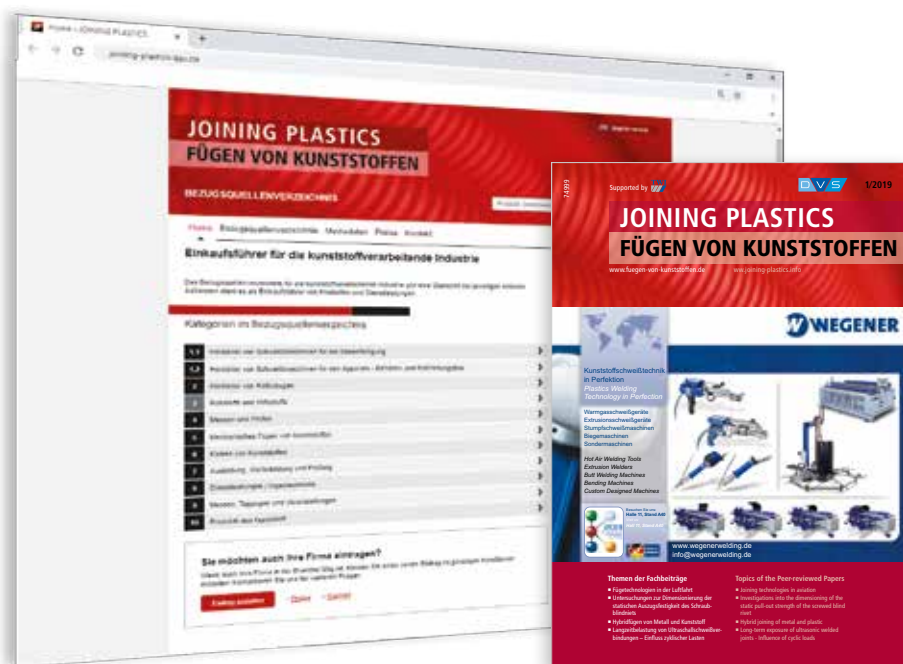
Ihr kompletter Firmeneintrag inklusive Logo und Verlinkung zu Ihrer Homepage erscheint auf [www.joining-plastics-bzv.de](http://www.joining-plastics-bzv.de) und das komplett **ohne zusätzliche Kosten**.

Die neue Online-Präsenz verdoppelt die Reichweite Ihrer Werbemaßnahmen.

### Now with improved internet presence!

Your complete company entry including logo and linking to your homepage appears at [www.joining-plastics-bzv.de/en](http://www.joining-plastics-bzv.de/en) and that **without any additional costs** whatever.

The new online presence doubles the range of your advertising measures.



## Die Vorteile auf einen Blick/The advantages at a glance:

- ✔ **Für jeden etwas dabei/Something for everyone:**  
 Der Branchenführer ist nach 11 thematisch unterteilten Hauptgruppen mit zahlreichen relevanten Stichwörtern sortiert/Organised topically into 11 main groups with numerous relevant keywords
- ✔ **Zielsicher/Directed:** Die klare Gliederung führt den Benutzer schnell und treffsicher ans Ziel/the precise classification leads the user to a result accurately
- ✔ **Alles auf einen Blick/At a glance:** Jeder Eintrag umfasst die vollständige Firmenanschrift inklusive E-Mail- und Internet-Adresse/Complete listing of your entries including email and Internet address
- ✔ **Länderübergreifende Kontakte/Cross-national contacts:** Die Veröffentlichung in unserer zweisprachigen Zeitschrift ermöglicht Ihnen eine Kontaktaufnahme auch über Deutschlands Grenzen hinaus/The bilingual magazine offers the opportunity to develop new international contacts
- ✔ **Kosten sparen/Save costs:** Wir bieten Ihnen attraktive Staffelpreise nach Anzahl der Stichwörter/Attractive scale prices on basis of number of keywords
- ✔ **Zusätzlich und kostenfrei/In addition and at no charge:** Der Eintrag im Internet unter [www.joining-plastics-bzv.de](http://www.joining-plastics-bzv.de) und mit einer Verlinkung zu Ihrer Homepage/Your entry on the internet on [www.joining-plastics-bzv.de/en](http://www.joining-plastics-bzv.de/en) with a link to your homepage
- ✔ **Kostenlose Veröffentlichung Ihres Firmenlogos im Internet unter [www.joining-plastics-bzv.de](http://www.joining-plastics-bzv.de) und in der Zeitschrift. Senden Sie Ihr Logo (jpg-Datei) an folgende E-Mail-Adresse: [vanessa.wollstein@dvs-media.info](mailto:vanessa.wollstein@dvs-media.info)/Free Publication of your company logo on the internet on [www.joining-plastics-bzv.de/en](http://www.joining-plastics-bzv.de/en) as well as in the magazine. Please send the logo (jpg-file) to: [vanessa.wollstein@dvs-media.info](mailto:vanessa.wollstein@dvs-media.info)**
- ✔ **Beginn der Einträge jeden Monat möglich (Abgabe-Termin: 15. des Vormonats)/Start of entries is possible in each month (deadline: the 15<sup>th</sup> of the previous month)**

Ihre Ansprechpartnerin:  
 Your contact person:  
 Vanessa Wollstein



DVS Media GmbH  
 Postfach 10 19 65, 40010 Düsseldorf  
 P: +49 211 1591-152  
 F: +49 211 1591-150  
 E-Mail: [vanessa.wollstein@dvs-media.info](mailto:vanessa.wollstein@dvs-media.info)  
 Internet: [www.dvs-media.eu](http://www.dvs-media.eu)

## Preise/Prices:

Anzahl der Stichwörter Number of keywords	Kosten pro Jahr/pro Stichwort in EUR* Costs per annum/per keyword in EUR*
1	75,00
2 – 5	70,00
6 – 10	65,00
ab/from 11	60,00

\* Auf alle Preise wird die derzeitige MwSt. erhoben.

\* The prices are subject to VAT.

# Bestellformular/ Order

Ja, bitte veröffentlichen Sie den folgenden Eintrag im Bezugsquellenverzeichnis:

Yes, please publish the following entry in the buyers guide:

---

Firma/ Company

---

Straße, Hausnummer bzw. Postfach/ Street Address - P.O. Box

---

PLZ, Wohnort/ Postal Code, City

---

Telefon/ Phone

Fax

---

E-Mail/ email

Internet

Hauptgruppe bitte ankreuzen:/ Please mark the main group:

- 1.1 Hersteller von Schweißmaschinen für die Serienfertigung/ Manufacturers of welding machines for the serial production
- 1.2 Hersteller von Schweißmaschinen für den Apparate-, Behälter- und Rohrleitungsbau/ Manufacturers of apparatus engineering, tank- and pipeline construction
- 2 Hersteller von Halbzeugen/ Manufacturers of semi-finished products
- 3 Rohstoffe und Hilfsstoffe/ Raw and auxiliary materials
- 4 Messen und Prüfen/ Measuring and testing
- 5 Mechanisches Fügen von Kunststoffen/ Mechanical joining of plastics
- 6 Kleben von Kunststoffen/ Adhesive bonding of plastics
- 7 Ausbildung, Weiterbildung und Prüfung/ Education, further training and examination
- 8 Dienstleistungen/ Ingenieurbüros/ Engineering consultants
- 9 Messen, Tagungen und Veranstaltungen/ Trade fairs, conferences and events
- 10 Produkte aus Kunststoff/ Products of plastic

Stichwörter/ Keywords:

- |          |          |
|----------|----------|
| 1. _____ | 4. _____ |
| 2. _____ | 5. _____ |
| 3. _____ | 6. _____ |

Für weitere Stichwörter bitte separates Blatt verwenden/ For further keywords please use a separate sheet

Die bereits bestehende Stichwörterliste kann mit neuen - zur Hauptgruppe passenden - Stichwörtern ergänzt werden.  
It's possible to add new keywords to the existing list of keywords (appropriate to the main group).

Die Einträge im Branchenführer erfolgen jeweils mit einer Laufzeit von 12 Monaten bis auf Widerruf.  
Abbestellungen werden zum Ende des jeweiligen Bezugsjahres unter Einhaltung einer Frist von 6 Wochen angenommen. Stichtag ist jeweils der 15. des Monats.  
The entries in the Industry Guide take place in each case with a term of 12 month until they are canceled.  
Discontinuation will be accepted at the end of a subscription year considering 6 weeks notice. Deadline is the 15<sup>th</sup> of each month.

Zusätzlich und kostenfrei: Der Eintrag im Internet unter [www.joining-plastics-bzv.de](http://www.joining-plastics-bzv.de), mit einer Verlinkung zu Ihrer Homepage sowie die Veröffentlichung Ihres Firmenlogos.  
Bitte senden Sie das Bestellformular mit Ihrem Logo (jpg-Datei) an folgende E-Mail Adresse: [vanessa.wollstein@dvs-media.info](mailto:vanessa.wollstein@dvs-media.info).  
In addition and at no charge: Your entry on the internet on [www.joining-plastics-bzv.de/en](http://www.joining-plastics-bzv.de/en) with a link to your homepage and also the Publication of your company logo.  
Please send the order formular with your logo (jpg-file) to: [vanessa.wollstein@dvs-media.info](mailto:vanessa.wollstein@dvs-media.info).

---

Ansprechpartner/ Contact person

---

Bestellzeichen/ Sign

---

Datum/ Date

Unterschrift/ Signature

Zeitraum Term	Titel Title	Ort Location	Veranstalter Organizer	Internet Internet
30.03.2022 - 31.03.2022	Schweißen von Kunststoffen	Würzburg	SKZ - KFE gGmbH	<a href="http://www.skz.de/bildung/kurs/schweissen-von-kunststoffen">www.skz.de/bildung/kurs/schweissen-von-kunststoffen</a>
31.03.2022 - 01.04.2022	SamuPlast 2022	Pordenone	Fiera di Pordenone S.p.A.	<a href="http://www.samuexpo.com/samuplast/en/">www.samuexpo.com/samuplast/en/</a>
05.04.2022 - 08.04.2022	FIP France Innovation Plasturgie 2022	Lyon	IDICE SAS	<a href="http://www.f-i-p.com/en/">www.f-i-p.com/en/</a>
03.05.2022 - 04.05.2022	Ultraschallschweißen in der Serienfertigung	Würzburg	SKZ - KFE gGmbH	<a href="http://www.skz.de/bildung/kurs/ultraschallschweissen-in-der-serienfertigung">www.skz.de/bildung/kurs/ultraschallschweissen-in-der-serienfertigung</a>
03.05.2022 - 05.05.2022	JEC World 2022	Paris	JEC-Journales and Exhibitions on Composites	<a href="http://www.jec-world.events/de/">www.jec-world.events/de/</a>
17.05.2022 - 18.05.2022	Ultraschall-Kunststoffschweißen	Leipzig	KUZ - Kunststoff-Zentrum in Leipzig gGmbH	<a href="http://www.kuz-leipzig.de/mitarbeiterschulung/details/ultraschall-kunststoffschweissen-2022-05-17/">www.kuz-leipzig.de/mitarbeiterschulung/details/ultraschall-kunststoffschweissen-2022-05-17/</a>
30.05.2022	Metall-Kunststoff-Verbindungen	Wuppertal	Technische Akademie Wuppertal e. V.	<a href="http://www.taw.de/entwicklung-und-konstruktion/metall-kunststoff-verbindungen">www.taw.de/entwicklung-und-konstruktion/metall-kunststoff-verbindungen</a>
30.05.2022 - 03.06.2022	IFAT 2022	München	Messe München GmbH	<a href="http://www.ifat.de">www.ifat.de</a>
15.06.2022	Kunststoffschweißen für Serienteile	Leipzig	KUZ - Kunststoff-Zentrum in Leipzig gGmbH	<a href="http://www.kuz-leipzig.de/mitarbeiterschulung/details/kunststoffschweissen-fuer-serienteile-2022-06-15/">www.kuz-leipzig.de/mitarbeiterschulung/details/kunststoffschweissen-fuer-serienteile-2022-06-15/</a>
20.06.2022 - 24.06.2022	Tube 2022	Düsseldorf	Messe Düsseldorf GmbH	<a href="http://www.tube.de/">www.tube.de/</a>
21.06.2022 - 22.06.2022	Würzburger Kunststoffrohr-Tagung	Würzburg	SKZ - KFE gGmbH	<a href="http://www.skz.de/bildung/tagung/wuerzburger-kunststoffrohr-tagung">www.skz.de/bildung/tagung/wuerzburger-kunststoffrohr-tagung</a>
23.06.2022 - 24.06.2022	25. EKT - Engelskirchener Kunststoff-Technologie-Tage 2022	Lindlar	Barlog Plastics GmbH	<a href="http://www.ektt.de/">www.ektt.de/</a>
30.06.2022 - 01.07.2022	25. Internationale Dresdner Leichtbausymposium	Dresden	Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik, TU Dresden	<a href="http://www.leichtbausymposium.de">www.leichtbausymposium.de</a>
05.09.2022 - 06.09.2022	International Symposium on Plastics Technology	Aachen	IKV - Institut für Kunststoffverarbeitung an der RWTH Aachen	<a href="http://www.ikv-aachen.de/veranstaltungen/symposium-kunststofftechnik/">www.ikv-aachen.de/veranstaltungen/symposium-kunststofftechnik/</a>
07.09.2022 - 08.09.2022	Internationales Kolloquium Kunststofftechnik 2022	Aachen	IKV - Institut für Kunststoffverarbeitung an der RWTH Aachen	<a href="http://www.ikv-aachen.de/veranstaltungen/kolloquium/">www.ikv-aachen.de/veranstaltungen/kolloquium/</a>
19.09.2022 - 23.09.2022	DVS course for plastics welders, Test Group 1	Würzburg	SKZ - KFE gGmbH	<a href="http://www.skz.de/bildung/kurs/dvs-course-for-plastics-welders-test-group-1-according-to-dvs-2281">www.skz.de/bildung/kurs/dvs-course-for-plastics-welders-test-group-1-according-to-dvs-2281</a>
26.09.2022 - 30.09.2022	DVS course for plastics welders, Test Group 2	Würzburg	SKZ - KFE gGmbH	<a href="http://www.skz.de/bildung/kurs/dvs-course-for-plastics-welders-test-group-2-according-to-dvs-2282">www.skz.de/bildung/kurs/dvs-course-for-plastics-welders-test-group-2-according-to-dvs-2282</a>
19.10.2022 - 26.10.2022	K 2022	Düsseldorf	Messe Düsseldorf GmbH	<a href="http://www.k-online.de/">www.k-online.de/</a>

Inserentenverzeichnis JOINING PLASTICS – FÜGEN VON KUNSTSTOFFEN		
Advertiser listing JOINING PLASTICS – FÜGEN VON KUNSTSTOFFEN		
AGRU Kunststofftechnik GmbH	Bad Hall/A	11
DVS Media GmbH	Düsseldorf/D	12, 18, 19, 35, 51
Fischer Kunststoff-Schweißtechnik GmbH	Berkatal/D	16
Forsthoff GmbH	Solingen/D	27
Frank GmbH	Mörfelden-Walldorf	15
Frimo Group GmbH	Lotte/D	5
HSK Kunststoff Schweißtechnik GmbH	Bad Honnef/D	10
INGENIA GmbH	Altlay/D	2. Umschlagseite/IFC
Leister Technologies AG	Kaegiswil/CH	7, 9
MUNSCH Kunststoff-Schweißtechnik GmbH	Ransbach-Baumbach/D	13
ProByLas AG	Root/CH	43
RINCO ULTRASONIC AG	Romanshorn/CH	17
RITMO S.p.A.	Bressio di Teolo Padova/I	14
Röchling Engineering Plastics SE & Co.KG	Haren/D	4.Umschlagseite / BC
tgm Fachbereich Kunststoff- und Umwelttechnik	Wien/A	43
Wegener International GmbH	Eschweiler/D	Titel/Front Cover

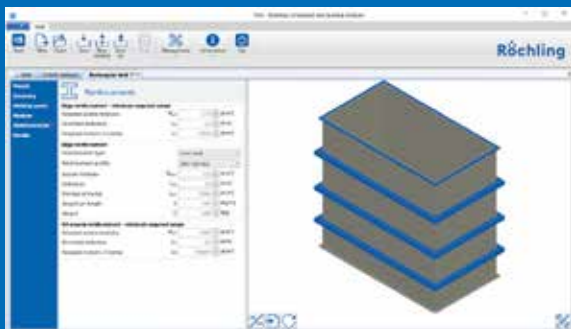


# RITA<sup>®</sup> 5.0

Completely  
new  
developed!

## Röchling's Integrated Tank building Assistant

The tank calculation software RITA<sup>®</sup> has been used for almost 20 years to perform calculations as part of the structural analysis of tanks made of thermoplastics. RITA<sup>®</sup> 5.0 is a completely newly developed version of the software based on the latest technology and combines the proven advantages of the successful software with a number of other useful new features.



3D Viewer: One of the most striking innovations of RITA<sup>®</sup> 5.0 is the 3D Viewer, providing a three-dimensional view of the tank



2D view: The user can switch between the 3D view and the 2D sketch at any time.

### The most important new features in RITA<sup>®</sup> 5.0:

- A three-dimensional preview of the tank via a 3D viewer
- Easy switch between 3D view and 2D sketch with dimensions
- Calculation of rectangular tanks from Polystone<sup>®</sup> P CubX<sup>®</sup>
- Calculation of tanks with a conical or sloped bottom for installation in earthquake areas
- Consideration of the latest draft of the DVS guideline 2205-5 for the calculation of rectangular tanks

**Contact:** [RITA@roebling-plastics.com](mailto:RITA@roebling-plastics.com)

**Röchling Industrial SE & Co. KG**

Röchlingstr. 1 | 49733 Haren | Germany | T +49 5934 701-0

More information  
here:

