

JOINING PLASTICS

FÜGEN VON KUNSTSTOFFEN

www.joining-plastics.info

MUNSCH

Welding together.

Your project relies on perfect connections. At MUNSCH you'll find equipment built for uncompromising precision—and a service partnership as strong as a good weld.

Visit us
@ K2025
Düsseldorf
Hall 11 / H26

munschwelding.com

Themen der Fachbeiträge

- Prozessoptimierung der Fügephase beim Heizelementschweißen von Polyethylen
- Ambossfreies Ultraschallschweißen für nur einseitig zugängliche Schweißsituationen
- Analyse von Schweißverbindungen mittels neuartiger nanoskaliger IR-Spektroskopie
- Laserdurchstrahlschweißen mit angepassten Intensitätsverteilungen

Topics of the Peer-reviewed Papers

- Process Optimisation of the Joining Phase in Heated Tool Welding of Polyethylene
- Anvil-Free Ultrasonic Welding for Welding Situations With Accessibility From One Side
- Analysis of Welded Joints by Using Novel Nanoscale IR Spectroscopy
- Laser Transmission Welding With Intensity Distributions

Kunststoffschweißtechnik in Perfektion

Plastics welding technology in perfection



Warmgasschweißgeräte

Hot Air Welding Tools



The all new

Duratherm3 / Autotherm4

Airtherm2 1300/1500

Exotherm

Extrusionsschweißgeräte

Extruder Welders



EXWELD aero

EXWELD beta4 EC

EXWELD sigma4 SC TWISTY

Schweiß- und Biegemaschinen

Welding and Bending Machines



MWD
Die Manuelle
The manual



SM 348
Der Allrounder
The all-rounder



ST 425
Die Effiziente
The efficient



BV 306
Die Kompakte
The compact

Innovativer Sondermaschinenbau

Innovativ Custom Designed Machinery

Automatisiertes Warmgas- oder Extrusionsschweißen
automated hot gas or extrusion welding





Quelle/Source: TU Chemnitz, Jacob Müller

Liebe Leserin, lieber Leser, Dear Reader,

die Welt der Kunststofffügetechnik ist zuletzt leider kleiner geworden. Mit dem Kunststoff-Zentrum Leipzig (KUZ) haben wir eine renommierte Forschungseinrichtung verloren, die über Jahrzehnte hinweg die Fügetechnik sowohl wissenschaftlich als auch anwendungsorientiert mit vorangetrieben hat. Gleichzeitig mussten auch traditionsreiche Unternehmen ihre Türen schließen – Verluste an Know-how und Expertise, die die Branche schmerhaft treffen.

Diese Entwicklungen fallen in eine Zeit, in der auch die Wissenschaftslandschaft unter Druck steht, der Kampf der Forschungseinrichtungen um ihre Finanzierung wird immer herausfordernder. Parallel dazu sehen sich Unternehmen mit volatilen Märkten, steigenden Energiekosten und sich wandelnden regulatorischen Anforderungen konfrontiert.

Doch gerade in dieser herausfordernden Situation liegt auch eine Chance. Wenn einzelne Akteure an ihre Grenzen stoßen, wird die Zusammenarbeit zur Überlebensstrategie. Die Aufgaben, vor denen die Kunststofffügetechnik steht, sind zu komplex und zu dringend, um sie im Alleingang zu bewältigen. Nachhaltigkeit bleibt ein zentrales Thema unserer Zeit, auch wenn dies aufgrund anderer Themen in der öffentlichen Wahrnehmung zuletzt etwas weniger präsent gewesen sein mag. Wie integrieren wir Rezyklate in unsere Schweißprozesse, ohne die Nahtegenschaften oder die Wirtschaftlichkeit des Fügeprozesses zu beeinträchtigen? Wie gestalten wir gefügte Bauteile so, dass sie am Ende ihres Lebenszyklus gut recycelbar sind? Diese Fragen erfordern neue Ansätze für Werkstoff, Prozess und Konstruktion – eine Forschungsaufgabe, die Wissenschaft und Industrie gemeinsam erschließen können.

Digitalisierung und Künstliche Intelligenz eröffnen weitere Innovationsmöglichkeiten. Intelligente Algorithmen könnten Schweißprozesse optimieren und Routine-Tätigkeiten automatisieren. Hier treffen universitäre Grundlagenforschung und industrielle Anwendungserfahrung aufeinander – eine Kombination mit innovativem Potenzial.

Was wir brauchen, sind gemeinsame Forschungsprojekte, geteilte Infrastrukturen und interdisziplinäre Arbeitsgruppen. Dabei geht es um die Vernetzung von Kompetenzen und Perspektiven.

Die diesjährige K-Messe bietet eine hervorragende Plattform, um neue Partnerschaften zu initiieren und bestehende Kooperationen zu vertiefen. Nutzen wir diese Gelegenheit, um die Weichen für eine gemeinsame Zukunft zu stellen. Lassen Sie uns die Chance ergreifen, die Kunststofffügetechnik durch verstärkte Zusammenarbeit zu stärken. Die Herausforderungen sind groß – aber ich bin überzeugt, dass sie lösbar sind, wenn wir sie gemeinsam angehen.

Unfortunately, the world of plastics joining technology has recently become smaller. With the Kunststoff-Zentrum Leipzig (KUZ), we have lost a renowned research institution that, over decades, significantly advanced joining technology both scientifically and with a practical focus. At the same time, traditional companies also had to close their doors – losses of know-how and expertise that hit the industry painfully.

These developments are occurring at a time when the scientific landscape is also under pressure and research institutions are increasingly struggling to secure funding. In parallel, companies are faced with volatile markets, rising energy costs and changing regulatory requirements.

Yet it is precisely in this challenging situation that an opportunity lies. When individual players reach their limits, collaboration becomes a survival strategy. The tasks of plastics joining technology are too complex and too urgent to be solved alone.

Sustainability remains a central issue of our time, even if it may have received somewhat less public attention recently due to other topics. How can we integrate recyclates into our welding processes without compromising the seam properties or the economic efficiency of the joining process? How can we design joined components in such a way that they are easily recyclable at the end of their life cycle? These questions require new approaches to materials, processes and design – a research challenge that science and industry can tackle together.

Digitalisation and artificial intelligence offer further opportunities for innovation. Intelligent algorithms could optimise welding processes and automate routine tasks. This is where academic basic research and industrial application experience come together – a combination with innovative potential.

What we need are joint research projects, shared infrastructures and interdisciplinary working groups. It is about the interconnectivity of competencies and perspectives.

This year's K trade fair provides an excellent platform to initiate new partnerships and deepen existing collaborations. Let us take this opportunity to set the course for a shared future.

Let us seize the opportunity to strengthen plastics joining technology through increased cooperation. The challenges are considerable – but I am convinced that they are solvable, if we tackle them together.

Prof. Dr.-Ing. Andreas Seefried

Leiter der Professur Kunststofftechnik
Technische Universität Chemnitz

Professor of Polymer Technology
Chemnitz University of Technology

Autor Author	Seite Page
Arndt, Theresa	166
Behrens, Stefan	190
Bonhoff, Annika	190
Bonten, Christian	182
Brosda Flockenhaus, Maximilian	190
Bussek, Thomas	190
Dahlmanns, Jacqueline	190
Dreier, Julia	182
Friedrich, Fabian	175
Holly, Carlo	190
Olowinsky, Alexander	190
Schöppner, Volker	166
Seefried, Andreas	175
Seyfang, Robert	182

Aktuelles

- 138** 15 Jahre Engagement für das Kunststofffügen – ein Interview mit Thomas Frank über seine Zeit als Obmann der AG W 4
- 142** K 2025 – ein Überblick zu Themen, Formaten und neuen Angeboten

Aus der Forschung

- 144** Terahertz- und Radartechnologien als zuverlässige Verfahren zur Inline-Qualitätssicherung bei der Klebstoffaushärtung
- 149** PFAS-freie Alternativen – Projektstart am Kunststoff-Institut Lüdenscheid

Aus Unternehmen

- 150** 50 Prozent Frauenanteil beim Maschinenbauer Deguma
- 152** Herrmann Ultraschall präsentiert neue Fokus-Teams auf der K-Messe
- 152** Neuer Name: Panacol wird Hoenle Adhesives GmbH

Produkte

- 153** Plasmateat auf der K: Neue Kunststoffkombinationen durch Plasmaaktivierung
- 154** Neue Entwicklungen in der Ultraschalltechnik: Sonotronic auf der K
- 157** aquatherm: Neue Maßstäbe in der Kunststoffschweißtechnik
- 158** Rinco Ultrasonics mit neuen Maschinengenerationen auf der K 2025
- 160** Excelitas auf der K: Infrarot-Systeme zum Schweißen
- 160** Asahi Kasei auf der K 2025: PFAS-freie Polyamide und Recyclingtechnologie für Endloskohlefasern

Berichte

- 162** Polymer Stir Welding eröffnet neue Möglichkeiten in der Herstellung hybrider Bauteile

Fachbeiträge

- 166** Ambossfreies Ultraschallschweißen für nur einseitig zugängliche Schweißsituationen
Bereich Kunststofftechnik der Universität Paderborn (KTP)
- 175** Prozessoptimierung der Fügephase beim Heizelementschweißen von Polyethylen hoher Wanddicken
Professur Kunststofftechnik am Institut für Fördertechnik und Kunststoffe der Technischen Universität Chemnitz
- 182** Analyse von Schweißverbindingen mittels neuartiger nanoskaliger IR-Spektroskopie
Institut für Kunststofftechnik (IKT) der Universität Stuttgart
- 190** Laserdurchstrahlschweißen mit werkstoff- und bauteilangepassten Intensitätsverteilungen
Lehrstuhl für Technologie Optischer Systeme TOS an der RWTH Aachen
Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT

Weitere Rubriken

- 197** Bezugsquellenverzeichnis
- 208** Impressum
- 210** Veranstaltungsübersicht
- 210** Inserentenverzeichnis

News

- 138** 15 Years of Commitment to Plastics Joining – an Interview With Thomas Frank About His Time as Chairman of Working Group W 4
- 142** K 2025 – an Overview of Topics, Formats and New Features

From Research

- 144** Terahertz and Radar Technologies As Reliable Methods for Inline Quality Assurance in Adhesive Curing
- 149** PFAS-Free Alternatives – Project Launch at Kunststoff-Institut Lüdenscheid

From Companies

- 150** 50 Percent Female Workforce at Deguma
- 152** Herrmann Ultraschall Presents New Focus Teams at K 2025
- 152** New Name: Panacol Now Hoenle Adhesives GmbH

Products

- 153** Plasmateat at K: New Plastic Combinations Enabled by Plasma Activation
- 154** New Developments in Ultrasonic Technology: Sonotronic at K 2025
- 157** aquatherm: New Standards in Plastic Welding Technology
- 158** Rinco Ultrasonics With New Machine Generations at K 2025
- 160** Excelitas at K: Infrared Systems for Welding
- 160** Asahi Kasei at K 2025: PFAS-Free Polyamides and Recycling Technology for Continuous Carbon Fibres

Reports

- 162** Polymer Stir Welding opens up New Possibilities in the Production of Hybrid Components

Peer-reviewed Papers

- 166** Anvil-Free Ultrasonic Welding for Welding Situations With Accessibility From One Side Only
Plastics Technology Department at Paderborn University (KTP)
- 175** Process Optimisation of the Joining Phase in Heated Tool Welding of High-Wall-Thickness Polyethylene
Chair of Polymer Technology at the Institute for Materials Handling and Plastics at the Chemnitz University of Technology
- 182** Analysis of Welded Joints by Using Novel Nanoscale IR Spectroscopy
Institute for Plastics Technology (IKT) at the University of Stuttgart
- 190** Laser Transmission Welding With Intensity Distributions Adjusted to the Materials and the Components
Chair for Technology of Optical Systems TOS at RWTH Aachen and Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT

Regular Features

- 197** Buyers guide
- 208** Imprint
- 210** Meeting Diary
- 210** Advertiser listing

Mit Leichtigkeit
schweißen.



NEU



polymax

Unsere neue **polymax** ist ein leistungsstarkes Heizwendelschweißgerät mit innovativem Design und geringem Gewicht. Durch die spezielle Gehäuseform kann die **polymax** so aufgestellt werden, dass das Display in jeder Arbeitsposition gut ablesbar ist. Dies erleichtert das Schweißen unter begrenzten Platzverhältnissen, z. B. im Graben. Optional kann unsere kostenlose EFS-App zur Steuerung und Dokumentation bzw. Qualitätssicherung des Schweißprozesses eingesetzt werden. Selbstverständlich ist auch weiterhin eine Datenausgabe über USB möglich. Die **polymax** ist ein innovatives Schweißgerät, dass das Schweißen und Protokollieren erheblich erleichtert.

Haben Sie Fragen?
Wir beraten Sie gerne.

T +49 6105 4085 - 158
www.frank-gmbh.de



mehr Infos

15 Jahre Engagement für das Kunststofffügen – ein Interview mit Thomas Frank über seine Zeit als Obmann der AG W 4

15 Years of Commitment to Plastics Joining – an Interview With Thomas Frank About His Time as Chairman of Working Group W 4

Thomas Frank war über eineinhalb Jahrzehnte lang Obmann der DVS-Arbeitsgruppe W 4, die für das Regelwerk zum Kunststofffügen verantwortlich ist. In dieser Zeit hat er nicht nur das technische Regelwerk maßgeblich mitgestaltet, sondern auch zahlreiche Richtlinien begleitet und fachlich mitverantwortet. Im Interview spricht er über seine Aufgaben als Vorsitzender, den internationalen Stellenwert des DVS-Regelwerks und die aktuellen Entwicklungen im Bereich der Kunststofffügetechnik.

Herr Frank, wie kamen Sie zu diesem Ehrenamt und worin bestanden Ihre Aufgaben?

Seit meiner Studienarbeit bei der damaligen Hoechst AG, die sich mit der Korrelation des 4-Punkt-Biegeversuchs mit den Langzeitergebnissen aus dem Zeitstandzugversuch befassste, hatte ich Kontakt mit dem DVS. Damals durfte ich die Ergebnisse in der Arbeitsgruppe AG W 4.3b, die sich unter anderem mit Kennwerten beschäftigt, präsentieren. Dieser Arbeitsgruppe bin ich heute noch als stellvertretender Obmann eng verbunden. Der Kontakt zum DVS riss auch nach meinem Studium nie ab und mit dem Ausscheiden des damaligen AG W 4 Obmanns Dr. Joachim Hessel, dessen Stellvertreter ich zu der Zeit war, trat ich seine Nachfolge an.

Neben der Koordination der einzelnen Arbeitsgruppen, die vor allem beim jährlichen Obleutetreffen und der AG W 4 Tagung mit allen Arbeitskreismitgliedern stattfindet, ist der Obmann für die Richtlinienfreigabe und die Koordination (sowie das Vorwort) des Fachbuchs verantwortlich.

Mit den rund 250 Mitarbeitern in den verschiedenen Arbeitsgruppen sind die Kunststoffschweißer für etwa 30 Prozent aller neuen Richtlinien beim DVS verantwortlich. Diese Richtlinien sind weltweit anerkannt und werden in vielen Ländern vorgeschrieben oder in nationale und internationale Normen übertragen. Das jährlich im Wechsel Deutsch und Englisch erscheinende Handbuch ist das weltweite Standardwerk zum Fügen von Kunststoffen.

Worin sehen Sie den Mehrwert in der Gremienarbeit im DVS?

Was ist der Mehrwert für die Mitglieder der Arbeitsgruppe?

Für die Arbeitsgruppenmitglieder bietet das Engagement Einblick in aktuelle und künftige Themen. Sie erfahren frühzeitig, woran andere Experten arbeiten und welche Herausforderungen sich in Zukunft abzeichnen. Diese Vorausschau kann auch strategisch im eigenen Unternehmen genutzt werden. Auch kritische oder heikle Themen (z. B. technische Mängel, Ungereimtheiten in Normen oder Begriffsklärungen) können offen diskutiert werden – ohne Konkurrenzdenken und unter Wahrung der kartellrechtlichen Leitlinien des DVS. Darüber hinaus können die Arbeitsgruppenmitglieder technische Entwicklungen mitgestalten. In den Arbeitsgruppen werden praxisrelevante Richtlinien erarbeitet, die später für die Industrie maßgeblich sind. Mitglieder haben damit unmittelbaren Einfluss auf den Stand der Technik und können aktuelle Trends lenken. Hierdurch profitieren auch die Unternehmen, welche Mitarbeiter für die

Thomas Frank was Chairman of the DVS Working Group W 4, which is responsible for the set of technical codes on plastics joining, for more than one and a half decades. During this time, he not only played a key role in shaping the technical code but also accompanied numerous guidelines and was jointly responsible for their technical content. In the interview he speaks about his tasks as chairman, the international significance of the DVS technical code and current developments in the field of plastics joining technology.

Mr Frank, how did you come to take on this honorary position and what were your tasks?

Since my thesis at the former Hoechst AG, which dealt with the correlation of the 4-point bending test with the long-term results from the creep tensile test, I had contact with the DVS. At that time, I was allowed to pres-

ent the results in Working Group AG W 4.3b, which deals, among other things, with characteristic values. I am still closely connected to this working group today as deputy chairman. My contact with the DVS never broke off after my studies and, when the then chairman of AG W 4, Dr Joachim Hessel, stepped down, I, who was his deputy at the time, succeeded him.

In addition to coordinating the individual working groups, which mainly takes place at the annual chairmen's meeting and the AG W 4 conference with all members of the working committee, the chairman is responsible for the approval of the guidelines and the coordination (as well as the foreword) of the technical manual. With around 250 members in the various working groups, plastics welders are responsible for about 30 % of all new guidelines at the DVS. These guidelines are recognised worldwide and are prescribed in many countries or transferred into national and international standards. The handbook, which is published annually in alternation in German and English, is the global standard work on the joining of plastics.

Where do you see the added value of committee work in the DVS? What is the added value for the members of the working group?

For the members of the working groups, involvement provides insights into current and future topics. They learn at an early stage what other experts are working on and what challenges are emerging for the future. This foresight can also be used strategically in one's own company. Even critical or sensitive topics (e.g. technical deficiencies, inconsistencies in standards or clarifications of terms) can



Dipl.-Ing. Thomas Frank, Geschäftsführer der Frank GmbH, war bis 2025 über 15 Jahre lang Obmann der AG W 4. (© Frank GmbH)

Dipl.-Ing. Thomas Frank, Managing Director of Frank GmbH, was Chairman of Working Group AG W 4 for over 15 years until 2025. (© Frank GmbH)

Innovation - Made in Germany

INGENIA



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



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

Stumpf-Schweißmaschinen
(mit CNC-Steuerung)



08-15 OCTOBER

DÜSSELDORF, GERMANY

Besuchen Sie uns! Halle 11, Stand F20
Visit us! Hall 11, Stand F20



**Bending machines
(CNC-controlled)**

Biegemaschinen
(mit CNC-Steuerung)

Tank welding machine

Behälterschweißanlage



Box welding machine

Kisten-Schweißmaschine



Tailored machinery/individual solutions

Individuelle Kundenlösungen



Huge surface butt welder

Große Flächen-Schweißmaschinen



Gremienarbeit abstellen. Ein weiterer praktischer Vorteil für die Mitarbeiter ist natürlich auch, dass Sie einen kostenlosen Zugriff auf das DVS-Regelwerk erhalten.

Die Organisation durch den DVS sorgt dabei für klare Strukturen und professionelle Rahmenbedingungen.

Die Mitarbeit in einer DVS-Arbeitsgruppe ist nicht nur eine ehrenamtliche Tätigkeit, sondern eine lohnende Investition in die eigene fachliche Weiterentwicklung, in das Unternehmen und in den Fortschritt der Fügetechnik.

Das Regelwerk wächst, auch weil sich die Themen ändern. Was sind die bedeutendsten Änderungen im Bereich des Kunststofffügens in den letzten Jahren?

Durch die jahrzehntelange Arbeit ist mittlerweile ein Regelwerk entstanden, das sehr viele Bereiche des Kunststofffügens abdeckt. Trotzdem gibt es immer wieder Handlungsbedarf, da zum Beispiel neue Werkstoffe an den Markt kommen oder Fügeverfahren in Kombination angewendet werden. Dabei ist auch die Zusammenarbeit mit den Forschungseinrichtungen sehr wichtig. Diese findet entweder in den Arbeitsgruppen

direkt statt oder über den Fachauschuss 11 der DVS Forschung, der sich mit den Themen rund um das Fügen von Kunststoffen beschäftigt. Dadurch ist gewährleistet, dass relevante praktische Themen durch die forschenden Institute aufgegriffen und die Grundlagen für die Praxis und die Richtlinienarbeit geschaffen werden. Obwohl wir heute schon sehr viel über das Fügen von Kunststoffen wissen, gibt es immer wieder neue Entwicklungen, die sehr praxisrelevant sind. So hat sich beispielsweise das Schweißen von Rohren aus Polyolefinen immer weiter hin zu großen Durchmessern und Wanddicken entwickelt. Wir wissen zwar, dass die Anwendung der aktuellen DVS-Richtlinien im Vergleich zu anderen veröffentlichten Parametern derzeit zu den besten Fügeergebnissen führt, trotzdem zeigen neueste Forschungsergebnisse, dass hier Potenzial für Verbesserungen besteht. Dieses Wissen wird in den nächsten Jahren in die DVS-Richtlinienarbeit einfließen und in der Praxis zur Anwendung kommen. Mit großem Interesse werde ich dieses und viele andere Themen weiter begleiten.

Vielen Dank für das Gespräch.

INFO

WARUM SUCHEN WIR SIE für die Arbeitsgruppe W4 „Fügen von Kunststoffen“?

Ob Fachmann oder Laie, ob alt oder jung – Ihr Wissen und Ihre Ideen sind der AG W 4 „Fügen von Kunststoffen“ gefragt. Kennen Sie sich mit den thermischen oder mechanischen Fügeverfahren für Kunststoffe bestens aus? Sind Sie Experte in der Konstruktion und Berechnung von Kunststoffbehältern oder Kunststoffrohrleitungen? Oder liegt ihr Arbeitsschwerpunkt im Bereich der Folien- und Bahnabdichtung im Deponie- oder Tunnelbau oder in der Prüfung von Fügeverbindungen? Dann werden Sie sicher in der AG W 4 vielen weitere Fachleuten begegnen, um sich auszutauschen und die Fügetechnik für Kunststoffe voranzubringen.

Arbeiten Sie zusammen mit den anderen Experten Hand in Hand und entwickeln und aktualisieren Sie die DVS-Richtlinien. Die Arbeitsgruppe „Fügen von Kunststoffen“ hat in den letzten Jahren mehr als 160 Regelwerke zum Kunststofffügen veröffentlicht und hat damit auch im internationalen Vergleich einzigartiges geleistet.

Machen Sie mit und werden Sie Teil der technisch-wissenschaftlichen Gemeinschaftsarbeit im DVS. Ihr Vorteil: Sie profitieren vom Know-how und dem Erfahrungsaustausch in einem internationalen Netzwerk. Informieren Sie sich über die vielfältigen Themen der Arbeitsgruppe hier: <https://www.dvs-technik.de/werkstoffe/ag-w4-fuegen-von-kunststoffen>
Ihr Ansprechpartner im DVS ist Dr.-Ing. Christoph Heering
christoph.heering@dvs-home.de

be openly discussed – without competitive thinking and in compliance with the DVS antitrust guidelines.

In addition, the members of the working groups can help shape technical developments. The working groups draw up practice-relevant guidelines that later become decisive for industry. Members thus have a direct influence on the state of the art and can steer current trends. Companies that release employees for committee work also benefit from this. Another practical advantage for employees, of course, is that they receive free access to the DVS technical code.

The organisation by the DVS ensures clear structures and professional framework conditions.

Participation in a DVS working group is not only an honorary activity, but also a worthwhile investment in one's own professional development, in the company and in the progress of joining technology.

The set of technical codes is growing, also because the topics are changing. What have been the most significant changes in the field of plastics joining in recent years?

Through decades of work, a set of technical codes has now been created that covers a very large number of areas of plastics joining. Neverthe-

less, there is repeatedly a need for action, for example when new materials come onto the market or when joining processes are applied in combination. Cooperation with research institutes is also very important in this context. This either takes place directly in the working groups or via Technical Committee 11 of the DVS Forschung, which deals with topics related to the joining of plastics. This ensures that relevant practical topics are taken up by the research institutes and that the foundations for practice and for the work on guidelines are created.

Although we already know a great deal about plastics joining today, there are always new developments that are highly relevant to practice. For example, the welding of pipes made of polyolefins has developed further towards large diameters and wall thicknesses. Although we know that the application of the current DVS guidelines leads to the best joining results compared with other published parameters, the latest research results nevertheless show that there is potential for improvement here. This knowledge will be incorporated into the DVS guidelines work in the coming years and will be applied in practice. I will continue to follow this and many other topics with great interest.

Thank you for the interview.

INFO

WHY ARE WE LOOKING FOR YOU for Working Group W4 “Joining of Plastics”?

Whether expert or layperson, whether old or young – your knowledge and your ideas are welcome in AG W 4 “Joining of Plastics”. Are you highly familiar with the thermal or mechanical joining processes for plastics? Are you an expert in the design and calculation of plastic tanks or plastic pipelines? Or is your main field of work in the area of foil and membrane sealing in landfill or tunnel construction, or in the testing of joints? Then you will certainly meet many other experts in AG W4 to exchange ideas and advance plastics joining technology. Work hand in hand with other experts to develop and update the DVS guidelines. In recent years, the “Joining of Plastics” working group has published more than 160 sets of technical codes on plastics joining and has thus achieved something unique also in an international comparison.

Join us and become part of the technical-scientific collaborative work within the DVS. Your advantage: you benefit from the know-how and exchange of experience in an international network. Learn more about the wide range of topics covered by the working group here: <https://www.dvs-technik.de/werkstoffe/ag-w4-fuegen-von-kunststoffen>
Your contact at DVS is Dr.-Ing. Christoph Heering, e-mail:
christoph.heering@dvs-home.de

SEMI-FINISHED PRODUCTS



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

- OUTSTANDING CHEMICAL RESISTANCE
- FOR EXTREME TEMPERATURES (-200 °C UP TO +260 °C)
- EASY TO CLEAN, MAINTENANCE FREE
- FOR LINING OF DUAL-LAMINATE, LOOSE AND BONDED TANKS, FIX POINT LININGS



K 2025 – ein Überblick zu Themen, Formaten und neuen Angeboten

K 2025 – an Overview of Topics, Formats and New Features



Die K 2025 ist von Mittwoch, 8. Oktober, bis Mittwoch, 15. Oktober 2025, täglich von 10:00 bis 18:30 Uhr geöffnet. (© Messe Düsseldorf/ Constanze Tillmann)

K 2025 will be open daily from 10:00 a.m. to 6:30 p.m. from Wednesday, 8 October to Wednesday, 15 October 2025. (© Messe Düsseldorf/ Constanze Tillmann)



Das Symbol für den K Assistant ist auf www.k-online.de immer unten rechts in der Ecke zu finden. (© Messe Düsseldorf)

The symbol for the K Assistant can always be found at the bottom right corner of www.k-online.com. (© Messe Düsseldorf)

Die Weltleitmesse K findet 2025 vom 8. bis 15. Oktober statt. Rund 3.200 Aussteller aus 66 Ländern zeigen auf dem Messegelände in Düsseldorf auf über 177.000 Quadratmetern neue Produkte, Maschinen und Verfahren der Kunststoff- und Kautschukindustrie. Das Messe motto „The Power of Plastics! Green – Smart – Responsible“ greift die Themen Nachhaltigkeit, Digitalisierung und gesellschaftliche Verantwortung, einschließlich Nachwuchsförderung auf. Begleitend zur Ausstellung gibt es verschiedene Formate wie die Sonderschau Plastics shape the future, das VDMA Forum, die Rubberstreet, den Science Campus sowie die Start-up Zone. Neu hinzu kommen die Young Talents Lounge und die Veranstaltung Women in Plastics. Darüber hinaus werden zwei digitale Werkzeuge bereitgestellt, die sowohl den Informationszugang als auch die Kontaktaufnahme und das Networking erleichtern.

K Assistant

Der neue KI-gestützte Chatbot K Assistant macht die Vorbereitung auf die K in Düsseldorf einfacher und effizienter. Über das Symbol auf www.k-online.de immer unten rechts unterstützt er Besucher und Aussteller jederzeit mit gezielten Informationen zu Hallenplänen, Ausstellerangeboten, Rahmenprogramm und Services. Der Chatbot

beantwortet Fragen in mehreren Sprachen und gibt strukturierte Informationen, die eine gezielte Planung des Messebesuchs erleichtern.

Digitales Tool zur Vernetzung

Das digitale Tool Fair Match unterstützt Aussteller und Besucher der Messe bei der gezielten Kontaktaufnahme. Nach Registrierung und Profilerstellung erhalten beide Seiten auf Basis hinterlegter Interessen und Produktkategorien personalisierte Vorschläge für passende Geschäftspartner. Über die integrierte Chatfunktion lassen sich Kontakte direkt ansprechen und Termine abstimmen, Favoriten können gespeichert werden. Der Service steht nicht nur

The world's leading trade fair for plastics and rubber, K 2025, will take place from 8 to 15 October in Düsseldorf. Around 3,200 exhibitors from 66 countries will showcase new products, machinery and processes for the plastics and rubber industry across more than 177,000 square metres of exhibition space. Under the motto "The Power of Plastics! Green – Smart – Responsible", the trade fair addresses the themes of sustainability, digitalisation and social responsibility, including the promotion of young talent. Alongside the exhibition, established formats such as the special show Plastics shape the future, the VDMA Forum, the Rubberstreet, the Science Cam-

pus and the Start-up Zone will be featured. New additions include the Young Talents Lounge and the Women in Plastics networking event. In addition, two digital tools are being introduced to facilitate access to information as well as contact and networking opportunities.

K Assistant

The new AI-based chatbot K Assistant supports visitors and exhibitors in preparing for their participation at K. Accessible at any time via the symbol in the bottom right-hand corner of www.k-online.de, it provides targeted information on hall plans, exhibitor profiles, the supporting programme and available services. The chatbot is multilingual and delivers structured information to assist in the planning of the trade fair visit.

Digital networking tool

The digital tool Fair Match helps exhibitors and visitors to establish business contacts. After registration and profile set-up, both sides receive personalised suggestions for suitable business partners, based on the interests and product categories stored in their profiles. The integrated chat function enables direct communication and the scheduling of appointments, while interesting contacts can be saved as favourites.



Unter dem Titel Young Talents werden zahlreiche Formate vorgestellt, die Orientierung bei der Berufswahl bieten und Einblicke in die vielfältigen Karrierewege der Kunststoffindustrie ermöglichen. (© Messe Düsseldorf/Constanze Tillmann)

Under the title Young Talents, numerous formats will be presented that provide guidance on career choices and offer insights into the diverse career paths within the plastics industry. (© Messe Düsseldorf/ Constanze Tillmann)

während der Messe, sondern ganzjährig zur Verfügung und wird über die K-App genutzt, die kostenfrei in den gängigen Stores erhältlich ist.

Nachwuchs im Fokus

Die Initiative *Young Talents* richtet sich an junge Menschen, die sich für eine Ausbildung oder ein Studium im Bereich Kunststoff- und Kautschuktechnik interessieren. Schon vor Messebeginn gibt ein Podcast Einblicke in den Berufsalltag von vier Nachwuchskräften, die am 12. Oktober auch die Young Talents Tour begleiten (Stationen: GKV-Lounge, Arburg, Erema, Covestro, Simona). Ein weiterer Höhepunkt ist die Young Talents Lounge des GKV mit interaktiven Angeboten, innovativen Studiengängen und der Ehrung der besten Absolventinnen und Absolventen. Im VDMA-Pavillon gestalten Auszubildende und Studierende vom 9. bis 14. Oktober die tägliche Young

Talents Time mit Diskussionen zur Zukunft der Branche. Der *Career Sunday* am 12. Oktober setzt zusätzliche Akzente mit Recruiting-Formaten, Talks und einem Science und Poetry Slam.

Women in Plastics

Diese Networking-Veranstaltung speziell für Frauen feiert auf der K 2025 am 12. Oktober Premiere. Erfolgreiche Vertreterinnen der internationalen Kunststoffbranche berichten in einer Paneldiskussion und Best-Practise Vorträgen über ihre Werdegänge, ihre Erfahrungen und stehen für den direkten Dialog mit dem Publikum zur Verfügung. Ziel ist es, den Austausch untereinander zu fördern, berufliche Netzwerke zu stärken und weibliche Führungskräfte in der Branche sichtbar zu machen. Weitere Informationen auf: www.k-online.de

Quelle: Messe Düsseldorf

The service is available throughout the year and can be accessed via the K app, which is free of charge in all major app stores.

Focus on young talent

The *Young Talents* initiative addresses young people interested in vocational training or academic studies in plastics and rubber technology. Even before the trade fair, a podcast provides insights into the everyday professional lives of four young people, who will also guide the Young Talents Tour on 12 October (stations include the GKV Lounge, Arburg, Erema, Covestro and Simona). Another highlight is the GKV's Young Talents Lounge with interactive formats, presentations of innovative degree programmes and the recognition of outstanding graduates. In the VDMA Pavilion, apprentices and students will host the daily Young

Talents Time from 9 to 14 October, with discussions on the future of the industry. The *Career Sunday* on 12 October adds further momentum with recruitment formats, talks and a science and poetry slam.

Women in Plastics

The *Women in Plastics* networking event will be held for the first time at K 2025 on 12 October. Successful representatives of the international plastics industry will share their career paths and experiences in a panel discussion and best-practice presentations and will be available for direct dialogue with the audience. The aim is to encourage exchange, strengthen professional networks and increase the visibility of women in leadership positions within the sector.

Further information is available at www.k-online.com

Source: Messe Düsseldorf

HÜRNER
better welding

NEW Innovations – NEW Products

Visit us at K
8–15 October 2025
HALL 11 – G18



Terahertz- und Radartechnologien als zuverlässige Verfahren zur Inline-Qualitätssicherung bei der Klebstoffaushärtung

Terahertz and Radar Technologies As Reliable Methods for Inline Quality Assurance in Adhesive Curing

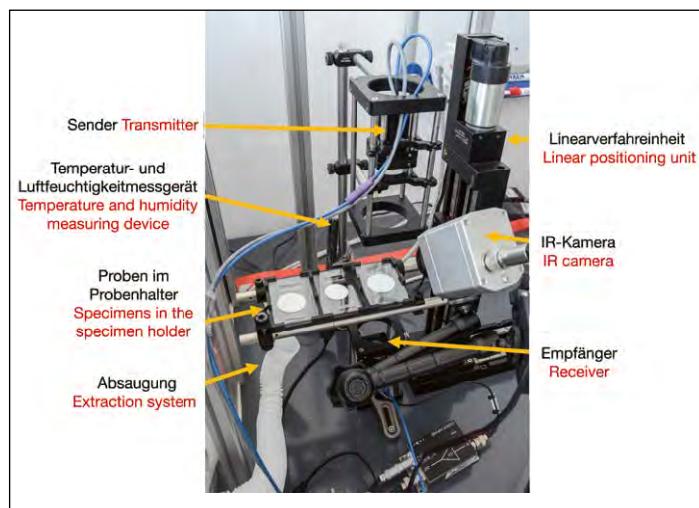


Bild 1: Terahertz-Messanordnung in Transmissionseigometrie bei einer Messung von drei Klebungen gleichzeitig (© SKZ)

Fig. 1: Terahertz measurement set-up in transmission geometry for simultaneous measurement of three bonded joints. (© SKZ)

Im Forschungsprojekt „*Inline-Monitoring der Aushärtung von applizierten Klebstoffen mittels kostengünstiger Terahertz-Methoden*“ wurden zwei Messtechniken zur Aushärteüberwachung von applizierten Klebstoffen untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass sich mit Terahertz- und Radarverfahren große Vorteile: Sie erlauben eine zerstörungsfreie und kontaktlose Kontrolle des Aushärtezustands.

Klebstoffe sind in modernen Produktionsprozessen unverzichtbar – besonders im Leichtbau, etwa in der Automobilindustrie, im Bahn- und Flugzeugbau sowie in der Schifffahrt. Sie ermöglichen stabile Verbindungen zwischen verschiedenen Materialien. Doch die Verarbeitung bringt Herausforderungen mit sich: Wird der Klebstoff nicht korrekt ausgehärtet, kann dies zu Reklamationen oder sogar zu sicherheitskritischen Schäden führen. Eine kontinuierliche Überwachung der Aushärtung direkt in der Fertigungsline hilft, frühzeitig zu erkennen, ob

die Klebeverbindung belastbar genug für den nächsten Produktionsschritt ist. So lassen sich Zeit und Kosten sparen, da die üblichen Sicherheitsmargen der Hersteller nicht zwingend abgewartet werden müssen. Hier bieten Terahertz- und Radarverfahren große Vorteile: Sie erlauben eine zerstörungsfreie und kontaktlose Kontrolle des Aushärtezustands.

Grundlagen der Terahertz- und Radar-Technik

Terahertz- und Radarsysteme gehören zu den berührungslosen und zerstörungsfreien Messverfahren, die im elektromagnetischen Spektrum zwischen Radiowellen und Infrarotstrahlung operieren. Je nach Anwendung können diese punktuellen Verfahren in Transmission- oder Reflexionsgeometrie eingesetzt werden. Beide Ansätze ermöglichen eine ganzheitliche Erfassung des Klebstoffsystems, wobei die Reflexionsmethode zusätzlich Informationen über Grenzflächen liefert – etwa zur Detektion von Schichtdicken oder

In the research project “*Inline Monitoring of the Curing of Applied Adhesives Using Cost-Effective Terahertz Methods*”, two measurement techniques for monitoring the curing of applied adhesives were investigated. The results show that terahertz and radar technologies make quality assurance in industrial manufacturing more efficient and reliable.

tion step, thereby saving time and costs, since the usual safety margins specified by manufacturers do not necessarily have to be observed. Terahertz and radar methods offer considerable advantages here, as they allow a non-destructive and contactless inspection of the curing state.

Fundamentals of Terahertz and Radar Technology

Terahertz and radar systems belong to the group of non-contact and non-destructive measurement methods, which operate in the electromagnetic spectrum between radio waves and infrared radiation. Depending on the application, these point-based techniques can be applied in transmission or reflection geometry. Both approaches enable comprehensive characterisation of the adhesive system, with the reflection method additionally providing information on interfaces – for example, for the detection of layer thicknesses or detachments

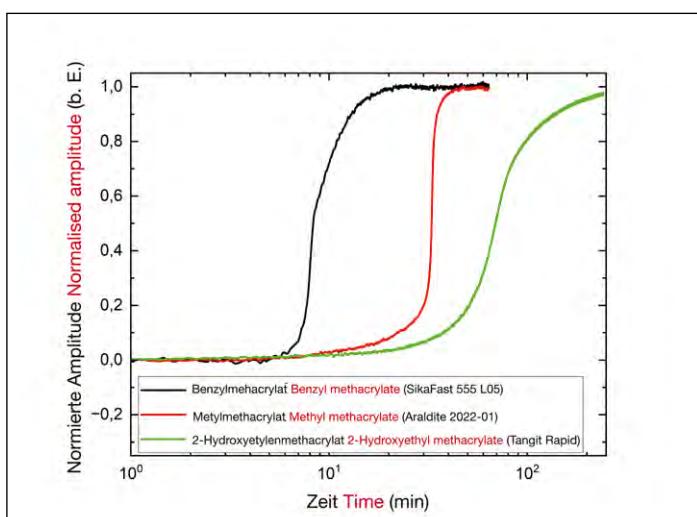


Bild 2: Auswertung der Terahertz-Amplitude über die komplette Zeit der Aushärtung bei den Polymerisationsklebstoffen SikaFast 555 L05, Araldite 2022-01 und Tangit Rapid (© SKZ)

Fig. 2: Evaluation of the terahertz amplitude over the entire curing time for the polymerisation adhesives SikaFast 555 L05, Araldite 2022-01 and Tangit Rapid (© SKZ)

Ablösungen infolge von Schrumpfprozessen während der Aushärtung. Die Aushärteüberwachung basiert auf der Analyse der Absorptionsveränderung der elektromagnetischen Wellen. Diese Wellen interagieren mit molekularen Strukturen wie Gittermoden, Wasserstoffbrückenbindungen und Gerüstschwingungen, wobei Energieverluste durch Anregung dieser Strukturen auftreten, die sich als Dämpfung der Wellen äußern. Mit fortschreitender Polymerisation nimmt die Beweglichkeit dieser Strukturen ab, was zu einer geringeren Dämpfung und damit zu einer erhöhten Amplitude der Messsignale führt. Diese Amplitudenänderung dient als Indikator für den Aushärtegrad des Klebstoffs.

Projektinhalte und -ergebnisse
Im Rahmen des Forschungsprojekts „Terahertz-Klebstoffaushärtung“ wurde die Eignung von Terahertz- und Radartechnologien zur Überwachung der Aushärtung von Klebstoffen systematisch untersucht. Dabei kam ein breites Spektrum an Klebstofftypen zum Einsatz, darunter chemisch härtende Systeme durch Polymerisation, Polyaddition und Polykondensation sowie physikalisch härtende Varianten wie Hotmelts, lösungsmittelbasierte Klebstoffe und UV-härtende Materialien. Die Klebstoffe wurden zwischen verschiedenen Substraten appliziert, wobei zur Standardisierung überwiegend dünne Glasplättchen verwendet wurden. Zur Validierung der Messergebnisse wurden etablierte Referenzmethoden eingesetzt, darunter rheologische Analysen, dynamische Differenzkalorimetrie, Nahinfrarotspektroskopie sowie zerstörende Prüfverfahren. Zusätzlich wurde die Sensitivität der Messtechniken gegenüber Umwelteinflüssen wie Temperatur und Luftfeuchtigkeit untersucht.

Aufbau der Messsysteme

Die grundlegende Konfiguration beider Messsysteme erfolgte in Transmissionstechnik und wurde in einer geschlossenen Messkammer realisiert, um reproduzierbare Bedingungen hinsichtlich Temperatur und Luftfeuchtigkeit sicherzustellen. Wie in Bild 1 dargestellt, wurden Linear-

as a result of shrinkage processes during curing. Monitoring of curing is based on analysing the absorption changes of the electromagnetic waves. These waves interact with molecular structures such as lattice modes, hydrogen bonds and skeletal vibrations, whereby energy losses occur through excitation of these structures, which are manifested as attenuation of the waves. As polymerisation progresses, the mobility of these structures decreases, resulting in reduced attenuation and thus increased amplitude of the measurement signals. This change in amplitude serves as an indicator of the degree of cure of the adhesive.

Project Contents and Results

Within the framework of the research project “Terahertz Adhesive Curing”, the suitability of terahertz and radar technologies for monitoring the curing of adhesives was systematically investigated. A wide range of adhesive types was used, including chemically curing systems by polymerisation, polyaddition and polycondensation, as well as physically curing variants such as hot melts, solvent-based adhesives and UV-curing materials. The adhesives were applied between different substrates, with thin glass slides predominantly used for standardisation. To validate the measurement results, established reference methods were employed, including rheological analyses, dynamic differential scanning calorimetry, near-infrared spectroscopy and destructive testing methods. In addition, the sensitivity of the measurement techniques to environmental influences such as temperature and humidity was investigated.

Configuration of the Measurement Systems

The basic configuration of both measurement systems was implemented in transmission geometry and carried out in a closed measuring chamber in order to ensure reproducible conditions with regard to temperature and humidity. As shown in Fig. 1, linear units were integrated, enabling par-



JOINING THE PERFECT FIT

- **IR Welding**
- **US Welding**
- **Hot Plate Welding**
- **Riveting**
- **Automized FlexLines**

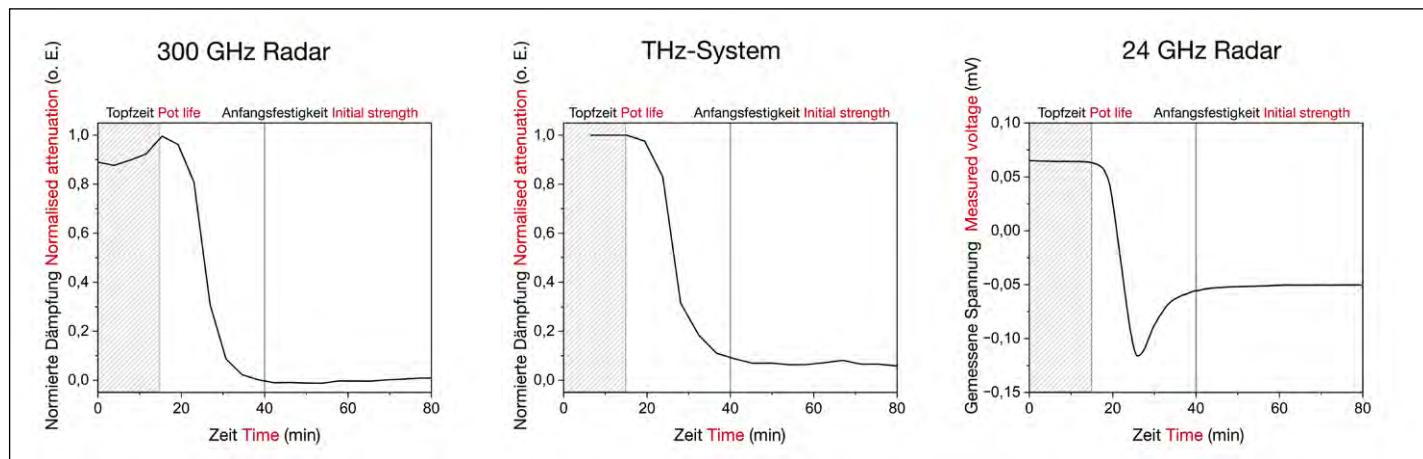


Bild 3: Vergleich der Dämpfung der Messsignale zwischen dem 300 GHz Radar (links), dem Terahertz-System (Mitte) und dem 24 GHz Radar (rechts) bei der Aushärtung des Polymerisationsklebstoffs SikaFast 555 L05 (© SKZ)

Fig. 3: Comparison of signal attenuation between the 300 GHz radar (left), the terahertz system (centre) and the 24 GHz radar (right) during the curing of the polymerisation adhesive SikaFast 555 L05 (© SKZ)

einheiten integriert, die eine parallele Untersuchung mehrerer Klebstoffproben ermöglichen. Ergänzt wurde der Aufbau durch eine Infrarotkamera zur Erfassung der Oberflächentemperatur der Substrate, eine Absaugvorrichtung sowie Sensorik zur kontinuierlichen Messung von Temperatur und Feuchte innerhalb der Einhausung.

Terahertz- und Radar-Messungen

Im Rahmen der Terahertz-Analysen an Polymerisations- und Polyadditionsklebstoffen konnte ein charakteristischer Anstieg der Terahertz-Amplitude beobachtet werden, der im Verlauf der Aushärtung einen Sättigungswert erreicht. Diese Signalverläufe korrelieren mit den vom Hersteller angegebenen Aushärtezeiten. Bild 2 zeigt exemplarisch die Aushärteverläufe dreier Polymerisationsklebstoffe mit unterschiedlichen Reaktionszeiten. Die Polymerisationssysteme zeichnen sich durch eine schnelle Aushärtung aus, was sich in einem sprunghaften Anstieg der Terahertz-Amplitude wider spiegelt. Im Gegensatz dazu zeigt der Polyadditionsklebstoff *SikaForce 7570* eine verzögerte Reaktion mit langsammer Amplitudenänderung und späterer Sättigung. Bemerkenswert sind die Ergebnisse der Untersuchung an variierten Mischungsverhältnissen bei Polyadditionsklebstoffen. Bereits geringe Abweichungen vom optimalen Verhältnis führen zu signifikanten Änderungen im Aushärteverlauf, was die Relevanz einer präzisen Dosierung

in der industriellen Anwendung unterstreicht.

Auch die Ergebnisse der Radar-Messungen wurden als vielversprechend bewertet. Sowohl ein 300-GHz-System als auch ein kostengünstiges 24-GHz-Radar konnten während der Aushärtung relevante Signaländerungen erfassen, die mit den Terahertz-Daten übereinstimmen (Bild 3). Bemerkenswert ist die Leistungsfähigkeit des 24-GHz-Radars, das ursprünglich als einfacher Bewegungsmelder konzipiert wurde, jedoch ebenfalls zur Prozessüberwachung geeignet ist.

Zur quantitativen Beschreibung des Aushärteprozesses wurde ein mathematisches Modell entwickelt, das verschiedene Einflussgrößen berücksichtigt. Bild 4 zeigt die Terahertz-

allel examination of several adhesive specimens. The set-up was supplemented by an infrared camera for recording the surface temperature of the substrates, an extraction system and sensors for continuous measurement of temperature and humidity within the enclosure.

Terahertz and Radar Measurements

In terahertz analyses of polymerisation and polyaddition adhesives, a characteristic increase in terahertz amplitude was observed, reaching a saturation value during the course of curing. These signal profiles correlate with the curing times specified by the manufacturer. Fig. 2 shows exemplary curing progressions of three polymerisation adhe-

sives with different reaction times. The polymerisation systems are characterised by rapid curing, reflected in a sudden increase in terahertz amplitude. In contrast, the polyaddition adhesive *SikaForce 7570* shows a delayed reaction with slower amplitude changes and later saturation. Noteworthy are the results of studies on varying mixing ratios in polyaddition adhesives. Even minor deviations from the optimum ratio lead to significant changes in the curing process, underlining the importance of precise dosing in industrial applications.

The radar measurements were also assessed as highly promising. Both a 300 GHz system and a cost-effective 24 GHz radar were able to detect relevant signal changes during curing, which correlate with the terahertz data (Fig. 3). Of particular note is the performance of the 24 GHz radar, which was originally designed as a simple motion detector but also proved suitable for process monitoring.

To describe the curing process quantitatively, a mathematical model was developed that takes various influencing factors into account. Fig. 4 shows the terahertz measurement of the polymerisation adhesive *SikaFast 555 L05* compared with the model, which demonstrates a high degree of agreement with the experimental data. This enables precise predictions of curing progress and the remaining reaction time in future applications.

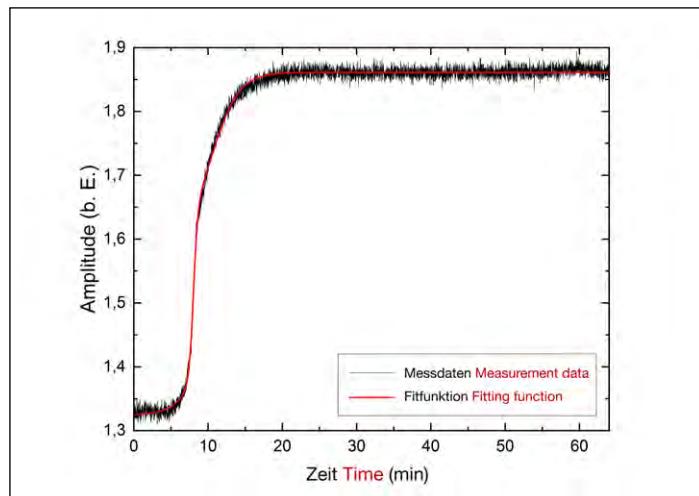


Bild 4: Gefitete Aushärtekurve des Polymerisationsklebstoff SikaFast 555 L05 (© SKZ)

Fig. 4: Fitted curing curve of the polymerisation adhesive SikaFast 555 L05 (© SKZ)



- 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 - Vibrationsschweißkopf

Fischer Kunststoff – Schweißtechnik GmbH

Mail: info@fischer-st.de; Web: www.fischer-st.de - Meißnerstraße 5, D-37297 Berkatal – Tel. 05657 913021

Messung des Polymerisationsklebstoffs *SikaFast 555 L05* im Vergleich zum Modell, das eine hohe Übereinstimmung mit den experimentellen Daten aufweist. Damit lassen sich künftig präzise Aussagen über den Aushärtefortschritt und die verbleibende Reaktionszeit treffen.

Betrachtung von Umgebungs-einflüssen

Klebstoffe kommen in unterschiedlichsten Einsatzbereichen unter variierenden Umgebungsbedingungen zum Einsatz, was sich direkt auf die Dauer und Qualität der Aushärtung auswirken kann. Eine präzise Erfassung des Aushärtefortschritts ermöglicht es, unabhängig vom Ort der Anwendung stets die erforderliche Festigkeit zu erreichen und potenziell Prozesszeiten zu verkürzen. Im Rahmen der Untersuchungen wurde daher ein Polymerisationsklebstoff mittels Terahertz-Technik unter verschiedenen Umgebungsbedingungen analysiert. Die Messungen erfolgten bei gezielt variiertem Temperatur und Luftfeuchtigkeit. Wie in Bild 5 dargestellt, zeigt sich bei erhöhter Temperatur eine zeitliche Verschiebung des stufenartigen Aushärteverlaufs zu früheren Zeitpunkten. Dies ist auf die erhöhte Energieverfügbarkeit im System

zurückzuführen, die eine beschleunigte Vernetzung der Polymerstrukturen und damit eine verkürzte Aushärtezeit bewirkt.

Vergleich zu Referenz-messungen

Zur Validierung der mit Terahertz- und Radarverfahren gewonnenen Messergebnisse wurden ergänzende Referenzmessungen mit etablierten Methoden durchgeführt. Diese bestätigten die Aussagekraft der neuen Technologien. So zeigt sich beispielsweise in den rheologischen Untersuchungen ein Anstieg der komplexen Viskosität während der Aushärtung sowie eine anschließende Sättigung – zeitlich synchron zu den Terahertz- und Radarsignalen. Bild 6 veranschaulicht diesen Zusammenhang anhand der Messdaten des Polymerisationsklebstoffs *SikaFast 555 L05*. Auch die Ergebnisse aus der dynamischen Differenzkalorimetrie, der Infraspektroskopie und mechanischen Zugscherprüfungen zeigen eine gute Übereinstimmung mit den Terahertz- und Radaranalysen.

Fazit und Danksagung

Die Ergebnisse des Forschungsprojekts belegen die Eignung von Terahertz- und Radartechnologien als zuverlässige Verfahren zur Qualitäts-

Consideration of Environmental Influences

Adhesives are used in a wide range of applications under varying environmental conditions, which can directly affect the duration and quality of curing. Accurate monitoring of curing progress makes it possible to achieve the required strength regardless of the location of application and potentially to shorten process times. For this reason, a polymerisation adhesive was

analysed using terahertz technology under different environmental conditions. Measurements were carried out at deliberately varied temperatures and humidity levels. As shown in Fig. 5, an increase in temperature leads to a temporal shift of the step-like curing profile to earlier points in time. This is due to the higher energy availability in the system, which accelerates crosslinking of the polymer structures and thus shortens curing time.

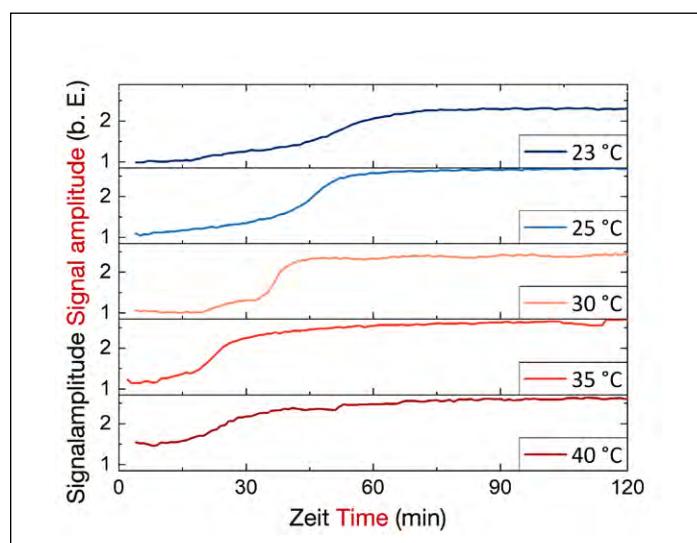


Bild 5: Amplitude des Terahertz-Signals über die Aushärtung beim Polymerisationsklebstoff Araldite 2022-01 in Abhängigkeit unterschiedlicher Umgebungstemperaturen (© SKZ)

Fig. 5: Amplitude of the terahertz signal during curing of the polymerisation adhesive Araldite 2022-01 under different ambient temperatures (© SKZ)

sicherung bei der Klebstoffaushärtung. Besonders hervorzuheben ist das Potenzial der Radar-Technik, die auch mit kostengünstigen Systemen aussagekräftige Ergebnisse liefert und somit eine wirtschaftlich attraktive Lösung für industrielle Anwendungen darstellt. Neben der Erfassung der Polymerketten-Vernetzung, die den Aushärteprozess charakterisiert, rückt künftig auch die Detektion von Polymerketten-Verkürzungen – etwa im Rahmen von Alterungsprozessen – in den Fokus. Weitere Forschungsarbeiten werden zeigen, inwieweit sich diese Messtechniken auch für die Alterungsdiagnostik eignen.

Unternehmen, die ihre Qualitätssicherung im Bereich der Klebstoffverarbeitung optimieren möchten, können sich für weiterführende Informationen und Beratung direkt an das SKZ wenden.

Das IGF-Vorhaben Förderkennzeichen 01IF22161N „Terahertz-Klebef

stoffaushärtung“ der Forschungsvereinigung Fördergemeinschaft für das SKZ wurde über die AiF bzw. den DLR im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestags gefördert. Die Autoren bedanken sich für die finanzielle Unterstützung sowie beim projektbegleitenden Ausschuss für die konstruktiven Beiträge bei dem Projekttreffen und den Projektspenden, z. B. die Bereitstellung von Klebstoffen und Substratpartnern.

Zudem profitiert aktuell das IGF-Vorhaben Förderkennzeichen 01IF23269N „SteP-in“ von den Erkenntnissen der Terahertz- und Radar-Technik, da diese als Referenzmessverfahren zum Einsatz kommen. Autoren: Marcel Mayr und Daniel Hoffmann, Gruppe Zerstörungsfreie Prüfung am SKZ

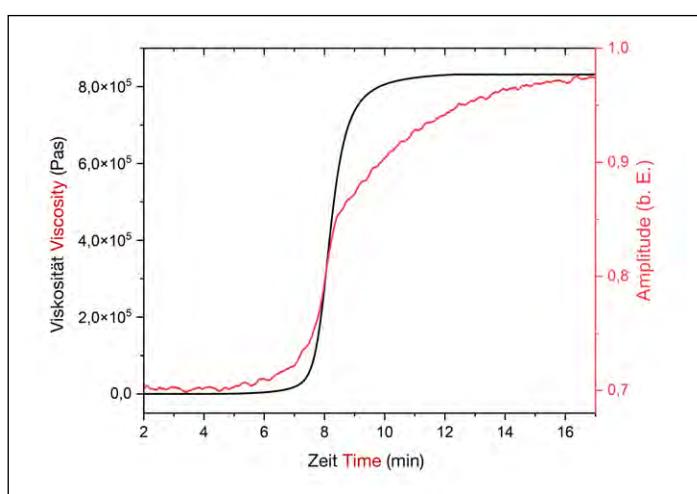


Bild 6: Vergleich der Ergebnisse der Terahertz-Messung (rot, Terahertz-Amplitude) zu der Referenzmessung mit dem Platte/Platte-Rheometer (schwarz, Viskosität) beim Polymerisationsklebstoff SikaFast 555 L05 (© SKZ)

Fig. 6: Comparison of the terahertz measurement (red, terahertz amplitude) with the reference measurement using a plate/plate rheometer (black, viscosity) for the polymerisation adhesive SikaFast 555 L05 (© SKZ)

Comparison with Reference Measurements

To validate the results obtained with terahertz and radar methods, supplementary reference measurements were performed using established methods. These confirmed the validity of the new technologies. For example, rheological investigations showed an increase in complex viscosity during curing, followed by saturation – synchronised in time with the terahertz and radar signals. Fig. 6 illustrates this relationship using the measurement data of the polymerisation adhesive SikaFast 555 L05. The results from dynamic differential scanning calorimetry, infrared spectroscopy and mechanical lap shear testing also showed good agreement with the terahertz and radar analyses.

Conclusion and Acknowledgements

The results of the research project demonstrate the suitability of terahertz and radar technologies as reliable methods for quality assurance in adhesive curing. Particularly noteworthy is the potential of radar technology, which delivers meaningful results even with cost-effective systems, thus representing an economically attractive solution for industrial applications. In addition to capturing the crosslinking of polymer chains, which characteris-

es the curing process, future work will also focus on detecting polymer chain scission – for example, in the context of ageing processes. Further research will show the extent to which these measurement techniques can also be used for ageing diagnostics.

Companies wishing to optimise their quality assurance in adhesive processing can obtain further information and advice directly from SKZ. The IGF project with funding code 01IF22161N “Terahertz Adhesive Curing” of the Research Association Fördergemeinschaft for SKZ was funded by the AiF and DLR within the framework of the Industrial Collective Research (IGF) programme of the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, based on a resolution of the German Bundestag. The authors would like to thank for the financial support as well as the project accompanying committee for their constructive contributions during the project meetings and project donations, such as the provision of adhesives and substrate partners. In addition, the ongoing IGF project with funding code 01IF23269N “SteP-in” benefits from the findings of terahertz and radar technology, as these are used as reference measurement methods.

Authors: Marcel Mayr and Daniel Hoffmann, Non-destructive Testing, SKZ

PFAS-freie Alternativen – Projektstart am Kunststoff-Institut Lüdenscheid

PFAS-Free Alternatives – Project Launch at Kunststoff-Institut Lüdenscheid



Forschung zu PFAS-freien Alternativen am Kunststoff-Institut Lüdenscheid: Materialien und funktionale Oberflächen im Fokus
(© iStock.com/Megane Adam)

Research on PFAS-free alternatives at Kunststoff-Institut Lüdenscheid: materials and functional surfaces in focus
(© iStock.com/Megane Adam)

Die Diskussion um ein mögliches Verbot von PFAS sorgt seit Anfang 2023 für erhebliche Unsicherheit in der deutschen Kunststoffindustrie. Um praktikable Alternativen zu identifizieren und Handlungsempfehlungen für Unternehmen zu entwickeln, startete das Kunststoff-Institut Lüdenscheid im September 2025 ein einjähriges Firmenverbundprojekt. Das Projekt beleuchtet sowohl Werkstoffe als auch funktionelle Oberflächen die häufig durch PFAS-haltige Additive oder Zugschlagstoffe ihr besonderes Eigenschaftsprofil erreichen. Ein besonderer Fokus soll auf Alternativen im Bereich Tribologie, Flammschutz, Antihalt-Wirkung gelegt werden. Aufgabe ist es, derzeitige Alternativen zu recherchieren, um Handlungsempfehlungen und Entwicklungspotenziale für die Teilnehmer aufzuzeigen. Darüber hinaus können die Teilnehmer durch ein branchenunabhängiges Netzwerk von Lösungsmöglichkeiten anderer Bereiche profitieren. Ein Quereinstieg ist auch nach Projektbeginn jederzeit möglich. Weitere Informationen und Anmeldung: <https://bit.ly/Kunststoffinstitut>

Quelle und Ansprechpartner:
Kunststoff-Institut Lüdenscheid, Patryk Brener, Telefon: +49 2351 1064-133, E-Mail: brener@kimw.de.

The discussion on a possible ban on PFAS has been causing considerable uncertainty in the German plastics industry since the beginning of 2023. In order to identify practicable alternatives and to develop recommendations for companies, Kunststoff-Institut Lüdenscheid launched a one-year joint industrial project in September 2025.

The project examines both materials and functional surfaces which often achieve their special property profile through PFAS-containing additives or fillers. Particular focus is placed on alternatives in the fields of tribology, flame retardancy and anti-adhesive properties. The task is to research current alternatives in order to present recommendations for action and development potential to the participants.

In addition, participants can benefit from a cross-sectoral network of solutions from other areas. Entry into the project is also possible at any time after the start.

Further information and registration:
<https://bit.ly/Kunststoffinstitut>
Source and contact: Kunststoff-Institut Lüdenscheid, Patryk Brener, Telephone: +49 2351 1064-133, E-Mail: brener@kimw.de

Intelligente Wärme ist Infrarot.

Infrarot-Wärme spart Energie, weil sie die optimale Wärmemenge immer exakt an die richtige Stelle bringt.

Zum Beispiel, um Kunststoffe gezielt zu erwärmen, verschweißen oder entgraten.

NobleLight®

**Messe K
Halle 11
Stand D01**

noblelight.com
excelitas.com

50 Prozent Frauenanteil beim Maschinenbauer Deguma

50 Percent Female Workforce at Deguma

Das Maschinenbauunternehmen Deguma mit Sitz in Geisa, Thüringen, beschäftigt derzeit einen Frauenanteil von rund 50 Prozent. Dieser Wert liegt deutlich über dem Branchendurchschnitt: Nach Angaben der Bundesagentur für Arbeit betrug der Anteil von Frauen in Berufen der Maschinen- und Fahrzeugtechnik im Juni 2023 rund 10 Prozent, im Bereich technischer Entwicklungsbereichen laut Statistischem Bundesamt etwa 18 Prozent.

Bei Deguma arbeiten Frauen nicht nur in der Verwaltung und kaufmännischen Bereichen, sondern auch in Abteilungen wie Zerspanung, Konstruktion, Lager oder Fertigung. Zudem bildet das Unternehmen weibliche Fachkräfte in technischen Berufen aus und fördert deren Einsatz in gemischten Teams.

Zur besseren Vereinbarkeit von Beruf und Familie bietet das Unternehmen unter anderem flexible Arbeitszeitmodelle wie eine 4-Tage-Woche bei vollem Lohnausgleich an. Damit ver-



Bei Deguma arbeiten weibliche Fachkräfte in Abteilungen wie Zerspanung, Konstruktion, Lager oder Fertigung und werden nach ihren Interessen in technischen Bereichen ausgebildet und gefördert. (© Deguma)



At Deguma, female specialists work in departments such as machining, design, warehousing and manufacturing, and are trained and supported in technical areas according to their interests. (© Deguma)

folgt das Unternehmen das Ziel, Fachkräfte unabhängig vom Geschlecht durch geeignete Rahmenbedingungen zu gewinnen und zu halten.

Quelle: Deguma-Schütz GmbH

The mechanical engineering company Deguma, based in Geisa, Thuringia, currently employs a workforce with a female share of around 50 per cent. This figure is significantly above

the industry average: according to the Federal Employment Agency, the proportion of women in occupations in mechanical and automotive engineering was around 10 per cent in June 2023, while in technical development departments the Federal Statistical Office reported around 18 per cent in the same year.

At Deguma, women are employed not only in administration and commercial departments, but also in areas such as machining, design, warehousing and production. In addition, the company trains female specialists in technical professions and promotes their work in mixed teams.

To improve the compatibility of work and family life, the company offers flexible working time models, including a four-day week with full wage compensation. In this way, Deguma aims to attract and retain skilled workers regardless of gender by providing appropriate framework conditions.

Source: Deguma-Schütz GmbH

3 Fragen 3 Questions

Drei Fragen zum Thema an Viktoria Schütz, Geschäftsführerin der Deguma Schütz GmbH

Three Questions on This Topic for Viktoria Schütz, Managing Director of Deguma Schütz GmbH

Studien zeigen, dass Frauen im Durchschnitt höhere Bildungsabschlüsse erreichen. Dennoch sind sie in technischen Berufen weiterhin unterrepräsentiert.

Worin sehen Sie die Gründe?

Viktoria Schütz: Ehrlich gesagt: Ich glaube viele Frauen trauen sich das einfach nicht zu – nicht, weil sie es nicht können, sondern weil sie nie gelernt haben, sich in solchen Rollen selbst zu sehen. Wie auch? Es fehlt an weiblichen Vorbildern in der Branche, an echten Geschichten und an Sichtbarkeit. Stattdessen werden Frauen immer noch von klein auf geprägt durch das Bild, dass Technik „Männersache“ ist. Das sitzt tief. Dadurch verlieren wir enorm viel Potenzial. Genau deshalb arbeiten wir bei Deguma daran, technische Berufe für

Frauen zur Normalität zu machen – nicht als Aushängeschild, sondern weil sie als Fachkräfte mindestens genauso gut sind wie Männer. Junge Frauen müssen verinnerlichen: Du darfst diesen Beruf wollen. Und du kannst ihn auch!

Studies indicate that women, on average, achieve higher educational qualifications. Nevertheless, they remain underrepresented in technical professions. In your view, what are the reasons for this?



Viktoria Schütz,
Geschäftsführerin der
Deguma Schütz GmbH

Viktoria Schütz,
Managing Director of
Deguma Schütz GmbH

Viktoria Schütz: To be honest: I believe many women simply don't dare to take that step – not because they are incapable, but because they have never learned to see themselves in such roles. And how could they? There is a lack of female role models in the sector, of real stories and visibility. Instead, women are still shaped from an early age by the notion that technology is "men's business". That is deeply ingrained. As a result, we lose an enormous amount of potential. This is exactly why we at Deguma are working to make technical professions normal for women – not as a showcase, but because they are at least as good as men as skilled workers. Young women need to internalise: you are allowed to want this profession. And you can do it too!

Deguma weist derzeit einen Frauenanteil von knapp 50 Prozent auf – ein Wert, der deutlich über dem Branchendurchschnitt liegt. Welche Faktoren haben dazu beigetragen?

Weil wir Stellen nach Können und Kompetenz besetzen, nicht nach Geschlecht. Jetzt kann man denken, wer macht das nicht? Aber Frauen bekommen in den meisten Firmen Steine in den Weg gelegt oder werden gleich als inkompotent abgestempelt. Viele von ihnen, gerade Mütter, erzählen uns, dass ihnen in anderen Unternehmen z. B. nach der Elternzeit keine anspruchsvollen Aufgaben mehr zugetraut wurden oder sie nicht in Teilzeit arbeiten durften. Das ist nicht nur für die Frauen frustrierend, sondern ist auch ein echter Verlust für jedes Unternehmen. Wir machen das anders. Nicht, weil wir „modern“ sein wollen, sondern weil wir es uns nicht

leisten können und wollen, auf diese Kompetenz zu verzichten.

Welche Maßnahmen empfehlen Sie Unternehmen, die ihre Attraktivität für weibliche Fachkräfte erhöhen möchten?

Unternehmen müssen sich die Frage stellen: Wollen wir wirklich die besten Leute – oder nur die „nahe-liegendsten“? Frauen sind in vielen Bereichen hervorragend ausgebildet, motiviert und belastbar. Was sie brauchen, ist die Freiheit, Beruf und Familie nicht gegeneinander abwagen zu müssen. Daher sollten Unternehmen Strukturen schaffen, die wirklich zu den Menschen passen, nicht zu alten Bildern im Kopf. Ein Team, das aus Menschen mit unterschiedlichen Hintergründen und Lebensrealitäten besteht, ist nicht nur belastbarer, sondern auch kreativer und erfolgreicher. Und das ist der wahre Schlüssel zu langfristigem Erfolg.

Deguma currently reports a female share of around 50 per cent – a figure that is well above the industry average.

Which factors have contributed to this development?

Because we fill positions according to ability and competence, not gender. One might think, who doesn't do that? But in most companies women encounter obstacles or are dismissed as incompetent from the outset. Many of them, especially mothers, tell us that in other firms, for example after parental leave, they were no longer entrusted with demanding tasks or were not allowed to work part-time. That is not only frustrating for the women, but also a real loss for every company. We do things differently. Not because we want to appear "modern", but because we cannot and

do not want to afford to waste this competence.

What measures would you recommend to companies that wish to increase their attractiveness to female specialists?

Companies need to ask themselves the question: do we really want the best people – or just the "most obvious" ones? Women are excellently trained, motivated and resilient in many areas. What they need is the freedom not to have to weigh up career and family against each other. Therefore, companies should create structures that truly fit people, not old images in their heads. A team made up of people with different backgrounds and life realities is not only more resilient, but also more creative and successful. And that is the real key to long-term success.



LEISTER

**Besuchen Sie
uns an der
K Messe 2025**

**8. bis 15. Oktober 2025
Halle 11 | Stand E16 | Düsseldorf**



leister.com

We know how.

Herrmann Ultraschall präsentiert neue Fokus-Teams auf der K-Messe

Herrmann Ultraschall Presents New Focus Teams at K 2025

Mit zwei neuen Kompetenz-Teams stellt Herrmann Ultraschall auf der K 2025 gezielt Lösungen und Mehrwerte für Kunden der Automobil- und Medizintechnik-Industrie vor. Im LiveLab, dem mobilen Ultraschalllabor auf dem Stand, können Fachbesucher ihre eigenen Materialien testen und erste Schweißversuche durchführen. Die Ergebnisse dienen als Ausgangspunkt für eine vertiefte Applikationsberatung.

Mit den angepassten Vertriebsstrukturen bündelt das Unternehmen weltweit Ressourcen, die sich ausschließlich auf Automotive- und Medical-Anwendungen konzentrieren. Nach Angaben von Herrmann Ultraschall ermöglicht dies verkürzte Entwicklungszyklen sowie eine gezieltere Applikationsunterstützung entlang des gesamten Projektverlaufs. Die Vielseitigkeit von Ultraschall als Fügetechnologie wird auf dem Messestand anhand eines neuen Probekörpers demonstriert. Damit kann praxisnah am Beispiel ei-



Das Team Automotive von Herrmann Ultraschall bündelt globale Kompetenzen. (© Herrmann Ultraschalltechnik GmbH & Co. KG)

The Automotive team at Herrmann Ultraschall pools global expertise. (© Herrmann Ultraschalltechnik GmbH & Co. KG)

ner typischen Anwendung aus der Medizintechnik gezeigt werden, wie das Schweißen, Bördeln, Nieten und Versiegeln mit Ultraschall funktioniert.

Quelle: Herrmann Ultraschalltechnik GmbH & Co. KG

With two new competence teams, Herrmann Ultraschall will present targeted solutions for customers in the automotive and medical technology industries at K 2025. In the LiveLab, the mobile ultrasonic laboratory at the stand, trade visitors will be

able to test their own materials and carry out initial welding trials. The results will serve as a starting point for further application consulting.

With the adapted sales structures, the company is pooling resources worldwide that are dedicated exclusively to automotive and medical applications. According to the company, this enables shorter development cycles as well as more targeted application support throughout the entire project.

The versatility of ultrasound as a joining technology will be demonstrated at the stand using a new demonstrator. Based on an example from medical technology, it will be shown how welding, flanging, riveting and sealing with ultrasound can be applied in practice.

Source: Herrmann Ultraschalltechnik GmbH & Co. KG



Halle 11, Stand F28
Hall 11, Booth F28

Neuer Name: Panacol wird Hoenle Adhesives GmbH

New Name: Panacol Now Hoenle Adhesives GmbH

Die Panacol-Elosol GmbH, Hersteller von industriellen Klebstoffen, gehört seit vielen Jahren zur Hoenle-Gruppe, einem internationalen Anbieter von UV-Technologien. Seit September 2025 treten alle Tochtergesellschaften der Gruppe unter der einheitlichen Unternehmensmarke Hoenle auf. In diesem Zuge erhält Panacol den neuen Namen Hoenle Adhesives GmbH. Der Unternehmenssitz in Steinbach/Taunus bleibt bestehen.

Das Produktspektrum umfasst weiterhin UV-, Struktur- und leitfähige Klebstoffe. Neu ist, dass diese Klebstoffe zusammen mit den UV/LED-Aushärtegeräten der Hoenle-Gruppe

unter einer Marke angeboten werden. Damit können komplette Klebelösungen aus einer Hand bereitgestellt und an kundenspezifische Anforderungen angepasst werden. Die Hoenle Adhesives GmbH ist Teil der Hoenle Business Unit Adhesive Systems und international im Markt für industrielle Klebstoffe tätig. Das Portfolio reicht von UV-Klebstoffen über Strukturklebstoffe bis hin zu Leitklebstoffen. Zusammen mit der Konzernmutter Hoenle AG, einem weltweit tätigen Anbieter industrieller UV-Technologien, tritt das Unternehmen als Systemanbieter vom Kleben bis hin zur Aushärtung der Klebstoffe auf.

Quelle: Panacol-Elosol GmbH

Panacol-Elosol GmbH, a manufacturer of industrial adhesives, has been part of the Hoenle Group, an international provider of UV technologies, for many years. Since September 2025, all subsidiaries of the group will operate under the uniform corporate brand Hoenle. In this context, Panacol will be renamed Hoenle Adhesives GmbH. The company headquarters in Steinbach/Taunus will remain unchanged.

The product range will continue to include UV, structural and conductive adhesives. A new feature is that these adhesives will be offered together with the UV/LED curing devices of the Hoenle Group under one

brand. In this way, complete bonding solutions can be provided from a single source and adapted to customer-specific requirements.

Hoenle Adhesives GmbH is part of the Hoenle Business Unit Adhesive Systems and operates internationally in the market for industrial adhesives. Its portfolio ranges from UV adhesives to structural adhesives and conductive adhesives. Together with its parent company Hoenle AG, a globally active provider of industrial UV technologies, the company presents itself as a system supplier covering both bonding and adhesive curing.

Source: Hoenle Adhesives GmbH

Plasmatreat auf der K: Neue Kunststoffkombinationen durch Plasmaaktivierung

Plasmatreat at K: New Plastic Combinations Enabled by Plasma Activation



Präzise Inline-Vorbehandlung für optimale Adhäsion von EPDM- oder Türprofilen bei Bedruckung, Beflockung oder Verklebung. (© Plasmatreat GmbH)

This precise inline pretreatment ensures optimal adhesion of EPDM or door profiles during printing, flocking, or bonding. (© Plasmatreat GmbH)

Viele Standard- und Recyclingkunststoffe sind unpolär und daher schwer zu benetzen. Für Kleb- und Dichtstoffe bedeutet dies, dass eine dauerhafte Haftung nur eingeschränkt möglich ist. Eine mögliche Lösung ist die Aktivierung der Oberfläche mit Atmosphärendruck-Plasma. Dabei werden Rückstände entfernt. Durch die Behandlung mit Plasma verändert sich die Oberfläche des Kunststoffs auf molekularer Ebene. Dabei entstehen neue chemische Andockstellen, die sich besonders gut mit Klebstoffmolekülen verbinden können. Diese sogenannten funktionellen Gruppen sorgen dafür, dass eine stabile und dauerhafte Haftung möglich wird. Klebstoffe können dadurch sowohl mechanisch als auch chemisch besser anhaften. Da der Prozess inline, automatisiert und ohne zusätzliche Chemikalien abläuft, fügt er sich gut in bestehende Fertigungsabläufe ein.

Neue Materialkombinationen

Ein Aspekt der Plasmabehandlung ist die Möglichkeit, bislang schwer kombinierbare Kunststoffe fügetechnisch nutzbar zu machen. Auf der Messe wird gezeigt, wie bislang nicht kompatible Kunststoffkombinationen (zum Beispiel PE und PA6, TPU und PP) durch die Plasmaaktivierung für eine Verklebung kompatibel gemacht werden. Es werden auch verschiedene Tests durchgeführt, um den Besuchern den Effekt der Plasmabehandlung zu verdeutlichen. Quelle: Plasmatreat GmbH

Many standard and recycled plastics are non-polar and therefore difficult to wet. For adhesives and sealants this means that long-term adhesion is only possible to a limited extent. One possible solution is the activation of the surface with atmospheric pressure plasma. In this process, residues are removed. Plasma treatment alters the surface of the plastic at a molecular level. New chemical bonding sites are created that interact particularly well with adhesive molecules. These so-called functional groups ensure stable and durable adhesion. As a result, adhesives can bond more effectively, both mechanically and chemically. Since the process runs inline, is automated and does not require additional chemicals, it integrates seamlessly into existing manufacturing workflows.

New material combinations

A particular aspect of plasma treatment is the ability to make plastics that were previously difficult to combine suitable for joining. At the trade fair it will be demonstrated how previously incompatible plastic combinations (e.g. PE and PA6, TPU and PP) can be made compatible for bonding through plasma activation. Various tests will also be carried out to illustrate the effect of plasma treatment to visitors.

Source: Plasmatreat GmbH



Halle 11, Stand I65
Hall 11, Booth I65

K 2025

8. – 15.10.
Düsseldorf

Halle 11
Stand 11G65

Laser Kunststoff Schweißen

Das ideale Fügeverfahren für Kunststoffteile!



Neue Entwicklungen in der Ultraschalltechnik: Sonotronic auf der K New Developments in Ultrasonic Technology: Sonotronic at K 2025

Der Ultraschall-Sondermaschinenbauer Sonotronic aus Karlsbad stellt auf der K 2025 in Halle 11, Stand E47, eine vollelektrische Ultraschall-Tischmaschine (*iSonic Eco TM*) vor. Darüber hinaus informiert das Unternehmen über den Ausbau seines weltweiten Vertriebs- und Servicenetzwerks. Ein weiterer Programmpunkt ist ein Live-Vergleich im Rollnahtschweißen mit 30 kHz und 35 kHz. Die Präsentationen richten sich an Fachbesucher aus der Kunststoff-, Automobil-, Verpackungs-, Medizin- und Textilindustrie.

iSonic Eco TM in Serienfertigung

Nach erfolgreichen Prototyp-Einsätzen geht die *iSonic Eco TM* in die Serienfertigung. Auf der K 2025 werden fünf Maschinen vorgestellt, die unterschiedliche Anwendungen demonstrieren – darunter Ultraschallschweißen, Ultraschallprägen und Ultraschallfügen.

Die Maschine arbeitet vollständig elektrisch und benötigt keine Druckluft, was den Energiebedarf sowie den Wartungsaufwand reduziert. Durch die kompakte Bauweise mit ausgelagertem Schaltschrank ist sie mobil, platzsparend und schnell einsatzbereit. Steckbare Anschlüsse ermöglichen eine einfache Installation. Zudem stehen modulare Erweiterungen wie Schallschutzhülle, Schiebetisch oder Folievorschubeinheit zur Verfügung.

Neu ist ein Waveshare-Display mit 9,3 Zoll Bildschirmdiagonale zur Visualisierung aller Parameter, das optional auch als Touchscreen verfügbar ist. Die Standardausführung umfasst zwei integrierte Frequenzen (20 kHz und 35 kHz). Ein Schnellwechselsystem unterstützt den Austausch und den Einsatz verschiedener Schweißwerkzeuge und Bauteilaufnahmen. Dadurch eignet sich die *iSonic Eco TM* sowohl für Anwendungen mit robusten Kunststoffen als auch für präzise Prozesse in der Medizintechnik.



Bild 1: Die vollelektrische Ultraschall-Tischmaschine *iSonic ECO TM*
© Sonotronic



Fig. 1: The fully electric ultrasonic table-top machine *iSonic ECO TM*
© Sonotronic

Fig. 2: *iSonic Eco TM* with soundproof hood – optional accessory for reducing noise emissions
© Sonotronic

Global vernetzt, lokal präsent

Neben der Vorstellung neuer Maschinen informiert Sonotronic auf der Messe über den Ausbau seines internationalen Vertriebs- und Servicenetzwerks. Vom Hauptsitz in Karlsbad aus werden Niederlassungen in

The ultrasonic special-purpose machine manufacturer Sonotronic from Karlsbad will present a fully electric ultrasonic benchtop machine (*iSonic Eco TM*) at K 2025 in Hall 11, Booth



Bild 3: *iSonic Eco TM* mit Schiebetisch zur ergonomischen Platzierung der Bauteile unter der Sonotrode (links), mit Folievorschubeinheit zum Schutz empfindlicher Bauteiloberflächen (rechts)
© Sonotronic



Fig. 3: *iSonic Eco TM* with sliding table for ergonomic positioning of components under the sonotrode (left), with film feeding unit for protecting sensitive component surfaces (right)
© Sonotronic

E47. In addition, the company will provide information on the expansion of its global sales and service network. Another programme item is a live comparison in ultrasonic rotary welding at 30 kHz and 35 kHz. The presentations are aimed at trade visitors from the plastics, automotive, packaging, medical and textile industries.

iSonic Eco TM in Series Production

After successful prototype applications, the *iSonic Eco TM* is now entering series production. At K 2025, five machines will be presented, demonstrating different applications – including ultrasonic welding, ultrasonic embossing and ultrasonic joining. The machine operates fully electrically and does not require compressed air, which reduces energy consumption as well as maintenance effort. Owing to the compact design with an external control cabinet, it is mobile, space-saving and quickly ready for operation. Plug-in connectors allow straightforward installation. In addition, modular extensions such as a sound insulation hood, sliding table or film feeding unit are available. New is a Waveshare display with a screen diagonal of 9.3 inches for the visualisation of all parameters, which is optionally also available as a touchscreen. The standard version includes two integrated frequencies (20 kHz and 35 kHz). A quick-change system supports the exchange and use of different welding tools and component holders. This makes the *iSonic Eco TM* suitable both for applications with robust plastics and for precise processes in medical technology.

Globally Networked, Locally Present

In addition to presenting new machines, Sonotronic will provide information at the trade fair on the expansion of its international sales and service network. From the company headquarters in Karlsbad, subsidiaries in Spain, the USA and China as well as further representatives worldwide are coordinated. The objective is to provide con-

Spanien, den USA und China sowie weitere Vertretungen weltweit koordiniert. Ziel ist es, Beratung, Ersatzteilversorgung und technischen Support in einheitlicher Qualität auch lokal bereitzustellen und gleichzeitig regionale Marktkenntnisse einzubeziehen.

iSonic Wave BRM: Rollnaht-schweißen im Frequenzvergleich

Auf der Messe wird das Rollnahtschweißen anhand einer Live-Demonstration mit zwei Pfaff 8311 Maschinen vorgestellt, die mit unterschiedlichen Ultraschall-Frequenzen arbeiten. Die 30-kHz-Maschine zeichnet sich durch höhere Amplitude und Leistung aus, was insbesondere bei dickeren Materialien und schnellen Fertigungsschritten, beispielsweise in der Filter- und Nonwoven-Industrie, von Vorteil ist. Die 35-kHz-Variante ermöglicht präzise



Bild 4: Ultraschall-Rollnaht-Sonotroden – Entwicklung und Produktion durch Sonotronic (© Sonotronic)

Bearbeitungen leichterer Materialien bis 400 g/m² und eignet sich für eine Vielzahl gängiger Anwendungen. Der direkte Vergleich verdeutlicht die jeweiligen Einsatzmöglichkeiten der beiden Frequenzbereiche.

Quelle: Sonotronic GmbH

Fig. 4: Ultrasonic rotary welding sonotrodes – developed and manufactured by Sonotronic (© Sonotronic)

sulting, spare parts supply and technical support in consistent quality also local-



Halle 11, Stand E47
Hall 11, Booth E47

ly, while at the same time incorporating regional market knowledge.

iSonic Wave BRM: Ultrasonic Rotary Welding in Frequency Comparison

At the trade fair, ultrasonic rotary welding will be demonstrated live using two Pfaff 8311 machines operating at different ultrasonic frequencies. The 30 kHz machine is characterised by higher amplitude and power, which is advantageous particularly for thicker materials and rapid production steps, for example in the filter and nonwoven industry. The 35 kHz variant enables precise processing of lighter materials up to 400 g/m² and is suitable for a wide range of common applications. The direct comparison illustrates the respective fields of application of the two frequency ranges.

Source: Sonotronic GmbH

INFINITY™ MIT PATENTIERTER SERVOGESTEUEERTER MELT-MATCH®-ULTRASCHALLSCHWEIBTECHNIK

WO INNOVATION FÜHRT, FOLGEN ANDERE.

Ihre Produktionsanforderungen steigen – und wir bei Dukane haben die Antwort. Mit der revolutionären Infinity™ Servo-Ultraschallschweißanlage erfüllen wir Ihre höchsten Ansprüche an Präzision, Reproduzierbarkeit, Prozesskontrolle und Nachhaltigkeit. Ob als Standalone-Lösung, Plug-and-Play-System oder voll integrierte Automatisierung – wir bieten die maßgeschneiderte Lösung für Ihre Bedürfnisse.

VORTEILE EINER PARTNERSCHAFT MIT DUKANE:

- Weltweiter Service: Immer und überall an Ihrer Seite.
- Sicherung der Produktqualität: Verlassen Sie sich auf gleichbleibend hohe Standards.
- Umfassendes Portfolio: Alle Kunststoffschweißprozesse aus einer Hand.



SEE US AT
K2025
HALL 11
BOOTH 11F02

KVT
DUKANE



Mehr Informationen
finden Sie unter

DUKANE.COM/INFINITY

DUKANE

JOINING PLASTICS FÜGEN VON KUNSTSTOFFEN

MITREDEN. MITGESTALTEN.
MITENTSCHEIDEN.

Was interessiert Sie wirklich? Welche Themen sind für Ihre tägliche Praxis unverzichtbar – und auf welche könnten Sie verzichten? Wie, wann und wo lesen Sie JOINING PLASTICS; gedruckt oder digital, intensiv oder selektiv?

JETZT SIND SIE GEFRAGT!

Mit Ihrer Teilnahme an unserer Leserumfrage helfen Sie uns, Ihr Fachmagazin noch besser zu machen. Denn nur wenn wir wissen, was Sie bewegt, begeistert oder auch mal irritiert, können wir Inhalte, Rubriken und Formate zielgerichtet weiterentwickeln.

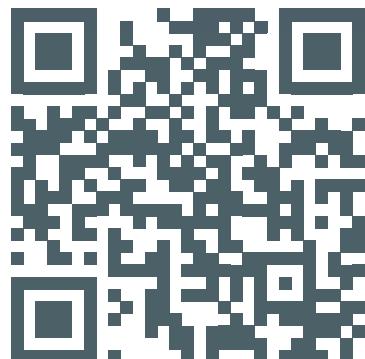
Ihre Meinung ist der Schlüssel für ein Fachmedium, das praxisnah, aktuell und für Sie persönlich relevant bleibt. Ob langjähriger Leser oder neu dabei: Ihre Rückmeldung macht den Unterschied.

WARUM TEILNEHMEN?

- Sie helfen, JOINING PLASTICS an Ihre Wünsche und Bedürfnisse anzupassen,
- Sie gestalten die redaktionelle Ausrichtung der kommenden Ausgaben mit,
- Sie zeigen, welche Themen, Technologien und Trends Sie wirklich interessieren.

IHRE MEINUNG ZÄHLT.
JETZT MITMACHEN!

HIER GEHTS
ZUR UMFRAGE:
bit.ly/LeserumfrageJP



aquatherm: Neue Maßstäbe in der Kunststoffschweißtechnik

aquatherm: New Standards in Plastic Welding Technology



Bild 1: aquatherm energy twin integriert Vor- und Rücklauf in einem gemeinsamen Mantelrohr. (© aquatherm)

Fig. 1: aquatherm energy twin integrates flow and return in a single casing pipe. (© aquatherm)



Bild 2: Ein eigens in Kooperation mit der Ritmo SPA entwickeltes Muffenschweißgerät sorgt für eine einfache und schnelle Verbindung. (© aquatherm)

Fig. 2: A socket welding machine specially developed in cooperation with Ritmo SPA ensures a simple and fast joint. (© aquatherm)

Die aquatherm GmbH stellt mit *aquatherm energy twin* eine vorgedämmte Rohrleitungslösung vor. Als neue Variante erweitert sie die bestehende aquatherm energy-Produktfamilie und kombiniert Vor- und Rücklauf in einem gemeinsamen Mantelrohr. Dies ermöglicht eine platzsparende Verlegung, insbesondere unter engen Bedingungen.

Durch das integrierte Doppelsystem verringert sich das erforderliche Aushubvolumen, gleichzeitig verkürzt sich die Installationszeit. Das vergleichsweise geringe Gewicht der Kunststoffrohre erleichtert die Handhabung auf der Baustelle, vor allem im Vergleich zu Stahlrohren. Ein in Kooperation mit der Ritmo SPA entwickeltes Muffenschweißgerät ermöglicht das gleichzeitige Verschweißen beider Mediumrohre in einem Arbeitsschritt. Die Schweißnähte werden dabei synchron gefertigt und automatisch überwacht.

Anwendung in Fernwärmesystemen
aquatherm energy twin ist für den Einsatz in modernen Fernwärmesystemen ausgelegt. Die Rohre bestehen aus Polypropylen (PP-RCT), sind korrosionsfrei und temperaturbeständig (dauerhaft bis 75 °C, kurzzeitig bis 100 °C). Eine PUR-Isolierung nach DIN EN 253 sowie eine PE-Ummantelung dienen der Wärmedämmung und dem mechanischen Schutz. Zusätzlich verhindert eine integrierte OT-Schicht den Sauerstoffeintritt. Das System ist in Dimensionen von 32 mm bis 125 mm verfügbar. Für größere Anforderungen bietet das Unternehmen Einzelleitungen bis 450 mm an. Alle Varianten können mit Leckageortung ausgestattet werden, um Undichtigkeiten frühzeitig zu erkennen und Wasserverluste, Umweltschäden sowie Betriebsausfälle zu minimieren.

Quelle: aquatherm GmbH

aquatherm GmbH presents *aquatherm energy twin*, a pre-insulated piping solution. As a new variant, it expands the existing aquatherm energy product family and combines supply and return flow in a single casing pipe. This enables space-saving installation, particularly under confined conditions. Through the integrated twin system, the required excavation volume is reduced and at the same time the installation time is shortened. The comparatively low weight of the plastic pipes facilitates handling on the construction site, especially in comparison with steel pipes. A socket welding machine developed in cooperation with Ritmo SPA makes it possible to weld both medium pipes simultaneously in a single operation. The weld seams are produced synchronously and automatically monitored.

Application in District Heating Systems
aquatherm energy twin is designed for use in modern district heating systems. The pipes are made of polypropylene (PP-RCT), are corrosion-free and temperature-resistant (permanently up to 75 °C, temporarily up to 100 °C). PUR insulation according to DIN EN 253 as well as PE casing provide thermal insulation and mechanical protection. In addition, an integrated OT layer reliably prevents oxygen ingress.

The system is available in dimensions from 32 to 125 mm. For larger requirements, *aquatherm* offers single-pipe solutions up to 450 mm. All variants can also be equipped with leak detection in order to identify leakages at an early stage and to minimise water losses, environmental damage and potential operational failures.

Source: *aquatherm* GmbH

Kunststoffe für die Technologien von morgen.
Und die Schadstoffe?
Die saugen wir ab – mit unseren Technologien von morgen

FUCHS Umwelttechnik
Absaug- und Filtergeräte



FUCHS Umwelttechnik P+V GmbH
89195 Steinberg
Tel.: +49 (0) 7346/9614-0
www.fuchs-umwelttechnik.com
info@fuchs-umwelttechnik.com

40 Jahre
FUCHS
Umwelttechnik
CLEAN AIR TECHNOLOGY

Rinco Ultrasonics mit neuen Maschinengenerationen auf der K 2025

Rinco Ultrasonics With New Machine Generations at K 2025

Auf der K 2025 zeigt Rinco Ultrasonics neue Lösungen für das Ultraschallschweißen mit dem Fokus auf Effizienz, Flexibilität und einfache Integration in automatisierte Prozesse. Im Mittelpunkt stehen die neuesten Versionen der Maschinenmodelle *Electrical Motion2*, *Standard2-3000* und eine Vielfalt an Vorschüben für die Prozessautomatisierung.

Electrical Motion2

Die überarbeitete *Electrical Motion2* ist mit einem großen Touchdisplay ausgestattet, das eine schnelle und intuitive Bedienung ermöglicht. Schweißdaten können überwacht und – abhängig von den jeweiligen Benutzerrechten – Prozessparameter angepasst werden. Mit dem optionalen Schnellwechselsystem er-

kennt die Maschine automatisch das eingesetzte Werkzeug und lädt den entsprechenden Parametersatz, was den Arbeitsaufwand reduziert und Fehler vermeidet. Ergänzende Funktionen zur Prozessüberwachung unterstützen eine konstante Qualität. Die *Electrical Motion2* ist für ein breites Anwendungsspektrum geeignet, beispielsweise in der Automobil- und Medizintechnik sowie in der Verpackungs- und Textilindustrie. Aufgrund ihrer Bauweise kann sie auch in Reinräumen der ISO-Klasse 6 eingesetzt werden. Der elektrische Antrieb ermöglicht im Vergleich zu pneumatischen Systemen eine Reduzierung des Energieverbrauchs um bis zu 78 %. Ein nicht lösbarer Audit Trail dokumentiert sämtliche relevanten Systemereignisse und Änderungen mit

At K 2025, Rinco Ultrasonics will present new solutions for ultrasonic welding with a focus on efficiency, flexibility and simple integration into automated processes. The highlights are the latest versions of the machine models *Electrical Motion2*, *Standard2-3000* and a variety of actuators for process automation.

Electrical Motion2

The revised *Electrical Motion2* is equipped with a large touch display that enables fast and intuitive operation. Welding data can be monitored and – depending on individual user rights – process parameters adjusted. With the optional quick-change system, the machine automatically detects the installed tool and loads the corresponding parameter set, which

reduces workload and avoids errors. Additional functions for process monitoring support consistent quality. The *Electrical Motion2* is suitable for a wide range of applications, for example in the automotive and medical technology sectors as well as in the packaging and textile industries. Owing to its design, it can also be used in cleanrooms of ISO Class 6. The electric drive allows a reduction in energy consumption of up to 78 % compared to pneumatic systems. A non-deletable audit trail records all relevant system events and changes with time stamp, user ID and detailed description to ensure traceability and process reliability. In addition, welding data can be exported via RS232, Ethernet, external storage media or optionally via Profinet.



Der Stellenmarkt für die Branche.
www.home-of-welding.com/jobportal

Wir beraten Sie gerne!

Britta Wingartz · T +49 211 15 91-155 · anzeigen@dvs-media.info

In Kooperation mit



Zeitstempel, Benutzerkennung und Detailangaben zur Gewährleistung von Rückverfolgbarkeit und Prozesssicherheit. Darüber hinaus ist der Export von Schweißdaten über RS232, Ethernet, externe Speichermedien oder optional über Profinet möglich.

Standard2-3000

Die überarbeitete Standard2-3000 kombiniert bestehende Technik mit erweiterten Funktionen. Ein integrierter Touchscreen am Generator erleichtert die Bedienung, während die bewährte mechanische Ausführung und die Einsatzzuverlässigkeit beibehalten werden.

Die flexible Steuerung sowie verschiedene Anschlussoptionen ermöglichen eine einfache Einbindung in vorhandene Produktionsumgebungen. Bei Bedarf kann die Datenübertragung durch das optionale Kommunikationsmodul Profinet ergänzt werden.

Zur Qualitätssicherung bietet das System eine mehrstufige, anpassbare Benutzerverwaltung. Eine integrierte Datenbank erlaubt die Speicherung von Schweißresultaten, während ein nicht löscherbarer Audit Trail sämtliche Systemereignisse sowie Parameteränderungen mit Zeitstempel, Benutzerkennung und Detailbeschreibung erfasst. Die Standard2-3000 eignet sich damit insbesondere für Anwendungen, bei denen eine schrittweise Digitalisierung der Fertigungsprozesse vorgesehen ist.



Ultraschall-Schweißmaschinen der Electrical Motion2 Serie
(© Rinco Ultrasonics)



Ultrasonic welding machines from the Electrical Motion2 series
(© Rinco Ultrasonics)

VEM2-Serie

Der Ultraschall-Vorschub der VEM2-Serie ist für den Einsatz in Sondermaschinen, automatisierten Schweißanlagen und Produktionslinien konzipiert. Durch den elektrischen Antrieb und die Auswahlmöglichkeit aus acht Schweißmodi lassen sich hochwertige Ergebnisse erzielen. Neben dem VEM2-Vorschub werden auf der K 2025 weitere elektrische und pneumatische Vorschübe in den Frequenzen 20, 35 und 70 kHz präsentiert.

Quelle: Rinco Ultrasonics

Standard2-3000

The revised Standard2-3000 combines proven technology with extended functions. An integrated touch-screen on the generator facilitates operation, while the established mechanical design and operational reliability are maintained. The flexible control and various connection options enable simple integration into existing production environments. If required, data transmission can be extended by the optional Profinet communication module.

For quality assurance, the system offers a multi-level, adaptable user management. An integrated database allows the storage of welding results, while a non-deletable audit trail records all system events and parameter changes with time stamp, user ID and detailed description.

The Standard2-3000 is therefore particularly suitable for applications in which a gradual digitalisation of manufacturing processes is planned.

VEM2 series

The ultrasonic actuator of the VEM2 series is designed for use in special-purpose machines, automated welding systems and production lines. The electric drive and the possibility to choose from eight welding modes enable the achievement of high-quality results. In addition to the VEM2 actuator, further electric and pneumatic actuators in the frequencies 20, 35 and 70 kHz will be presented at K 2025. Furthermore, various welding patterns, including examples from the packaging sector, will be shown.

Source: Rinco Ultrasonics



Halle 11, Stand E56
Hall 11, Booth E56



HSK Kunststoff Schweißtechnik GmbH
HSK plastic welding equipment

Zilzkreuz 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



Industrieextruder
industrial extruders



industrial extruders / turn tables



Excelitas auf der K: Infrarot-Systeme zum Schweißen

Excelitas at K: Infrared Systems for Welding

Excelitas, früher Heraeus Noblelight, ist auch 2025 wieder Aussteller auf der K. Das Unternehmen zeigt Lösungen für die Kunststoffverarbeitung: Infrarot-Strahler, die in Form, Spannung und Leistung genau auf Produkt und Prozess abgestimmt sind, ebenso wie UV-Technologie für die Härtung.

Die Einsatzmöglichkeiten von Infrarot-Wärme reichen vom Entgraten von Spritzgussteilen über das Laminieren von Innenraumverkleidungen bis hin zum Fügen von Rohrleitungen.

Schweißen mittels Infrarotstrahlermoduls

Viele Produkte aus Kunststoff werden aus mehreren Einzelteilen zusammengesetzt. Die Art des Kunststoffs, Form, Wanddicke und Farbe haben dabei einen erheblichen Einfluss auf den Fügeprozess. Vor der Installation einer neuen Fügeanlage sollten diese Prozessparameter sorgfältig betrachtet werden. Infrarot-Strahler von Excelitas übertragen Wärme kontaktfrei und lassen sich in programmierten Zeittakten einsetzen. Meist fährt dazu ein Infrarot-Strahlermodul zwischen zwei Kunststoffteile ein und erwärmt die Oberflächen der beiden Teile.



Infrarot Konturstrahler können exakt angepasst werden. (© Excelitas Noblelight)

Infrared heating emitters can be precisely tailored to contours. (© Excelitas Noblelight)

Wenn die vorgegebene Temperatur erreicht ist, fährt das Infrarot-Modul heraus, die Enden der Teile werden fest aneinander gepresst und so miteinander verschweißt. Im Vergleich zu Kontaktplattensystemen ist dieser Schweißprozess meist schneller und sauberer, da kein Kunststoff an den Platten haften bleibt.

Die Infrarot-Wärm 技术 basiert auf der Übertragung elektromagnetischer Wellen, die im Werkstück Wärme erzeugen. Weder ein direkter Kontakt zum Material noch ein Übertragungsmedium wie Gas oder Luft sind erforderlich. Die Energie wird gezielt in das Kunststoffprodukt eingebracht und die Wärme genau dort erzeugt, wo sie benötigt wird.

Quelle: Excelitas Noblelight GmbH

Excelitas, formerly Heraeus Noblelight, will again be exhibiting at K in 2025. The company is presenting solutions for plastics processing: infrared emitters that are precisely tailored in shape, voltage and output to the product and process, as well as UV technology for curing. The possible applications of infrared heat range from deburring injection-moulded parts and laminating interior trim panels to joining pipes.

Welding With an Infrared Emitter Module

Many plastic products are assembled from several individual parts. The type of plastic, the shape, the wall thickness and the colour have a significant influence on the joining process. Before installing a new joining system, these process pa-

rameters should therefore be carefully considered. Infrared emitters from Excelitas transfer heat without contact and can be used in programmed time cycles. In most cases, an infrared emitter module moves between two plastic parts and heats the surfaces of the two parts. When the specified temperature has been reached, the infrared module moves out, the ends of the parts are pressed firmly together and thereby welded. Compared with contact plate systems, this welding process is usually faster and cleaner, since no plastic adheres to the plates.

Infrared heating technology is based on the transfer of electromagnetic waves, which then generate heat in the workpiece. Neither direct contact with the material nor a transfer medium such as gas or air is required. The energy is introduced directly into the plastic product and the heat is generated precisely where it is needed.

Source: Excelitas Noblelight GmbH



Halle 11, Stand D01
Hall 11, Booth D01

Asahi Kasei auf der K 2025: PFAS-freie Polyamide und Recyclingtechnologie für Endloskohlefasern

Asahi Kasei at K 2025: PFAS-Free Polyamides and Recycling Technology for Continuous Carbon Fibres

Das japanische Technologieunternehmen Asahi Kasei hat ein Recyclingverfahren entwickelt, mit dem Endloskohlefasern aus CFRP-Druckbehältern in Fahrzeugen zurückgewonnen werden können. Mithilfe elektrolysiert er Schwefelsäure wird die Kunststoffmatrix vollständig zersetzt, während die Festigkeit und

Endlosstruktur der Kohlenstofffasern erhalten bleibt. Im Unterschied zu konventionellen Verfahren, bei denen die Fasern zerkleinert werden, ermöglicht diese Technologie das Recycling von Endlosfasern mit gleichbleibend hoher Qualität. Auf der Messe werden über 200 Meter recycelte Endloskohlefasern gezeigt.

The Japanese technology company Asahi Kasei has developed a recycling process that enables the recovery of continuous carbon fibres from CFRP pressure vessels in vehicles. Using electrolysed sulphuric acid, the plastic matrix is completely decomposed while the strength and continuous structure of the car-

bon fibres are preserved. In contrast to conventional processes in which the fibres are shredded, this technology makes it possible to recycle continuous fibres with consistently high quality. At the trade fair, more than 200 metres of recycled continuous carbon fibres will be presented.

Biobasierte Compounds mit Cellulose-Nanofasern

Das Unternehmen wird auf der K auch PA- und SEBS-Compounds vorstellen, die eine biobasierte und kompostierbare Cellulose-Nanofaser (CNF) enthalten. CNF wird aus Baumwoll-Linter gewonnen und weist eine hohe Wärmebeständigkeit sowie Netzwerkbildungsfähigkeit auf. CNF-verstärktes Polyamid zeigt unter Bewegung eine reduzierte Viskosität. Dadurch eignet es sich für den Einsatz im 3D-Druck, da es eine gute Druckbarkeit, Maßhaltigkeit, Oberflächenqualität und mechanische Eigenschaften ermöglicht.

PFAS-freies Polyamid

Mit *Leona* entwickelte Asahi Kasei ein PFAS-freies Polyamid mit reibungsarmen Eigenschaften. Interne Tests zeigen, dass das Material vergleichbare Eigenschaften wie fluorhaltige Kunststoffe aufweist. Einsatzfelder sind



Vergleich der optischen Leistung von AZP und herkömmlichen optischen Polymeren (© Asahi Kasei Europe GmbH)

Comparison of optical performance of AZP and conventional optical polymers (© Asahi Kasei Europe GmbH)

unter anderem Gleitlager in der Automobilindustrie, Robotik oder Sportartikel.

Das Unternehmen wird zudem verschiedene Technologien für Automobilanwendungen vorstellen, beispielsweise das transparente optische Polymer AZP.

Quelle: Asahi Kasei Europe GmbH

Biobased Compounds With Cellulose Nanofibres

The company will also present at K PA and SEBS compounds containing a biobased and compostable cellulose nanofibre (CNF). CNF is obtained from cotton linters and exhibits high heat resistance as well as network-forming capability. CNF-reinforced polyamide shows reduced viscosity under movement. This makes it suitable for use in 3D printing, as it offers good printability, dimensional accuracy, surface quality and mechanical properties.

PFAS-free Polyamide

With *Leona*, Asahi Kasei has developed a PFAS-free polyamide with low-friction properties. Internal tests show that the material has comparable characteristics to fluorine-containing plastics. Fields of application include plain bearings in the automotive industry, robotics and sporting goods. The company will also present various technologies for automotive applications, such as the transparent optical polymer AZP.

Source: Asahi Kasei Europe GmbH



Halle 8a, Stand E23
Hall 8a, Booth E23

KLN Ultraschall AG

more than ultrasonics

75+ YEARS EXPERIENCE

in plastic joining and industrial cleaning technologies.

Our portfolio includes the following applications:



ULTRASONIC WELDING



INFRARED WELDING



ULTRASONIC CLEANING



VIBRATION WELDING



HOT AIR RIVETING



SPRAY CLEANING



HOT PLATE WELDING



HEAT RIVETING



DRYING



SPIN WELDING



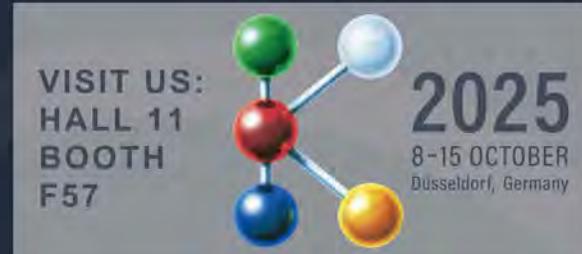
LASER WELDING



AUTOMATION



- from standard machines to fully automated production lines
- prototypes and serial production



Polymer Stir Welding eröffnet neue Möglichkeiten in der Herstellung hybrider Bauteile

Polymer Stir Welding opens up New Possibilities in the Production of Hybrid Components

Ähnlich wie Rührreibschweißen oder Ultraschallschweißen handelt es sich bei PSW um kein klassisches Schmelzschweißverfahren. Das von der royos joining solutions GmbH, Lieboch, Österreich, patentierte Polymer Stir Welding ist ein moderner Schweißprozess im weiteren Sinne, der vor allem zur Verbindung von thermoplastischen Kunststoffen mit Metallen entwickelt wurde. Im Gegensatz zu klassischen Schweißverfahren, bei denen die Metalle oder Kunststoffe in der Regel aufgeschmolzen werden, bleibt das Metall im PSW-Prozess fest, während nur der Kunststoff aufgeschmolzen wird.

Ein beheizter, rotierender Werkzeugstift wird in die Fügezone zwischen Kunststoff und Metall eingebracht (Bild 1). Es erfolgt ein lokales Aufschmelzen des Kunststoffs, während der Stift gleichzeitig mechanische Oberflächenstrukturierungen und Hinterschneidungen im Metall erzeugt. Der flüssige Kunststoff wird in diese Strukturen hineingepresst und erstarrt dort, wodurch eine formschlüssige Verbindung auf Grundlage mechanischer Adhäsion zwischen den beiden Materialien entsteht und so eine starke und dauerhafte Verbindung gewährleistet wird (Bild 2).

Der PSW-Prozess erfolgt in einem einzigen Schritt, was ihn im Vergleich zu konventionellen thermischen Direktfügeverfahren, die oft mehrere Bearbeitungsschritte erfordern, besonders effizient macht. Diese Technologie könnte vor allem in der Automobilindustrie, Luftfahrt und bei der Herstellung von Hybridmaterialien zur Anwendung kommen, wo Kunststoff und Metall in einer einzigen Komponente vereint werden.

Neue Möglichkeiten für nachhaltige hybride Verbundwerkstoffe

Leichtbaukonzepte basieren in der Regel entweder auf Metallen oder auf Kunststoffen. Weniger im Fokus steht bislang die Kombination beider Werk-

stoffgruppen. In der Industrie gewinnt dieser Ansatz jedoch an Bedeutung, da er neben einer Gewichtsreduktion auch Kostenvorteile ermöglicht und zugleich hilft, Anforderungen an die CO₂-Reduktion und gesetzliche Vorgaben zu erfüllen. In der Rohstoffherstellung emittieren Kunststoffe wesentlich weniger CO₂ als Metalle, vor allem für Primärlegierungen, also hochwertige Legierungen, wie sie beispielsweise im Automobilsektor oder der Luftfahrt zum Einsatz kommen. Auch ihre Gewinnung ist ressourcenschonender (Stichwort: Bauxitabbau für Aluminium). Die Forschung beschäftigt sich auch intensiv mit der Herstellung und der industriellen Anwendung von bio-basierten Kunststoffen, die aus Pflanzen und Pflanzenfasern bestehen und als besonders umweltverträglich gelten. Bislang galt die Herstellung von Metall-Kunststoff-Hybridbauteilen als kostenintensiv und aufwendig. Hinterspritzen, Kleben oder Verschrauben waren die etablierten Verfahren. Seit Jahrzehnten gleichen sich die Argumente, wenn es darum geht, Kunststoffe und Metalle dauerhaft

Similar to friction stir welding or ultrasonic welding, PSW is not a conventional fusion welding process. Polymer Stir Welding, patented by royos joining solutions GmbH, Lieboch, Austria, is a modern welding process in the broader sense, developed primarily for joining thermoplastic polymers with metals. In contrast to conventional welding processes, in which metals or polymers are usually melted, the metal in the PSW process remains solid, while only the polymer is melted. A heated, rotating tool pin is introduced into the joining zone between polymer and metal (Fig. 1). Local melting of the polymer occurs, while at the same time the pin generates mechanical surface structuring and undercuts in the metal. The molten polymer is pressed into these structures and solidifies there, creating a positive mechanical interlock between the two materials, which ensures a strong and durable joint (Fig. 2).

The PSW process takes place in a single step, making it particularly efficient compared with conventional thermal direct joining methods,

which often require several processing steps. This technology could find applications especially in the automotive and aerospace industries as well as in the production of hybrid materials, where polymer and metal are combined in a single component.

New Opportunities for Sustainable Hybrid Composites

Lightweight design concepts are usually based either on metals or on polymers. Less attention has so far been paid to combining the two material groups. In industry, however, this approach is gaining importance, as it not only enables weight reduction and cost advantages but also supports compliance with CO₂ reduction requirements and regulatory targets. In raw material production, polymers emit significantly less CO₂ than metals, especially for primary alloys – high-grade alloys as used in the automotive sector or aerospace. Their extraction is also less resource-intensive (keyword: bauxite mining for aluminium). Research is also focusing intensively on the production and industrial application of bio-based polymers made from plants and plant fibres, which are considered particularly environmentally friendly. Until now, the production of metal-polymer hybrid components was regarded as cost-intensive and labour-intensive. Injection moulding, adhesive bonding or screwing were the established methods.

For decades, the arguments have remained the same when it comes to creating durable joints between polymers and metals: Screwing increases weight and cycle time; adhesive bonding requires surface pretreatment, curing time, generates VOC emissions (volatile organic compounds) and significantly impairs recyclability. Designers accepted this Gordian knot of extra cost, process risk and ecological footprint because there was simply no alternative. With PSW, for example, an injection-moulded PA66-GF30 compo-

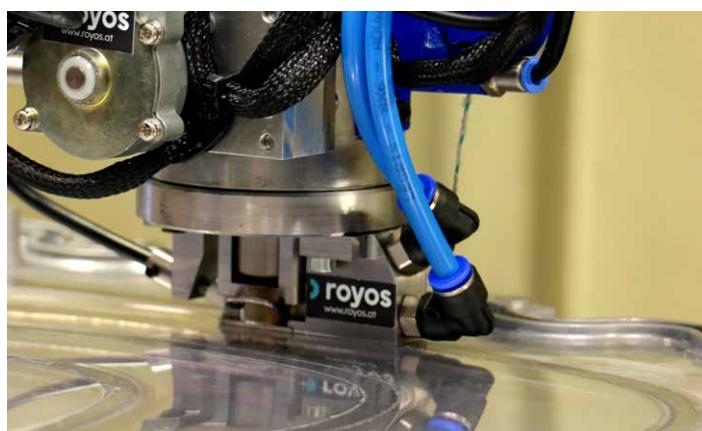


Bild 1: Das PSW-Werkzeug wird in eine CNC-Maschine (im Bild) oder einen Roboter eingesetzt und über die Bahsteuerung der Maschine geführt. Das Thermomanagement wird über ein zusätzliches Aggregat, das sich außerhalb der Maschine befindet, im Automatikbetrieb geregelt. (© royos joining solutions GmbH)

Fig. 1: The PSW tool is mounted in a CNC machine (shown in the image) or a robot and guided via the path control of the machine. Thermal management is regulated automatically by an additional unit located outside the machine. (© royos joining solutions GmbH)



Bild 2: Der Biegetest zeigt die hohe Festigkeit und die Widerstandsfähigkeit gegen Anrißbildung einer PSW-ge-schweißten Kombination einer 3-mm-Polycarbonat- und einer 3-mm-Alumi-niumplatte. (© royos joining solutions GmbH)

Fig. 2: The bending test demonstrates the high strength and resistance to crack initiation of a PSW-welded combination of a 3 mm polycarbonate and a 3 mm aluminium plate. (© royos joining solutions GmbH)

zu verbinden: Schrauben erhöht Gewicht und Taktzeit, Kleben benötigt Vorbehandlung, Aushärtezeit, verursacht VOC-Emissionen (Volatile Organic Compounds) und erschwert das Recycling erheblich. Konstrukteure akzeptierten diesen gordischen Knoten aus Mehrkosten, Prozessrisiko und ökologischem Fußabdruck, weil es schlicht keine Alternative gab. Mit PSW lässt sich beispielsweise ein spritzgegossenes PA66-GF30-Bauteil im Linientakt dicht mit einem Aluminium-Tray verschmelzen – ohne Vorbehandlung, Klebstoff oder zusätzliche Dichtungen.

Wie PSW funktioniert – kurz erläutert

Das PSW-Verfahren vereint drei Prozessschritte, die für eine optimale Verbindung zwischen Metall und Kunststoff notwendig sind. Zunächst wird das Metall konditioniert, d. h. gereinigt, strukturiert und vorgewärmt. Zeitgleich wird der Kunststoff aufgeschmolzen und kann in die neu geschaffene Oberflächenstruktur des Metalls eindringen. Anschließend erfolgt die Abkühlung der Fügezone, wodurch der Kunststoff erstarrt, und eine besonders starke Verbindung entsteht: Das Metall wird dabei nur lokal und geringfügig erwärmt, wodurch keine nennenswerten Wärmespannungen entstehen. Zudem werden keine Späne freigesetzt, und die frische Oberfläche wird direkt versiegelt.

Da PSW mit sehr geringen Prozesskräften von unter 2 kN auskommt, können selbst sehr dünne Bleche oder Folien ohne sichtbare Verzüge gefügt werden. Die Prozesskraft wird benötigt, um einerseits den Rührstift durch den Kunststoff auf die Metalloberfläche zu führen, und anderseits, um den Gleitschuh gegen die Kunststoffoberfläche zu pressen, um ein Austreten des flüssigen Kunststoffs zu verhindern. Im Vergleich dazu arbeitet das Rührreibschweißen für die Herstellung eines Kühlkanals einer Batteriewanne mit bis zu 10 kN Anpresskraft. Die geringeren Kräfte ermöglichen es, Bauteile noch leichter zu gestalten, da sie nur geringen Kräften standhalten müssen.

In Verbindung mit faserverstärkten Werkstoffen kommt ein weiterer Vorteil des PSW zum Tragen: Die Faserorientierung in thermoplastischen glas- oder kohlefaserverstärkten Kunststoffen bleibt weitgehend erhalten, sodass die Festigkeitswerte deutlich über denen der bisher eingesetzten Fügeverfahren liegen.

Gewicht runter, Festigkeit rauf
Gerade im Bereich Elektromobilität haben Batterien der nächsten Generation Fortschritte hinsichtlich Brandverhalten und Temperatureinsatzbereich erzielt, wodurch Kunststoffe zunehmend als Gehäusewerkstoffe in Frage kommen. Die Idee: Das Metall übernimmt die tragenden Funk-

nen kann be permanent joined in line takt with an aluminium tray – without pretreatment, adhesive or additional seals.

How PSW Works – Briefly Explained

The PSW process combines three process steps that are necessary for achieving an optimum joint between metal and polymer. First, the metal is conditioned, i.e. cleaned, structured and preheated. At the same time, the polymer is melted and can penetrate into the newly created surface structure of the metal. Subsequently, the joining zone cools down, causing the polymer to solidify and form a particularly strong joint: the metal is only locally and slightly heated, so that no significant thermal stresses occur. Furthermore, no chips are released and the fresh surface is directly sealed. Since PSW operates with very low process forces of less than 2 kN, even very thin sheets or foils can be joined without visible distortion. The process force is required on the one hand to guide

the stirring pin through the polymer onto the metal surface and on the other hand to press the shoe against the polymer surface to prevent leakage of the molten polymer. By comparison, friction stir welding for the production of a cooling channel of a battery tray requires up to 10 kN of contact force. The lower forces make it possible to design components even lighter, as they only have to withstand low loads. In combination with fibre-reinforced materials, another advantage of PSW comes into play: the fibre orientation in thermoplastic glass- or carbon-fibre reinforced polymers is largely preserved, so that the strength values are significantly higher than those of the joining methods used so far.

Weight Down, Strength Up

Especially in the field of electromobility, next-generation batteries have achieved progress in terms of fire behaviour and operating temperature range, making polymers increasingly suitable as housing materials. The idea: the metal takes on

Hochwertige Ultraschall-Technologie für effizientes Schweißen

von Thermoplasten und synthetischen Textilien.



78 % weniger Energieverbrauch *

- Elektrischer Antrieb
- Höchste Präzision
- Prozesskontrolle
- Reproduzierbarkeit
- Audit Trail
- Remote Access

Besuchen Sie uns

K2025
8. - 15. Oktober
Düsseldorf/DE
Stand 11-E56

*verglichen mit einer pneumatischen Ultraschall-Schweissmaschine



AROUND YOU EVERY DAY

+41 71 466 41 00
rincoultrasonics.com
info@rincoultrasonics.com

A CREST GROUP COMPANY



Bild 3: Festigkeitswerte von Aluminium-Kunststoff-Mischverbindungen (© royos joining solutions GmbH)

Fig. 3: Strength values of aluminium-plastic hybrid joints (© royos joining solutions GmbH)

tionen, der Kunststoff realisiert die Bauteilfunktionen wie Schutzhülle, Stege, Clips oder Medienführungen. Wie eine Berechnung anhand einer Batteriewanne für ein PHEV (Plug-in-Hybrid Electric Vehicle) zeigt, kann dieser Ansatz mit PSW-Verbindungen bis zu 50 % Gewicht sparen und den CO₂-Fußabdruck um bis zu 80 % senken. Zum Vergleich: Polyamid spart etwa 10 kg CO₂ pro 1 kg im direkten Vergleich mit Aluminium [1]. Ähnlich verhält es sich bei den Festigkeiten von Aluminium-Kunststoff-Mischverbindungen. Bild 3 zeigt im direkten Vergleich die Festigkeitswerte von Verbundwerkstoffen, die mit dem PSW-Verfahren bzw. durch Kleben hergestellt wurden.

Wirtschaftlichkeit: PSW und Kleben im Vergleich

Während Klebeverbindungen Primer, Dosiersysteme, Absaugungen für VOC-Emissionen sowie fett- und silikonfreie Oberflächen benötigen, erfordert PSW lediglich einen Werkzeugaufzatz, der auf gängigen 4-Achs-CNC-Maschinen oder in Roboterzellen betrieben werden kann. Die Taktzeit für eine 1000 mm lange Kunststoff-Metall-Naht liegt bei PSW bei etwa 60 bis 80 s. Demgegenüber stehen bis zu 12 h Aushärtezeit bei Zweikomponenten-Klebern.

Eine Kostenanalyse anhand eines OEM-Bauteils ergab 75 % geringere Fügekosten bei einer Jahresstückzahl von 250.000 Einheiten dank vereinfachter Fügetechnik, günstigerer Rohstoffe und effizienterer Fertigungs-

methoden. Auch die Materialsubstitution hin zu leichteren Werkstoffen bringt zusätzliche Einsparpotenziale.

Unterschiedliche Kunststoffe fügen

War PSW ursprünglich für Kunststoff-Metall-Verbindungen entwickelt, können mittlerweile unterschiedlichste Kunststoffe, amorphe wie teilkristalline, miteinander verschweißt werden. Insbesondere bei thermoplastischen Faserverbundwerkstoffen mit Kurzglasfasern (z. B. PA66-GF30) konnten Zugfestigkeiten von bis zu 90 % des Grundwerkstoffes erreicht werden (Bild 4). Besonders in der Luftfahrt könnte dieser Erfolg maßgeblich zur wei-

the load-bearing functions, while the polymer realises the component functions such as protective casing, ribs, clips or media guides.

As a calculation based on a battery tray for a PHEV (plug-in hybrid electric vehicle) shows, this approach using PSW joints can save up to 50 % in weight and reduce the CO₂ footprint by up to 80 %. For comparison: polyamide saves about 10 kg of CO₂ per 1 kg in direct comparison with aluminium [1]. The same applies to the strengths of aluminium-polymer hybrid joints. Fig. 3 shows a direct comparison of the strength values of composites produced using the PSW process and those produced by adhesive bonding.

Economic Efficiency: PSW and Adhesive Bonding Compared

While adhesive joints require primers, dosing systems, exhaust systems for VOC emissions as well as grease- and silicone-free surfaces, PSW only requires a tool attachment that can be operated on standard 4-axis CNC machines or in robot cells. The cycle time for a 1000 mm long polymer-metal seam is around 60 to 80 s with PSW. By contrast, two-component adhesives can require curing times of up to 12 h.

A cost analysis based on an OEM component showed 75 % lower joining costs for an annual production volume of 250,000 units thanks to simplified joining technology, cheaper

raw materials and efficient manufacturing methods. In addition, material substitution towards lighter materials brings further potential savings.

Joining Different Polymers

Originally developed for polymer–metal joints, PSW can now be used to weld a wide range of different polymers, both amorphous and semi-crystalline. In particular, with thermoplastic fibre-reinforced materials containing short glass fibres (e.g. PA66-GF30), tensile strengths of up to 90 % of the base material have been achieved (Fig. 4). Especially in aerospace, this success could make a significant contribution to further weight reduction of the next aircraft generation, since the weld efficiency factor plays a decisive role in component dimensioning.

Wood is also experiencing a comeback in vehicle construction. Not only in interiors, but also in the field of vehicle safety, as studies by the German Aerospace Center (DLR) show [2]. Since complex structures cannot easily be realised with wood, the combination of polymer injection moulding and wood in the advanced material mix can fully exploit its lightweight advantages. Wood provides the structure, the polymer forms complex attachments and fastening points, precisely positioned, while PSW creates the high-strength joint. As PSW does not require any additional substances, the use of bio-based or biocompatible polymers could enable composting at the end of the component's life, thereby closing the cycle.

Tool: Plug-and-Play Instead of Special Equipment

The core of the royos process is a tool head with integrated temperature control. This can easily be mounted on CNC machines or robots with a milling spindle (Fig. 5). There is no need to purchase expensive special equipment, as the welding head can be used in a wide variety of existing systems. For this purpose, the tool is supplied with the appropriate tool holder for the machine. Operation of the system is intuitive via the control unit, where material combination and thickness are selected on a touch screen display. The required welding parameters, such as feed rate, penetration depth and dwell time at the starting point, are

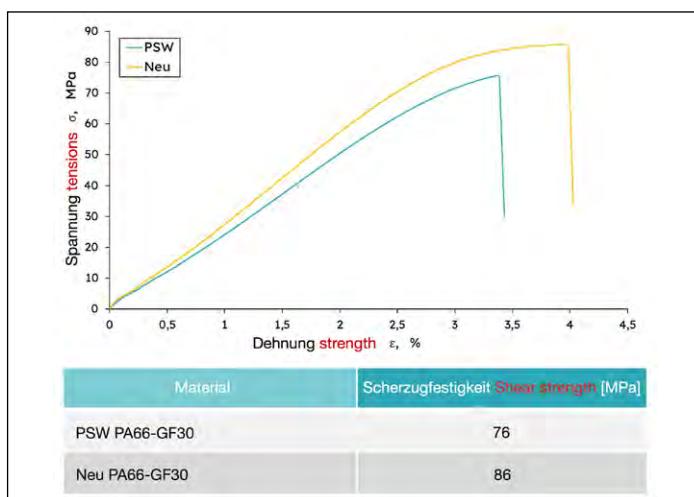


Fig. 4: Zugversuch einer Schweißprobe am PCCL (Polymer Competence Centre Leoben GmbH): Im Labor bestätigen sich die hohen Festigkeitswerte, die durch mechanische Adhäsion erreicht werden. (© royos joining solutions GmbH)

teren Gewichtsreduktion der nächsten Flugzeuggeneration beitragen, da der Schweißnahtminderungsfaktor eine wesentliche Rolle in der Dimensionierung von Bauteilen spielt. Auch Holz erlebt im Fahrzeugbau ein Comeback. Nicht nur im Innenraum, sondern auch im Bereich der Fahrzeugsicherheit, wie Studien des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) zeigen [2]. Da sich komplexe Strukturen mit Holz nicht so einfach abbilden lassen, kann die Kombination aus Kunststoff-Spritzguss und Holz im Advanced Material Mix seine Leichtbauvorteile voll ausspielen. Holz liefert die Struktur, der Kunststoff bildet komplexe Anbauteile und Anschraubpunkte, passgenau positioniert, PSW schafft die hochfeste Verbindung. Da PSW ohne Zusatzstoffe auskommt, könnte durch den Einsatz biobasierter oder biokompatibler Kunststoffe eine Kompostierung am Lebensende des Bauteils ermöglicht und damit der Kreislauf geschlossen werden.

Werkzeug: Plug-and-Play statt Spezialanlage

Herzstück des Verfahrens von royos ist ein Werkzeugkopf mit integrierter Temperaturregelung. Dieser kann einfach an CNC-Maschinen oder Robotern mit Frässpindel gerüstet werden (Bild 5). Es müssen keine teuren Spezialanlagen angeschafft werden, sondern der Schweißkopf lässt sich in einer Vielzahl an bestehenden Anlagen verwenden. Hierzu wird das Werkzeug mit der passenden Werkzeugaufnahme für die Maschine ausgeliefert.

Die Bedienung des Systems erfolgt intuitiv am Steueraggregat, wo Werkstoffkombination und -dicke über ein Touch Screen Display ausgewählt werden. Die erforderlichen Schweißdaten, z. B. Vorschub, Eindringtiefe und Verweilzeit am Startpunkt, sind in einer Matrix hinterlegt und können vom Maschinenbediener in die Werkzeugmaschine einge-

gegeben werden. Ein ausgebildeter Zerspanungstechniker kann das PSW-Verfahren somit auf Anhieb einsetzen, ohne eine Sonderausbildung, wie sie beispielsweise beim Rührreibschweißen benötigt wird. Schon bei der Entwicklung des Werkzeugs wurde insbesondere auf einfache Anwendung und Praxistauglichkeit geachtet. Durch die Verwendung von Bestandsanlagen können neue Potenziale ohne hohe Investitionskosten erschlossen werden.

Umweltbilanz: Kreislaufwirtschaft statt Verbundmüll

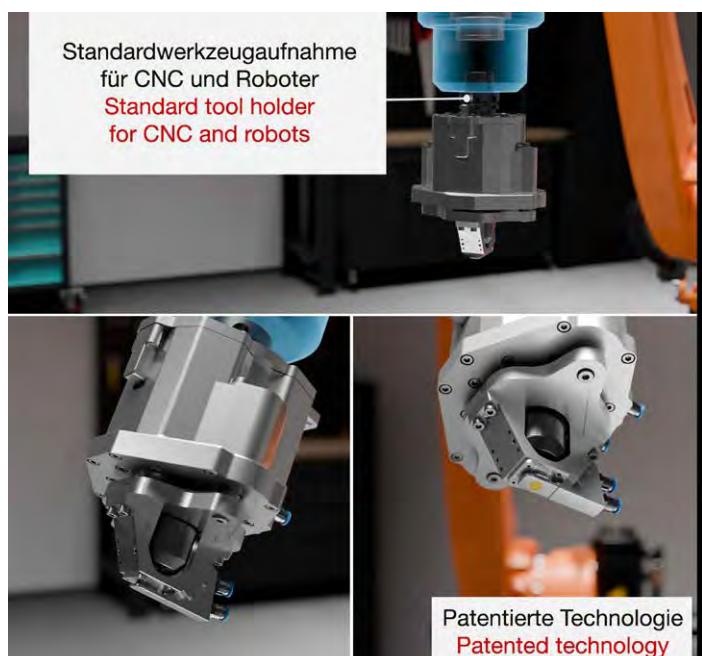
Jedes Kilogramm Primäraluminium verursacht in der Gewinnung und Aufbereitung rund 13 kg CO₂, während glasfaserverstärktes PA6 nur etwa 4 kg emittiert. Bei der Herstellung von wasserführenden Elektronikkühlern werden häufig Aluminiumbleche und Aluminiumgussgehäuse untrennbar miteinander verschweißt. Beim Einschmelzen des Schrotts kommt es dadurch, je nach Gewichtsanteilen, zur Verwässerung der Legierung und dadurch zum Downcycling.

Durch die Substitution von Metallen durch thermoplastische Kunststoffe reduziert sich der CO₂-Footprint der Bauteile bereits in der Materialvorkette. Geklebte Baugruppen hingegen enden meist in der thermischen Verwertung, da Klebstoffreste kaum rückstandslos entfernt werden können. Ein entscheidender Vorteil des PSW kommt mit dem Lebensende des Bauteils zum Tragen: PSW-Nähte lassen sich mechanisch trennen, Metallschrotte sortenrein recyceln, das Polymer kann zu einem hohen Anteil regranuliert werden, da keine Verunreinigungen stattfinden.

Autoren und Kontakt

Mario Leitner, mario.leitner@royos.at, Cornelia Leitner, cornelia.leitner@royos.at, DI Dr. Andreas Hausberger, andreas.hausberger@royos.at, royos joining solutions GmbH

Standardwerkzeugaufnahme
für CNC und Roboter
Standard tool holder
for CNC and robots



Patentierte Technologie
Patented technology

Bild 5: Werkzeug auf Roboter mit Frässpindel: Das Werkzeug wird nach Kundenanforderung mit der passenden Werkzeugaufnahme ausgestattet und direkt in die Spindel geladen. (© royos joining solutions GmbH)

Fig. 5: Tool on robot with milling spindle: The tool is equipped with the appropriate tool holder according to customer requirements and loaded directly into the spindle. (© royos joining solutions GmbH)

stored in a matrix and can be entered by the machine operator into the machine tool. A trained cutting machine operator can therefore use the PSW process immediately, without the need for special training as required, for example, for friction stir welding. Right from the development stage of the tool, particular attention was paid to simple application and practical suitability. By making use of existing equipment, new potential can be unlocked without high investment costs.

Environmental Balance: Circular Economy Instead of Composite Waste

Each kilogram of primary aluminium causes around 13 kg of CO₂ in extraction and processing, while glass fibre reinforced PA6 emits only about 4 kg. In the production of water-carrying electronic coolers, aluminium sheets and aluminium die-cast housings are often inseparably welded to-

gether. When the scrap is remelted, depending on the weight fractions, this leads to dilution of the alloy and thus downcycling. By substituting metals with thermoplastic polymers, the CO₂ footprint of the components is already reduced in the material supply chain. Bonded assemblies, on the other hand, usually end up in thermal recycling, since adhesive residues can hardly be removed without leaving traces. A decisive advantage of PSW becomes apparent at the end of the component's life: PSW seams can be mechanically separated, metal scrap can be recycled by alloy type and the polymer can be regranulated to a high degree, since no contamination takes place.

Authors and Contact

Mario Leitner, mario.leitner@royos.at, Cornelia Leitner, cornelia.leitner@royos.at, DI Dr. Andreas Hausberger, andreas.hausberger@royos.at, royos joining solutions GmbH

Literatur References

- [1] Schneider, A. (2022): Darum ist Aluminium nicht gut für die Umwelt, URL: <https://www.quarks.de/umwelt/muell/darum-ist-aluminium-nicht-gut-fuer-die-umwelt> [Abruf: 07.08.2025].
- [2] Heyner, D.; Piazza, G.; Beeh, E.; Seidel, G.; u. a.: Crashtest einer Fahrzeugtür mit holzbasiertem funktionsintegriertem Türaufprallträger unter realitätsnahen Randbedingungen. In: VDI-Berichte 2387, S. 19/34. VDI Verlag GmbH, Düsseldorf 2022.

Ambossfreies Ultraschallschweißen für nur einseitig zugängliche Schweißsituationen

Anvil-Free Ultrasonic Welding for Welding Situations With Accessibility From One Side Only

Kurzfassung

Ultraschallschweißen wird aufgrund der guten Automatisierbarkeit und einfachen Prozessführung zunehmend in der Serienproduktion eingesetzt. Konventionell erfolgt das Verfahren standardisiert unter Verwendung eines Ambosses, wodurch eine beidseitige Zugänglichkeit des Fügebereichs erforderlich ist. Diese Anforderung stellt eine der wesentlichen Einschränkungen des Verfahrens dar. Der derzeitige Stand der Technik erlaubt bislang keine effiziente Nutzung des Ultraschallschweißens unter einseitig zugänglichen Bedingungen.

Ziel dieser Untersuchungen war daher die Bestimmung einer Mindeststeifigkeit des unteren Fügepartners, die es ermöglicht, diesen als funktionalen Amboss zu nutzen und somit gleichbleibende Schweißnahtqualitäten zu erzielen. Dadurch entfällt die Notwendigkeit der beidseitigen Zugänglichkeit, wie sie beim konventionellen Ultraschallschweißen erforderlich ist. Die Identifikation dieser Steifigkeitsgrenze erlaubt es, bereits vor der Durchführung von Schweißuntersuchungen zu beurteilen, ob ein zusätzlicher Amboss erforderlich ist oder ob auf diesen verzichtet werden kann. Dies trägt potenziell zur erweiterten Anwendbarkeit des Ultraschallschweißens bei.



Theresa Arndt, M. Sc.

Wissenschaftliche Mitarbeiterin, Fachgebiet Kunststoffverarbeitung
Research Associate, Plastics Technology and Plastics Processing

Universität Paderborn, Kunststofftechnik Paderborn (KTP)
Theresa.arndt@ktp.upb.de



Prof. Dr.-Ing. Volker Schöppner

Leiter des Bereichs Kunststofftechnik der Universität Paderborn (KTP)
Head of the Plastics Technology Department at Paderborn University (KTP)

Universität Paderborn, Kunststofftechnik Paderborn (KTP)
volker.schoeppner@ktp.upb.de

Mehr Informationen zu den Autoren auf www.joining-plastics.info/autoren
More information on the authors at www.joining-plastics.info/en/authors

Abstract

Because of the good automation capacity and the simple process management, ultrasonic welding is being utilised in series production to an increasing extent. Conventionally, the procedure is carried out in a standardised form using an anvil and the joining region must thus be accessible from both sides. This requirement constitutes one of the essential restrictions of the procedure. Until now, the current state of the art has not permitted any efficient use of ultrasonic welding in conditions with accessibility from one side.

1. Einleitung

Ziel des Forschungsprojekts ist die Bestimmung einer Mindestbauteilsteifigkeit des unteren Fügepartners beim Ultraschallschweißen ohne Amboss, damit dieser selbst die Funktion des Ambosses übernehmen kann. In der Standardanwendung erfordert das Verfahren einen Amboss, wodurch eine beidseitige Zugänglichkeit der Fügezone notwendig ist. Diese Anforderung stellt eine der wesentlichen Einschränkungen des Verfahrens dar, da sie den Einsatzbereich stark limitiert. Infolgedessen wird in zahlreichen Anwendungen auf alternative Fügeverfahren zurückgegriffen, die mitunter schlechtere Schweißnahtqualitäten oder höhere

Fertigungskosten mit sich bringen. Im Rahmen der Untersuchungen werden Auslegungs- und Gestaltungsempfehlungen entwickelt, mit denen Anwender mithilfe einfacher Berechnungen die erforderliche Geometrie des unteren Fügepartners in Abhängigkeit vom eingesetzten Werkstoff bestimmen können. Zudem besteht die Möglichkeit, bestehende Bauteile durch gezielte Materialanpassungen hinsichtlich ihrer Steifigkeit für den ambossfreien Prozess zu optimieren. Auf diese Weise kann das Ultraschallschweißen auch bei einseitigem Zugang zur Fügezone wirtschaftlich und prozesssicher eingesetzt werden, wodurch kostenintensive Alternativverfahren vermieden werden können.

1. Introduction

The objective of the research project is to determine a minimum component stiffness of the bottom joining member in the case of ultrasonic welding without an anvil so that this itself can perform the function of the anvil. In the standard application, the procedure needs an anvil and the joining zone must thus be accessible from both sides. This requirement constitutes one of the essential restrictions of the procedure since it places extreme limits on the area of utilisation. In numerous applications, this consequently leads to the use of alternative joining procedures which sometimes entail worse weld qualities or higher fabrication costs. De-

sign and configuration recommendations with which users can, with the aid of simple calculations, determine the required geometry of the bottom joining member depending on the utilised material are developed within the framework of the investigations. Moreover, there is the possibility of optimising existing components for the anvil-free process by making targeted material adjustments with regard to their stiffnesses. In this way, ultrasonic welding can be utilised in an economically viable and reliable process even if the joining zone is accessible from one side, thus avoiding any cost-intensive alternative procedures. At the same time, it is possible to lower the manufacturing

Gleichzeitig lassen sich die Herstellungskosten bei der Entwicklung neuer Kunststoffbauteile senken und die Produktqualität verbessern. Die hierdurch erzielte Weiterentwicklung des Fügeverfahrens trägt zur Erweiterung seines Einsatzspektrums bei und erschließt das bislang ungenutzte Potenzial des ambossfreien Ultraschall-schweißens.

2. Ultraschallschweißen (USS)

Das Ultraschallschweißen (USS) zählt zu den Fügeverfahren, bei denen die Erwärmung der Fügepartner durch mechanische Bewegung erfolgt. Der Wärmeeintrag wird dabei durch die Dissipation hochfrequenter mechanischer Schwingungen innerhalb der Werkstücke erzielt. Seit den 1960er-Jahren ist dieses Verfahren industriell etabliert. Eine typische Ultraschall-schweißanlage besteht aus einem Generator, einer Schweißpresse, einem Konverter, einem Booster, einer Sonotrode sowie einem Amboss (Bild 1). Die zu fügenden Komponenten werden über die Sonotrode mit Ultraschall angeregt, wobei die vom Generator erzeugten elektrischen Signale in mechanische Schwingungen mit Frequenzen zwischen 20 und 70 kHz umgewandelt werden. Diese Schwingungen werden über den Booster (ein Verbindungsbauteil mit oder ohne Amplitudentransformation) sowie die Sonotrode auf die Bauteile übertragen. Die unter definiertem Anpressdruck in Kontakt stehenden Fügepartner absorbieren die eingeleitete Schwingungsenergie, während der schallharte Amboss diese Schwingungen reflektiert und somit eine stehende Welle erzeugt. Durch die hierbei entstehende Grenzflächen- und intermolekulare Reibung in der Fügegenaht erwacht der Kunststoff. Mit zunehmendem Dämpfungsfaktor beschleunigt sich die Energieumwandlung, sodass das Polymer aufschmilzt und sich unter Aufrechterhaltung des Fügedrucks eine feste Verbindung bildet. Nach einer definierten Halte- bzw. Abkühlzeit ist der Schweißvorgang abgeschlossen. Während dieser Phase muss der Anpressdruck gehalten werden. [1–7]

Grundsätzlich können alle Thermo-plaste (Blends, verstärkte oder gefüllte) mit Hilfe des Ultraschallschwei-

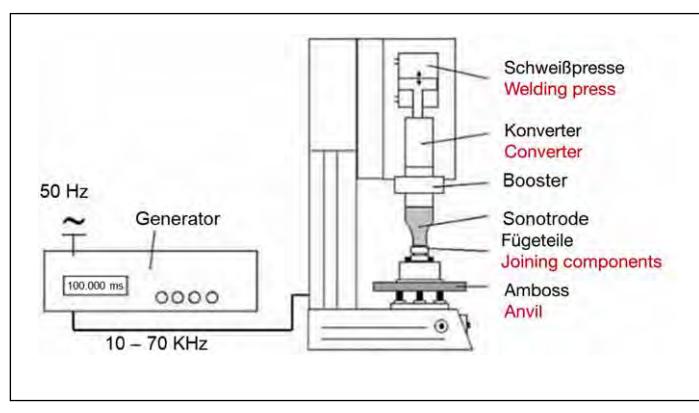


Bild 1: Schematische Darstellung einer Ultraschallschweißanlage [1]

Fig. 1: Schematic representation of an ultrasonic welding installation [1]

Bens gefügt werden. Die erreichbaren Schweißnahtqualitäten sind dabei jedoch stark werkstoff- und geometrieabhängig. Aufgrund der großen Materialkompatibilität und der erzielbaren Nahtqualität weist das USS ein hohes Potenzial auf. Neben den Werkstoffeigenschaften ist die konstruktive Gestaltung ebenfalls entscheidend. Die Integration eines Energierichtungsgebers (ERG) oder einer Quetschnaht wird empfohlen. Der ERG sorgt für die lokale Fokussierung der Schwingungsenergie auf eine definierte Zone mit geringer Wärmekapazität, was eine gezielte Initiierung des Aufschmelzvorgangs ermöglicht. Dadurch kann die aufzuschmelzende Fläche verringert, die Schweißzeit minimiert und die Energieeffizienz des Verfahrens erhöht werden. Die Schmelze der ERG-Spitze verteilt sich in der Fügezone, weshalb die restliche Fügefäche durch Wärmeleitung schneller plastifiziert wird. Fehlt ein solcher ERG, besteht

costs during the development of new plastic components and to improve the product quality. The joining procedure refinement attained by this contributes to the extension of its utilisation spectrum and opens up the as yet unexploited potential of anvil-free ultrasonic welding.

2. Ultrasonic Welding (USW)

Ultrasonic welding (USW) is one of the joining procedures in which the joining members are heated by mechanical movement. In this respect, the heat input is attained by the dissipation of high-frequency mechanical vibrations inside the workpieces. This procedure has been established in industry since the 1960s. A typical ultrasonic welding installation consists of a generator, a welding press, a converter, a booster, a sonotrode as well as an anvil (Fig. 1). The components to be joined are stimulated with ultrasound via the sonotrode. In this case, the electrical signals produced

by the generator are converted into mechanical vibrations at frequencies between 20 kHz and 70 kHz. These vibrations are transmitted to the components via the booster (a connecting component with or without amplitude transformation) and the sonotrode. The joining members touching each other at a defined pressing-on pressure absorb the introduced vibration energy while the reverberant anvil reflects these vibrations and thus produces a standing wave. The plastic is softened by the interfacial and intermolecular friction arising in the joining weld in this respect. The energy conversion is accelerated as the damping factor increases. Thus, the polymer melts completely and forms a strong joint if the joining pressure is preserved. The welding operation is concluded after a defined holding or cooling time. The pressing-on pressure must be maintained during this phase [1–7].

Basically, all thermoplastics (blends, reinforced or filled) can be joined with the aid of ultrasonic welding. However, the achievable weld qualities are extremely dependent on the materials and the geometries in this case. USW exhibits a high potential because of the great material compatibility and the attainable weld quality. Not only the material properties but also the design-related configuration are decisive. The integration of an energy director (ED) or a pinch-off weld is recommended. The ED ensures the local focusing of the vibration energy on a defined zone with a low heat capacity, thus permitting the target-



Bild 2: Darstellung der verwendeten oberen Probekörpergeometrien

Fig. 2: Representation of the utilised top test specimen geometries

die Gefahr, dass eine ungleichmäßige, qualitätsmindernde Schweißnaht erzielt wird. [1], [6], [8–10]

Gegenüber anderen Schweißverfahren bietet das USS zahlreiche Vorteile wie die hohe Schweißnahtqualität bei geringen Zykluszeiten und geringem Energieaufwand. Zusätzlich bietet das USS eine ausgezeichnete Reproduzierbarkeit der Schweißnähte bei gleichzeitig kostengünstiger Anlagentechnik. Der Verzicht auf Schweißzusätze und die üblicherweise entfallende Nacharbeit reduzieren die Prozesskosten ebenfalls. Basierend auf der guten Automatisierbarkeit und der einfachen Prozesskontrolle ist das USS insbesondere für die Serienfertigung prädestiniert. Die bisher erforderliche beidseitige Zugänglichkeit der Fügezone bei punktuellen Verbindungen stellt einen der größten Nachteile dieses Fügeverfahrens dar. Da diese Voraussetzung in vielen Anwendungen nicht gegeben ist, muss alternativ auf andere Fügeprozesse zurückgegriffen werden, was oft mit Nachteilen hinsichtlich Nahtqualität oder Fertigungskosten einhergeht. [6], [11–14]

Der Einsatz von Handgeräten für das Ultraschallschweißen in Fällen mit nur einseitigem Zugang ist Stand der Technik. Durch die mangelnde Erfahrung sowie die unzureichende Reproduzierbarkeit und eingeschränkte Nahtqualität ist diese Anwendung aktuell limitiert. Bei nur einseitig zugänglichen Schweißsituationen kommt die Verwendung einer Standard-Ultraschallschweißanlage nicht in Frage, da die Bauteile nicht mit Hilfe des Ambosses fixiert

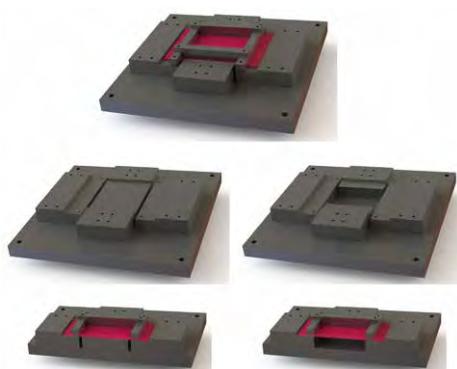


Bild 3: Darstellung der verwendeten Spannvorrichtungen (oben: verspannter Zustand der Platte; links: Standard-Verfahren; rechts: ambossfreies Verfahren)

Fig. 3: Representation of the utilised clamping jigs (top: braced condition of the plate; left: standard procedure; right: anvil-free procedure)

werden können. Stattdessen kommen Handgeräte zum Einsatz, wobei der untere Fügepartner als Amboss fungiert. Typische Anwendungsbeispiele sind das Anbringen von Halterungs- und Befestigungsclips an Rohrleitungen oder geschlossenen Behältern (beispielsweise Kraftstofftanks). Die variablen Einflussfaktoren bei der Verwendung von Handgeräten (unterschiedliche Umgebungsbedingungen oder Bedienereinflüsse) führen jedoch zu erheblichen Schwankungen in der Prozessqualität. Bislang existieren keine systematischen Untersuchungen, welche Mindeststeifigkeit der untere Fügepartner aufweisen muss, um zuverlässig als Amboss fungieren und somit reproduzierbare, qualitativ hochwertige Schweißverbindungen mit einem Handgerät oder mit einer ambossfreien Ultraschallschweißanlage ermöglichen zu können. [14–15]

3. Experimentelle und simulative Untersuchungen

Die Grundlagen für die Bestimmung der Mindestbauteilsteifigkeit liefern

ed initiation of the complete melting operation. Therefore, it is possible to decrease the area to be melted completely, to minimise the welding time and to raise the energy efficiency of the procedure. The melt of the ED tip is distributed in the joining zone. For this reason, the remaining joining face is plastified more quickly by heat conduction. The lack of such an ED entails the danger that a non-uniform, quality-reducing weld is attained [1], [6], [8–10].

Compared with other welding procedures, USW offers numerous advantages such as the high weld quality with short cycle times and low energy inputs. In addition, USW offers excellent reproducibility of the welds with more cost-favourable installation technology at the same time. The process costs are also reduced by dispensing with any welding consumables and the usually unnecessary remachining. On the basis of the good automation capacity and the simple process control, USW is predestined for series fabrication in particular. The fact that the joining zones of spot joints have had to be accessi-

ble from both sides until now constitutes one of the greatest disadvantages of this joining procedure. Since this prerequisite does not exist in many applications, it is necessary to use other joining processes as alternatives. This is often accompanied by disadvantages with regard to the weld quality or the fabrication costs [6], [11–14].

The utilisation of hand-held devices for ultrasonic welding in cases with accessibility from one side only is the state of the art. At present, this application is limited not only by the lack of experience but also by the inadequate reproducibility and the restricted weld quality. If the welding situations are accessible from one side only, it is not feasible to use a standard ultrasonic welding installation since the components cannot be fixed with the aid of the anvil. Hand-held devices are utilised instead of this and the bottom joining member acts as the anvil in this respect. One example of a typical application is the attachment of holding and fastening clips to pipes or closed vessels (e.g. fuel tanks). However, the variable influencing factors when hand-held devices are used (different ambient conditions or operator influences) lead to considerable fluctuations in the process quality. Until now, there have been no systematic investigations into what minimum stiffness the bottom joining member must exhibit in order to reliably act as the anvil and thus to permit reproducible, high-quality welded joints with a hand-held device or an anvil-free ultrasonic welding installation [14–15].

3. Experimental and Simulative Investigations

Experimental and simulative investigations supply the fundamentals for the determination of the minimum component stiffness. Two test specimen geometries to be investigated were stipulated (Fig. 2): on the one hand, the DVS ultrasonic welding specimen and, on the other hand, the American Welding Society (AWS) test specimen, in each case with an energy director. These are welded on plates with different geometrical dimensions (60 × 60 mm, 100 × 60 mm and 150 × 100 mm, in each case with 1 mm, 2 mm and 3 mm plate thicknesses) in order to vary the compo-

Tabelle 1: Übersicht der Schweißparameter für den DVS-Probekörper (oben) und den AWS-Probekörper (unten) für die 60 × 60 mm Platten

Table 1: Overview of the welding parameters for the DVS test specimen (top) and the AWS test specimen (bottom) for the 60 × 60 mm plates

DVS	PC	PMMA	PA6 GF30
Amplitude [µm]	23; 26; 29	18; 20; 22	35; 37; 39
Fügedruck Joining pressure [N/mm ²]	0,5; 1,25; 2	0,5; 1,25; 2	0,5; 1,25; 2
Haltezeit Holding time [s]	1	1	1
Fügekraft Joining force [N]	80; 160; 320	80; 160; 320	80; 160; 320
Fügeweg Joining path [mm]	0,3; 0,6	0,3; 0,6	0,3; 0,6
AWS			
Amplitude [µm]	23; 26; 29	18; 20; 22	35; 37; 39
Fügedruck Joining pressure [N/mm ²]	0,5; 1,25; 2	0,5; 1,25; 2	0,5; 1,25; 2
Haltezeit Holding time [s]	1	1	1
Fügekraft Joining force [N]	50; 125; 200	50; 125; 200	50; 125; 200
Fügeweg Joining path [mm]	0,4; 0,5	0,4; 0,5	0,4; 0,5

experimentelle und simulative Untersuchungen. Es wurden zwei zu untersuchende Probekörpergeometrien festgelegt (Bild 2). Zum einen der DVS-Ultraschallschweißkörper und zum anderen der American-Welding-Society-Probekörper, jeweils mit einem Energierichtungsgeber. Diese werden auf Platten mit unterschiedlichen geometrischen Abmessungen (60×60 mm, 100×60 mm und 150×100 mm jeweils mit 1 mm, 2 mm und 3 mm Plattendicke) geschweißt, um hierüber die Bauteilesteifigkeit des unteren Fügepartners zu variieren. Bild 3 zeigt die schematische Darstellung der Spannvorrichtungen für das Standard-Ultraschallschweißen mit Amboss (links) sowie für die ambossfreie Variante (rechts). Die wesentlichen Unterschiede bestehen darin, dass beim Standardverfahren der untere Fügepartner fest gegen den Amboss gelagert ist, während bei der ambossfreien Variante eine federnde Lagerung unterhalb des Fügebereichs zum Einsatz kommt, die ohne einen starren Gegenhalt auskommt.

Basierend auf den ausgewählten Materialien Polyamid 6 mit 30 % Glasfaserverstärkung (PA6 GF30), Polycarbonat (PC) und Polymethylmethacrylat (PMMA) sowie den Probekörpergeometrien wurde ein dreidimensionales thermo-mechanisches Temperaturmodell in Abaqus aufgebaut (Bild 4), das den Schweißvorgang sowie den Schwingprozess simuliert. Dafür wurden temperaturabhängige mechanische Materialeigenschaften wie das Spannungs-Dehnungsverhalten, die Querkontraktion, der E-Modul und die Massendichte im Modell hinterlegt. Weiterhin wurden thermische Materialeigenschaften wie die Wärmeleitfähigkeit und -kapazität, der Längenausdehnungskoeffizient und die Dämpfungseigenschaften implementiert. Diese Materialeigenschaften wurden im Prüflabor der Kunststofftechnik Paderborn bestimmt. Ziel ist es im späteren Verlauf, mithilfe der Simulation eine Aussage über die Schweißbarkeit ohne Amboss treffen zu können. Das Simulationsmodell ermöglicht die Darstellung der von-Mises-Vergleichsspannung sowie der Knotenpunkttemperaturen. Somit können sämtliche Betriebspunkte

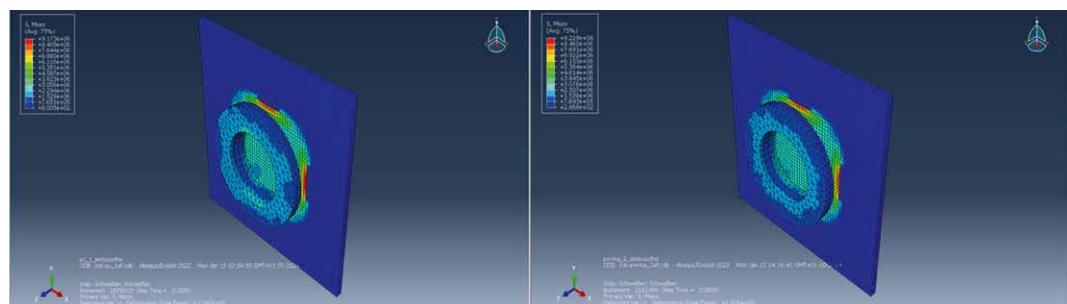


Bild 4: Vergleichsspannungsverteilung für das ambossfreie Ultraschallschweißen mit PC (links) und PMMA (rechts) mit einer Fügekraft von 160 N

Fig. 4: Equivalent stress distribution for the anvil-free ultrasonic welding with PC (left) and PMMA (right) at a joining force of 160 N

aus dem experimentellen Versuchsplan simulativ betrachtet und eine Aussage über den Temperaturverlauf kann während des Schweißvorgangs getroffen werden.

Neben den simulativen wurden weiterhin experimentelle Untersuchungen durchgeführt. Es wurden Schweißuntersuchungen im ambossfreien und im Standard-Ultraschallschweißprozess durchgeführt und die Schweißnahtqualitäten abschließend beurteilt. Tabelle 1 zeigt eine Übersicht der Schweißparameter für den DVS- sowie den AWS-Probekörper und die 60×60 mm Platten. Jeder Betriebspunkt wurde für alle drei Plattendicken und jeweils dreifach

aus dem experimentellen Versuchsplan simulativ betrachtet und eine Aussage über den Temperaturverlauf kann während des Schweißvorgangs getroffen werden.

Neben den simulativen wurden weiterhin experimentelle Untersuchungen durchgeführt. Es wurden Schweißuntersuchungen im ambossfreien und im Standard-Ultraschallschweißprozess durchgeführt und die Schweißnahtqualitäten abschließend beurteilt. Tabelle 1 zeigt eine Übersicht der Schweißparameter für den DVS- sowie den AWS-Probekörper und die 60×60 mm Platten. Jeder Betriebspunkt wurde für alle drei Plattendicken und jeweils dreifach

aus dem experimentellen Versuchsplan simulativ betrachtet und eine Aussage über den Temperaturverlauf kann während des Schweißvorgangs getroffen werden.

Neben den simulativen wurden weiterhin experimentelle Untersuchungen durchgeführt. Es wurden Schweißuntersuchungen im ambossfreien und im Standard-Ultraschallschweißprozess durchgeführt und die Schweißnahtqualitäten abschließend beurteilt. Tabelle 1 zeigt eine Übersicht der Schweißparameter für den DVS- sowie den AWS-Probekörper und die 60×60 mm Platten. Jeder Betriebspunkt wurde für alle drei Plattendicken und jeweils dreifach

Bruch Typ 1: Schweißnahtbruch	Fracture Type 1: Weld fracture
Bruch Typ 2: Bruch DVS-Probekörper	Fracture Type 2: Fracture in DVS test specimen
Bruch Typ 3: Bruch PC-Platte	Fracture Type 3: Fracture in PC plate
Mischbruch Typ 1: Bruch Schweißnaht (blau) und DVS (orange)	Mixed-Mode Fracture Type 1: Fracture in weld (blue) and DVS (orange)
Mischbruch Typ 2: Bruch PC-Platte und DVS	Mixed-Mode Fracture Type 2: Fracture in PC plate and DVS
Mischbruch Typ 3: Bruch Schweißnaht (blau), PC-Platte (grün) und DVS (orange)	Mixed-Mode Fracture Type 3: Fracture in weld (blue), PC plate (green) and DVS (orange)

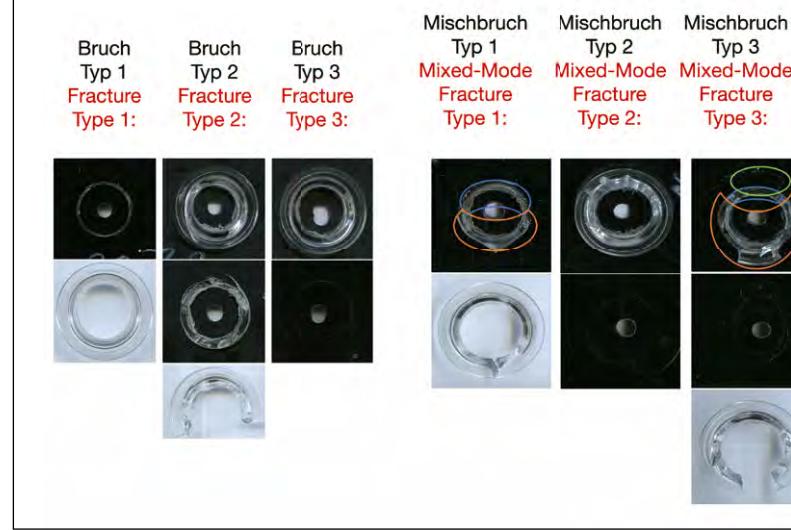


Bild 5: Übersicht der Bruchtypen exemplarisch für Polycarbonat

Fig. 5: Overview of the fracture types for polycarbonate as an example

Tabelle 2: Übersicht der Bauteilsteifigkeiten für den unteren Fügepartner
Table 2: Overview of the component stiffnesses for the bottom joining member

	Bauteilsteifigkeit des unteren Fügepartners [kNm²] Component stiffness of bottom joining member [kNm²]								
	60 × 60 mm			100 × 60 mm			150 × 100 mm		
	1 mm	2 mm	3 mm	1 mm	2 mm	3 mm	1 mm	2 mm	3 mm
PC	12,00	96,00	324,0	20,00	160,0	540,0	30,00	240,0	810,0
PMMA	16,50	132,0	445,5	27,50	220,0	742,5	41,30	330,0	1.114
PA 6 GF30	30,00	240,0	810,0	50,00	400,0	1.350	75,00	600,0	2.025

untersucht, um eine Reproduzierbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten. Zur Beurteilung der Schweißnahtqualität wurde der Zugversuch herangezogen, um die Schweißnahtfestigkeit zu ermitteln. Erste Untersuchungen zeigten jedoch, dass eine reine Qualifizierung der Schweißungen anhand der Schweißnahtfestigkeit nicht möglich ist, da verschiedene Bruchtypen ersichtlich wurden. Dabei gab es drei Bruchtypen und drei Mischbruch-Typen (Bild 5).

Aufgrund dieser Ergebnislage wurden die Schweißuntersuchungen im weiteren Verlauf der experimentellen Untersuchungen anhand der maximal ertragbaren Kraft bis zum Versagen beurteilt. Dabei handelt es sich bei F_{\max} um die maximale Abzugskraft, die das Bauteil im Zugversuch bis zum vollständigen Versagen aufnimmt. Eine Berechnung der Schweißnahtfestigkeit ist hier nicht sinnvoll, da aufgrund der beobachteten unterschiedlichen Bruchtypen und Mischbrucharten die tatsächlich tragende Schweißnahtfläche nicht eindeutig bestimmbar ist. Als unterer Fügepartner wurden zunächst Platten mit den Abmessungen 60 × 60 mm und den Dicken 1 mm, 2 mm und 3 mm untersucht. Daraus ergeben sich unterschiedliche Bauteilsteifigkeiten für den unteren Fügepartner in Abhängigkeit der jeweiligen Materialien. Basierend auf den Ergebnissen wurden für die Platten mit den Abmessungen 100 × 60 mm und 150 × 100 mm weitere Versuchspläne erstellt, um die Bauteilsteifigkeiten sowohl zu erhöhen als auch in feineren Schritten zu variieren. Die Bauteilsteifigkeit S des unteren Fügepartners wurde in Abhängigkeit des Elastizitätsmoduls E und des Flächenträgheitsmoments I nach der Beziehung $S = E \cdot I$ [Gleichung 1] berechnet. Das Flächenträgheitsmoment I hängt dabei von der Geometrie (Breite b und

Dicke h) der Platte ab und lässt sich mit Hilfe von Gleichung 2 berechnen:

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

Durch Variation der Plattenabmessungen und -dicken ergeben sich die in Tabelle 2 dargestellten Bauteilsteifigkeiten.

Dabei sind die relevanten Größen die Biegesteifigkeit des unteren Fügepartners (S), die Geometrie des oberen Fügepartners in Form der Fläche (A) und die maximal ertragbare Kraft bis zum Versagen (F_{\max}). Die Fläche A bezieht sich hierbei auf die Schweißnahtfläche des oberen Fügepartners im Fügebereich. Sie entspricht der projizierten Kontaktfläche des Energierichtungsgebers und hängt somit von der gewählten Probekörpergeometrie (DVS- oder AWS-Probekörper) ab. Bild 6 zeigt eine schematische Darstellung der funktionalen Zusammenhänge der dimensionslosen Kennzahl K . Unterhalb der Grenze $K_{\text{ambossfrei}} = K_{\text{Standard}}$ bleibt der Amboss weiterhin notwendig, während oberhalb dieser Grenze auf den Amboss verzichtet werden kann und das Ultraschallschweißen auch bei einseitig zugänglichen Schweißsituationen zum Einsatz kommen kann. Somit kann die notwendige Bauteilsteifigkeit des unteren Fü-

Plastics Technology. In the subsequent course, the objective is to use the simulation in order to be able to make a statement about the weldability without an anvil. The simulation model permits the representation of the equivalent stress according to von Mises and the nodal point temperatures. Thus, it is possible to consider all the operating points from the experimental test plan simulative and to make a statement about the temperature course during the welding operation.

There were both simulative and experimental investigations. Welding investigations were conducted in the anvil-free and standard ultrasonic welding processes and the weld qualities were assessed at the end. Table 1 shows an overview of the welding parameters for the DVS and AWS test specimens and the 60 × 60 mm plates. Every operating point was investigated for all three plate thicknesses and three times in each case in order to guarantee the reproducibility of the results. For the assessment of the weld quality, reference was made to the tensile test in order to establish the weld strength. However, initial investigations showed that it is not possible to qualify the welds purely on the basis of the weld strengths since vari-

ous fracture types became evident. In this respect, there were three fracture types and three mixed-mode fracture types (Fig. 5).

Because of this results situation, the welding investigations were, in the further course of the experimental investigations, assessed on the basis of the maximum bearable force until failure. In this respect, F_{\max} constitutes the maximum pull-off force which the component absorbs in the tensile test until complete failure. Here, it does not make any sense to calculate the weld strength since the actually load-bearing weld area cannot be determined unambiguously because of the observed different fracture types and mixed-mode fracture types. First of all, plates with the 60 × 60 mm dimensions and the 1 mm, 2 mm and 3 mm thicknesses were investigated as the bottom joining member. These result in different component stiffnesses for the bottom joining member depending on the respective materials. On the basis of the results, further test plans were elaborated for the plates with the 100 × 60 mm and 150 × 100 mm dimensions in order not only to raise the component stiffnesses but also to vary them in finer steps. The component stiffness S of the bottom joining member was calculated depending on the modulus of elasticity E and the geometrical moment of inertia I according to the relationship: $S = E \cdot I$ [Equation 1]. In this respect, the geometrical moment of inertia I depends on the geometry (width b and thickness h) of the plate and can be calculated with the aid of Equation 2:

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

The component stiffnesses portrayed in Table 2 result from the variation of the plate dimensions and thicknesses.

In this respect, the relevant variables are the bending stiffness of the

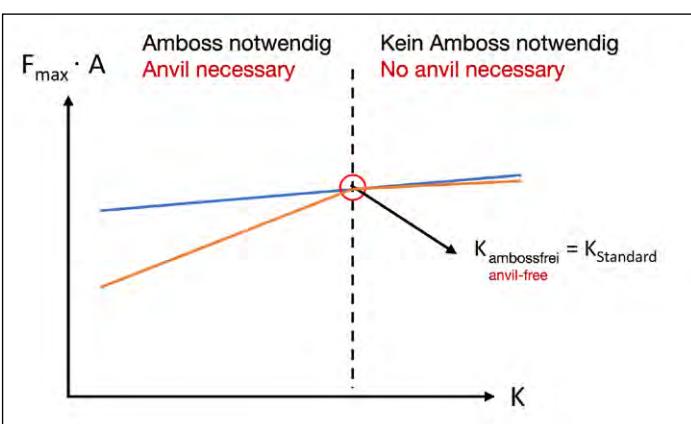


Bild 6: Schematische Darstellung der funktionalen Zusammenhänge der dimensionslosen Kennzahl K

Fig. 6: Schematic representation of the functional connections of the dimensionless index K

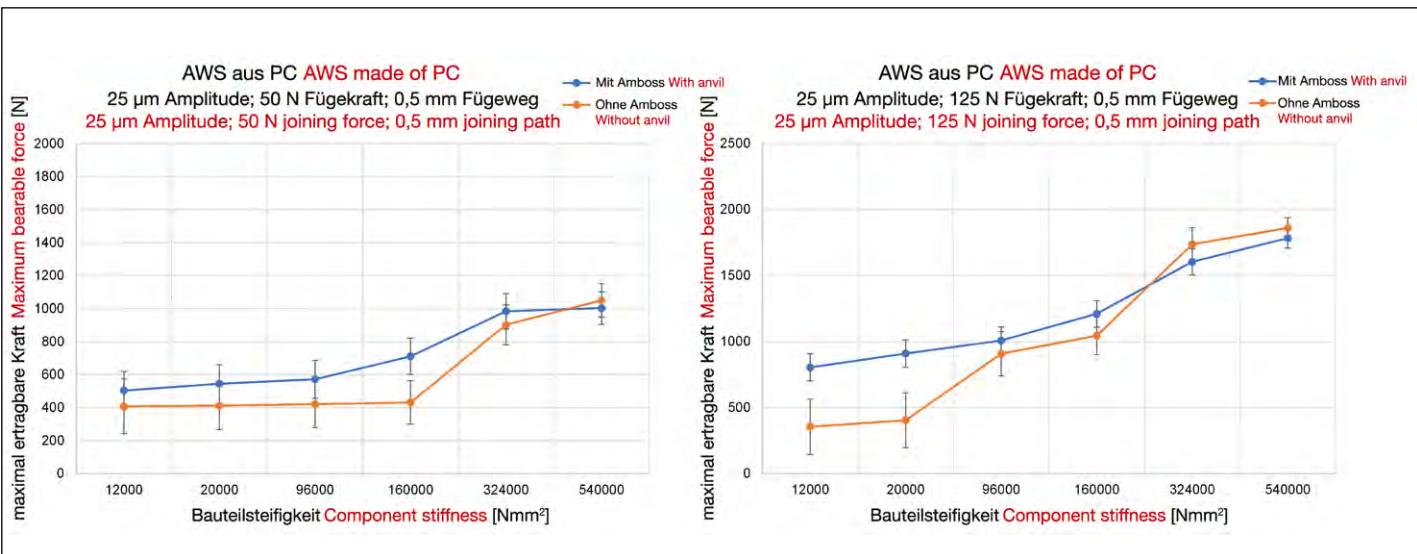


Bild 7: Darstellung der maximal ertragbaren Kraft für den AWS-Probekörper aus Polycarbonat bei einer Fügekraft von 50 N (links) und einer Fügekraft von 125 N (rechts)

Fig. 7: Representation of the maximum bearable force for the AWS test specimen made of polycarbonate at a joining force of 50 N (left) and a joining force of 125 N (right)

gepartners berechnet werden, um auf den Amboss verzichten zu können. Damit kann das Anwendungsfeld des Ultraschallschweißens deutlich erweitert werden.

4. Ergebnisse

Nach Auswertung der experimentellen Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass das ambossfreie Ultraschallschweißen grundsätzlich anwendbar ist und eine Steifigkeitsgrenze existiert. Für sämtliche Materialkombinationen ist erkennbar, dass die maximal ertragbare Kraft beim ambossfreien Ultraschallschweißen mit steigender Bauteilsteifigkeit zunimmt. Dies lässt sich

unter anderem durch eine effiziente Schwingungseinleitung begründen. Durch die erhöhte Bauteilsteifigkeit sind elastische und plastische Verformungen unter Einwirkung der Fügekraft sowie der oszillierenden Bewegung der Sonotrode geringer, wodurch mehr Schwingungsenergie in der Fügezone verbleibt. Dadurch wird die Fügezone effizienter erwärmt und eine bessere Homogenität der Schweißnaht begünstigt. Weiterhin werden Schwingungsverluste aufgrund erhöhter Bauteilsteifigkeit außerhalb der Fügezone reduziert, was die Energieeinbringung in den Fügebereich lokal fokussiert. Da der Amboss entfällt, fehlt beim Ultra-

bottom joining member (S), the geometry of the top joining member in the form of the area (A) and the maximum bearable force until failure (F_{max}). Here, the area A relates to the weld area of the top joining member in the joining region. It corresponds to the projected contact area of the energy director and thus depends on the chosen test specimen geometry (DVS or AWS test specimen). Fig. 6 shows a schematic representation of the functional connections of the dimensionless index K. The anvil continues to be necessary below the $K_{amboss-free} = K_{standard}$ limit while the anvil can

be dispensed with above this limit and ultrasonic welding can be utilised even in the case of welding situations with accessibility from one side. Thus, it is possible to calculate the necessary component stiffness of the bottom joining member in order to be able to dispense with the anvil. The application field of ultrasonic welding can be extended considerably in this way.

4. Results

After the evaluation of the experimental investigations, it could be shown that anvil-free ultrasonic welding is fundamentally applicable and a stiff-

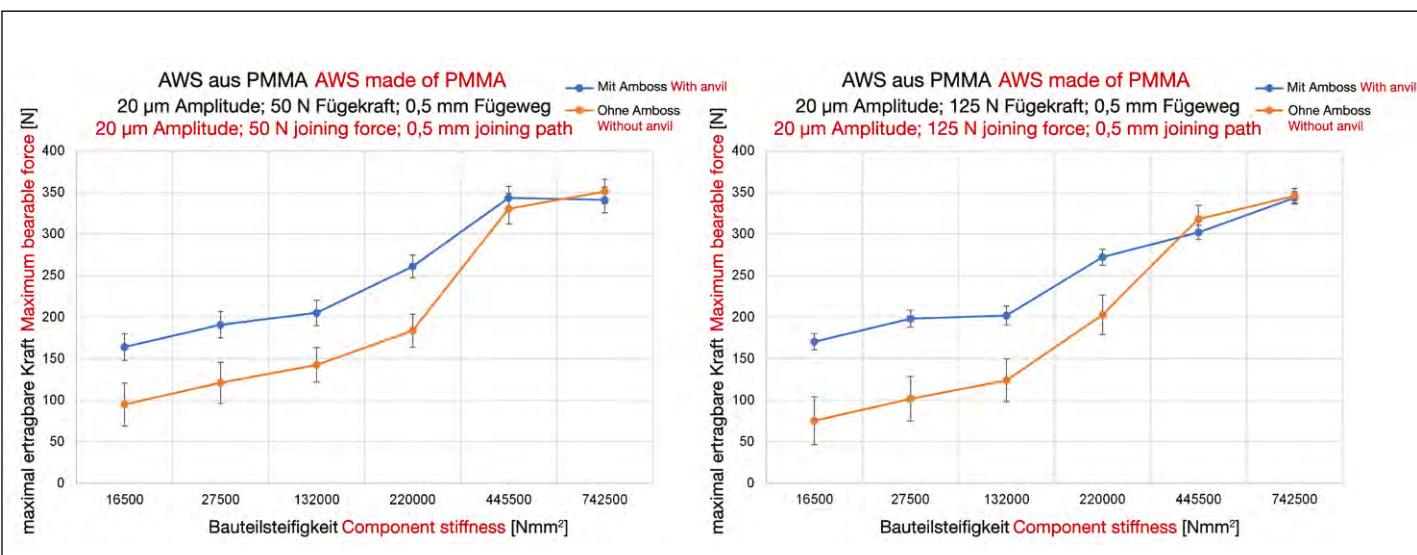


Bild 8: Darstellung der maximal ertragbaren Kraft für den AWS-Probekörper aus Polymethylmethacrylat bei einer Fügekraft von 50 N (links) und einer Fügekraft von 125 N (rechts)

Fig. 8: Representation of the maximum bearable force for the AWS test specimen made of polymethyl methacrylate at a joining force of 50 N (left) and a joining force of 125 N (right)

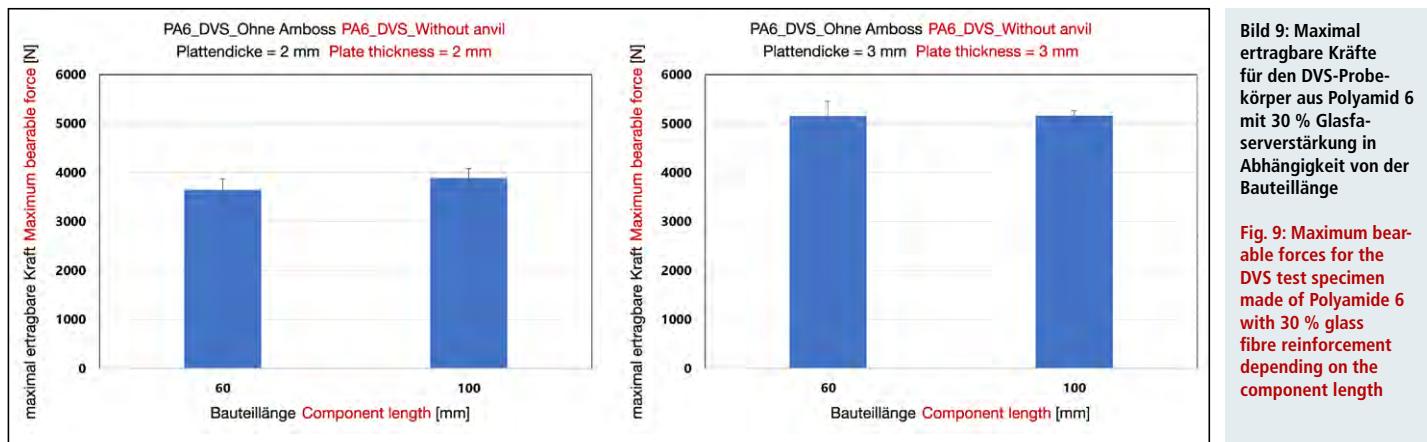


Bild 9: Maximal ertragbare Kräfte für den DVS-Probekörper aus Polyamid 6 mit 30 % Glasfaser verstärkung in Abhängigkeit von der Bauteillänge

Fig. 9: Maximum bearable forces for the DVS test specimen made of Polyamide 6 with 30 % glass fibre reinforcement depending on the component length

schallschweißen die notwendige Gegegenkraft des unteren Fügepartners zur Unterstützung des oberen Fügepartners. Dadurch entstehen während des Fügeprozesses stärkere Relativbewegungen zwischen den beiden Fügepartnern und die Kraft- und Bewegungsübertragung ist nicht optimal. Eine erhöhte Bauteilsteifigkeit des unteren Bauteils wirkt dem lokalen Abheben des oberen Bauteils entgegen, wodurch die Relativbewegungen minimiert werden. Dies fördert eine konstante Kontaktfläche sowie eine homogene Druckverteilung, was wiederum eine gleichmäßige Erwärmung unterstützt. Auch beim Ultraschallschweißen mit Amboss beeinflusst die Steifigkeit des unteren Fügepartners die maximal ertragbare Kraft. Ein steiferer unterer Fügepartner minimiert elastische Verformungen und reduziert Schwingungsverluste außerhalb der Fügezone. Dadurch wird die eingeleitete Ultraschallshwingung verstärker in den Fügebereich übertragen, die Erwärmung homogener und die Qualität der Schweißverbindung verbessert.

Es konnte ebenfalls gezeigt werden, dass für sämtliche Materialkombinationen und jede Probekörpergeometrie des oberen Fügepartners eine Steifigkeitsgrenze existiert. Unterhalb dieser Steifigkeitsgrenze liegen die maximal ertragbaren Kräfte der ambossfreie gefügten Probekörper unterhalb der maximal ertragbaren Kräfte der im Standardverfahren gefügten Probekörper. Oberhalb dieser Grenze nähern sich die maximal ertragbaren Kräfte an, sodass lediglich geringfügige Unterschiede zwischen den beiden Verfahrensvarianten erzielt werden. Die folgenden Bilder zeigen beispielhaft

die Verläufe der maximal ertragbaren Kraft für den AWS-Probekörper aus PC (Bild 7) und für PMMA (Bild 8). Dabei werden die Amplitude sowie der Fügeweg konstant gehalten und lediglich die Fügekraft variiert, um dessen Einfluss auf Schweißnahtqualität ebenfalls untersuchen zu können. Weiterhin ist ersichtlich, dass eine Erhöhung der Fügekraft eine Verschiebung der Steifigkeitsgrenze hin zu geringeren Bauteilsteifigkeiten erzielt. Neben den Maximalwerten wurde ebenfalls die Streuung der Ergebnisse betrachtet. Es ist zu erkennen, dass die Standardabweichung für die im Standardverfahren gefügten Probekörper über die gesamte Bandbreite der Bauteilsteifigkeit weitestgehend konstant ist. Beim ambossfreien Ultraschallschweißen ist dies nicht der Fall. Mit steigender Bauteilsteifigkeit verringert sich die Standardabweichung und erreicht ab der Steifigkeitsgrenze ein ähnliches Niveau wie im Standardverfahren. Aufgrund der hohen Sensitivität des Ultraschallschweißens gegenüber geometrischen und mechanischen Abweichungen führt eine instabile Lagerung des unteren Fügepartners zu einer Prozessvariabilität. Mit erhöhter Steifigkeit kann somit die Reproduzierbarkeit des Fügeprozesses erhöht und eine höhere Konsistenz der Ergebnisse erzielt werden.

Bei variierenden Plattenabmessungen ändert sich nicht nur die Bauteilsteifigkeit, sondern auch die Federkonstante des unteren Fügepartners. Darauf wurde in einem nächsten Schritt untersucht, ob die Bauteilsteifigkeit oder die Federkonstante einen größeren Einfluss auf die maximal ertragbaren Kräfte aufweist.

ness limit exists. For all the material combinations, it is recognisable that the maximum bearable force during anvil-free ultrasonic welding increases as the component stiffness rises. Amongst other reasons, this may be caused by more efficient vibration introduction. Due to the increased component stiffness, elastic and plastic deformations are lower with the action of the joining force and the oscillating movement of the sonotrode and more vibration energy thus remains in the joining zone. Therefore, the joining zone is heated more efficiently and favours better homogeneity of the weld. Furthermore, vibration losses are reduced because of the increased component stiffness outside the joining zone. This locally focuses the energy input into the joining region. Since there is no anvil, that counterforce of the bottom joining member which is needed in order to support the top joining member is missing in ultrasonic welding. During the joining process, this results in more extreme relative movements between both joining members and the force and movement transmission is not optimum. An increased component stiffness of the bottom component counteracts the local lifting of the top component and thus minimises the relative movements. This promotes a constant contact area as well as a homogeneous pressure distribution and, in turn, supports more uniform heating. Also in the case of ultrasonic welding with an anvil, the stiffness of the bottom joining member influences the maximum bearable force. A stiffer bottom joining member minimises elastic deformations and reduces vibration losses outside the joining zone. Thus, the in-

troduced ultrasonic vibration is transmitted into the joining region with fewer losses, the heating is more homogeneous and the quality of the welded joint is improved. It could also be shown that stiffness limits exist for all the material combinations and every test specimen geometry of the top joining member. The maximum bearable forces of the test specimens joined without an anvil are below this stiffness limit and below the maximum bearable forces of the test specimens joined in the standard procedure. The maximum bearable forces come closer above this limit so that merely slight differences between both procedure variants are attained. The following figures show examples of the courses of the maximum bearable forces for the AWS test specimen made of PC (Fig. 7) and for PMMA (Fig. 8). In this respect, the amplitude and the joining path are kept constant and merely the joining force is varied in order to be able to investigate its influence on the weld quality too. Furthermore, it is evident that an increase in the joining force attains a shift in the stiffness limit towards lower component stiffnesses. Not only the maximum values but also the scattering of the results were considered. It can be recognised that the standard deviation for the test specimens joined in the standard procedure is largely constant across the entire range of the component stiffness. This is not the case with anvil-free ultrasonic welding. As the component stiffness rises, the standard deviation decreases and, as from the stiffness limit, reaches a level similar to that in the standard procedure. Because of the high sensitivity of ultrasonic welding to geometrical and

Die Federkonstante (c) des unteren Fügepartners lässt sich mit Gleichung 3 berechnen:

$$c = \frac{192 * E * I}{L^3}$$

Die relevanten Größen sind dabei der E-Modul (E), das Flächenträgheitsmoment (I) und die Bauteillänge (L), wobei letzteres die ausschlaggebende Größe ist. Um den Einfluss der Federkonstante auf die maximal ertragbaren Kräfte zu untersuchen, wurden identische Betriebspunkte mit unterschiedlichen Plattengeometrien (bezogen auf die Länge L) miteinander verglichen. Die folgenden Bilder zeigen die maximal ertragbare Kraft in Abhängigkeit von der Bauteillänge für PA6 30 (Bild 9) und für PC (Bild 10). Bei der Beurteilung, ob die Bauteilstifigkeit oder die Federkonstante einen größeren Einfluss auf die Schweißnahtqualität beim ambossfreien Ultraschallschweißen aufweist, muss zwischen verstärkten und unverstärkten Materialien unterschieden werden. Beim glasfaserverstärkten PA6 liegen die maximal ertragbaren Kräfte bei gleicher Plattendicke aber variierender Plattenlänge auf einem ähnlichen Niveau. Bei diesem Material weist die Bauteilstifigkeit einen größeren Einfluss auf die Schweißergebnisse vor. Beim unverstärkten PC hingegen steigen die maximal ertragbaren Kräfte bei konstanter Plattendicke aber steigender Bauteillänge deutlich. Diese Beobachtung lässt sich auf das unterschiedliche Materialverhalten und die Schweißmechanismen der beiden Kunststoffe zurückführen. Beim Polyamid 6 handelt es sich aufgrund des Glasfaseranteils um ein steifes und eher sprödes Material. Aufgrund der Glasfasern besitzt

PA 6 eine höhere Wärmeleitfähigkeit, weshalb die Wärme schneller abgeführt wird und die Schmelzeschichtdicke bei gleichem Energieeintrag geringer ist. Verstärkte Kunststoffe neigen weiterhin dazu, dass beim Schweißen eine eher mechanische Verhakung an der Grenzfläche ausgebildet wird und dadurch eine weniger homogene Verschmelzung. Beim Polycarbonat handelt es sich um einen zähen und duktilen Werkstoff, welcher im Vergleich zum Polyamid 6 eine schlechtere Wärmeleitfähigkeit und damit eine lokal bessere Wärmeakkumulation aufweist. Die Schweißverbindungen unverstärkter Werkstoffe basieren stärker auf molekularer Diffusion und Verschmelzung, da das Material bei ausreichennder Erwärmung schneller den Fließzustand erreicht. Im Prinzip beschreibt die Federkonstante die Nachgiebigkeit des unteren Fügepartners. Eine höhere Federkonstante bedeutet, dass der untere Partner weniger nachgibt und eine bessere Kopplung der Ultraschallschwingung in die Fügezone möglich ist. Dies führt wiederum zu einer erhöhten Reibung und Wärmeentwicklung und damit zu einer verbesserten Verschmelzung beim unverstärkten PC. Aufgrund der geringeren Verschmelzung und dem eher mechanischen Verbindungsmechanismus beim PA 6 beeinflusst die erhöhte Wärmeentwicklung die Schweißnahtfestigkeit beim verstärkten Material weniger und das PA 6 ist demnach weniger abhängig von der Federkonstante.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen der Untersuchungen wurde der Einfluss der Bauteilstifigkeit des unteren Fügepartners beim am-

echen Deviations, the unstable support of the bottom joining member leads to process variability. With an increased stiffness, it is thus possible to raise the reproducibility of the joining process and to attain a higher consistency of the results.

Varying plate dimensions change not only the component stiffness but also the spring constant of the bottom joining member. In a next step, it was therefore investigated whether the component stiffness or the spring constant exerts a greater influence on the maximum bearable forces.

The spring constant (c) of the bottom joining member can be calculated with Equation 3:

$$c = \frac{192 * E * I}{L^3}$$

where the relevant variables are the modulus of elasticity (E), the geometrical moment of inertia (I) and the component length (L). The last variable is crucial here. In order to investigate the influence of the spring constant on the maximum bearable forces, identical operating points with different plate geometries (in relation to the length L) were compared with each other. The following figures show the maximum bearable forces depending on the component lengths for PA6 30 (Fig. 9) and for PC (Fig. 10). When assessing whether the component stiffness or the spring constant exerts a greater influence on the weld quality during anvil-free ultrasonic welding, a distinction must be made between reinforced and unreinforced materials. The maximum bearable forces of the glass-fibre-reinforced PA6 are on similar levels with the same plate thickness but varying plate lengths. In

the case of this material, the component stiffness exerts a greater influence on the welding results. In contrast, the maximum bearable forces of the unreinforced PC rise considerably with a constant plate thickness but rising component lengths. This observation may be attributed to the different material behaviour and the welding mechanisms of both plastics. Because of the glass fibre proportion, the Polyamide 6 constitutes a stiff and rather brittle material. Due to the glass fibres, PA 6 exhibits a higher thermal conductivity. For this reason, the heat is dissipated more quickly and the melt layer thickness is lower with the same energy input. Furthermore, reinforced plastics tend to form rather mechanical interlocking at the interface during the welding and thus less homogeneous melting. The polycarbonate constitutes a tough and ductile material which, in comparison with the Polyamide 6, exhibits a worse thermal conductivity and thus a locally better heat accumulation. The welded joints between unreinforced materials are based more strongly on molecular diffusion and melting since the material reaches the flow condition more quickly if it is heated sufficiently. In principle, the spring constant describes the flexibility of the bottom joining member.

A higher spring constant means that the bottom member is less flexible and better coupling of the ultrasonic vibration into the joining zone is possible. In turn, this leads to increased friction and heat development and thus to improved melting in the case of the unreinforced PC. Because of the lower melting and the rather mechanical joining mechanism in the case of the

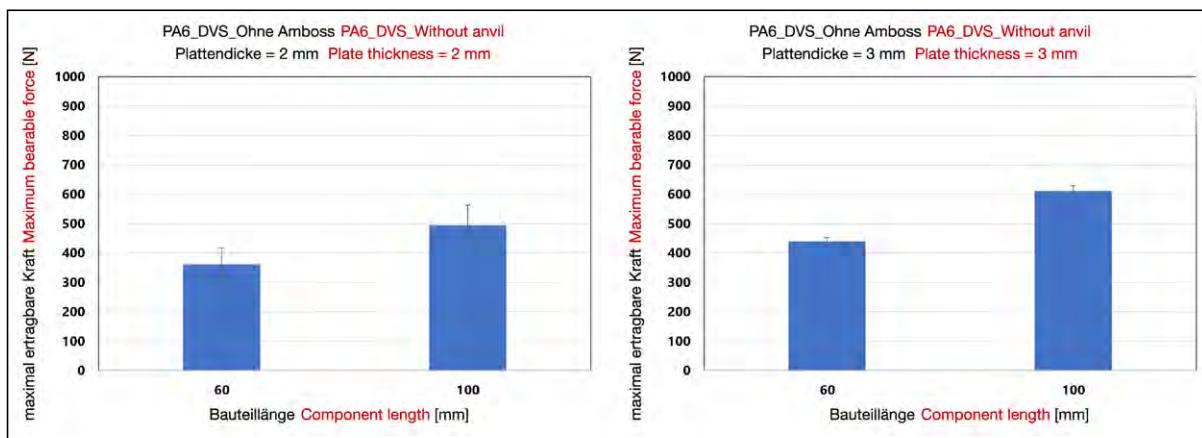


Bild 10: Maximal ertragbare Kräfte für den AWS-Probekörper aus in Abhängigkeit von der Bauteillänge

Fig. 10: Maximum bearable forces for the AWS test specimen made of polycarbonate depending on the component length

bossfreien Ultraschallschweißen untersucht. Dabei soll eine Steifigkeitsgrenze ermittelt werden, bei denen beim Verzicht auf den Amboss ähnlich gute Schweißnahtqualitäten gegenüber dem Standardverfahren erzielt werden. Dafür wurde neben dem Einfluss der Prozessparameter der Einfluss der Bauteilstiffigkeit sowie der Einfluss der Federkonstante für drei Materialien (Polycarbonat, Polymethylmethacrylat und Polyamid 6 mit 30 % Glasfaser verstärkung) untersucht.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das ambossfreie Ultraschallschweißen prinzipiell anwendbar ist. Die erzielten Schweißnahtqualitäten für verstärkte Materialien sind abhängig von der Bauteilstiffigkeit. Mit steigender Bauteilstiffigkeit erhöhen sich die maximal ertragbaren Kräfte der Schweißverbindung. Bei unverstärkten Materialien weist die Federkonstante einen größeren Einfluss auf die erzielbaren Schweißnahtfestigkeiten auf, da der Verbindungsprozess hierbei eher durch lokale Verschmelzung zustande kommt. Auch hierbei erhöht eine steigende Federkonstante die maximal ertragbaren Kräfte der Fügeverbindung. Als Abschluss des Forschungsprojektes werden die erzielten Ergebnisse mit Hilfe der 150 × 100 mm Platten validiert und aufbauend darauf Auslegungs- und Gestaltungsrichtlinien

nien ermittelt, sodass die notwendige Bauteilstiffigkeit bereits vor den Schweißprozessen ermittelt werden kann.

Danksagung

Das Projekt wurde durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Das Projekt wurde durchgeführt durch die Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e. V. des DVS, Aachener Straße 172, 40223 Düsseldorf.



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie



INFO

Der Fachbeitrag basiert auf dem IGF-Forschungsvorhaben 01IF22621 N / DVS-Nr.: 11.3537.

PA 6, the increased heat development exerts a smaller influence on the weld strength with the reinforced material and the PA 6 is hence less dependent on the spring constant.

5. Summary and Outlook

The investigations related to the influence of the component stiffness of the bottom joining member during anvil-free ultrasonic welding. In this respect, the aim is to establish a stiffness limit at which good weld qualities similar to those with the standard procedure are attained without the anvil. For this purpose, investigations were conducted into the influences not only of the process parameters but also of the component stiffnesses and the spring constants for three materials (polycarbonate, polymethyl methacrylate and Polyamide 6 with 30 % glass fibre reinforcement).

In summary, it may be said that anvil-free ultrasonic welding is applicable in principle. The attained weld qualities for reinforced materials are dependent on the component stiffness. The maximum bearable forces of the welded joint increase as the component stiffness rises. With unreinforced materials, the spring constant exerts a greater influence on the attainable weld strengths since the joining process here tends to be caused

by local melting. In this case too, a rising spring constant increases the maximum bearable forces of the joint. As the conclusion of the research project, the results attained with the aid of the 150 × 100 mm plates are validated and, building upon this, design and configuration guidelines are established so that the necessary component stiffness can already be established before the welding processes.

Acknowledgement

The project is being promoted by the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWE) on the basis of a resolution of the German Bundestag. The project was carried out by the research association "Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e. V. des DVS, Aachener Straße 172, 40223 Düsseldorf."



Federal Ministry
for Economic Affairs
and Energy

INFO

This peer-reviewed paper is based on the IGF research project No. 01IF22621 N / DVS No. 11.3537.

Literatur References

- [1] Dilthey, U. N.N. Handhabungs- und Fügetechniken für die Klein- und Mittelserienfertigung VDI-Buch: Montage hybrider Mikrosysteme. Berlin, Heidelberg: Springer, 2005.
- [2] Hopmann, C.; van Aaken, A.: Ultrasonic welding of polyamide-influence of moisture on the process relevant material properties. Welding in the World 58 (2014) 6, pp. 787/93.
<https://doi.org/10.1007/s40194-014-0158-3>
- [3] N.N.: Kunststoff Magazin 05-06, Vol. 2018: Kunststoff Magazin. Darmstadt: Weka Business Medien GmbH, 2018.
- [4] Kunststoff-Zentrum Leipzig N.N., 2024, <https://www.kuz-leipzig.de/verfah-ren/kunststoffschweissen/>, zuletzt abgerufen am 25. April 2025.
- [5] Mistry, K.: Tutorial Plastics welding technology for industry. Assembly automation 17 (1997) 3, pp. 196/200.
<https://doi.org/10.1108/01445159710172210>
- [6] Potente, H.: Fügen von Kunststoffen. Grundlagen, Verfahren, Anwendung; mit 31 Tabellen München, Wien: Hanser, 2004.
- [7] Rotheiser, J.: Joining of plastics. Handbook for designers and engineers Cincinnati, Ohio, Munich: Hanser, 2009.
- [8] Ehrenstein, G.W.: Handbuch Kunststoff-Verbindungstechnik. München: Hanser, 2004.
- [9] El Barbari, N.: Ultraschallschweißen von Thermoplasten – Möglichkeiten der Einsatzoptimierung. Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Dissertation, 1988.
- [10] Potente, H.: Untersuchung der Schweißbarkeit thermoplastischer Kunststoffe mit Ultraschall. Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Dissertation, 1971.
- [11] Fahrenwaldt, H. J.: Schweißtechnik. Vieweg und Teubner Verlag Wiesbaden 1992. https://doi.org/10.1007/978-3-322-86207-5_7
- [12] Gries, T.; Klopp, K.: Füge- und Oberflächentechnologien für Textilien. Springer, Berlin, Heidelberg, 2007. ISBN-10: 354037227X, ISBN-13: 978-3540372271.
- [13] Nieradzik, Tim: Ultraschallbearbeitung von Faser-Kunststoff-Verbunden am Beispiel eines CFK-Überlastsensors. Technische Hochschule Aachen, Dissertation, 2015.
- [14] Schuler, V.; Twrdek, J.: Kunststoffe schweißen. In: Schuler, V., Twrdek, J. (Hrsg.): Praxiswissen Schweißtechnik: Werkstoffe, Prozesse, Fertigung, 6. Aufl. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2019, S. 235/62.
- [15] Götting, J.: Konzipierung und Realisation eines mobil einsetzbaren Schweißverfahrens für PP-Folien und -Gewebeänder. Kunststofftechnik Paderborn, Universität Paderborn, Diplomarbeit, September 2011.

Prozessoptimierung der Fügephase beim Heizelementschweißen von Polyethylen hoher Wanddicken

Process Optimisation of the Joining Phase in Heated Tool Welding of High-Wall-Thickness Polyethylene

Kurzfassung

Das Heizelementschweißen wird seit Jahrzehnten erfolgreich zum Fügen von Halbzeugen aus Polyethylen eingesetzt. Unter anderem für den Ausbau der Infrastruktur zur nachhaltigen Energieversorgung werden zunehmend große Rohre mit hohen Wanddicken verwendet. In der weitgehend etablierten DVS-Richtlinie 2207-1 sind zwar Parameter bis zu einer Wanddicke von 130 mm definiert, allerdings liegen aufgrund fehlender wissenschaftlicher Untersuchungen für hohe Wanddicken lediglich theoretisch extrapolierte Prozesszeiten vor. Erfahrungen aus der Praxis bestätigen die Notwendigkeit, alternative Prozessstrategien zu untersuchen. An der TU Chemnitz wurden deshalb Untersuchungen zur Füge- und Abkühlphase des Schweißprozesses durchgeführt, die zu einem optimierten Prozessführungsansatz geführt haben. Durch die Korrelation der Fügezeit mit der Kristallisation in der Schweißnaht konnten deutlich verbesserte Standzeiten im Zeitstand-Zugversuch erzielt werden.



Fabian Friedrich, M. Sc.

Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur Kunststofftechnik am Institut für Fördertechnik und Kunststoffe
Research assistant at the Chair of Polymer Technology at the Institute for Materials Handling and Plastics

Technische Universität Chemnitz
fabian.friedrich@mb.tu-chemnitz.de



Prof. Dr.-Ing. Andreas Seefried

Inhaber der Professur Kunststofftechnik am Institut für Fördertechnik und Kunststoffe
Holder of the Chair of Polymer Technology at the Institute for Materials Handling and Plastics

Technische Universität Chemnitz
andreas.seefried@mb.tu-chemnitz.de

Mehr Informationen zu den Autoren auf www.joining-plastics.info/autoren
More information on the authors at www.joining-plastics.info/en/authors

Abstract

Heated tool welding has been successfully used for decades to join semi-finished polyethylene products. Increasingly, large pipes with high wall thickness are being used for the expansion of infrastructure for sustainable energy supply. Although the widely established DVS guideline 2207-1 defines parameters for wall thicknesses of up to 130 mm, only theoretically extrapolated process times exist for higher wall thicknesses due to a lack of scientific studies. Practical experience confirms the necessity of investigating alternative process strategies. Therefore, the joining and cooling phases of the welding process were

studied at Chemnitz University of Technology, resulting in an optimised process control approach. By correlating the joining time with crystallisation in the weld seam, significantly improved service lives were achieved in creep tensile tests.

1. Einleitung

Das Heizelementschweißen ist ein seit Mitte des 20. Jahrhunderts erfolgreich eingesetztes Verfahren zum Fügen von Kunststoffen sowohl in der Serienfertigung als auch im Halbzeugbereich [1]. Rohre, Apparate und Behälter werden dabei in immer größeren Dimensionen und dementsprechend hohen Wanddicken hergestellt, um eine effiziente und nachhaltige Infrastruktur zu gewährleisten. Beispiele für den Einsatz solcher Systeme sind die Wasserversorgung und Abwasserentsorgung, die Trinkwassergewinnung und -speicherung sowie der Ausbau der Infrastruktur zur nachhaltigen Energieversorgung.

Eine der wichtigsten Anforderungen an die in diesem Sektor verwendeten Produkte ist eine lange Haltbarkeit. Mit Polyethylen steht ein Kunststoff zur Verfügung, der in den letzten Jahrzehnten stetig weiterentwickelt wurde und dementsprechend häufig eingesetzt wird [2]. Bei der aktuellen Generation PE100 RC (Resistant to Crack) wurde die Spannungsrißbeständigkeit derart optimiert, dass von einer Nutzungsdauer von mindestens 100 Jahren auszugehen ist. Neben der Optimierung der Kunststoffe ist aber auch die Prozessentwicklung von hoher Bedeutung, um eine ausreichende Lebensdauer zu gewährleisten. Zum Heizelement-

1. Introduction

Heated tool welding has been a successfully employed process for joining plastics since the mid-20th century, both in series production and in the processing of semi-finished products [1]. Pipes, equipment and containers are increasingly being manufactured in larger dimensions and, accordingly, with higher wall thicknesses to ensure efficient and sustainable infrastructure. Examples of applications for such systems include water supply and wastewater disposal, drinking water extraction and storage, as well as the expansion of infrastructure for sustainable energy provision. One of the most important

requirements for the products used in this sector is long service life. Polyethylene is a plastic that has been continuously developed over the past decades and is thus frequently used [2]. In the current generation, PE100 RC (resistant to crack), stress crack resistance has been optimised to the extent that a service life of at least 100 years can be assumed. In addition to the optimisation of the materials themselves, process development is also of great importance in ensuring sufficient service life. Heated tool welding of polyethylene according to DVS 2207-1 (Fig. 1 left) has become largely established [3]. However, systematic investigations

schweißen von Polyethylen hat sich das Verfahren nach DVS 2207-1 (Bild 1 links) weitgehend etabliert [3]. In der Vergangenheit beschränkten sich systematische Untersuchungen trotz zunehmender Bauteildimensionen aber im Wesentlichen auf Wanddicken bis etwa 20 mm [4, 5]. Für hohe Wanddicken wurden deshalb in der Richtlinie theoretisch extrapolierte Werte definiert. Dies führt jedoch mit zunehmender Wanddicke zu hohen Anwärm- und Abkühlzeiten (Bild 1 rechts). In der ISO-Norm 21307 werden neben dem Verfahren nach DVS 2207-1 zwei alternative Prozessführungen mit pauschal verkürzten Abkühlzeiten vorgeschlagen [6]. Frühere Untersuchungen zeigen aber, dass die mit diesen Prozessführungen hergestellten Schweißnähte kürzere Langzeitfestigkeiten aufweisen [7].

2. Ausgangssituation

Die Technische Universität Chemnitz hat an der Professur Kunststofftechnik in einem abgeschlossenen IGF-Forschungsvorhaben erstmals das Heizelementschweißen nach DVS 2207-1 für hohe Wanddicken bis 100 mm systematisch analysiert [8]. Als ein zentrales Ergebnis wurde im Zeitstand-Zugversuch nach DVS 2203-4 [3] ein signifikanter Festigkeitsgradient in der Schweißnaht festgestellt. Während zuvor von annähernd gleichen mechanischen Eigenschaften über den gesamten Schweißnahtquerschnitt ausgegangen wurde, zeigen vor allem die Ergebnisse im Nahrandbereich nur sehr geringe Standzeiten. Die Variation einzelner Parameter wie der Anwärmzeit und des Fügedrucks führte zu keiner Verbesserung der Langzeitfestigkeiten. In weiterführenden Untersuchungen wurden deshalb die Fügeweg- und Abkühlverläufe in der Schweißnaht während der Füge- und Abkühlphase analysiert (Bild 2).

Neben dem durch die Fließbewegungen der Schmelze entstehenden Temperaturgradienten wurde vor allem festgestellt, dass der Fügeweg nach Beginn der Kristallisation weiterhin signifikant, oberhalb rein thermisch bedingter Kontraktion, zunimmt. Somit finden im bereits erstarrenden Material noch Fließbewegungen statt. Durch die Aufrecht-

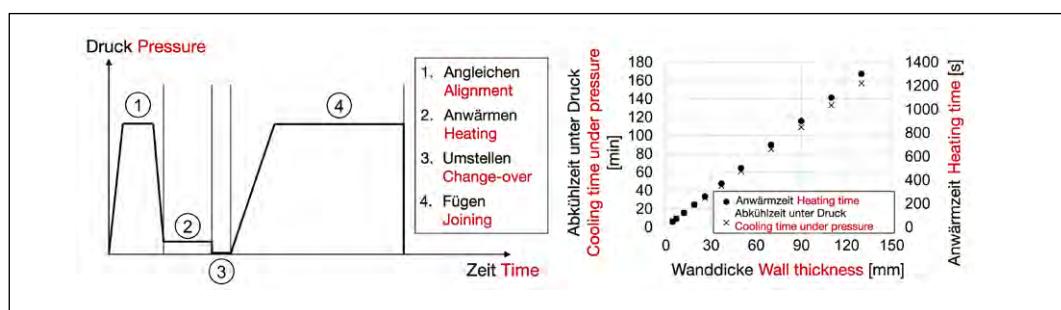


Bild 1: Schematische Darstellung des Heizelementschweißprozesses (links) sowie Anwärm- und Abkühlzeiten in Abhängigkeit der Wanddicke nach DVS 2207-1 (rechts) [3]

Fig. 1: Schematic representation of the heated tool welding process (left) and heating and cooling times depending on wall thickness as per DVS 2207-1 (right) [3]

erhaltung des Fügedrucks bis zur endgültigen Erstarrung wird außerdem die Rückrelaxation der dehnströmungsbedingten Orientierungen zur Ausbildung der Nahtfestigkeit [9] unterdrückt.

Im Rahmen eines weiteren abgeschlossenen IGF-Forschungsprojekts (IGF-Nr. 22882 BR) hat die Professur Kunststofftechnik einen verbesserten Ansatz für die Abkühlphase entwickelt, bei der die rheologischen und thermischen Bedingungen in der Schweißnaht so aufeinander abgestimmt sind, dass der Fügedruck vor Beginn der Kristallisation weggenommen wird. Dazu wurden verschiedene, im Vergleich zu DVS 2207-1 (0,15 MPa) erhöhte Fügedrücke mit verkürzten Abkühlzeiten kombiniert. Erste Untersuchungen mit Fügedräcken von 0,6 und 0,9 MPa zeigten bereits einen positiven Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften der Schweißnähte [10]. Um die notwen-

in the past have essentially been limited to wall thicknesses of up to approximately 20 mm, despite increasing component dimensions [4, 5]. For higher wall thicknesses, the guideline defines theoretically extrapolated values. This leads to prolonged heating and cooling times as wall thickness increases (Fig. 1 right). ISO standard 21307 proposes, in addition to the method described in DVS 2207-1, two alternative procedures with generally shortened cooling times [6]. However, earlier studies have shown that the weld seams produced with these procedures exhibit lower long-term strength [7].

2. Initial Situation

At the Chair of Polymer Technology at Chemnitz University of Technology, a systematic analysis of heated tool welding according to DVS 2207-1 was for the first time conducted for high wall thicknesses of up to 100

mm within the framework of a completed IGF research project [8]. One of the key findings from creep tensile tests in accordance with DVS 2203-4 [3] was a significant strength gradient in the weld seam. Whereas it had previously been assumed that the mechanical properties across the entire cross-section of the weld seam were approximately uniform, the results particularly in the near-edge region revealed only very short service lives. Varying individual parameters, such as heating time and joining pressure, did not lead to any improvement in long-term strength. Therefore, subsequent investigations focused on analysing the joining path and cooling behaviour in the weld seam during the joining and cooling phases (Fig. 2).

In addition to the temperature gradient caused by the melt flow movements, it was particularly observed that the joining path continues to increase significantly after the onset of crystallization beyond what would be expected from purely thermally induced contraction. Thus, flow movements are still taking place in material that has already begun to solidify. Maintaining the joining pressure until final solidification also suppresses the re-relaxation of elongational flow-induced molecular orientations, which are essential for weld strength development [9].

As part of a further completed IGF research project (IGF No. 22882 BR), the Chair of Plastics Technology developed an improved approach for the cooling phase, in which the rheological and thermal conditions in the weld seam are coordinated so that the joining pressure is removed before the onset of crystallisation. For

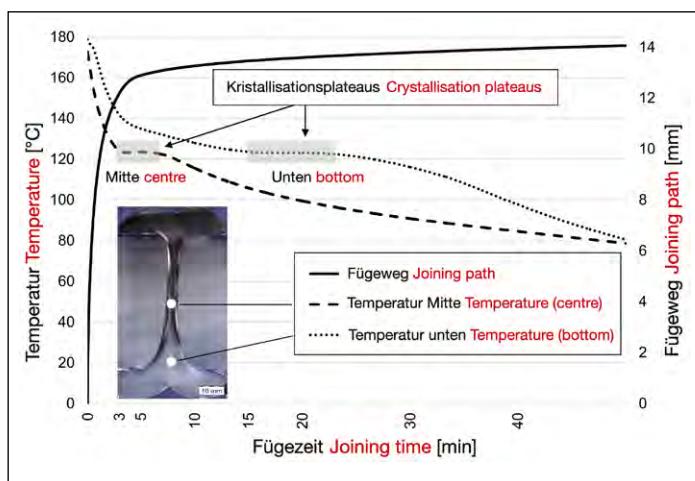


Bild 2: Fügeweg- und Temperaturverläufe von PE100 RC in der Schweißnaht während der Abkühlphase (Wanddicke 100 mm, hergestellt nach DVS 2207-1)

Fig. 2: Joining path and temperature profiles of PE100 RC in the weld seam during the cooling phase (wall thickness 100 mm, produced in accordance with DVS 2207-1)

Material	PE100 RC, schwarz gepresst black, pressed
Wanddicke Wall thickness	30 mm 100 mm
Fügefläche Joining area	30 mm: 30 mm x 90 mm 100 mm: 100 mm x 210 mm



Bild 3: Links: Material und Abmaße der Probekörper; rechts: verwendete Schweißanlage

Fig. 3: Left: Material and dimensions of the test specimens; right: Welding unit used

digen Fügekräfte mit den aktuell am Markt vorhandenen Schweißanlagen umsetzen zu können, wurden anschließend weitere Untersuchungen mit einem Fügedruck von 0,45 MPa durchgeführt.

Da ein wesentlicher Teil des Fließwegs der Schmelze bereits in der Fügedruckaufbauphase zurückgelegt wird, wurden zusätzlich Untersuchungen zum Einfluss der Fügedruckaufbauzeit durchgeführt.

3. Experimentelles

3.1 Probekörper und Schweißanlage

Für die Untersuchungen wurden zunächst gepresste Platten aus PE100 RC mit einer Wanddicke von 100 mm verwendet. Anschließend wurde die Übertragbarkeit der gewonnenen Erkenntnisse auf eine Wanddicke von 30 mm geprüft (Bild 3 links). Die Schweißversuche wurden mit einer pneumatisch angetriebenen Schweißanlage durchgeführt, die an der Professur Kunststofftechnik entwickelt wurde und eine maximale Fügekraft von etwa 20 kN aufbringen kann (Bild 3 rechts). Zur Aufnahme des Fließwegs wurde die Schweißanlage mit einem Laser-Triangulationssensor ausgestattet. Für die Untersuchungen zum Einfluss der Fügedruckaufbauzeit wurde zudem eine stufenlose Drosselung des Volumenstroms in die Schweißanlage integriert.

3.2 Versuchsdurchführung

Die Schweißversuche mit einer Wanddicke von 100 mm wurden bei einer Heizelementtemperatur von 220 °C, einer Anwärmezeit von 1.000 s und einem Fügedruck von 0,45 MPa durchgeführt. Zusätzlich wurden Referenzschweißnähte mit einem Fügedruck von 0,15 MPa hergestellt, sodass fol-

gende Variationen des Fügedrucks und der Fügezeit (bis zum Abschalten des Fügedrucks) untersucht wurden:

- Fügestrategie 1: Fügedruck 0,15 MPa, Fügezeit 120 min
- Fügestrategie 2: Fügedruck 0,15 MPa, Fügezeit 1 min
- Fügestrategie 3: Fügedruck 0,45 MPa, Fügezeit 1 min 45 s

Für jede Fügestrategie wurden der Fließweg und die Abkühlverläufe mittels Thermoelementen, die während der Umstellphase in die Fügeebene eingebracht wurden (Bild 2), gemessen. Bei Fügestrategie 1 handelt es sich um die Parameter gemäß DVS 2207-1, während bei Fügestrategie 2 die Fügezeit bei gleichbleibendem Fügedruck deutlich reduziert wurde. Bei Fügestrategie 3 wurden der Fügedruck und die Fügezeit so miteinander kombiniert, dass sich ein mit Fügestrategie 1 vergleichbarer Fließweg ergibt und der Fügedruck gleichzeitig vor Kristallisationsbeginn weggenommen wird.

Die hergestellten Schweißnähte wurden eingehenden rheologischen, optischen und mechanischen Untersuchungen unterzogen. Im Mittelpunkt stand die Untersuchung der Standzeiten im Zeitstand-Zugversuch nach DVS 2203-4, wobei die Ergebnisse im Folgenden dargestellt werden.

zu diesem Zweck wurden verschiedene Variationen des Fügedrucks und der Fügezeit (bis zum Abschalten des Fügedrucks) untersucht. In den ersten Tests mit einer Fügezeit von 120 min und einem Fügedruck von 0,15 MPa wurde eine positive Wirkung auf die mechanischen Eigenschaften der Schweißnähte festgestellt. Um die erforderlichen Fügekräfte mit der zur Verfügung stehenden Schweißanlage zu erreichen, wurde die Fügezeit auf 1 min reduziert. Dies führte jedoch zu einer negativen Wirkung auf die mechanischen Eigenschaften. Um die erforderlichen Fügekräfte mit der zur Verfügung stehenden Schweißanlage zu erreichen, wurde die Fügezeit auf 1 min 45 s erhöht. Dies führte jedoch zu einer negativen Wirkung auf die mechanischen Eigenschaften.

3. Experimental Work

3.1 Specimens and Welding Equipment

For the investigations, pressed PE100 RC plates with a wall thickness of 100 mm were initially used. Subsequently, the transferability of the findings to a wall thickness of 30 mm was examined (Fig. 3 left). The welding trials were carried out using a pneumatically driven welding unit developed at the Chair of Polymer Technology and capable of applying

a maximum joining force of approximately 20 kN (Fig. 3 right). The welding unit was equipped with a laser triangulation sensor to record the joining path. In order to study the influence of the joining pressure build-up time, a throttle capable of gradually reducing the volume flow into the welding unit was additionally integrated.

3.2 Test Procedure

The welding trials with a wall thickness of 100 mm were conducted at a heated tool temperature of 220 °C, a heating time of 1,000 s and a joining pressure of 0.45 MPa. Additionally, reference weld seams were produced at a joining pressure of 0.15 MPa, resulting in the following variations in joining pressure and joining time (until the joining pressure was released) being examined:

- Joining Strategy 1: joining pressure 0.15 MPa, joining time 120 min
- Joining Strategy 2: joining pressure 0.15 MPa, joining time 1 min
- Joining Strategy 3: joining pressure 0.45 MPa, joining time 1 min 45 s

For each joining strategy, the joining path and cooling behaviour were measured using thermocouples inserted into the joining plane during the change-over phase (Fig. 2). Joining Strategy 1 corresponds to the parameters defined in DVS 2207-1, whereas Strategy 2 involves a significantly shortened joining time at the same joining pressure. In Strategy 3, the joining pressure and time were combined in such a way that a joining path comparable to Strategy 1 was achieved, while the joining pressure was removed before crystallisation began.

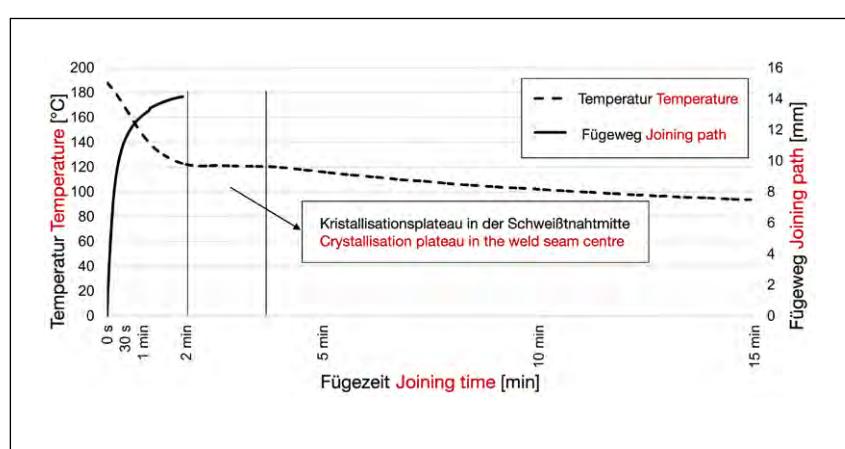


Bild 4: Fließweg- und Abkühlverläufe bei Fügestrategie 3 (Wanddicke 100 mm)

Fig. 4: Joining path and cooling curves for Joining Strategy 3 (wall thickness 100 mm)

nisse auf jeweils mindestens zwei Schweißnähten pro Parametersatz basieren. Je Schweißnaht und Position (Schweißnahtmitte /-rand) wurden mindestens drei Zugstäbe untersucht. Darüber hinaus wurden Zugversuche nach DVS 2203-2 [3], Technologische Biegeversuche nach DVS 2203-5 [3] sowie Schlagbiegeversuche nach DIN EN ISO 179-2 [11] durchgeführt. Für die Zugversuche wurden die Schweißproben mit einer Lochkerbe versehen.

Zur Visualisierung der Fließbewegungen in der Schweißnaht wurden geschichtete Plattenverbunde aus PE100 RC mit abwechselnd schwarzen und weißen Platten hergestellt und mit unterschiedlichen Fügestrategien geschweißt. Dies ermöglicht über die mikroskopischen Untersuchungen hinausgehende optische Betrachtungen des Schmelzeflusses über den Nahtquerschnitt.

Die vorgenannten Schweißnähte wurden mit ungedrosseltem Volumenstrom hergestellt, was einer Fügedruckaufbauzeit von etwa 5 s entspricht. Um den Einfluss der Fügedruckaufbauzeit auf die Zeitstandfestigkeit der Schweißnähte zu untersuchen, wurden unter sonst gleichen Bedingungen zusätzlich Schweißnähte mit den Fügestrategien 1 und 3 mit einer Fügedruckaufbauzeit von etwa 35 s hergestellt, was der maximal erlaubten Fügedruckaufbauzeit nach DVS 2207-1 entspricht.

4. Ergebnisse und Diskussion

4.1 Vergleich unterschiedlicher Fügestrategien

Bild 4 zeigt den Abkühlverlauf und den Fügeweg für Fügestrategie 3. Das Erreichen eines Fügewegs von etwa 14 mm markiert das Fügedruckende, da dieser Fügeweg zuvor auch bei Schweißnähten nach DVS 2207-1 gemessen wurde. Das Kristallisierungsplateau, das durch eine temporär konstant bleibende Temperatur von etwa 121 °C gekennzeichnet wird, beginnt nach etwa 2 min. Somit erfolgt bei der gewählten Fügedruck-Abkühlzeit-Kombination ab Kristallisationsbeginn keine weitere Zunahme des Fügewegs mehr, sodass die erstarrende Schweißnaht drucklos abkühlen und relaxieren kann.

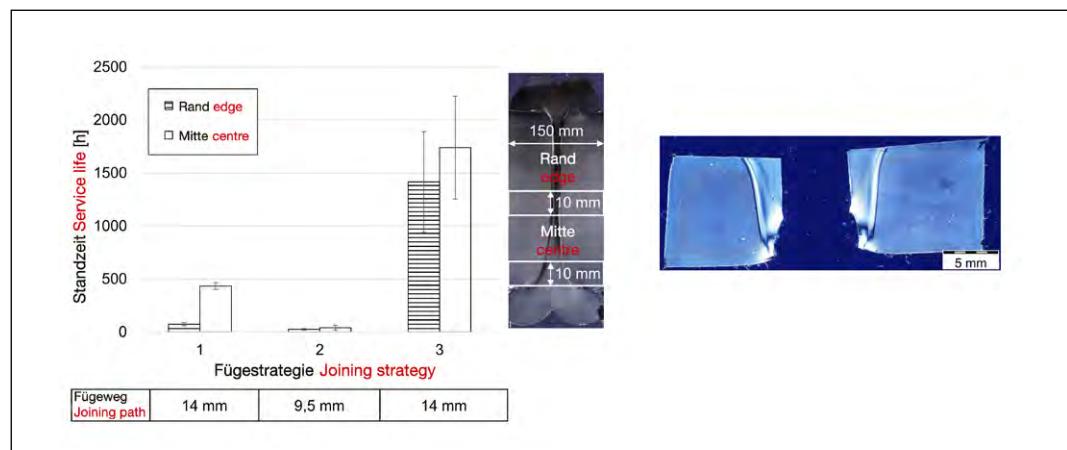


Bild 5: Links: Fügewege und Standzeiten der mit den drei verschiedenen Fügestrategien hergestellten Schweißnähte (Wanddicke 100 mm); rechts: mikroskopisches Bruchbild einer mit Fügestratégie 3 hergestellten Schweißnaht im Randbereich nach dem Zeitstand-Zugversuch

Fig. 5: Left: Joining path and service lives of the weld seams produced using the three different joining strategies (wall thickness 100 mm); right: Microscopic fracture image taken after the creep tensile test of the edge area of a weld seam produced using Joining Strategy 3

Bild 5 (links) zeigt die Entnahmepositionen der Zugproben für den Zeitstand-Zugversuch sowie die bei der Herstellung der Schweißnähte gemessenen Fügewege und die ermittelten Standzeiten. Bei Fügestratégie 1 liegt ein deutlicher Festigkeitsgradient zwischen der Schweißnahtmitte und dem Randbereich vor. Entsprechend sind vor allem am Nahrand die Standzeiten gering. Die Reduzierung der Fügezeit führt bei Fügestratégie 2 zu einer weiteren Verringerung der Standzeiten. Gleichzeitig kann eine erhebliche Reduzierung des Fügewegs festgestellt werden. Bei Fügestratégie 3 ist dagegen für beide Positionen eine deutliche Erhöhung der Standzeiten festzustellen. Die hohen Standardabweichungen sind für den Zeitstand-Zugversuch grundsätzlich typisch und sind zusätzlich mit den bei Fügestratégie 3 längeren Standzeiten zu erklären. Trotz der unterschiedlichen Standzeiten konnten bei der Analyse des Bruchverlaufs keine systematischen Unterschiede festgestellt werden. Bei allen drei Fügestrategien verläuft der Bruch positionsunabhängig durch die Fügeebene. Bild 5 (rechts) zeigt beispielhaft eine Randprobe der Fügestratégie 3 nach dem Zeitstand-Zugversuch mit sprödem Rissbeginn und duktiler Restbruchfläche. Auch die polarisationsmikroskopischen Betrachtungen der Fügeebenen verschiedener Schweißnähte haben keine Unterschiede, beispielsweise hinsichtlich ihrer Orientierungen, hervorgebracht.

The weld seams produced were subjected to detailed rheological, optical and mechanical investigations. The primary focus was on evaluating the service life using creep tensile tests in accordance with DVS 2203-4, with the results based on at least two weld seams per parameter set. For each weld seam and position (weld seam centre/edge), at least three tensile bars were tested. In addition, tensile tests in accordance with DVS 2203-2 [3], technological bend tests in accordance with DVS 2203-5 [3] and Charpy impact tests in accordance with DIN EN ISO 179-2 [11] were performed. For the tensile tests, the test specimens were notched.

To visualise the flow movements in the weld seam, layered plate assemblies of PE100 RC consisting of alternating black and white plates were welded using different joining strategies. This made it possible to conduct optical assessments of melt flow across the weld cross-section beyond what is achievable with microscopic examinations alone.

The aforementioned weld seams were produced with unthrottled volume flow, corresponding to a joining pressure build-up time of approximately 5 s. To study the influence of joining pressure build-up time on the long-term strength of the weld seams, additional welds using Joining Strategies 1 and 3 were produced under otherwise identical conditions but with a build-up time of around

35 s, corresponding to the maximum permissible value according to DVS 2207-1.

4. Results and Discussion

4.1 Comparison of Different Joining Strategies

Fig. 4 shows the cooling behaviour and joining path for Joining Strategy 3. The achievement of a joining path of approximately 14 mm marks the end of the joining pressure phase, as this path was also measured in weld seams produced according to DVS 2207-1. The crystallisation plateau, characterised by a temporarily constant temperature of approximately 121 °C, begins after about 2 min. Thus, with the selected combination of joining pressure and cooling time, no further increase in the joining path occurs from the onset of crystallisation onwards, allowing the solidifying weld seam to cool and relax without pressure.

Fig. 5 (left) shows the sampling positions for the tensile specimens used in the creep tensile tests as well as the measured joining paths and the determined service lives. For Joining Strategy 1, there is a clear strength gradient between the centre and edge areas of the weld seam. Accordingly, the service lives are particularly short in the near-edge areas. Reducing the joining time in Strategy 2 leads to a further decrease in service life. At the same time, a significant reduction in the joining path can be observed. By contrast,

Um den Einfluss des Fügewegs auf den Schmelzefluss zu untersuchen, wurden verschiedenfarbig geschichtete Platten mit unterschiedlichen Fügestrategien geschweißt (Bild 6). Bei den Plattenverbunden, die mit den Fügestrategien 1 und 3 geschweißt wurden (Bild 6 links und Mitte), wurde jeweils ein Fügeweg von etwa 12 mm gemessen. Der im Vergleich zu den vorherigen Schweißungen um 2 mm reduzierte Fügeweg ist vor allem auf die hier weggelassene Angleichphase zurückzuführen. In dieser Phase findet bereits ein geringfügiger Schmelzefluss statt, sodass eine Auswertung des nur während der Fügephase zurückgelegten Fließwegs nicht möglich wäre. Die visuelle Betrachtung der beiden Schweißnähte zeigt sehr ähnliche Schmelzeverläufe, bei denen die Schmelze jeweils aus der Mitte der Schweißnaht entlang der gesamten Fügeebene bis in den Wulstbereich fließt.

Zum Vergleich wurde eine weitere Schweißnaht mit dem Dual-Low-Pressure-Prozess nach ISO 21307 hergestellt, wobei ein Fügedruck von 0,15 MPa für lediglich 10 s aufrechterhalten wird. Dabei wurde ein Fügeweg von nur etwa 4 mm gemessen. Die visuelle Betrachtung der Schweißnaht (Bild 6 rechts) zeigt dementsprechend deutlich verkürzte Fließwege der einzelnen Platten, die kaum ineinander übergreifen. Die Ergebnisse bestätigen somit die Notwendigkeit eines ausreichenden Fügewegs, um den für die Langzeitfestigkeit der Schweißnähte notwendigen Schmelzefluss entlang der Fügeebene hervorzurufen.

In weiteren Untersuchungen wurde sichergestellt, dass die mit Fügestrategie 3 hergestellten Schweißnähte nicht nur bessere Langzeiteigenschaften aufweisen, sondern auch kurzzeitige mechanische Eigenschaften besitzen, die mindestens dem Niveau der nach DVS 2207-1 hergestellten Schweißnähte und den Anforderungen des DVS-Richtlinienwerks entsprechen. Die Entnahmepositionen für die Proben wurden analog zum Zeitstand-Zugversuch gewählt. Bild 7 zeigt die im Zugversuch ermittelte Zugfestigkeit der beiden Fügestrategien sowie des Grundmaterials. Die

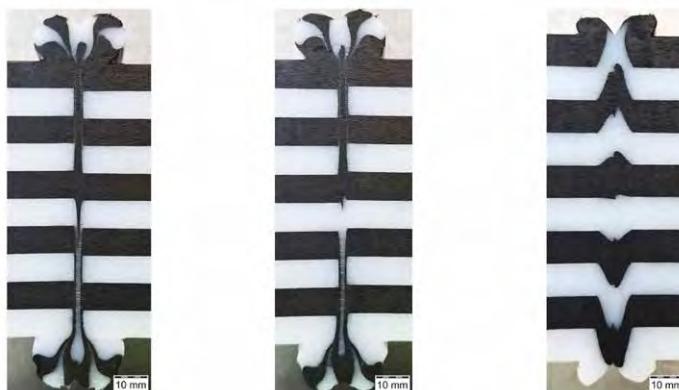


Bild 6: Visualisierung des Schmelzeflusses bei unterschiedlichen Fügestrategien (Wanddicke 100 mm); links: Fügestrategie 1; Mitte: Fügestrategie 3; rechts: Dual-Low-Pressure-Prozess nach ISO 21307 (Fügedruck 0,15 MPa, Aufrechterhaltung des Fügedrucks für 10 s)

Fig. 6: Visualisation of melt flow for different joining strategies (wall thickness 100 mm); left: Joining Strategy 1; centre: Joining Strategy 3; right: Dual-Low-Pressure process in accordance with ISO 21307 (joining pressure 0.15 MPa, pressure maintained for 10 s)

Schweißnähte beider Fügestrategien erreichen positionsunabhängig vergleichbare Zugfestigkeiten und erfüllen jeweils den nach DVS 2203-1 Beiblatt 1 geforderten Kurzzeitzug-Schweißfaktor von 0,9 [3].

In den Biege- und Schlagbiegeversuchen wurden weder in der Nahtmitte noch im Randbereich Schweißnahtbrüche erzielt.

In weiteren Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass die zunächst an Schweißnähten mit einer Wanddicke von 100 mm erarbeitete und untersuchte Fügestrategie auch auf eine Wanddicke von 30 mm übertragbar ist. Die nach DVS 2207-1 hergestellten Schweißnähte führen im Zeitstand-Zugversuch zu einem wanddickenunabhängigen Festigkeitsgradienten. Durch Anpassung der Fügezeit an den Kristallisationsbeginn bei einer Wanddicke von 30 mm und Erhöhung des Fügedrucks auf 0,45 MPa konnte auch hier eine

Strategy 3 yields a clear improvement in service life for both sampling positions. The high standard deviations are generally typical for the creep tensile test and are further explained by the longer service lives observed in Strategy 3.

Despite differences in service life, no systematic differences in fracture behaviour were identified during the analysis. In all three joining strategies, the fracture path runs through the joining plane, regardless of position. Fig. 5 (right) shows an example of an edge specimen from Strategy 3 after the creep tensile test, with a brittle initial crack and a ductile final fracture surface. Polarised light microscopy of the joining planes from different weld seams also revealed no differences, e.g. in terms of molecular orientation.

To investigate the influence of the joining path on the melt flow, layered plates of different colours were

welded using different joining strategies (Fig. 6). The bonded plates from Strategies 1 and 3 (Fig. 6 left and centre) showed a joining path of around 12 mm. The 2 mm reduction compared to earlier welds is primarily due to the omission of the alignment phase. Minor melt flow already occurs during this phase, thus precluding the evaluation of the flow path during the joining phase alone. Visual inspection of both weld seams shows very similar melt flow patterns, with melt flowing from the centre of the weld seam along the joining plane into the bead area.

For comparison, a weld seam was also produced using the Dual-Low-Pressure process according to ISO 21307, in which a joining pressure of 0.15 MPa was maintained for only 10 s. A joining path of just 4 mm was measured. Visual inspection of this weld seam (Fig. 6 right) shows significantly shorter flow paths, with the plates barely intermeshing. These findings confirm the necessity of a sufficient joining path to generate the melt flow along the joining plane required for long-term weld strength.

Further investigations confirmed that weld seams produced using Strategy 3 not only exhibit superior long-term properties, but also short-term mechanical properties that at least match those of weld seams made according to DVS 2207-1 and the requirements of the DVS guidelines. Sampling positions were selected analogously to those used in the creep tensile test. Fig. 7 shows the tensile strength determined in tensile tests for both strategies as well as the base material. The weld seams for both strategies achieved comparable tensile strengths, independent of position and fulfil the short-term tensile weld factor of 0.9 required by DVS 2203-1 Supplement 1 [3].

In the bend and impact tests, no weld seam failures occurred in either the centre or edge areas.

Further studies demonstrated that the joining strategy initially developed and tested on weld seams with a wall thickness of 100 mm can also be transferred to a wall thickness of 30 mm. In the creep

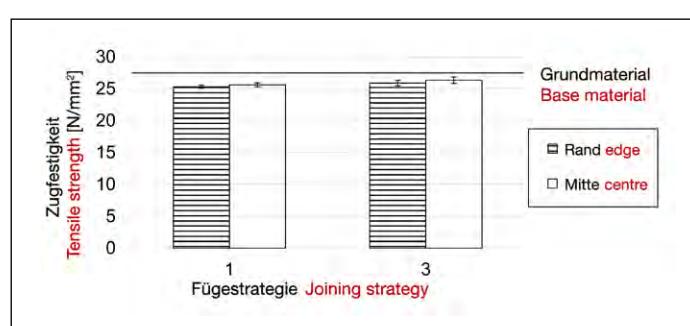


Bild 7: Zugfestigkeiten des Grundmaterials und der mit verschiedenen Fügestrategien hergestellten Schweißnähte im Zugversuch (Wanddicke 100 mm)

Fig. 7: Tensile strengths of the base material and weld seams produced using various joining strategies determined in tensile tests (wall thickness 100 mm)

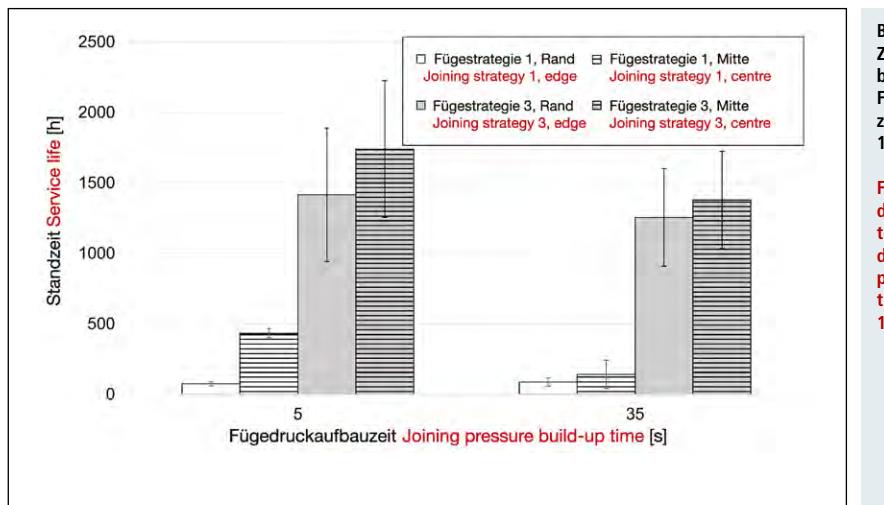


Bild 8: Standzeiten im Zeitstand-Zugversuch bei unterschiedlichen Fügedruckaufbauzeiten (Wanddicke 100 mm)

Fig. 8: Service lives determined in creep tensile tests for different joining pressure build-up times (wall thickness 100 mm)

signifikante Verbesserung der Standzeiten erzielt werden.

4.2 Einfluss der Fügedruckaufbauzeit

Der Fügedruckaufbau als erster Teil der Füge- und Abkühlphase stellt einen wichtigen Prozessschritt beim Heizelementschweißen dar, da in dieser Phase der größte Teil des Schmelzflusses in der Schweißnaht zurückgelegt wird. Mit der Analyse des Fügedruckaufbaus wurde untersucht, ob sich die Fügephase hinsichtlich der Langzeitfestigkeit der Schweißnähte noch weiter optimieren lässt.

Bild 8 zeigt den Einfluss der Fügedruckaufbauzeit und damit der Fließgeschwindigkeit der Schmelze auf die Standzeiten im Zeitstand-Zugversuch bei einer Wanddicke von 100 mm. So-wohl bei den mit Fügestrategie 1 als auch mit Fügestrategie 3 hergestell-

ten Schweißnähten ist eine geringfügige Verschlechterung der Standzeiten bei höherer Fügedruckaufbauzeit erkennbar. Die größte relative Abnahme der Standzeiten zeigen die Proben aus der Mitte der mit Fügestrategie 1 hergestellten Schweißnähte. Die Ergebnisse bestätigen den bereits bei geringeren Wanddicken ermittelten positiven Einfluss einer höheren Fließgeschwindigkeit auf die Standzeiten der Schweißnähte [4, 12]. Allerdings führt Fügestrategie 3 in Kombination mit einer höheren Fügedruckaufbauzeit immer noch zu signifikant höheren Standzeiten als Fügestrategie 1 in Verbindung mit einer geringen Fügedruckaufbauzeit. Eine Veränderung des Bruchverlaufs durch die Variation der Fügedruckaufbauzeit, beispielsweise von der Fügeebeine in andere Bereiche der Schweißnaht, konnte nicht nachge-

tensile test, weld seams produced according to DVS 2207-1 showed a strength gradient independent of wall thickness. By adjusting the joining time to the onset of crystallisation in case of 30 mm wall thickness and increasing the joining pressure to 0.45 MPa, a significant improvement in service life was achieved here as well.

4.2 Influence of the Joining Pressure Build-Up Time

The joining pressure build-up, as the first part of the joining and cooling phase, represents an important process step in heated tool welding, since in this phase the largest part of the melt flow in the weld seam takes place. The analysis of the joining pressure build-up was carried out to investigate whether the joining phase can be further optimised with

regard to the long-term strength of the weld seams.

Figure 8 shows the influence of the joining pressure build-up time and thus of the melt flow velocity, on the service lives in the creep tensile test with a wall thickness of 100 mm. Both for weld seams produced with Joining Strategy 1 and with Joining Strategy 3, a slight deterioration in service lives can be observed at higher joining pressure build-up times. The greatest relative reduction in service lives is shown by the specimens from the middle of the weld seams produced with Joining Strategy 1. The results confirm the positive influence of a higher melt flow velocity on the service lives of the weld seams, which had already been determined for smaller wall thicknesses [4, 12]. However, Joining Strategy 3 in combination with a higher joining pressure build-up time still leads to significantly higher service lives than Strategy 1 in combination with a low joining pressure build-up time.

A change in fracture behaviour due to the variation of the joining pressure build-up time, for example from the joining plane to other areas of the weld seam, could not be demonstrated. Likewise, only a minor influence of the joining pressure build-up time on the respective measured joining paths was established. Thus, the influence of the joining pressure build-up time with regard to the achievable long-term strength

Literatur References

- [1] Ehrenstein, G. W.: Handbuch Kunststoff-Verbindungstechnik. Carl Hanser Verlag, München, 2004. ISBN: 978-3-446-22668-5
- [2] Hessel, J.: 50 Jahre Rohre aus Polyethylen – Eine ingenieurtechnische Betrachtung. 3R International (45) Heft 3-4 (2006), S. 128/33.
- [3] DVS: Taschenbuch DVS-Merkblätter und -Richtlinien – Fügen von Kunststoffen. DVS Media, 20. Auflage, Düsseldorf, 2024. ISBN: 978-3-96144-243-0
- [4] Dietz, R.: Strukturbezogene Betrachtung zum Zeitstandverhalten geschweißter Polyolefinhalbzeuge. Dissertation, Technische Universität Chemnitz, 2017. ISBN: 978-3-96100-038-8
- [5] Michel, H.-J.: Untersuchungen zur Verschweißbarkeit unterschiedlicher HD-Polyethylen e mittels Heizelementstumpfschweißen. Dissertation, RWTH Aachen, 1984.
- [6] ISO: ISO 21307 – Plastics pipes and fittings – Butt fusion jointing procedures for polyethylene (PE) piping systems. Genf, 2017.
- [7] Grieser, J.: PE 100+ Association: Projekt Großrohrschweißen. Plenarsitzung der DVS AG W4, Würzburg, 2007.
- [8] Friedrich, F.; Gehde, M.: Qualitätsgerechtes Heizelementstumpfschweißen dickwandiger Halbzeuge aus Polyethylen. Schlussbericht zum IGF-Vorhaben 19670 BR, Chemnitz, 2020.
- [9] Potente, H.: Fügen von Kunststoffen – Grundlagen, Verfahren, Anwendung. Carl Hanser Verlag, München, 2004. ISBN: 978-3-446-22755-2
- [10] Friedrich, F.; Seefried, A.: Schweißprozessstrategien beim Heizelementschweißen hoher Wanddicken. Joining Plastics – Fügen von Kunststoffen Vol. 18 (2024) Nr. 3–4, S. 160/6.
- [11] DIN: DIN EN ISO 179-2 – Kunststoffe – Bestimmung der Charpy-Schlag-eigenschaften – Teil 2: Instrumentierte Schlagzähigkeitsprüfung. Beuth Verlag, Berlin, 2012.
- [12] de Zeeuw, K.: Untersuchungen zur Qualitätssicherung von Kunststoffrohrschweißnähten. Dissertation, RWTH Aachen, 1978.

wiesen werden. Ebenso wurde nur ein geringer Einfluss der Fügedruckaufbauzeit auf die jeweils gemessenen Fügewege festgestellt. Somit spielt der Einfluss der Fügedruckaufbauzeit im Hinblick auf die erreichbare Langzeitfestigkeit der Schweißnähte eine untergeordnete Rolle im Vergleich zur gewählten Fügestrategie.

5. Fazit und Ausblick

Die Ergebnisse zeigen, dass sich mit einem Fügedruck von 0,45 MPa in Kombination mit einer an das Abkühlverhalten der Schweißnaht angepassten Fügezeit hohe Langzeitfestigkeiten erzielen lassen. Der Einfluss der Fügedruckaufbauzeit spielt dagegen eine untergeordnete Rolle.

Für eine zukünftige industrielle Anwendung der optimierten Fügestrategie müssen neben Wanddicken von 30 und 100 mm auch weitere Wanddicken untersucht und Parametersätze systematisch erarbeitet werden. Herausfordernd dabei ist vor allem die Abhängigkeit der jeweiligen Fügezeit von der Wanddicke.

Zudem sind Untersuchungen zur Übertragbarkeit auf industrielle Großbauteile notwendig. Erste Versuche zum Heizelementschweißen von Rohren im industriellen Maßstab wurden bereits durchgeführt.

Danksagung

Das Projekt wurde durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Das Projekt wurde durchgeführt durch die Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e. V. des DVS, Aachener Straße 172, 40223 Düsseldorf.

Die Autoren danken für die Förderung und aktive Mitarbeit der vertretenen Unternehmen in den projektbegleitenden Ausschüssen und der Simona AG für die Bereitstellung des Versuchsmaterials.



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie



INFO

Der Fachbeitrag basiert auf dem IGF-Forschungsvorhaben 01IF22882N / DVS-Nr. 11.3694

of the weld seams plays a subordinate role compared with the chosen joining strategy.

5. Conclusion and Outlook

The results show that high long-term strength can be achieved using a joining pressure of 0.45 MPa in combination with a joining time adjusted to the cooling behaviour of the weld seam. In contrast, the influence of joining pressure build-up time plays a subordinate role. For future industrial application of the optimised joining strategy, further wall thicknesses in addition to 30 and 100 mm have to be investigated and corresponding parameter sets systematically developed. A particular challenge here is the dependency of the respective joining time on wall thickness.

Moreover, studies are needed to assess the transferability to large-scale industrial components. Initial trials of heated tool welding of pipes on an industrial scale have already been conducted.

Acknowledgement

The project was promoted by the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWE) on the basis of a resolution of the German Bundestag.

The project was carried out by the research association "Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e. V. des DVS, Aachener Straße 172, 40223 Düsseldorf." The authors would like to thank the companies represented in the project committees for their support and active co-operation and Simona AG for providing the test material.



Federal Ministry
for Economic Affairs
and Energy

INFO

This peer-reviewed paper is based on the IGF research project No. 01IF22882N / DVS No. 11.3694.



IHNE & TESCH
ELEKTRO-WÄRMETECHNIK

KELLER IHNE + TESCH
ELEKTRO-WÄRMETECHNIK

CELTIC

KIT ELECTROHEAT



**Alu-Compact Welding Element FAK
made by Ihne & Tesch**



Analyse von Schweißverbindungen mittels neuartiger nanoskaliger IR-Spektroskopie

Analysis of Welded Joints by Using Novel Nanoscale IR Spectroscopy

Kurzfassung

Das Schweißen ist eine gängige Fügemethode in der Kunststoffverarbeitung, bei der die Makromoleküle der Fügepartner über die Grenzfläche hinweg einen Stoffschluss bilden. Es existieren verschiedene Modelle, welche die Wirkmechanismen in einer Schweißnaht zu erklären versuchen. Die Diffusionstheorie und darauf basierende Modelle konnten jedoch noch nicht bewiesen werden, da Polymerketten nicht direkt beobachtet werden können. Für amorphe Thermoplasten sind Analysemethoden aufgrund ihrer fehlenden Fernordnung stark eingeschränkt. Mittels Heizelementschweißens wurden Verbindungen aus PMMA und PC hergestellt und mit einer neuartigen Untersuchungsmethode, der Rasterkraftmikroskop gekoppelt mit IR-Spektroskopie (AFM-IR), analysiert. Diese Methode ermöglichte die Identifizierung der Schweißnaht sowie der ineinander eingedrungenen Polymere. Der Übergangsbereich der Schweißnaht wies eine Breite von etwa 50 nm auf und deutet auf eine Diffusion und Durchmischung der beiden Polymere hin, was somit auch chemisch nachgewiesen werden konnte.



Julia Dreier, M. Sc.

Wissenschaftliche Mitarbeiterin, Abteilung Werkstofftechnik
Institut für Kunststofftechnik (IKT)
Research assistant, Department of Material Engineering
Institute for Plastics Technology (IKT)

Universität Stuttgart
julia.dreier@ikt.uni-stuttgart.de



Dr. rer. nat. Robert Seyfang

Technischer Mitarbeiter, Abteilung Produktentwicklung
Institut für Kunststofftechnik (IKT)
Technical Employee, Department of Product Engineering
Institute for Plastics Technology (IKT)

Universität Stuttgart
robert.seyfang@ikt.uni-stuttgart.de



Prof. Dr.-Ing. Christian Bonten

Leiter des Instituts für Kunststofftechnik (IKT)
Head of the Institute for Plastics Technology (IKT)

Universität Stuttgart
christian.bonten@ikt.uni-stuttgart.de

Mehr Informationen zu den Autoren auf www.joining-plastics.info/autoren
More information on the authors at www.joining-plastics.info/en/authors

Abstract

Welding is a common joining method in plastics processing in which the macromolecules of the joining partners form a material bond across the interface. There are various models which try to explain the effective mechanisms in a weld. However, it has not yet been possible to prove the diffusion theory or any models based on it since polymer chains cannot be observed directly. For amorphous thermoplastics, analysis methods are extremely restricted because of their lack of long-range order. Joints consisting of PMMA and PC were manufactured by using hot plate welding and analysed with a novel investigation method, atomic force microscopy coupled with infrared spectroscopy (AFM-IR). This method permitted the identification not only of the weld but also of the polymers which had penetrated into each other. The inter-

facial region of the weld exhibited a width of approx. 50 nm and suggests the diffusion and thorough mixing of both polymers. Moreover, it was possible to prove this chemically in this way.

1. Einleitung

Das Fügen von Kunststoffen ist ein wichtiger Schritt in der Herstellung von komplexen oder besonders großen Bauteilen. Zu solchen Fügemethoden gehört auch das Schweißen [1, 2]. Kunststoffe können nur dann geschweißt werden, wenn sich die Fügepartner in der Fügeebene im thermoplastischen Zustand befinden. Allen Schweißverfahren ist gemein, dass es während des Schweißprozesses zu einem Verknäueln der Makromoleküle der beiden Fügepartner über die Grenzfläche hinweg und somit zu einem Stoffschluss kommt [2].

1.1 Wirkmechanismen in Schweißverbindungen

Mittels verschiedener Theorien und Kriterien wurde in der Vergangenheit bereits versucht, die Wirkmechanismen in einer Schweißnaht zu beschreiben [3–7]. Die meisten Veröffentlichungen im Bereich des Schweißens beziehen sich auf die Diffusionstheorie und nutzen diese als Grundlage für ihre Untersuchungen und Berechnungen [8–13].

1.1.1 Adhäsionstheorie

Kaelble [3] definiert die Adhäsion als eine molekulare Kraft, die über eine

1. Introduction

The joining of plastics is an important step in the manufacture of complex or particularly large components. Such joining methods also include welding [1, 2]. Plastics can only be welded whenever the joining members are located in the joining plane in the thermoplastic state. One common feature of all the welding procedures is that, during the welding process, the macromolecules of both joining members become entangled across the boundary face, thus resulting in a material bond [2].

1.1 Mechanisms of Action in Welded Joints

In the past, various theories and criteria have already been applied in an attempt to describe the mechanisms of action in a weld [3–7]. Most of the publications in the field of welding relate to the diffusion theory and use this as the basis for their investigations and calculations [8–13].

1.1.1 Adhesion Theory

Kaelble [3] defines adhesion as a molecular force which is exerted via a contact face between different fluids or solids and resists the bounda-

Kontaktfläche zwischen verschiedenen Flüssigkeiten oder Feststoffen ausgeübt wird und der Grenzflächentrennung widersteht. Damit Adhäsion stattfinden kann, müssen die beiden Fügepartner eine gewisse Verträglichkeit untereinander aufweisen.

1.1.2 Theorie vom viskoelastischen Kontakt

Laut Anand und Karam [5] sind die Oberflächenbeschaffenheit, die Werkstoffeigenschaften und der Fügedruck entscheidend für die Diffusion während des Schweißprozesses.

1.1.3 Schweißkriterium nach Gabler

Gabler [6] hebt die Verträglichkeit der Polymere beim Schweißen in den Vordergrund, die für die resultierende Dicke der Grenzschicht verantwortlich sei. Gute Schweißnahtqualitäten beim Schweißen von unterschiedlichen Kunststoffen werden dann erreicht, wenn die beiden Materialien die gleichen Oberflächenenergien, die gleichen Wärmeausdehnungskoeffizienten und die gleichen Löslichkeiten aufweisen.

1.1.4 Diffusionstheorie

Als Diffusion wird der Prozess beschrieben, der für die Bewegung von Materie von einem Teil eines Systems zum anderen verantwortlich ist. Beim Schweißen werden zwei Grenzflächen von Polymeren im geschmolzenen Zustand zusammengeführt. Durch Diffusion und Verschlaufungen von Molekülen „heilen“ sie zusammen. Die Heilung der Grenzflächen ist im Grunde die Diffusion von Polymerketten über die Grenzfläche von einer Seite zur anderen. Dieser Mechanismus ist in Bild 1 zu verschiedenen Zeitpunkten und Graden der Heilung dargestellt. Unter idealen Bedingungen bei vollständiger Ausheilung wandern Polymerketten von jeder Seite der Grenzfläche über die Grenzfläche, so dass diese im Wesentlichen nicht mehr vom Grundmaterial unterscheidbar ist [2].

1.1.5 Reptationsmodell

Das Reptationsmodell nach de Gennes [7] beschreibt den Einfluss von Verhakungen und Verschlaufungen auf die Beweglichkeit von Polymerket-

ten. Diese wird durch Verflechtungen mit Nachbarketten eingeschränkt und von de Gennes durch mögliche Konformationen und das Volumen einer Röhre modelliert, deren Durchmesser dem mittleren Abstand zweier Verschlaufungen entspricht. Die Kette kann sich nur entlang ihrer Kontur bewegen, was als Reptation bezeichnet wird. Das Molekulargewicht beeinflusst die Beweglichkeit: Ein höheres Gewicht erschwert die Bewegung der Kette. Doi und Edwards zeigten jedoch, dass das Modell zu große Röhrendurchmesser und falsche Schmelzviskositäten liefert [14].

1.1.6 Kriterium der minimalen Fließrate

Das Kriterium der minimalen Fließrate nach Potente [4] basiert auf der Diffusionstheorie und der Theorie des viskoelastischen Kontakts. Die Schweißnahtfestigkeit setzt sich aus Diffusions-, Relaxations- und Fließgeschwindigkeitstermen zusammen. Dieses Kriterium bietet eine realistische Beschreibung des Schweißprozesses für viele Fälle.

1.1.7 Weitere Forschungsarbeiten

Viele weitere Forschungsarbeiten konzentrierten sich auf die Festigkeit der Schweißnaht, wobei Einflüsse wie Wanddicken, Orientierungen und Molekülstrukturen

ry face separation. Both joining members must exhibit a certain degree of compatibility with each other so that adhesion can take place.

1.1.2 Theory of Viscoelastic Contact

According to Anand and Karam [5], the surface condition, the material properties and the joining pressure are decisive for the diffusion during the welding process.

1.1.3 Welding Criterion According to Gabler

Gabler [6] focuses on the compatibility of the polymers during welding which is responsible for the resulting thickness of the boundary layer. Good weld qualities during the welding of different plastics are achieved whenever both materials exhibit the same surface energies, the same coefficients of thermal expansion and the same solubilities.

1.1.4 Diffusion Theory

The process which is responsible for the movement of material from one part of a system to the other is described as diffusion. During welding, two boundary faces of polymers are joined together in the molten state. As a result of the diffusion and looping of molecules, they “heal” together. The healing of the interfaces is fundamentally the diffusion of polymer

chains across the interface from one side to the other. This mechanism is portrayed on Fig. 1 at various points in times and degrees of healing. In ideal conditions with complete healing, polymer chains migrate from one side of the interface across the interface so that this essentially can no longer be distinguished from the base material [2].

1.1.5 Reptation Model

The reptation model according to de Gennes [7] describes the influences of entanglements on the mobility of polymer chains. This is restricted by entanglements with neighbouring chains and modelled by de Gennes by using possible conformations and the volume of a tube whose diameter corresponds to the mean distance between two entanglements. The chain can only move along its contour. This is designated as reptation. The molecular weight influences the mobility: A higher weight makes the movement of the chain more difficult. However, Doi and Edwards showed that the model supplies excessive tube diameters and incorrect melt viscosities [14].

1.1.6 Criterion of the Minimum Flow Rate

The criterion of the minimum flow rate according to Potente [4] is based on the diffusion theory and the theory of viscoelastic contact. The weld strength is composed of diffusion, relaxation and flow speed terms. This criterion offers a realistic description of the welding process for many cases.

1.1.7 Interim Conclusion

Many additional research papers concentrated on the strength of the weld. In this respect, influences such as wall thicknesses, orientations and molecular structures are already known. The fact that theoretical models do not always display the real welding process was shown, for example, in the case of crosslinked polyethylene which is weldable in spite of opposite predictions. With the mixed crystal hypothesis, Scholten [15] tried to take account of the influences of crystalline superstructures during the welding of semi-crystalline plastics. The nexus hypothesis [16] sup-

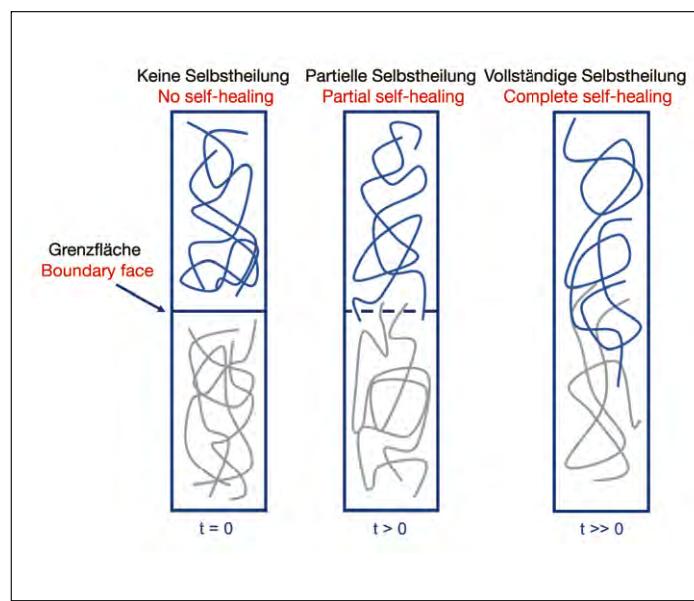


Bild 1: Selbstheilung der Grenzfläche im Laufe der Zeit, in Anlehnung an [2]

Fig. 1: Self-healing of the boundary face in the course of time, with reference to [2]

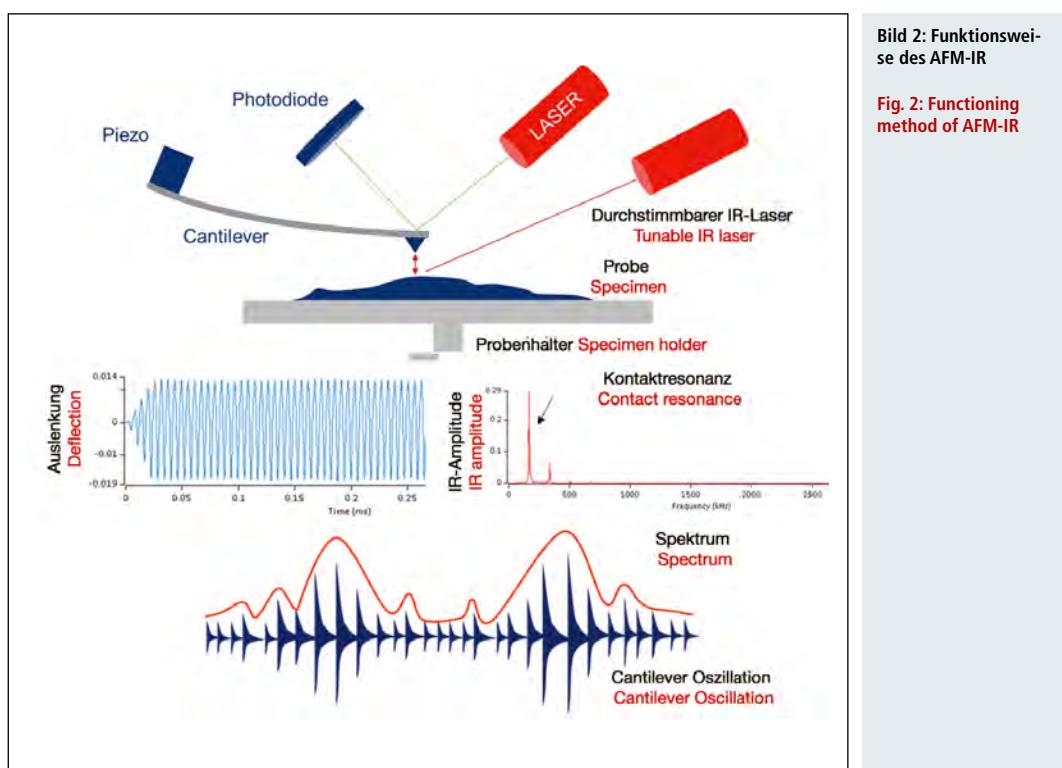


Bild 2: Funktionsweise des AFM-IR

Fig. 2: Functioning method of AFM-IR

The welding tests were performed by using hot plate welding on a welding apparatus designed in advance at a temperature of 250 °C and a joining pressure of 0.4 MPa with a joining time of 60 s. For this purpose, tensile test specimens were firstly manufactured on an injection moulding machine (*Arburg 370S* from Arburg, Lossburg). Thereafter, the tension bars were sawn into pieces and welded. In order to establish the short-time welding factors, tensile tests were carried out according to DIN EN ISO 527-1. Long-time welding factors which resulted from tensile creep tests with reference to DIN EN ISO 899-1 were calculated in addition.

2.1 AFM-IR

Atomic force microscopy, abbreviated as AFM, is an important tool in surface and polymer chemistry. It permits nanoscale measurements which

supply information about topography, morphology, crystallisation, friction behaviour and adhesion. In contrast with TEM, AFM works in ambient conditions. The measuring principle is based on the scanning of the specimen surface with a pyramid-shaped nanoscopic tip. This is located on an elastically flexible cantilever. Together, they form the measuring probe which scans the specimen surface in various modes [17, 18]. Even if AFM permits measurements in the nanometer range, these do indeed have one major weak spot: Just like in the case of TEM, it is not possible to obtain any information about the chemical compositions of materials. However, this disadvantage can be overcome by combining AFM with IR spectroscopy. Fig. 2 shows the setup and measuring principle of the AFM-IR technology.

A pulsed laser adjustable in the infrared range is focused on the specimen close to the tip of the cantilever. If the laser is adjusted to an absorption band of the specimen, a photo-thermal effect is induced in the specimen, i.e. a proportion of the energy of the excitation beam is absorbed by the specimen and directly transformed into heat. However, this only happens within the absorbing range so that the temperature rise is locally limited and leads to excess stress-

bereits bekannt sind. Dass theoretische Modelle nicht immer den realen Schweißprozess widerspiegeln, zeigte sich etwa bei vernetztem Polyethylen, das trotz gegenteiliger Vorhersagen schweißbar ist. Scholten [15] versuchte mit der Mischkristallhypothese den Einfluss kristalliner Überstrukturen beim Schweißen teilkristalliner Kunststoffe zu berücksichtigen. Die Nexus-Hypothese [16] ergänzt dies, indem sie auch die Anzahl von Verknüpfungspunkten bei der Bewertung der Schweißnahtgüte einbezieht. Eine Betrachtung der Schweißnaht gestaltet sich aufgrund der knäuelartigen Struktur der amorphen Polymere als schwierig. Überstrukturen, wie beispielsweise Sphärolithe in teilkristallinen Polymeren, die mittels Transmissionselektronenmikroskopie (TEM) oder ähnlicher Methoden untersucht werden können, sind bei amorphen Polymeren nicht vorhanden.

Ziel dieser Arbeit ist es, die Wirkmechanismen beim Schweißen von amorphen Thermoplasten näher zu beleuchten. Dafür benötigt es eine geeignete Untersuchungsmethode. Amorphe Thermoplaste wurden mittels Heizelementschweißens gefügt und anschließend mit einem Rasterkraftmikroskop gekoppelt mit IR-Spektroskopie (AFM-IR) untersucht.

2. Versuchsdurchführung

Für die Untersuchungen wurden die verträglichen amorphen Thermoplaste PMMA und PC ausgewählt hinsichtlich unterschiedlicher funktioneller Gruppen und der Schweißbarkeit. Es wurden Polymethylmethacrylat (PMMA) vom Typ *Plexiglas 7N* der Firma Röhm GmbH, Darmstadt, und Polycarbonat (PC) *Makrolon ET 3113* der Firma Covestro AG, Leverkusen, verwendet.

Die Schweißversuche erfolgten mittels Heizelementschweißens auf einer im Vorfeld konstruierten Schweißapparatur bei einer Temperatur von 250 °C, einem Fügedruck von 0,4 MPa und einer Fügezeit von 60 s. Dafür wurden zuerst Zugprüfkörper auf einer Spritzgießmaschine (*Arburg 370S* der Firma Arburg, Loßburg) hergestellt. Anschließend wurden die Zugstäbe zersägt und geschweißt. Für die Ermittlung der Kurzzeitschweißfaktoren wurden Zugversuche nach DIN EN ISO 527-1 durchgeführt. Zusätzlich wurden Langzeitschweißfaktoren berechnet, die sich aus Zeitstand-Zugversuchen in Anlehnung an DIN EN ISO 899-1 ergaben.

2.1 AFM-IR

Die Rasterkraftmikroskopie, kurz AFM (atomic force microscopy), ist ein wichtiges Werkzeug in der Ober-

flächenforschung, welche dieses Prinzip erweitert. Es ermöglicht die Erfassung von Topographie, Morphologie, Crystallisation, Friction behaviour und Adhesion. Im Vergleich zu TEM arbeitet AFM in Raumtemperaturbedingungen. Der Messprinzipien ist auf der Scanning des Probenoberflächen mit einer pyramidenförmigen Nanoskopischen Spitze basiert. Diese ist auf einer elastisch flexiblen Kantschelle befestigt. Zusammen bilden sie die Meßsonde, welche die Probenoberfläche in verschiedenen Modus scannen kann [17, 18].

Obwohl AFM erlaubt die Messungen im Nanometerbereich, haben diese doch einen wesentlichen Nachteil: Wie im Fall von TEM, ist es nicht möglich, chemische Zusammensetzung der Materialien zu erhalten. Dieser Nachteil kann durch die Kombination von AFM mit IR-Spektroskopie überwunden werden. Abb. 2 zeigt die Anordnung und die Messprinzipien der AFM-IR Technologie.

2. Test Execution

Bei den Untersuchungen wurden die kompatiblen amorphen Thermoplaste PMMA und PC ausgewählt, um verschiedene funktionelle Gruppen und die Schweißbarkeit zu untersuchen. Es wurden Polymethylmethacrylat (PMMA) vom Typ *Plexiglas 7N* der Firma Röhm GmbH, Darmstadt, und Polycarbonat (PC) *Makrolon ET 3113* der Firma Covestro AG, Leverkusen, verwendet.

flächen- und Polymerchemie. Sie ermöglicht nanoskalige Messungen, die Informationen über Topografie, Morphologie, Kristallisation, Reibungsverhalten und Adhäsion liefern. Im Unterschied zum TEM arbeitet das AFM bei Umgebungsbedingungen. Das Messprinzip beruht auf dem Scannen der Probenoberfläche mit einer pyramidenförmigen nanoskopischen Spitz, dem sogenannten Tip. Dieser befindet sich auf einem elastisch biegsamen Hebelarm, dem Cantilever. Zusammen bilden sie die Messsonde, welche in verschiedenen Modi die Probenoberfläche abtastet [17, 18]. Auch wenn mittels AFM Messungen im Nanometerbereich möglich sind, haben diese doch einen großen Schwachpunkt: Informationen über die chemische Zusammensetzung von Materialien sind – genauso wie mittels TEM – nicht möglich. Die Kombination von AFM mit IR-Spektroskopie kann diesen Nachteil jedoch überwinden. Bild 2 zeigt den Aufbau und das Messprinzip der AFM-IR-Technik. Ein im Infrarotbereich abstimmbarer gepulster Laser wird auf die Probe nahe der Spitze des Cantilevers fokussiert. Ist der Laser auf eine Absorptionsbande der Probe abgestimmt, wird ein photothermischer Effekt in der Probe induziert, d. h. ein Teil der Energie des Anregungsstrahls von der Probe absorbiert und direkt in Wärme umgewandelt. Dies geschieht jedoch nur innerhalb des absorbierenden Bereichs, so dass der Temperaturanstieg lokal begrenzt ist. Durch diesen entsteht eine Überspannung in der Probe. Um diese abzubauen, dehnt sich die Probe aus und bringt die Spitz des Cantilevers in Kontakt mit der Probenoberfläche. Durch diese Ausdehnung kommt es zu einer Oszillation des Cantilevers, die proportional zur IR-Absorption ist. Die Amplitude dieser Oszillation ergibt als Funktion der Wellenzahl das IR-Spektrum. Neben den IR-Spektren liefert das AFM-IR IR-Bilder, das sogenannte „chemical mapping“, mit dem sich die einzelnen Komponenten identifizieren lassen [19, 20]. Für die AFM-Messungen wurden Dünnschnitte (100 nm) mit einem Ultramikrotom der Firma Leica, Wetzlar, präpariert. Anschließend wurden

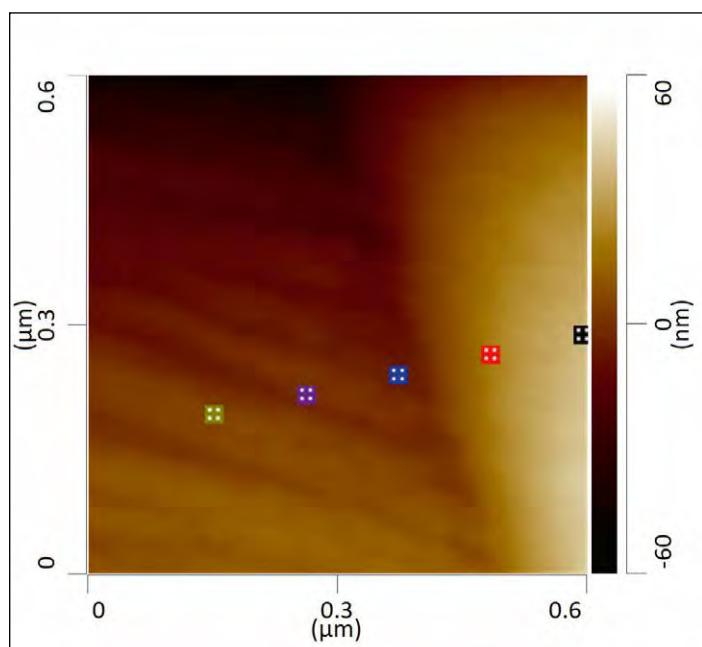


Bild 3: Topografie der Schweißnaht von PMMA/PC

Fig. 3: Topography of the weld consisting of PMMA/PC

die Messungen mit einem *Nano-IR3 Hyperspectral* AFM-IR-System der Firma Bruker, Billerica, Massachusetts, USA, durchgeführt. Die erzeugten Bilder wurden im Nachgang mit der Software *Analysis Studio* (Ansys Instruments, Santa Barbara, Kalifornien, USA) analysiert.

2.2 AFM nanoTA

Das Rasterkraftmikroskop bietet zusätzlich die Möglichkeit einer thermischen Analyse (TA) auf der Nanoskala. Dazu wird ein beheizbarer Cantilever auf die Probenoberfläche aufgesetzt.

es in the specimen. In order to reduce these, the specimen expands and brings the tip of the cantilever into contact with the specimen surface. This expansion causes the oscillation of the cantilever which is proportional to the IR absorption. The amplitude of this oscillation results in the IR spectrum as a function of the number of waves. In addition to the IR spectra, the AFM-IR supplies IR images, the so-called “chemical mapping”, which can be used for the identification of the individual components [19, 20].

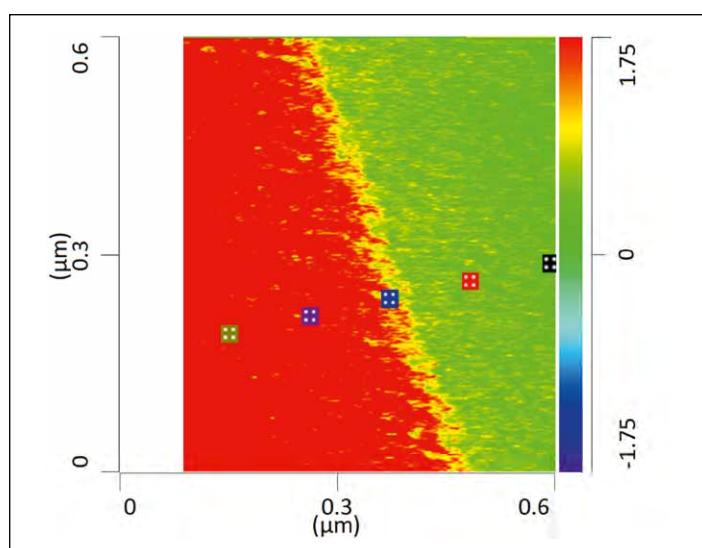


Bild 4: IR-Ratiobild ($1730/1780 \text{ cm}^{-1}$) der Schweißnaht PMMA/PC

Fig. 4: IR ratio image ($1,730/1,780 \text{ cm}^{-1}$) of the weld consisting of PMMA/PC

For the AFM measurements, thin sections (100 nm) were prepared with an ultramicrotome from Leica, Wetzlar. Thereafter, the measurements were taken with a Nano-IR3 Hyperspectral AFM-IR System from Bruker, Billerica, Massachusetts, USA. Afterwards, the produced images were analysed with the Analysis Studio software (Ansys Instruments, Santa Barbara, California, USA).

2.2 AFM nanoTA

In addition, the atomic force microscope offers the possibility of a thermal analysis (TA) on the nanoscale. For this purpose, a heatable cantilever is placed on the specimen surface. Thereafter, the temperature of the tip rises continuously and thus heats the immediate environment of the placing point. The specimen reacts to this with increasing thermal expansion which leads to the deflection of the cantilever with a ramp-shaped signal course. When the glass transition temperature is exceeded, the amorphous plastic changes from the elastic state to the thermoplastic state. This leads to the penetration of the cantilever and the inversion of the signal course. While very thin specimens in the region of 100 nm are necessary for the AFM-IR method, the nanoTA method can only be applied to thicker specimens.

3. Results and Discussion

The welding of PMMA and PC results in joints with high strengths, a short-time welding factor of 0.75 and a long-time welding factor of 0.65. Both polar polymers exhibit the good compatibility required for heterogeneous joints.

3.1 AFM-IR Measurements

AFM-IR measurements were taken in order to be able to consider the weld in greater detail. Fig. 3 shows the height image of the weld. The photograph on Fig. 3 shows a 600 nm x 600 nm detail but the specimen appears to be rather flatter all in all. Although a region which can be assigned to the weld is recognisable, it is not possible to identify both polymers unambiguously solely by using topography. It can be recognised that these constitute two different mate-

Anschließend wird die Temperatur des Tips kontinuierlich erhöht und damit die unmittelbare Umgebung des Aufsetzpunkts aufgeheizt. Die Probe reagiert darauf mit einer zunehmenden thermischen Ausdehnung, was zu einer Auslenkung des Cantilevers mit rampenförmigem Signalverlauf führt. Mit dem Überschreiten der Glasübergangstemperatur wechselt der amorphe Kunststoff vom elastischen in den thermoplastischen Zustand, was zum Eindringen des Cantilevers und Umkehr des Signalverlaufs führt. Während für die AFM-IR-Methode sehr dünne Proben im Bereich von 100 nm notwendig sind, ist die nanoTA-Methode nur an dickeren Proben anwendbar.

3. Ergebnisse und Diskussion

Das Schweißen von PMMA und PC ergibt Verbindungen mit hohen Festigkeiten mit einem Kurzzeitenschweißfaktor von 0,75 und einem Langzeitenschweißfaktor von 0,65. Die beiden polaren Polymere weisen eine für heterogene Verbindungen erforderliche gute Verträglichkeit auf.

3.1 AFM-IR-Messungen

Um die Schweißnaht detaillierter betrachten zu können, wurden AFM-IR-Messungen durchgeführt. Bild 3 zeigt das Höhenbild der Schweißnaht. Die Aufnahme in Bild 3 zeigt einen Ausschnitt von $600 \text{ nm} \times 600 \text{ nm}$, die Probe erscheint jedoch insgesamt eher flacher. Es lässt sich zwar ein Bereich erkennen, der der Schweißnaht zugeordnet werden kann, aber eine eindeutige Identifizierung der beiden Polymere ist alleine durch die Topografie nicht möglich. Es ist zu erkennen, dass es sich um zwei unterschiedliche Werkstoffe handelt. Um jedoch zu bestimmen, um welchen Werkstoff es sich handelt, wurden an verschiedenen Stellen des Dünnschnitts IR-Spektren aufgenommen (Bild 5). Die zugehörigen Stellen sind in Bild 3 jeweils mit Kästchen in der Farbe der Spektren in Bild 5 gekennzeichnet. Durch die Funktion der IR-Bildgebung können IR-Bilder aufgenommen werden. Dabei wird die Probe mit einer voreingestellten Wellenzahl gescannt. Für PMMA ist die Carbonylgruppe die charakteristischste und liegt im Spektrum bei einer Wellenzahl von 1730 cm^{-1} mit einer sehr starken Bande. PC

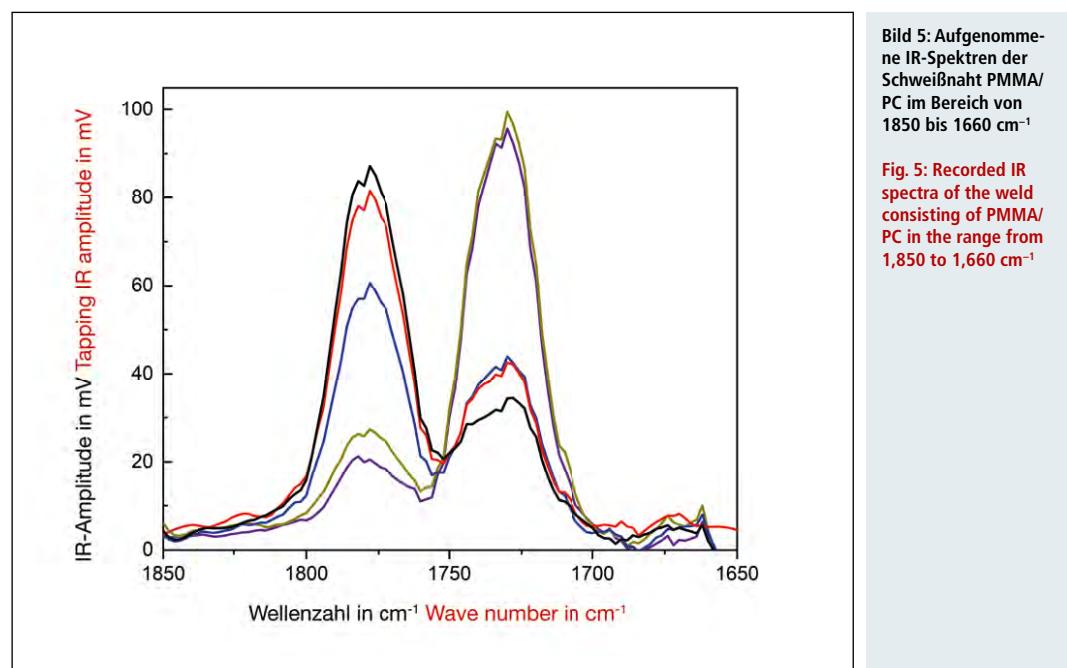


Bild 5: Aufgenommene IR-Spektren der Schweißnaht PMMA/PC im Bereich von 1850 bis 1660 cm^{-1}

Fig. 5: Recorded IR spectra of the weld consisting of PMMA/PC in the range from 1,850 to 1,660 cm^{-1}

verfügt ebenfalls über C=O-Bindungen bei einer Wellenzahl von 1780 cm^{-1} . Zu jeder dieser Wellenzahlen wird ein IR-Bild aufgenommen. Um anschließend eine Aussage treffen zu können, müssen diese Bilder ins Verhältnis gesetzt werden. Ein solches Ratio-Bild ist in Bild 4 dargestellt. Die rot gefärbten Stellen im Bild bedeuten, dass an diesen Stellen mehr PMMA als PC vorhanden ist, also die Wahrscheinlichkeit für die Wellenzahl 1730 cm^{-1} größer ist. Rot kann somit PMMA zugeordnet werden. Der grüne

Materials. However, in order to determine which materials they are, IR spectra were recorded at various positions on the thin section (Fig. 5). The relevant positions are marked on Fig. 3, in each case with boxes in the colours of the spectra on Fig. 5. The function of IR imaging makes it possible to record IR images. In this respect, the specimen is scanned with a preset number of waves. For PMMA, the carbonyl group is the most characteristic and is located in the spectrum at wave number $1,730 \text{ cm}^{-1}$ with a

very strong band. PC also has C=O bonds at wave number $1,780 \text{ cm}^{-1}$. One IR image is recorded at each of these wave numbers. In order to be able to make a statement thereafter, these images must be related to each other. Such a ratio image is portrayed on Fig. 4.

The red-coloured positions on the image signify that more PMMA than PC is present at these positions, i.e. there is a greater probability for wave number at $1,730 \text{ cm}^{-1}$. Red may thus be assigned to PMMA. The green region indicates the presence of PC. Both polymers can be distinguished clearly on the ratio image. However, an interfacial region which can be identified as the weld and is approx. 50 nm wide can be seen in the centre. This region appears to be yellow since it is no longer possible to distinguish between the two different materials here. IR spectra were recorded at the marked positions on the image and permit the unambiguous assignment to the polymers.

The spectra in purple and green on Fig. 5 can be unambiguously assigned to PMMA. As already mentioned above, $1,730 \text{ cm}^{-1}$ is the characteristic absorption band for the C=O bond of PMMA. Both spectra have the highest measured intensities at this wave number. Thus, the red and black spectra are relevant to PC. The blue spectrum is located in the region of the weld and exhibits the

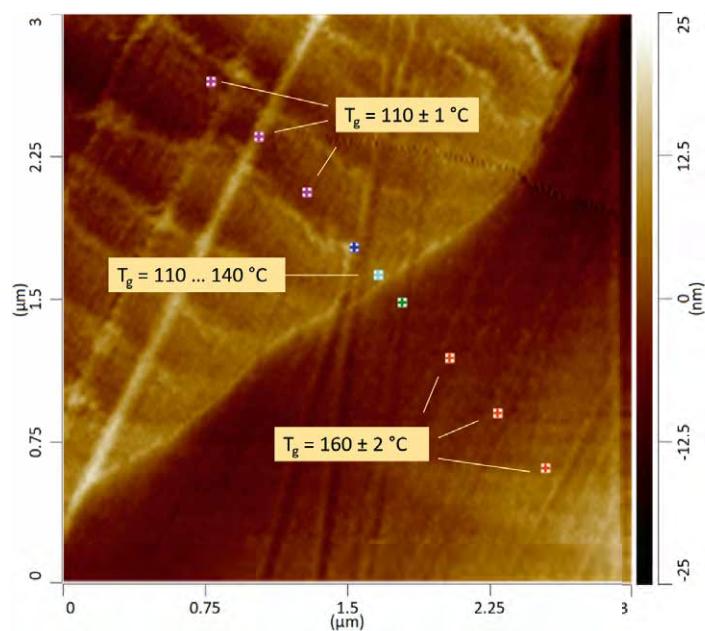


Bild 6: Höhenbild der Schweißnaht PMMA/PC und an den Markierungen ermittelte T_g -Werte

Fig. 6: Height image of the weld consisting of PMMA/PC and T_g values established at the marks

Bereich gibt die Anwesenheit von PC an. Die beiden Polymere können klar unterschieden werden im Ratiobild, in der Mitte sieht man jedoch einen Übergangsbereich, der als Schweißnaht identifiziert werden kann und etwa 50 nm breit ist. Dieser Bereich erscheint gelb, da hier keine Unterscheidung der beiden verschiedenen Materialien mehr möglich ist. An den markierten Stellen im Bild wurden IR-Spektren aufgenommen, die eine eindeutige Zuordnung zu den Polymeren erlauben. Die Spektren in Lila und Grün in Bild 5 lassen sich eindeutig PMMA zuordnen. Wie bereits weiter oben erwähnt, ist 1730 cm^{-1} die charakteristische Absorptionsbande für die C=O-Bindung von PMMA. Die beiden Spektren haben bei dieser Wellenzahl die höchste gemessene Intensität. Somit sind das rote und schwarze Spektrum PC zugehörig. Das blaue Spektrum liegt im Bereich der Schweißnaht und verfügt über die

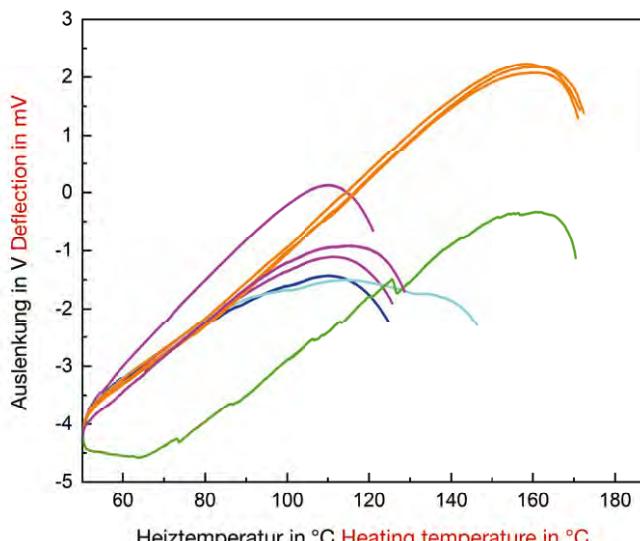


Bild 7: NanoTA-Messkurven an den in Bild 6 gekennzeichneten Stellen

Fig. 7: NanoTA measured curves at the positions marked on Fig. 6

IR-Banden von beiden Polymeren, die in ihrer Intensität sogar fast gleich hoch sind. Das rote und lila Spektrum befindet sich näher an der Schweißnaht, was sich auch darin widerspie-

IR bands of both polymers whose intensities are even at almost the same level. The red and purple spectrum is located closer to the weld. This is also reflected by the fact that the band of

the other polymer in each case exhibits a higher intensity than the spectra recorded further away. Since the spectrum exhibits the characteristic bands of both polymers in the region

Literatur References

- [1] Benatar, A.; Bonten, C.; Grewell, D.; Tuechert, C.: Welding, München: Hanser Verlag; Hanser Gardner Publications, 2001, ISBN 3446216952.
- [2] Grewell, D.; Benatar, A.: Welding of Plastics: Fundamentals and New Developments. In: International Polymer Processing, 2007, Vol. 22, Issue 1, pp. 43/60. <https://doi.org/10.3139/217.0051>
- [3] Kaelble, D. H.: Physical chemistry of adhesion, New York: Wiley-Interscience, 1971. ISBN 9780471454113.
- [4] Potente, H.: Zur Theorie des Heizelement-Stumpfschweißens. In: Kunststoffe, 1977, 67. Jg., Nr. 2, S. 98/102.
- [5] Anand, J. N.; Karam, H. J.: Interfacial Contact and Bonding in Autohesion I-Contact Theory. In: The Journal of Adhesion, 1969. Vol. 1, Issue 1, pp. 16/23. <https://doi.org/10.1080/00218466908077369>
- [6] Gabler, K.: Beurteilung der Schweißbarkeit unterschiedlicher Thermoplaste im Hinblick auf das Heizelementstumpfschweißen. In: Adhäsion, 1981, Nr. 2.
- [7] de Gennes, P. G.: Dynamics of Entangled Polymer Solutions. II. Inclusion of Hydrodynamic Interactions. In: Macromolecules, 1976. Vol. 9, Issue 4, pp. 594/8. <https://doi.org/10.1021/ma60052a012>
- [8] Wool, R. P.; Yuan, B.-L.; McGarel, O. J.: Welding of polymer interfaces. In: Polymer Engineering & Science, 1989.
- [9] Kim, S.-G.; Suh, N. P.: Performance prediction of weldline structure in amorphous polymers. In: Polymer Engineering & Science, 1985.
- [10] Onken, J.; Hopmann, C.: Wie stark bindet eine Bindenaht. In: Kunststoffe, 2019. (19), S. 54/7.
- [11] Debondue, E.; Fournier, J.-E.; Lacrampe, M.-F.; Krawczak, P.: Weld-line sensitivity of injected amorphous polymers. In: Journal of Applied Polymer Science, 2004. Vol. 93, Issue 2, pp. 644/50. <https://doi.org/10.1002/app.20488>
- [12] Ge, T.; Pierce, F.; Perahia, D.; Grest, G. S.; Robbins, M. O.: Molecular dynamics simulations of polymer welding: strength from interfacial entanglements. In: Physical review letters, 2013. Vol. 110, Issue 12. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.110.098301>
- [13] McIlroy, C.; Olmsted, P. D.: Disentanglement effects on welding behaviour of polymer melts during the fused-filament-fabrication method for additive manufacturing. In: Polymer, 2017. 123, pp. 376/91. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2017.06.051>
- [14] Doi, M.; Edwards, S. F.: The theory of polymer dynamics. Oxford: Clarendon Press, 1986. International series of monographs on physics (Oxford). Bd. 73. ISBN 9780198520337.
- [15] Scholten, F. L.; Oesterhold, D. J. A.: Schweißeignung und Kerbunempfindlichkeit von Rohren aus vernetztem Polyethylen (PE-Xa). In: Gastec report GDT/MAT96319/Sch/052. V, Gastec N. V., Apeldoorn, Niederlande, 1996, Vol. 12, S. 96.
- [16] Bonten, C.; Schmachtenberg, E.: A new hypothesis to describe the mechanisms acting in a welded joint of semicrystalline thermoplastics. In: Polymer Engineering & Science, 2001.
- [17] Voigtlander, B.: Atomic Force Microscopy. Cham: Springer International Publishing, 2019. ISBN 978-3-030-13653-6.
- [18] Santos, N. C.; Carvalho, F. A.: Atomic force microscopy: Methods and protocols. New York, NY: Humana Press, 2019. Springer protocols. Bd. 1886. ISBN 978-1-4939-8894-5.
- [19] Dazzi, A. und C.B. Prater. AFM-IR: Technology and Applications in Nanoscale Infrared Spectroscopy and Chemical Imaging. In: Chemical reviews, 2017, pp. 5146/73. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.6b00448>
- [20] Mathurin, J.; Deniset-Besseau, A.; Bazin, D.; Dartois, E.; Wagner, M.; Dazzi, A.: Photothermal AFM-IR spectroscopy and imaging: Status, challenges, and trends. In: Journal of Applied Physics, 2022. Vol. 131, Issue 1. <https://doi.org/10.1063/5.0063902>

gelt, dass die Bande des jeweiligen anderen Polymers eine höhere Intensität aufweist als die weiter entfernt aufgenommenen Spektren. Da das Spektrum im Bereich der Schweißnaht die charakteristischen Banden von beiden Polymeren aufweist, deutet dies daraufhin, dass es während des Schweißvorgangs zu einem Eindringen der Polymerketten ineinander kommt, wie in bisheriger Literatur vermutet wurde. Durch die vorhandene Verträglichkeit von PMMA und PC kommt es zu einer Durchmischung der beiden Polymere im Bereich der Schweißnaht.

3.2 NanoTA-Messungen

Bild 6 zeigt ein Höhenbild der Schweißnaht in einem Ausschnitt von $3\text{ }\mu\text{m} \times 3\text{ }\mu\text{m}$. Es zeigt sich ein leichter Unterschied in der Morphologie der beiden Schweißpartner, das Höhenprofil variiert aber lediglich um etwa 30 nm. Zur Identifizierung der Komponenten und Charakterisierung des Übergangsbereichs wurden nanoTA-Messungen an den in Bild 6 farblich markierten Stellen durchgeführt. Bild 7 zeigt die zugehörigen Messkurven. Die ermittelten Tg-Werte sind in Bild 6 eingetragen. Die Messkurven in Magenta zeigen einen Tg-Wert von etwa 110 °C, diejenigen in Orange einen von etwa 160 °C. Damit können PMMA links oben und PC rechts unten eindeutig lokalisiert werden. Die Messkurven in Blau, Türkis und Grün zeigen den Übergangsbereich. Man sieht hier den schnellen Wechsel von PMMA (blau) nach PC (grün), am Übergang sind jedoch offenbar Anteile von beiden Komponenten nachweisbar.

4. Fazit

Um die Schweißnaht im Detail zu untersuchen, wurden Messungen mit einem AFM-IR durchgeführt. Diese Messungen ergaben, dass es möglich ist,

solche Verbindungen mit dieser Methode zu untersuchen. Die jeweiligen Werkstoffe sowie der Bereich der Schweißnaht ließen sich eindeutig identifizieren und lieferten neben IR-Spektren auch eine chemische Bildgebung. Die 50 nm breite Schweißnaht deutet auf eine Diffusion und Durchmischung der beiden Polymere hin. Das nanoTA-Messverfahren des AFM bietet ergänzend die Möglichkeit zur Zuordnung (bereits bekannter) Komponenten auf der Nanoskala, sofern sich diese in der Glasübergangstemperatur unterscheiden. Im konkreten Fall PC/PMMA zeigt die Schweißnaht Merkmale beider Komponenten in einem eng begrenzten Bereich. In kommenden Untersuchungen wird der Fokus auf der Korrelation solcher Betrachtungen mit der Kraftübertragung liegen, indem Schweißparameter variiert werden und beobachtet wird, wie sich das auf den Schweißfaktor und die Schweißnaht auswirkt. Ebenfalls ist eine Anwendung der vorgestellten Messmethoden auf andere Systeme mit verschiedenen Schweißpartnern, z. B. auch mit teilkristallinen Kunststoffen, möglich.

Danksagung

Die hier vorgestellten Ergebnisse entstanden mit dem durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) aus dem Forschungsschwerpunkt „Plastik in der Umwelt“ geförderten AFM-IR. Weiterer Dank gilt den Firmen Röhm GmbH, Darmstadt, und Covestro AG, Leverkusen, für die Bereitstellung der Versuchsmaterialien.

of the weld, this suggests that the polymer chains penetrate into each other during the welding operation, as has been presumed in the literature until now. The existing compatibility of PMMA and PC leads to the thorough mixing of both polymers in the region of the weld.

3.2 NanoTA Measurements

Fig. 6 shows a height image of the weld in a $3\text{ }\mu\text{m} \times 3\text{ }\mu\text{m}$ detail. This shows a slight difference in the morphologies of both welding members but the height profile varies merely by approx. 30 nm. In order to identify the components and characterise the interfacial region, nanoTA measurements were taken at the positions marked in colour on Fig. 6. The relevant measured curves are shown on Fig. 7. The established Tg values have been plotted on Fig. 6. The measured curves in magenta exhibit a Tg value of approx. 110 °C and those in orange a value of approx. 160 °C. Thus, it is possible to unambiguously localise PMMA on the top left and PC on the bottom right. The measured curves in blue, turquoise and green show the interfacial region. The quick change from PMMA (blue) to PC (green) can be seen here but proportions of both components are obviously detectable at the interface.

4. Conclusion

In order to investigate the weld in detail, measurements were taken with AFM IR. These measurements indicated that it is possible to investigate such joints with this method. The respective materials as well as the region of the weld could be identified

unambiguously and supplied not only IR spectra but also chemical imaging. The 50 nm wide weld suggests the diffusion and thorough mixing of both polymers. As a supplement, the nanoTA measuring procedure of AFM offers the possibility of assigning (already known) components on the nanoscale in so far as these can be distinguished in the glass transition temperatures. In the concrete case of PC/PMMA, the weld exhibits characteristics of both components in a tightly limited region. Coming investigations will focus on the correlation of such considerations with the force transmission by varying welding parameters and observing what effects that has on the welding factor and the weld. Moreover, the presented measuring methods can be applied to other systems with different welding members, e.g. also with semi-crystalline plastics.

Acknowledgement

The results presented here were obtained with the AFM IR promoted by the Federal Ministry for Education and Research (BMBF) from the main focal point of research entitled “Plastic in the Environment”. Further gratitude goes to Röhm GmbH, Darmstadt, and Covestro AG, Leverkusen, for providing the test materials.



JOINING PLASTICS

FÜGEN VON KUNSTSTOFFEN

www.fuegen-von-kunststoffen.de

**Das Wesentliche auf den Punkt gebracht.
Der JOINING PLASTICS NEWSLETTER auf [LinkedIn](#)**



Mit dem Joining Plastics Newsletter auf LinkedIn rundum informiert:

- monatliche Erscheinungsweise
- Branchenneuigkeiten
- Veranstaltungshinweise
- neueste Entwicklungen aus der Forschung

Jetzt anmelden: bit.ly/JP-Newsletter

Laserdurchstrahlschweißen mit werkstoff- und bauteilangepassten Intensitätsverteilungen

Laser Transmission Welding With Intensity Distributions Adjusted to the Materials and the Components

Kurzfassung

Bei der Nutzung von klassischen Gauß- oder Tophat-Intensitätsverteilungen im Prozess des Laserdurchstrahlschweißens ergeben sich häufig insbesondere bei stark streuenden Fügepartnern unzureichende Bearbeitungsergebnisse. Die Verwendung von werkstoff- und bauteilangepassten Intensitätsverteilungen verspricht, die Qualität der Schweißnähte bei gleichzeitiger Erhöhung der Produktivität zu erhöhen. Zur Bestimmung solcher Intensitätsverteilungen mit einer hohen Anzahl an Freiheitsgraden wird das inverse Wärmeleitproblem unter Berücksichtigung der Streuung im transparenten Fügepartner für verschiedene Materialkonfigurationen gelöst. Die ermittelten Intensitätsverteilungen können über einen Versuchsaufbau mit integriertem LCoS-SLM umgesetzt und validiert werden. Dabei weisen die so erzeugten Schweißnähte im Vergleich mit durch klassische Gauß- und Tophat-Intensitätsverteilungen erzeugten Schweißnähten weniger Defekte, homogenere Schweißprofile und erhöhte Bruchkräfte auf.

1. Einleitung

Die wachsenden Ansprüche an die Beschaffenheit von Kunststoffbauteilen sowie der Trend zur Miniaturisierung stellen immer höhere Anforderungen an die Produktionsprozesse. Als Konsequenz lassen sich Kunststoffbauteile oftmals nicht mehr monolithisch herstellen, wodurch Fügeprozesse stetig an Bedeutung gewinnen und vor immer höhere Herausforderun-

Thomas Bussek, M. Sc.

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Technologie Optischer Systeme TOS
Research associate at the Chair for Technology of Optical Systems TOS

RWTH Aachen University

thomas.bussek@tos.rwth-aachen.de



Dr.-Ing. Maximilian Brosda Flockenhaus

Gruppenleiter Fügen von Kunststoffen und transparente Materialien
Group Manager Joining of Polymers and transparent Materials

Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT

maximilian.brosda@ilt.fraunhofer.de



Jacqueline Dahlmanns, M. Sc.

Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Technologie Optischer Systeme TOS
Research associate at the Chair for Technology of Optical Systems TOS

RWTH Aachen University

jacqueline.dahlmanns@tos.rwth-aachen.de



Dr.-Ing. Alexander Olowinsky

Abteilungsleiter Fügen und Trennen
Head of Department Joining and Cutting

Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT

alexander.olowinsky@ilt.fraunhofer.de



Stefan Behrens, M. Sc.

Mitarbeiter am Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT
Employee at the Fraunhofer Institute for Laser Technology ILT

Fraunhofer-Institut für Lasertechnik

stefan.behrens@ilt.fraunhofer.de



Dr.-Ing. Annika Bonhoff

Oberingenieurin am Lehrstuhl für Technologie Optischer Systeme TOS
Senior engineer at the Chair for Technology of Optical Systems TOS

RWTH Aachen University

annika.bonhoff@tos.rwth-aachen.de



Prof. Dr. rer. nat. Dipl.-Ing. Carlo Holly

Inhaber des Lehrstuhls für Technologie Optischer Systeme TOS
Holder of the Chair for Technology of Optical Systems TOS

RWTH Aachen University

carlo.holly@tos.rwth-aachen.de



Mehr Informationen zu den Autoren auf www.joining-plastics.info/autoren
More information on the authors at www.joining-plastics.info/en/authors

Abstract

The utilisation of classic Gaussian or tophat intensity distributions in the process of laser transmission welding frequently leads to inadequate processing results particularly in the case of joining members with extreme scattering. The use of intensity distributions adjusted to the materials and the workpieces promises to raise the quality of the welds with a simultaneous increase in productivity. In order to determine such intensity distributions with a high number of degrees of freedom, the inverse heat conduction problem is solved for various material configurations taking account of the scattering in the transparent joining member. The established intensity distributions can be implemented and validated using a test setup with an integrated LCoS-SLM. In comparison with welds produced using classic Gaussian and tophat intensity distributions, the welds produced in this way exhibit fewer defects, more homogeneous welding profiles and increased fracture forces.

1. Introduction

The growing demands on the condition of plastic components as well as the trend towards miniaturisation are placing ever more stringent requirements on the production processes. As a consequence, it is often no longer possible to manufacture plastic components monolithically. Thus, joining processes are becoming increasingly significant and are being confronted with ever greater challenges. Laser transmission welding (LTW) was able

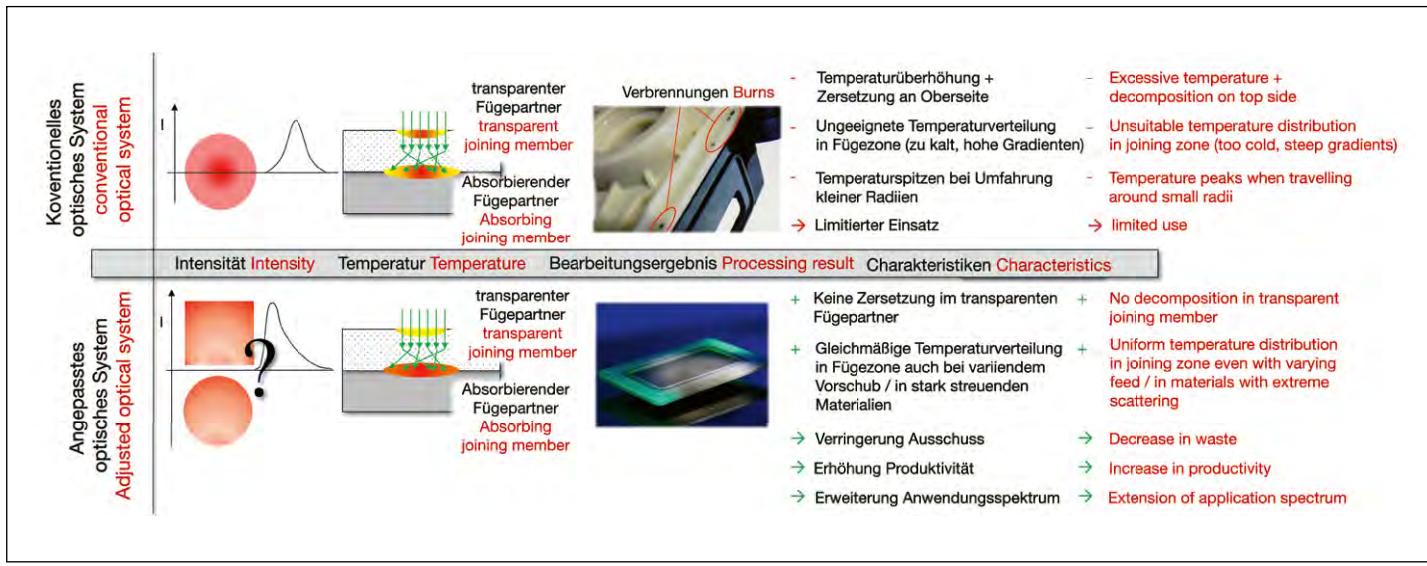


Bild 1: Oben: LDS mit konventionellem optischem System, unten: Darstellung der Projektidee: LDS mit werkstoff- und bauteilangepassten Intensitätsverteilungen

Fig. 1: Top: LTW with a conventional optical system, bottom: representation of the project idea: LTW with intensity distributions adjusted to the materials and the components

gen gestellt werden. Das Laserdurchstrahlschweißen (LDS) hat sich in der Vergangenheit etablieren können und zeichnet sich durch einen berührungslosen sowie zeitlich und örtlich definierten Energieeintrag aus [1, 2]. Dies ermöglicht die Erstellung auch komplexer Schweißnahtgeometrien bei gleichzeitig geringen thermischen und mechanischen Belastungen sowie partikelfreies Schweißen [3, 4]. Beim LDS wird die Energie zum Aufschmelzen durch Absorption der Laserstrahlung im unteren absorbierenden Fügepartner eingebracht. Dabei hat die Intensität des Laserstrahls einen signifikanten Einfluss auf das sich ausbildende Temperaturprofil und damit auf die Qualität der Schweißnaht. In der Industrie werden aktuell ausschließlich symmetrische Gauß-, Tophat oder M-Shape-Intensitätsverteilungen verwendet. Gerade in stark streuenden Werkstoffen (bspw. mit hohen Glasfasergehalten), für kleine Nahtradien sowie bei hohen Materialdicken führen diese Intensitätsverteilungen jedoch zu ungeeigneten Temperaturprofilen mit Überhitzungen an der Bauteiloberseite oder unzureichender Aufheizung in der Bearbeitungsebene (Bild 1, oben). Dies begrenzt den Einsatzbereich des LDS signifikant.

Im Rahmen dieser Arbeit wird daher die Realisierung werkstoff- und bauteilangepasster Intensitätsverteilungen für das LDS vorgestellt. Diese stellen auch in stark streuenden

Werkstoffen und bei hohen Materialdicken ein ideales Temperaturprofil ein, wodurch Inhomogenitäten oder Verbrennungen im Bearbeitungsergebnis entgegengewirkt werden kann (Bild 1, unten).

2. Berechnung von werkstoff- angepassten Intensitätsverteilungen

Um eine definierte Schweißnaht zu erzielen, müssen die Fügepartner in der Fügeebene über die angestrebte Schweißnahtbreite hinweg homogen auf eine Temperatur knapp über der Schmelztemperatur erhitzt werden. Die Intensitätsverteilung, die solch eine Temperaturverteilung in dem Werkstück erzeugt, variiert mit den verwendeten Prozessparametern und hängt beispielsweise von der Vorschubgeschwindigkeit oder den optischen und thermischen Eigenschaften der Fügepartner ab. Um eine geeignete Intensitätsverteilung abhängig von den verwendeten Prozessparametern zu bestimmen, wird die Lösung des inversen Wärmeleitproblems [5] betrachtet. Dazu wird eine geeignete Zieltemperaturverteilung im Werkstück definiert und durch Anpassung der verwendeten Intensitätsverteilung iterativ die Summe der quadratischen Abweichung zwischen der Zieltemperatur und einer simulierten Temperaturverteilung minimiert. Zur Berechnung der simulierten Temperaturverteilung und der iterativen Op-

to become established in the past and is characterised by a contactless energy input defined with regard to time and location [1, 2]. This permits the creation even of complex weld geometries with low thermal and mechanical loads as well as particle-free welding at the same time [3, 4].

In the case of LTW, the energy for melting is introduced by the absorption of the laser radiation in the bottom absorbing joining member. In this respect, the intensity of the laser beam has a significant influence on the forming temperature profile and thus on the quality of the weld. At present, it is exclusively symmetrical Gaussian, tophat or M shape intensity distributions which are being used in industry. However, precisely in materials with extreme scattering (e.g. with high glass fibre contents), for small weld radii as well as with high material thicknesses, these intensity distributions lead to unsuitable temperature profiles with overheating phenomena on the top side of the component or inadequate heating in the processing plane (Fig. 1, top). This limits the area of utilisation of LTW significantly.

The implementation of intensity distributions adjusted to the materials and the workpieces for LTW is therefore presented within the framework of this paper. These set an ideal temperature profile even in materials with extreme scattering and in the case of high material thicknesses and

thus serve to counteract any inhomogeneities or burns in the processing results (Fig. 1, bottom).

2. Calculation of Intensity Distributions Adjusted to the Materials

In order to attain a defined weld, the joining members must be homogeneously heated up to a temperature just above the melting temperature in the joining plane across the striven-for weld width. The intensity distribution which produces such a temperature distribution in the workpiece varies with the utilised process parameters and depends, for example, on the feed speed or on the optical and thermal properties of the joining members. In order to determine a suitable intensity distribution depending on the utilised process parameters, consideration is given to the solution of the inverse heat conduction problem [5]. For this purpose, a suitable target temperature distribution in the workpiece is defined and, by adjusting the utilised intensity distribution, the total quadratic deviation between the target temperature and a simulated temperature distribution is minimised. For the calculation of the simulated temperature distribution and of the iterative optimisation of the intensity distribution, consideration is given to the sets of problems which result from the quasi-stationary heat conduction equation. For a more exact consideration of the method for solving the

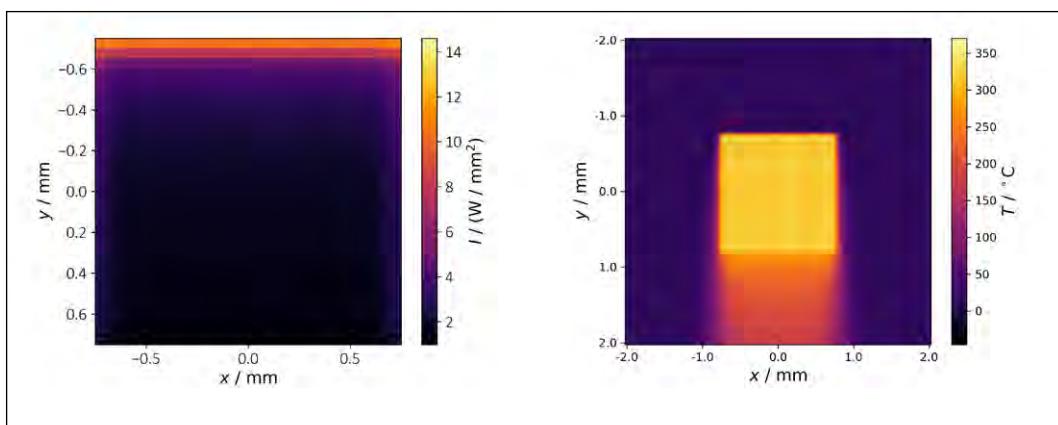


Fig. 2: Über das inverse Wärmeleitproblem ermittelte werkstoff- und bauteilspezifische Intensitätsverteilung für PA9T-GF30 (links) sowie die resultierende, über die quasistationäre Wärmeleitgleichung simulierte Temperaturverteilung in der Fügeebene ($z = 1 \text{ mm}$, rechts).

Fig. 2: Material-specific and component-specific intensity distribution for PA9T-GF30 established using the inverse heat conduction problem (left) as well as the resulting temperature distribution in the joining plane ($z = 1 \text{ mm}$, right) simulated using the quasi-stationary heat conduction equation.

timierung der Intensitätsverteilung werden Problemstellungen betrachtet, die sich aus der quasistationären Wärmeleitgleichung ergeben. Für eine genauere Betrachtung der Methode zur Lösung des inversen Wärmeleitproblems und der Ableitung der zu betrachtenden Problemstellungen siehe auch die Veröffentlichung von Völl et al. [5].

In den meisten Prozessen in der Lasermaterialbearbeitung ist Absorption der dominierende Effekt bezüglich der Interaktion der Intensitätsverteilung mit dem Werkstoff. Im Prozess des LDS propagiert der Laserstrahl jedoch zusätzlich durch einen transparenten Fügepartner, bevor er auf den opaken Fügepartner trifft. Der transparente Fügepartner hat dabei häufig streuende Eigenschaften, sodass bei der Lösung des inversen Wärmeleitproblems neben der Absorption auch die Streuung des Laserstrahls berücksichtigt werden muss. Dies geschieht im Rahmen dieser Arbeit durch die Betrachtung des Vier-Fluss-Modells [6], welches die Strahlung innerhalb

des streuenden Mediums in vier Teilkomponenten unterteilt: kollimiert vorwärts (+) und rückwärts (-) gerichtete Strahlung I_c^+ und I_c^- sowie in Vorwärts und Rückwärts-Richtung gestreute Strahlung I_s^+ und I_s^- . Dabei ergibt sich mit den Gleichungen 1 bis 4 ein System aus gekoppelten Differentialgleichungen, wobei k_s der Streukoeffizient ist, der sich für kollimierte Strahlung auf die vorwärts und rückwärts streuenden Komponenten k_s^+ und k_s^- aufteilt. Mit dem so angepassten Modell werden für das LDS material- und prozessspezifische Intensitätsverteilungen bestimmt. Dazu werden drei verschiedene Materialkonfigurationen gewählt, mit denen die Fälle von wenig, mittelstark und stark streuenden transparenten Fügepartnern betrachtet werden können (Tabelle 1). Für alle drei Konfigurationen werden in der Fügeebene drei Zieltemperaturverteilungen vorgegeben, indem über ein $1,0 \text{ mm} \times 1,0 \text{ mm}$, $1,5 \text{ mm} \times 1,5 \text{ mm}$ und $2,0 \text{ mm} \times 2,0 \text{ mm}$ großes Quadrat eine homo-

inverse heat conduction problem and for deriving the sets of problems to be considered, also see the publication by Völl et al. [5].

In most processes in laser materials processing, absorption is the dominant effect with regard to the interaction of the intensity distribution with the material. However, in the process of LTW, the laser beam propagates through a transparent joining member in addition before it strikes the opaque joining member. In this respect, the transparent joining member frequently has scattering properties so that it is necessary to take account of both the absorption and scattering of the laser beam when solving the inverse heat conduction problem. Within the framework of this paper, this happens by considering the four-flux model [6] which divides the radiation inside the scattering medium into four subcomponents: collimated radiation directed forwards (+) and backwards I_c^+ and I_c^- as well as radiation scattered in the forward and backward directions I_s^+ and I_s^- . In this respect, Equa-

tions 1 to 4 result in a system consisting of coupled differential equations where k_s is the scattering coefficient which, for collimated radiation, is split between the components for forward and backward scattering k_s^+ and k_s^- . With the model adjusted in this way, intensity distributions specific to the materials and the processes are determined for LTW. Three different material configurations with which consideration can be given to the cases of transparent joining members with low, medium and high scattering are chosen for this purpose (Table 1).

For all three configurations, three target temperature distributions in the joining plane are stipulated by defining a homogeneous target temperature just above the melting temperature over $1.0 \text{ mm} \times 1.0 \text{ mm}$, $1.5 \text{ mm} \times 1.5 \text{ mm}$ and $2.0 \text{ mm} \times 2.0 \text{ mm}$ squares. A homogeneous weld with a defined width and few defects is to be produced in this way.

In this case, the use of the respective material parameters and a feed speed of 0.01 m/s results in intensity distributions adjusted with the inverse heat conduction problem, as can be seen on Fig. 2 using the example of a $1.5 \text{ mm} \times 1.5 \text{ mm}$ target temperature distribution with PA9T-GF30. The resulting temperature distribution in the joining plane was simulated using the quasi-stationary heat conduction equation and is portrayed on the right side of Fig. 2.

The established intensity distributions have the shape of an armchair distribution (cf. [5]). In this respect, the increased intensity distribution at the front causes the quick heating of the material up to the desired target temperature while the slight increases at the edges prevent any cooling induced by the heat conduction. The exact dis-

Tabelle 1: Übersicht über die Konfigurationen, für die angepasste Intensitätsverteilungen bestimmt werden. Angegeben sind außerdem die ermittelten Leistungen, die zum Erreichen der drei unterschiedlich großen, quadratischen Zieltemperaturverteilungen notwendig sind. Die Streukoeffizienten werden durch ein Verfahren mit einem UV-VIS-NIR-Spektrometer und unter Berücksichtigung des Vierflussmodells bestimmt (siehe auch [7]).

Table 1: Overview of the configurations for which adjusted intensity distributions are determined. The established powers which are necessary in order to achieve the three differently sized, quadratic target temperature distributions are specified too. The scattering coefficients are determined using a procedure with a UV-VIS-NIR spectrometer and taking account of the four-flux model (also see [7]).

Material	Dicke Thickness	Zieltemperatur Target temperature	Streukoeffizient Scattering coefficient	Ermittelte Leistung Established power		
				Größe der Intensitätsverteilung Size of intensity distribution		
				1,0 mm ²	2,25 mm ²	4,0 mm ²
Polycarbonat (PC) Polycarbonate	1 mm	260 °C	Vernachlässigt (niedrig) Neglected (low)	2,90 W	4,93 W	7,50 W
Polypropylen (PP) Polypropylene	2 mm	180 °C	0,547/mm (mittel) (medium)	1,10 W	1,89 W	2,86 W
PA9T-GF30	1 mm	320 °C	0,987/mm (hoch) (high)	3,74 W	6,62 W	9,78 W

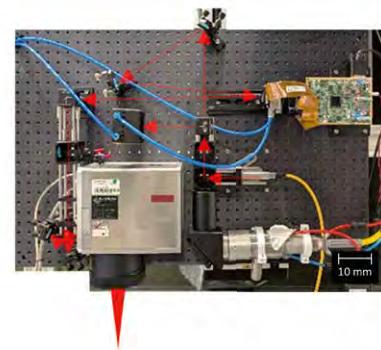
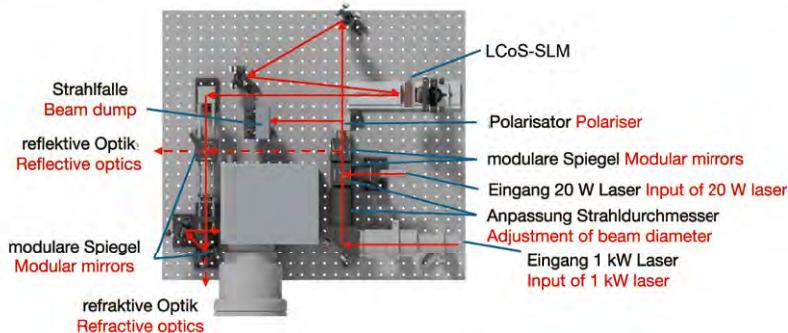


Bild 3: Links das CAD-Rendering des modularen Lseroptiksystems mit integriertem Scanner und LCoS-Modul; rechts ein Foto des realisierten Versuchsaufbaus im Labor. Der Verlauf des Laserstrahls ist jeweils in Rot dargestellt. Die modulare Struktur erlaubt sowohl klassische als auch dynamische Strahlformung mit hoher Anpassungsfähigkeit.

Fig. 3: Left: the CAD rendering of the modular laser optics system with an integrated scanner and LCoS module; right: a photograph of the implemented test setup in the laboratory. In each case, the course of the laser beam is portrayed in red. The modular structure permits both classic and dynamic beam forming with high adjustability.

gene Zieltemperatur knapp über der Schmelztemperatur definiert wird. So soll eine homogene Schweißnaht mit definierter Breite und wenig Defekten erzeugt werden.

Unter Verwendung der jeweiligen Materialparameter und einer Vorschubgeschwindigkeit von 0,01 m/s ergeben sich dabei über das inverse Wärmeleitungproblem angepasste Intensitätsverteilungen, wie sie in Bild 2 beispielhaft für eine 1,5 mm × 1,5 mm große Zieltemperaturverteilung bei PA9T-GF30 zu sehen sind. Die resultierende, über die quasistationäre Wärmeleitungsgleichung simulierte Temperaturverteilung in der Fügeebene ist auf der rechten Seite von Bild 2 dargestellt.

Die ermittelten Intensitätsverteilungen haben die Form einer Sesselverteilung (vgl. [5]). Dabei bewirkt die erhöhte Intensitätsverteilung an der Front die schnelle Erwärmung des Materials auf die gewünschte Zieltemperatur, während die leichten Erhöhungen an den Rändern ein durch die Wärmeleitung bedingtes Abkühlen verhindern. Die genaue Ausprägung dieser Merkmale ist prozess-, material- und bauteileabhängig. So ergeben sich für die unterschiedlichen Materialien, Schichtdicken und Zieltemperaturen bei vergleichbarer qualitativer Intensitätsverteilung unterschiedliche Gesamtleistungen (Tabelle 1). Die simulierte Temperatur an der Oberseite des transparenten Fügepartners ist für die durchgeföhrten Simulationen nur um wenige Grad erhöht, sodass keine Verbrennungen an der Oberseite zu erwarten sind.

3. Experimentelles Setup

Die Umsetzung der ermittelten Intensitätsverteilungen wird über ein modulares, laserbasiertes Versuchssystem (Bild 3) ermöglicht. Herzstück des Aufbaus ist ein scannerbasierter Ablenkungssystem, das mithilfe zweier schnell beweglicher Spiegel den Laserstrahl gezielt über die Werkstückoberfläche lenkt. Diese galvanometrisch betriebenen Scanner ermöglichen auch das sogenannte quasimultane Schweißen [8], bei dem der Laserstrahl mit hoher Geschwindigkeit entlang der Schweißkontur geföhrt wird.

Ein weiteres zentrales Element ist das LCoS-SLM-Modul (Liquid Crystal on Silicon – Spatial Light Modulator). Diese Komponente arbeitet nach dem Prinzip einer programmierbaren Phasenmaske: Durch gezielte elektrische Ansteuerung lassen sich lokale Phasenverschiebungen des Laserstrahls erzeugen, die im Ergebnis eine maßgeschneiderte Intensitätsverteilung im Fokus erzeugen. Da die Strahlformung rein optoelektronisch erfolgt, können diese Verteilungen innerhalb von Millisekunden verändert werden. Für Anwendungen, bei denen keine dynamische Strahlformung notwendig ist, lässt sich das System auch im klassischen Modus mit Festoptiken betreiben. Dabei kommen wahlweise reflektive oder refraktive Elemente zum Einsatz, die definierte, konstante Intensitätsverteilungen erzeugen. Zusätzlich sorgen motorische Achsen für die präzise Ausrichtung des Strahls auf das Werkstück oder ermöglichen

tinctness of these characteristics depends on the processes, the materials and the workpieces. This results in different total powers for the different materials, coating thicknesses and target temperatures with a comparable qualitative intensity distribution (Table 1). For the executed simulations, the simulated temperature on the top side of the transparent joining member is increased by just a few degrees so that no burns are to be expected on the top side.

3. Experimental Setup

The implementation of the established intensity distributions is made possible by a modular, laser-based test system (Fig. 3). The heart of the setup is a scanner-based deflection system which guides the laser beam over the workpiece surface in a targeted way with the aid of two quickly moving mirrors. These galvanometrically operated scanners also permit so-called quasi-simultaneous welding [8] in which the laser beam is guided along the welding contour at a high speed. Another central element is the LCoS-SLM (Liquid Crystal on Silicon – Spatial

Light Modulator) module. This component works according to the principle of a programmable phase mask: Targeted electrical triggering can be used in order to produce local phase shifts of the laser beam which, as a result, produce a tailor-made intensity distribution in the focus. Since the beam is formed in a purely optoelectronic process, these distributions can be altered within milliseconds. For applications in which no dynamic beam forming is necessary, the system can also be operated in the classic mode with fixed optics. Optionally, reflective or refractive elements which produce defined, constant intensity distributions are utilised in this respect. In addition, motor-driven axes ensure the precise alignment of the beam to the workpiece or make it possible to move the component in the case of a stationary laser beam.

Two single-mode fibre lasers are integrated in order to be able to cover various power ranges: a 20 W system for sensitive joining tasks as well as a 1 kW system in order to investigate melting-dominated welding processes. Depending on the application,

$$\frac{dI_c^+}{dz} = -(\kappa_a + \kappa_s)I_c^+$$

Gleichung 1
Equation 1

$$\frac{dI_c^-}{dz} = (\kappa_a + \kappa_s)I_c^-$$

Gleichung 2
Equation 2

$$\frac{dI_s^+}{dz} = -(\kappa_a + \kappa_s)I_s^+ + \kappa_s I_s^- + \kappa_s^+ I_c^+ + \kappa_s^- I_c^-$$

Gleichung 3
Equation 3

$$\frac{dI_s^-}{dz} = (\kappa_a + \kappa_s)I_s^- - \kappa_s I_s^+ - \kappa_s^- I_c^+ + \kappa_s^+ I_c^-$$

Gleichung 4
Equation 4

das Verfahren des Bauteils bei statio-
närem Laserstrahl.

Um verschiedene Leistungsbereiche abdecken zu können, sind zwei Single-mode-Faserlaser integriert: ein 20 W-System für feinfühlige Verbindungs- aufgaben sowie ein 1 kW-System zur Untersuchung schmelzdominier- ter Schweißprozesse. Als Fokusoptiken kommen je nach Anwendung F-Theta-Objektive mit Brennweiten von 340 mm oder 163 mm zum Einsatz.

4. Validierung der angepassten Intensitätsverteilungen

Um den praktischen Nutzen der in Kapitel 2 bestimmten Intensitätsverteilungen mit dem in Kapitel 3 vor- gestellten Versuchsaufbau zu vali- dieren, sind sowohl die Berechnung geeigneter Phasenmasken als auch deren praktische Umsetzung im ex- perimentellen Aufbau notwendig. Die Formung des Laserstrahls erfolgt im Rahmen dieser Untersuchung mittels eines LCoS-SLMs, wobei durch gezielte Phasenverschiebungen eine vorgegebene Intensitätsverteilung auf der Bauteiloberfläche erzeugt wird. Zur Bestimmung geeigneter Phasenmas- ken wird der Gerchberg-Saxton-Algo- rithmus eingesetzt. Dieser liefert In- tensitätsverteilungen mit statistischen Abweichungen von der Zielverteilung (Bild 4, Mitte). In der Anwendung wird jedoch erwartet, dass sich diese Un- terschiede durch den Vorschub beim Schweißen sowie durch Wärmeleitung im Material ausgleichen.

Die zur Umsetzung der in Kapitel 2 be- rechneten Intensitätsverteilung not- wendigen Phasenmasken werden in das LCoS-SLM-System eingespielt und anschließend das Schweißen der Ziel- kontur durchgeführt, wobei jeweils ver- schiedene Breite der Intensitätsver- teilung getestet werden. Eine direkte Messung und Validierung der durch die bestimmten Intensitätsverteilungen eingestellten Temperatur in der Fü- ebene ist bei stark streuenden Kun- stoffen technisch anspruchsvoll. Daher wird die Eignung der Intensitätsver- teilungen indirekt über die Qualität der erzeugten Schweißnaht beurteilt. Die geschweißten Proben zeigen optisch sehr homogene Nähte, deren Breite der jeweils eingestellten Intensitäts- verteilungsbreite entspricht. Auflicht- bilder der gefügten Proben – darunter

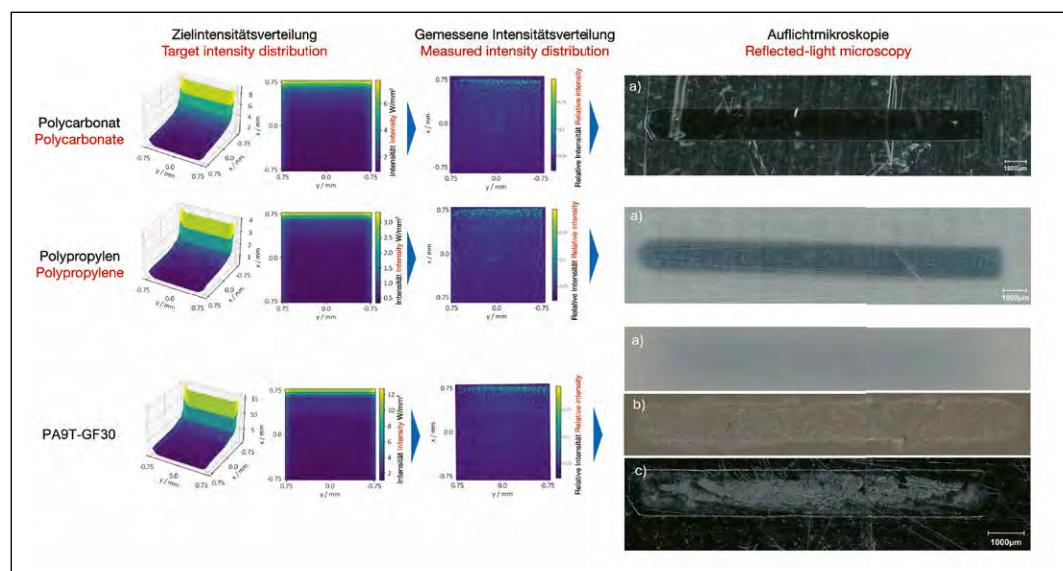


Bild 4: Vergleich zwischen der Zielintensitätsverteilung und der in den Bearbeitungsebenen gemessenen Intensitätsverteilung sowie Auflichtmikroskopiebilder der resultierenden Schweiß- naht [a)] bzw. der Bruchstelle des oberen Fügepartners [b)] und unteren Fügepartners [c)] für PC, PP und PA9T-GF30. Die Breiten der optisch homogenen Nähte stimmen gut mit der vorgegebenen Verteilung überein.

Fig. 4: Comparison between the target intensity distribution and the intensity distribution measured in the processing plane as well as reflected-light micrographs of the resulting weld [a)] and of the fracture points of the top joining member [b)] and of the bottom joining member [c)] for PC, PP and PA9T-GF30. The widths of the optically homogeneous welds exhibit good congruence with the stipulated distribution.

PC, PP und PA9T-GF30 – zeigen klar definierte Schweißnähte und scharfe Umrisse, was auf eine hochwertige Anbin- dung hinweist (Bild 4, rechts). Zur differenzierten Beurteilung der Nahtqualität wird eine detaillierte Auflichtmikroskopie durchgeführt (Bild 5). Bei gleichbleibenden Prozess- parametern (Laserleistung, Vorschub, Anpressdruck etc.) zeigt sich, dass die Verwendung angepasster Intensitäts- verteilungen zu homogenen Nähten ohne Zersetzungerscheinungen oder Gasblasen führt. Im Gegensatz dazu kommt es bei Gauß- und Tophat-Ver- teilungen trotz identisch eingestellter Breite der Intensitätsverteilung ohne Probe (1,5 mm) zu unerwünschten Nebeneffekten wie Blasenbildung und reduzierter Nahtqualität.

Die mechanischen Eigenschaften wer- den mittels Zugversuchen nach DIN EN ISO 527-1 anhand von Überlapp- proben mit einer Schweißnahtlänge von 15 mm analysiert (Bild 6). Ge- setzt werden Nahtproben mit eingestell- ten Intensitätsverteilungen von 1 mm, 1,5 mm und 2 mm Breite, gemessen ohne Probe, sowie jeweils mit den klas- sischen Gauß- und Tophat-Profilen im Vergleich zur Sessel-Verteilung. Dabei wird innerhalb einer Versuchsreihe als Vergleichsbasis immer die eingestell- te Gesamtleistung verwendet. Je nach Intensitätsverteilung und Wechselwir-

340 mm or 163 mm are utilised as the focusing optics.

4. Validation of the Adjusted Intensity Distributions

In order to validate the practical benefit of the intensity distributions determined in Chapter 2 with the test setup presented in Chapter 3, it is necessary not only to calculate suitable phase masks but also to implement them practically in the experimental setup. Within the framework of this investi- gation, the laser beam is formed using an LCoS-SLM. In this respect, a stipulated intensity distribution is produced on the workpiece surface using target- ed phase shifts. The Gerchberg-Saxton algorithm is utilised for the deter- mination of suitable phase masks. This supplies intensity distributions with statistical deviations from the target distribution (Fig. 4, centre). However, the feed during the welding as well as the heat conduction in the material are expected to compensate for these dif- ferences in the application. The phase masks necessary for the im- plementation of the intensity distribu- tion calculated in Chapter 2 are im- ported into the LCoS-SLM system and the target contour is welded thereaf- ter. In this respect, different widths of the intensity distribution are test- ed in each case. The direct measure- ment and validation of that tempera- ture in the joining plane which is set by the certain intensity distributions are technically demanding in the case of plastics with extreme scattering. Therefore, the suitability of the in- tensity distributions is indirectly as- sed via the quality of the produced weld. The welded specimens optically exhibit very homogeneous welds whose widths correspond to the in- tensity distribution widths set in each case. Reflected-light images of the joined specimens (including PC, PP and PA9T-GF30) show clearly defined welds and sharp outlines, thus indicat- ing a high-quality bond (Fig. 4, right). Detailed reflected-light microscopy is carried out for the differentiated as- sessment of the weld quality (Fig. 5). With constant process parameters (la- ser power, feed, joining pressure etc.), it is shown that the use of adjusted in- tensity distributions leads to homoge- nous welds without any decomposi- tion phenomena or gas bubbles. In contrast with this, Gaussian and tophat dis- tributions result in undesired side ef- fects such as bubble formation and reduced weld qualities in spite of an identically set width of the intensity distribution without a specimen (1.5 mm). The mechanical properties are analysed in tensile tests according to DIN EN ISO 527-1 using overlapping specimens

kung mit dem Kunststoff ergeben sich so verschiedene Schweißnahtbreiten, die eingestrahlte Energie bleibt aber bei allen drei Intensitätsverteilungen gleich. Dabei zeigt sich, dass PC und PP mit der angepassten Sessel-Verteilung die höchsten Bruchkräfte erreichen. Für das hochgefüllte PA9T-GF30 nimmt die Bruchkraft bei zunehmender Breite der Intensitätsverteilung leicht ab – ein möglicher Grund ist, dass der eingesetzte 20-W-Laser sich für diese Versuchskonfiguration im Leistungsgrenzbereich befindet. Daher wird auch die Vorschubgeschwindigkeit für höhere Intensitätsverteilungsbreiten stufenweise reduziert, um den notwendigen Energieeintrag erreichen zu können. Dennoch zeigt auch hier bereits die 1 mm breite, invers bestimmte Sessel-Verteilung höhere Festigkeiten als die breiteren Gauß- und Tophat-Verteilungen.

5. Fazit und Ausblick

Die im Projekt entwickelte Methodik ermöglicht es, Intensitätsverteilungen des Laserstrahls gezielt an die Anforderungen des jeweiligen Fügeprozesses anzupassen, so können selbst komplexe Intensitätsverteilungen mit einer hohen Zahl an Freiheitsgraden erzeugt werden. Grundlage für die Bestimmung geeigneter Intensitätsverteilungen bildet eine erweiterte Betrachtung des inversen Wärmeleitungproblems, in das ein Modell zur Beschreibung der Lichtstreuung integriert ist. Dadurch kann auch bei stark streuenden Fügepartnern eine realitätsnahe Berechnung geeigneter Intensitätsverteilungen erfolgen.

Bei gleichbleibender Vorschubgeschwindigkeit und der Vorgabe einer homogenen Temperaturverteilung in der Fügeebene werden charakteristische Sesselverteilungen berechnet, deren genaue Form und Ausprägung von den eingesetzten Prozess-, Material- und Bauteilparametern abhängt. Die Umsetzung solcher Verteilungen mit hoher räumlicher Auflösung erfolgt im Versuchsaufbau durch die Integration eines LCoS-SLM, der eine dynamische Phasenmodulation des Laserstrahls ermöglicht.

Die experimentellen Untersuchungen zeigen, dass die mit diesen Intensitätsverteilungen erzeugten Schweißnähte denjenigen überlegen sind, die mit klassischen Gauß- oder Tophat-Profilen erzeugt wurden. So können

- homogene Schweißnähte,
- größere Nahtbreiten ohne Zersetzung,
- eine deutliche Reduktion von Defekten wie Blasenbildung
- und höhere mechanische Festigkeiten

nachgewiesen werden. Damit ist ein wesentlicher Schritt hin zu prozesssicheren und anpassbaren laserbasierten Kunststoffschweißprozessen gemacht – ein entscheidender Fortschritt für industrielle Anwendungen, bei denen Qualität und Materialschönung gleichermaßen gefordert sind. Ein Ausblick auf zukünftige Arbeiten zeigt weiteres Potenzial. So soll untersucht werden, wie sich durch den Einsatz zeitlich modulierbarer, angepasster Intensitätsverteilungen die Grenzen des LDS nochmals erweitern lassen. Hierfür sind weitere tieferge-

with a weld length of 15 mm (Fig. 6). The tests are performed on weld specimens with set intensity distributions and 1 mm, 1.5 mm and 2 mm widths, measured without a specimen, as well as (in each case) with the classic Gaussian and tophat profiles in comparison with the armchair distribution. In this respect, the set total power is always used as the basis for comparison within one series of tests. Depending on the intensity distribution and the interaction with the plastic, this results in various weld widths but the input radiation energy remains the same with all three intensity distributions. Here, it is shown that PC and PP achieve the highest fracture forces with the adjusted armchair distribution. For the PA9T-GF30 with a high proportion of fillers, the fracture force decreases slightly as the width of the intensity distribution increases – one possible reason is that the utilised 20 W laser is located in the power limit range for this test configuration. Therefore, the feed speeds for higher intensity distributions are also reduced step by step in order to be able to achieve the necessary energy inputs. Here too, the 1 mm wide, inversely determined armchair distribution nevertheless exhibits higher strengths than the wider Gaussian and tophat distributions.

5. Conclusion and Outlook

The methodology developed in the project permits the targeted adjustment of intensity distributions of the laser beam to the requirements of the respective joining processes. Thus, it is possible to produce even complex intensity distributions with a high

number of degrees of freedom. The basis for the determination of suitable intensity distributions is formed by the extended consideration of the inverse heat conduction problem into which a model for the description of the light scattering is integrated. Therefore, suitable intensity distributions can be calculated close to reality even in the case of joining members with extreme scattering.

With a constant feed rate and the stipulation of a homogeneous temperature distribution in the joining plane, characteristic armchair distributions are calculated, the exact shape and characteristics of which depend on the process, material and component parameters used. In the test setup, such distributions with high spatial resolutions are implemented by integrating an LCoS-SLM which permits the dynamic phase modulation of the laser beam.

The experimental investigations show that the welds produced with these intensity distributions are superior to those which were produced with classic Gaussian or tophat profiles. Thus, it is possible to prove:

- more homogeneous welds
- greater weld widths without any decomposition
- a considerable reduction in defects such as bubble formation

■ higher mechanical strengths

One essential step towards reliable and adjustable laser-based plastics welding processes has been taken in this way - decisive progress for industrial applications in which quality and material conservation are demanded to equal extents.

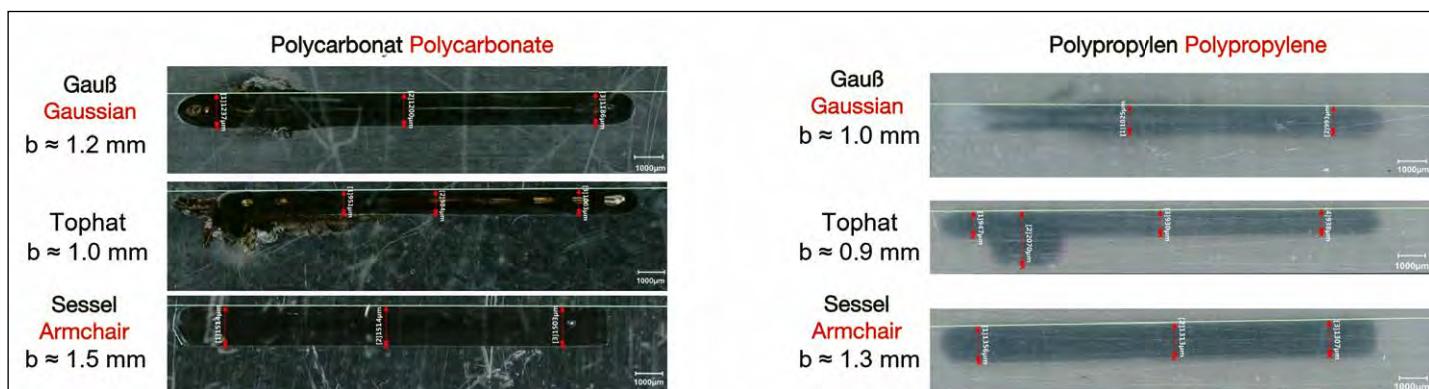


Bild 5: Mikroskopische Auswertung für PC und PP bei Verwendung von Gauß-, Tophat- und der in Kapitel 2 bestimmten Sessel-Verteilungen (jeweils 1,5 mm breit, vgl. Bild 6, PC und PP, jeweils mittlere Versuchsreihe mit 1,5 mm Breite). Nur die angepasste Intensitätsverteilung (Sessel) liefert eine gleichmäßige, fehlerfreie Naht.

Fig. 5: Microscopic evaluation for PC and PP using Gaussian distribution, tophat distribution and the armchair distribution determined in Chapter 2 (in each case, 1.5 mm wide, cf. Fig. 6, PC and PP; in each case, medium series of tests with 1.5 mm width). Only the adjusted intensity distribution (armchair) supplies a uniform, defect-free weld.

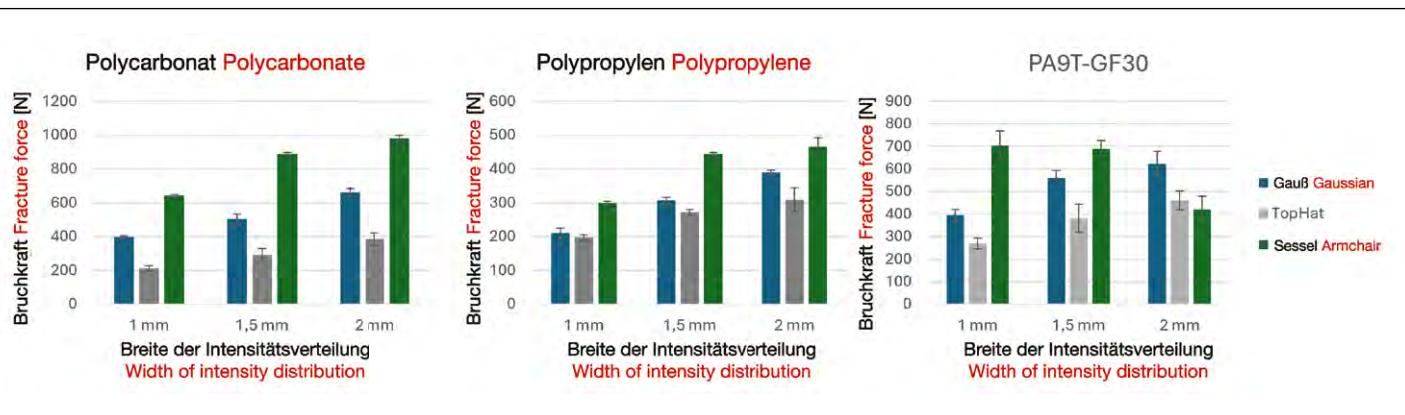


Fig. 6: Ergebnisse der Zugversuche für drei Kunststoffe (PC, PP, PA9T-GF30) im Vergleich für verschiedene Intensitätsverteilungen und -breiten. Für PC und PP mit gleichbleibender Vorschubgeschwindigkeit von 10 mm/s und bei PA9T-GF30 mit schrittweise reduzierter Vorschubgeschwindigkeit (5 mm/s; 4 mm/s; 3 mm/s). Sessel-Verteilungen erzielen in den meisten Fällen die höchste Bruchkraft.

Fig. 6: Results of the tensile tests for three plastics (PC, PP and PA9T-GF30) in comparison for various intensity distributions and widths. For PC and PP, at a constant feed speed of 10 mm/s and, in the case of PA9T-GF30, at feed speeds reduced step by step (5 mm/s; 4 mm/s; 3 mm/s). In most cases, armchair distributions attain the highest fracture forces.

hende Analysen wie die Nahtmorphologie in z-Richtung anhand von Dünn schnitten sowie thermografischer Bildgebung sinnvoll. Geplant ist dabei, auch komplexere, dynamische Szenarien zu berücksichtigen – etwa varii erende Vorschubgeschwindigkeiten, Änderungen der Schweißrichtung oder unterschiedliche Schichtdicken. Solch dynamische Anpassungen sind über den Aufbau mit einem LCoS-SLM problemlos möglich. Ziel ist eine dynamisch reagierende Prozessführung, die sich kontinuierlich an die realen Bedingungen anpasst.

Danksagung

Das Projekt wurde durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Das Projekt wurde durchgeführt durch die Forschungsvereinigung

Schweißen und verwandte Verfahren e. V. des DVS, Aachener Straße 172, 40223 Düsseldorf.



INFO
Der Fachbeitrag basiert auf dem IGF-Forschungsvorhaben 01IF22124N / DVS-Nr. 11.3489.

An outlook on future work shows additional potential. Thus, it is to be investigated how the limits of LTW can be extended once again by utilising adjusted intensity distributions which can be modulated over time. For this purpose, it makes sense to carry out further more detailed analyses such as the weld morphology in the z direction on the basis of thin sections as well as thermographic imaging. In this respect, it is planned to take account even of more complex, dynamic scenarios – e.g. varying feed speeds, changes in the welding direction or different layer thicknesses. It is no problem to make such dynamic adjustments using the setup with an LCoS-SLM. The objective is dynamically reacting process control which is continuously adjusted to the real conditions.

Acknowledgement

The project is being promoted by the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWE) on the basis of a resolution of the German Bundestag. The project was carried out by the research association "Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e. V. des DVS, Aachener Straße 172, 40223 Düsseldorf."



INFO
This peer-reviewed paper is based on the IGF research project No. 01IF22124N / DVS No. 11.3489.

Literatur References

- [1] Russek, U. A.: Prozesstechnische Aspekte des Laserdurchstrahlschweißens von Thermo-plasten, Zugl.: Aachen, Technische Hochschule, Dissertation, 2006. ISBN: 3-8322-5267-3, 978-3-8322-5267-0.
- [2] Polster, S.: Laserdurchstrahlschweißen transparenter Polymerbauteile, Zugl.: Erlangen-Nürnberg, Univ., Diss., 2009.
<https://doi.org/10.25593/978-3-87525-294-1>
- [3] Haberstroh, E.; Hoffmann, W.-M.; Poprawe, R.; Sari, F.: Laser transmission joining in microtechnology. In: Microsystem Technologies 12 (2006) 12, pp. 632/39. <https://doi.org/10.1007/s00542-006-0237-5>
- [4] Grewell, D.; Benatar, A.: Welding of Plastics: Fundamentals and New Developments. In: International Polymer Processing (2007) 22, pp. 43/60. <https://doi.org/10.3139/217.0051>
- [5] Völl, A. (2020): Methodology for the identification and implementation of application specific intensity distributions for material processing with laser radiation. Dissertation, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, 2020. <https://doi.org/10.18154/RWTH-2020-07163>
- [6] Maheu, B.; Letoulouzant, J. N.; Gouesbet, G. (1984): Four-flux models to solve the scattering transfer equation in terms of Lorenz-Mie parameters, Appl. Opt. 23, pp. 3353/62 (1984). <https://doi.org/10.1364/ao.23.003353>
- [7] Aden, M., Roesner, A., Olowinsky, A., Optical characterization of polycarbonate: Influence of additives on optical properties. Journal of Polymer Science Part B Polymer Physics Vol. 48, Issue 4, pp. 451-455 (2010). <https://doi.org/10.1002/polb.21906>
- [8] Fahrenwaldt, H. J. (2011). Kunststoffschweißen. In: Praxiswissen Schweißtechnik. Vieweg+Teubner Verlag.
https://doi.org/10.1007/978-3-8348-8199-1_7

Veröffentlichung in / Publication in:

FÜGEN VON KUNSTSTOFFEN – JOINING PLASTICS

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 welding machines for the apparatus engineering, tank- and pipelineconstruction
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 Services/Engineering consultants
9	Messen, Tagungen und Veranstaltungen Trade fairs, conferences and events
10	Produkte aus Kunststoff Products of plastics

© DVS Media GmbH

Ansprechpartner / Contact person: Britta Wingartz
 Aachener Straße 172 Tel.: +49 211 1591-155
 40223 Düsseldorf Fax: +49 211 1591-150
 E-Mail: britta.wingartz@dvs-media.info

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

▼ Laserstrahlschweißen
Laser welding

01040

bielomatik
a Persico Group company

bielomatik GmbH
Zaininger Straße 13-15 , D-72587 Römerstein
☎ +49 (0)7382 9427 0
E-Mail: info-plasticwelding@bielomatik.de
Internet: www.bielomatik.com



CEMAS Germany GmbH
IHP Nord, Geb. 3, 2, OG, Babenhäuser Str. 50, 63762 Großostheim
☎ +49 (0)6026 97710-0
E-Mail: info.germany@cemaseletrra.com
Internet: www.cemaseletrra.com

EVO-SYS
LASERSOLUTIONS

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

LEISTER

Leister Technologies Deutschland GmbH
Wall 36, D-42103 Wuppertal
☎ +49 (0) 202 87006 0
E-Mail: Info.de@leister.com
Internet: www.leister.com

LPKF
Laser & Electronics

LPKF Welding Equipment 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

proby las

ProbyLas AG
Technopark Luzern, Platz 4, CH-6039 Root D4
☎ +41 (0) 41 541 91 70
E-Mail: info@probylas.com
Internet: www.probylas.com

▼ Reibschielen
Friction welding

01060

bielomatik
a Persico Group company

bielomatik GmbH
Zaininger Straße 13-15 , D-72587 Römerstein
☎ +49 (0)7382 9427 0
E-Mail: info-plasticwelding@bielomatik.de
Internet: www.bielomatik.com

BRANSON

BRANSON ULTRASCHALL
Niederlassung der EMERSON Technologies
GmbH & Co. OHG
Waldrstraße 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
IHP Nord, Geb. 3, 2, OG, Babenhäuser Str. 50, 63762 Großostheim
☎ +49 (0)6026 97710-0
E-Mail: info.germany@cemaseletrra.com
Internet: www.cemaseletrra.com

Fischer
Kunststoff-Metall-
Schweißtechnik

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

▼ Zirkular-Reibschielen
Circular friction welding

FRIMO
INNOVATIVE
TECHNOLOGIES

FRIMO Innovative Technologies GmbH
Schnackenburgallee 217-223, 22525 Hamburg
☎ +49 (0)40/5470967-0
E-Mail: info@frimo.com
Internet: www.frimo.com

Herrmann
Ultraschall

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

INGENIA
Ingenious engineering

INGENIA GmbH
Hauptstraße 72, D-56858 Altlay
☎ +49 (0)6543 5049-0 ☎ +49 (0)6543 5049-29
E-Mail: info@ingenia-gmbh.de
Internet: www.ingenia-gmbh.de

KLN Ultraschall
A Crest Group Company

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

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

SONOTRONIC
ULTRASONICS TECHNOLOGY

SONOTRONIC GmbH
Becker-Göring-Straße 17-25, D-76307 Karlsruhe
☎ +49 (0)7248 9166-0 ☎ +49 (0)7248 9166-144
E-Mail: info@sonotronic.de
Internet: www.sonotronic.de

TELSONIC
ULTRASONICS

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

WEBER

WEBER
ULTRASONICS

Weber Ultrasonics AG
Im Hinteracker 7, 76307 Karlsruhe
☎ +49 (0)7248 9207 0 ☎ +49 (0)7248 9207 11
E-Mail: mail@weber-ultrasonics.com
Internet: www.weber-ultrasonics.com

▼ Ultraschall-Fügesysteme
Ultrasonic bonding systems

01085



CEMAS Germany GmbH
IHP Nord, Geb. 3, 2. OG, Babenhäuser Str. 50, 63762 Großostheim
☎ +49 (0)6026 97710-0
E-Mail: info.germany@cemaselettra.com
Internet: www.cemaselettra.com



FRIMO Innovative Technologies GmbH
Schnackenburgallee 217-223, 22525 Hamburg
☎ +49 (0)40/5470967-0
E-Mail: info@frimo.com
Internet: www.frimo.com



Herrmann Ultraschalltechnik GmbH & Co. KG
Decostraße 3-9, D-76307 Karlsruhe
☎ +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
Ultrasonic sealing systems

01090



CEMAS Germany GmbH
IHP Nord, Geb. 3, 2. OG, Babenhäuser Str. 50, 63762 Großostheim
☎ +49 (0)6026 97710-0
E-Mail: info.germany@cemaselettra.com
Internet: www.cemaselettra.com



Herrmann Ultraschalltechnik GmbH & Co. KG
Decostraße 3-9, D-76307 Karlsruhe
☎ +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 GmbH
Becker-Göring-Straße 17-25, D-76307 Karlsruhe
☎ +49 (0)7248 9166-0 ☎ +49 (0)7248 9166-144
E-Mail: info@sonotronic.de
Internet: www.sonotronic.de

▼ Vibrationsschweißen
Vibration welding

01100



bielomatik
a Persico Group company
bielomatik GmbH
Zaininger Straße 13-15 , D-72587 Römerstein
☎ +49 (0)7382 9427 0
E-Mail: info@plasticwelding@bielomatik.de
Internet: www.bielomatik.com



BRANSON
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



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
IHP Nord, Geb. 3, 2. OG, Babenhäuser Str. 50, 63762 Großostheim
☎ +49 (0)6026 97710-0
E-Mail: info.germany@cemaselettra.com
Internet: www.cemaselettra.com



FRIMO Innovative Technologies GmbH
Schnackenburgallee 217-223, 22525 Hamburg
☎ +49 (0)40/5470967-0
E-Mail: info@frimo.com
Internet: www.frimo.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



Leister Technologies Deutschland GmbH
Wall 36, D-42103 Wuppertal
☎ +49 (0) 202 87006 0
E-Mail: Info.de@leister.com
Internet: www.leister.com



Eugen Riexinger GmbH & Co. KG
Garterringen 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



bielomatik
a Persico Group company
bielomatik GmbH
Zaininger Straße 13-15 , D-72587 Römerstein
☎ +49 (0)7382 9427 0
E-Mail: info@plasticwelding@bielomatik.de
Internet: www.bielomatik.com



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
CEMAS Germany GmbH
IHP Nord, Geb. 3, 2. OG, Babenhäuser Str. 50, 63762 Großostheim
+49 (0)6026 97710-0
E-Mail: info.germany@cemaselettra.com
Internet: www.cemaselettra.com



FRANK
FRANK GmbH
Starkenburgstraße 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



FRIMO
INNOVATIVE TECHNOLOGIES
FRIMO Innovative Technologies GmbH
Schnackenburgallee 217-223, 22525 Hamburg
+49 (0)40/5470967-0
E-Mail: info@frimo.com
Internet: www.frimo.com



INGENIA
ingenious engineering
INGENIA GmbH
Hauptstraße 72, D-56858 Altlay
+49 (0)6543 5049-0 +49 (0)6543 5049-29
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
Wall 36, D-42103 Wuppertal
+49 (0) 202 87006 0
E-Mail: Info.de@leister.com
Internet: www.leister.com



Eugen Rixinger 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



SONOTRONIC GmbH
Becker-Göring-Straße 17-25, D-76307 Karlsruhe
+49 (0)7248 9166-0 +49 (0)7248 9166-144
E-Mail: info@sonotronic.de
Internet: www.sonotronic.de



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

▼ Rotationsschweißen
Rotation welding 01160



Fischer
Kunststoff-Metall-Schweißtechnik
Schweißtechnik
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
A Crest Group Company
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
HERZ GmbH Kunststoff- & Wärmetechnologie
Biberweg 1, D-56566 Neuwied
+49 2622 88 55-0 +49 2622 8855-135
E-Mail: info@herz-gmbh.com
Internet: www.herz-gmbh.com



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

▼ Warmverstemmen
Hot riveting 01190



KLN Ultraschall
A Crest Group Company
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



FRIMO
INNOVATIVE TECHNOLOGIES
FRIMO Innovative Technologies GmbH
Schnackenburgallee 217-223, 22525 Hamburg
+49 (0)40/5470967-0
E-Mail: info@frimo.com
Internet: www.frimo.com



KLN Ultraschall
A Crest Group Company
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
Leister Technologies Deutschland GmbH
Wall 36, D-42103 Wuppertal
+49 (0) 202 87006 0
E-Mail: Info.de@leister.com
Internet: www.leister.com

▼ Wärmekontaktnieten
Heat contact riveting 01196



FRIMO
INNOVATIVE TECHNOLOGIES
FRIMO Innovative Technologies GmbH
Schnackenburgallee 217-223, 22525 Hamburg
+49 (0)40/5470967-0
E-Mail: info@frimo.com
Internet: www.frimo.com

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
FRANK GmbH
Starkenburgstraße 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
HERZ GmbH Kunststoff- & Wärmetechnologie
Biberweg 1, D-56566 Neuwied
+49 2622 88 55-0 +49 2622 8855-135
E-Mail: info@herz-gmbh.com
Internet: www.herz-gmbh.com



LEISTER
Leister Technologies Deutschland GmbH
Wall 36, D-42103 Wuppertal
+49 (0) 202 87006 0
E-Mail: Info.de@leister.com
Internet: www.leister.com



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.munschwelding.com



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

▼ Heizelementschweißen
Heated tool welding

01240



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



HERZ
HERZ GmbH Kunststoff- & Wärmetechnologie
Biberweg 1, D-56566 Neuwied
☎ +49 2622 88 55-0 Ⓛ +49 2622 8855-135
E-Mail: info@herz-gmbh.com
Internet: www.herz-gmbh.com



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

▼ Rotationsschweißen
Rotation welding

01260



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



FRANK
FRANK GmbH
Starkenburgstraße 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
HERZ GmbH Kunststoff- & Wärmetechnologie
Biberweg 1, D-56566 Neuwied
☎ +49 2622 88 55-0 Ⓛ +49 2622 8855-135
E-Mail: info@herz-gmbh.com
Internet: www.herz-gmbh.com



LEISTER
Leister Technologies Deutschland GmbH
Wall 36, D-42103 Wuppertal
☎ +49 (0) 202 87006 0
E-Mail: Info.de@leister.com
Internet: www.leister.com



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

▼ Sondermaschinenbau
Special purpose machinery manufacture

01310

2

Hersteller von Halbzeugen
Manufacturers of semi-finished products

▼ Platten aus thermoplastischen Kunststoffen
Sheet made of thermoplastics

02010



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 Kirn
☎ +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



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 Kirn
☎ +49 (0)6752/14-0 Ⓛ +49 (0)6752/14-211
E-Mail: mail@simona.de
Internet: www.simona.de

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

02030



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 Kirn
☎ +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



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

▼ Prüflabore
Testing laboratories

04030



GSI – Gesellschaft für Schweißtechnik International mbH
Niederlassung SLV München
Schachenmeierstraße 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



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

02050

▼ Kunststoff-Nietanlagen
Plastic joining by hot forming

05010



Leister Technologies Deutschland GmbH
Wall 36, D-42103 Wuppertal
☎ +49 (0) 202 87000 0
E-Mail: info.de@leister.com
Internet: www.leister.com

6 Kleben von Kunststoffen
Adhesive bonding of plastics



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

▼ Messen und Prüfen
Measuring and testing

02060

▼ MMA Methacrylat-Klebstoffe
MMA methyl methacrylate adhesives

06020



WEICON GmbH & Co. KG
Königberger 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

▼ Funkenprüfgeräte
Sparktester

04010

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

07020



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

▼ Prüflabore

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



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



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 - 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

▼ Schweißerprüfungen nach DVS 2212-1
Welding qualification test according to DVS 2212-1

07060



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



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



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
Ingenieurbüro Friedrich
Augustusburgerstr. 331b, 09127 Chemnitz
+49 371 235 375 85 ☎ +49 371 / 275 523 45
E-Mail: info@pintec-consulting.de
Internet: www.jointec-consulting.de



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
Schachenmeierstraße 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@roeching-plastics.com
Internet: www.roeching.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

▼ 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@roeching-plastics.com
Internet: www.roeching.com

SIMONA

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

▼ Engineering / Technische Beratung zu allen Verfahren
und Automatisierungslösungen
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



Ism ultrasschall-verbindungstechnik GmbH & Co. KG
Gassberg 1, 96114 Hirschaid
+49 9543 418842 / +49 1520 973 19 42
E-Mail: info@ism97.com
Internet: www.ism97.com

bielomatik

a Persico Group company

bielomatik GmbH
Zaininger Straße 13-15, D-72587 Römerstein
+49 (0)7382 9427 0
E-Mail: info-plasticwelding@bielomatik.de
Internet: www.bielomatik.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



FRIMO Innovative Technologies GmbH
Schnackenburgallee 217-223, 22525 Hamburg
+49 (0)40/5470967-0
E-Mail: info@frimo.com
Internet: www.frimo.com



JOINTEC Consulting
Ingenieurbüro Friedrich
Augustusburgerstr. 331b, 09127 Chemnitz
+49 371 235 375 85 ☎ +49 371 / 275 523 45
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
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



Ism ultrasschall-verbindungstechnik GmbH & Co. KG
Gassberg 1, 96114 Hirschaid
+49 9543 418842 / +49 1520 973 19 42
E-Mail: info@ism97.com
Internet: www.ism97.com

▼ 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@roeching-plastics.com
Internet: www.roeching.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

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

▼ Seminare, Fachtagungen, Kongresse
Workshops, Symposia, Congresses

09010



KPA Kunststoff Produkte Aktuell
Easyfairs GmbH
Büro Stuttgart
Kremser Straße 16, 70469 Stuttgart
+49 711 217267 10
E-Mail: kpa-messe@easyfairs.com
Internet: www.kpa-messe.de



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	Firma / Company	Produkt / Product
bielomatik GmbH	01040, 01060, 01080, 01100, 01110, 01140, 08060	LPKF WeldingQuipment GmbH	01040
Branson Ultraschall Emerson Industrial Automation	01060, 01080, 01100, 01110, 01140	lsm ultraschall-verbindungstechnik GmbH & Co.	08080
CEMAS Germany GmbH	01040, 01060, 01080, 01085, 01090, 01100, 01110, 01140	MUNSCH Kunststoff-Schweißtechnik GmbH	01220
Easyfairs GmbH Büro Stuttgart	09010	ProByLas AG	01040
Evosys Laser GmbH	01040, 08080	Eugen Rixinger GmbH & Co. KG	01110, 01140, 01240, 01310
Fischer Kunststoff-Schweißtechnik GmbH	01060, 01070, 01100, 01160, 01260, 08060, 08080	RINCO ULTRASONICS AG	01080
FORSTHOFF GmbH	01240, 01280	Röchling Engineering Plastics SE & Co. KG	02010, 02020, 02030, 02040, 02060, 08020, 08040, 08100
FRANK GmbH	01140, 01220, 01280	SIMONA AG	02010, 02020, 02030, 02040, 02050, 02060, 08040, 08100
FRIMO Group GmbH	01080, 01085, 01110, 01140, 01195, 01196, 08060	SKZ - KFE gGmbH	07020, 07040, 08010, 09010
Herrmann Ultraschalltechnik GmbH & Co KG	01080, 01085, 01090	GSI mbH Niederlassung SLV München	04030, 07020, 07060, 08010
HERZ GmbH Kunststoff- und Wärmetechnologie	01180, 01220, 01240, 01280	Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt Nord gGmbH	07020, 07060
INGENIA GmbH	01080, 01140, 01310, 01320	SONOTRONIC GmbH	01080, 01090, 01140
JoinTec Consulting Ingenieurbüro Friedrich	08010, 08060	TELSONIC AG	01080
KLN Ultraschall AG	01080, 01085, 01090, 01100, 01110, 01140, 01160, 01190, 01195, 08060	TÜV Rheinland Industrie Service GmbH	07020, 07060, 08020
Leister Technologies Deutschland GmbH	01040, 01110, 01140, 01195, 01220, 01280, 05010	Weber Ultrasonics AG	01080
		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 Serienfertigung / 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	Heizkontaktechweißen / Heat contact welding
01160	Rotationsschweißen / Rotation welding
01180	Plattenschweißen / Sheet welding
01185	Wärmeimpulsschweißen / Thermal impuls welding
01190	Warmversternen / Hot riveting
01195	Heiß-Luft-Vernieten / Hot Air Staking
01196	Wärmekontaktnieten / Contact riveting

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

01220	Extrusionsschweißen / Extrusion welding
01240	Heizelementschweißen / Heated tool welding
01260	Rotationsschweißen / Rotation welding
01280	Warmgasschweißen / 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 materials Bezugsquellenverzeichnis / Buyers guide

4 Messen und Prüfen / Measuring and testing

04010	Funkenprüferäte / 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 Methacrylat-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 Vorseriennmustern 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

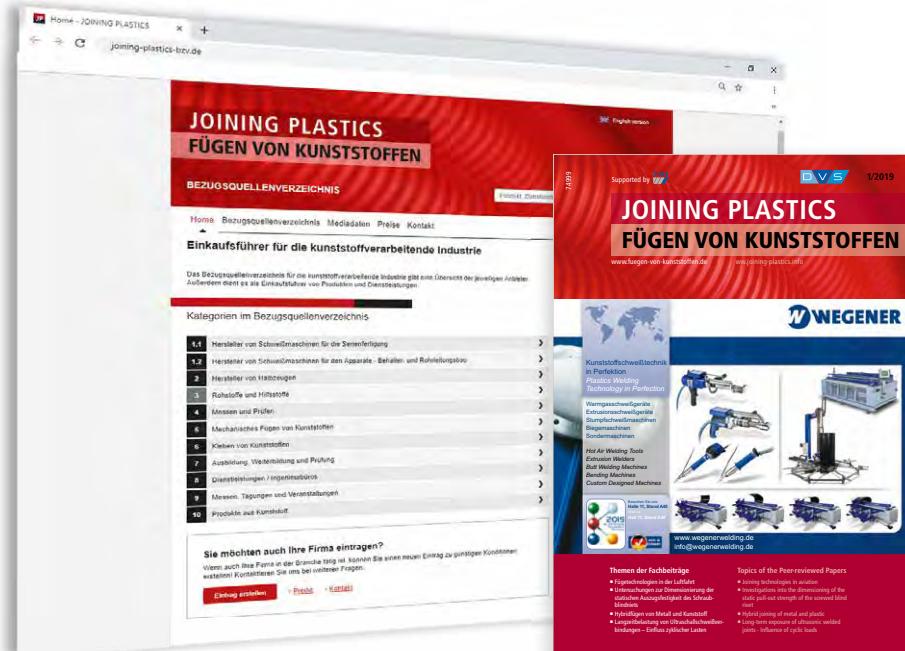
9 Messen, Tagungen und Veranstaltungen / Trade fairs, conferences and events

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

10 Produkte aus Kunststoff / Products of plastic

10010	Abluftwäscher / Exhaust air scrubber
10020	Behälterer 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 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 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

Ihre Ansprechpartnerin:
Your contact person:
Britta Wingartz

DVS MEDIA

DVS Media GmbH
Postfach 10 19 65, 40010 Düsseldorf
P: +49 211 1591-155
F: +49 211 1591-150
E-Mail: britta.wingartz@dvs-media.info
Internet: www.dvs-media.eu



Zusätzlich und kostenfrei/In addition and at no charge:

Der Eintrag im Internet unter www.joining-plastics-bzv.de und mit einer Verlinkung zu Ihrer Homepage/Your entry on the internet on www.joining-plastics-bzv.de/en with a link to your homepage

Kostenlose Veröffentlichung Ihres Firmenlogos im Internet unter www.joining-plastics-bzv.de und in der Zeitschrift. Senden Sie Ihr Logo (jpg-Datei) an folgende E-Mail-Adresse:
britta.wingartz@dvs-media.info/Free Publication of your company logo on the internet on www.joining-plastics-bzv.de/en as well as in the magazine. Please send the logo (jpg-file) to: britta.wingartz@dvs-media.info

Beginn der Einträge jeden Monat möglich
(Abgabe-Termin: 15. des Vormonats)
Start of entries is possible in each month
(deadline: the 15th of the previous month)

Preise/Prices:

Anzahl der Stichwörter	Kosten pro Jahr/pro Stichwort in EUR*
Number of keywords	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 15th of each month.

Zusätzlich und kostenfrei: Der Eintrag im Internet unter www.joning-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: britta.wingartz@dvs-media.info.
In addition and at no charge: Your entry on the internet on www.joning-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: britta.wingartz@dvs-media.info.

Ansprechpartner/ Contact person

Bestellzeichen/ Sign

Datum/ Date

Unterschrift/ Signature

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: +49 211 1591-0, Telefax: -150, E-Mail: media@dvs-media.info, www.dvs-media.eu, Geschäftsführung: Dirk Sieben

Redaktion:

Sarah Gottschalk (Leitung),
Nicole Stramka M. A. (V.i.S.d.P.),
Telefon: +49 211 1591-289, nicole.stramka@dvs-media.info,
Sylvia Hanagan

Redaktionsbeirat:

Dr.-Ing. Tobias Beiß, Prof. Dr.-Ing. Dietmar Drummer, Dipl.-Ing. Thomas Frank, Dr.-Ing. Sven Friedrich, Dr.-Ing. Christoph Heering, Dr.-Ing. Odo Karger, Dr.-Ing. Eduard Kraus, Dr.-Ing. Joachim Natrop, Dipl.-Ing. Hans-Dieter Plum, Dr.-Ing. Matthias Pöge, Dr.-Ing. Ulrich Andreas Russek, B. Eng. Wirtschaftsingenieur Sebastian Schlegel, Prof. Dr.-Ing. Andreas Seefried, Prof. Dr.-Ing. Volker Schöppner, Dr. Mike Troughton

Anzeigen:

Markus Winterhalter (verantwortlich), Telefon: +49 211 1591-142, markus.winterhalter@dvs-media.info;
Britta Wingartz, Telefon: -155, britta.wingartz@dvs-media.info.
Gültig ist zurzeit die Preisliste Nr. 17 vom 1. Januar 2025.

Übersetzungen:

Ian Widdows

Vertrieb:

DVS Media GmbH, Leserservice, Telefon: +49 6123 92 38-242, Telefax: -244, E-Mail: dvsmedia@vuservice.de

Bezugsbedingungen:

„JOINING PLASTICS – FÜGEN VON KUNSTSTOFFEN“ erscheint dreimal 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: 31,00 € (zuzüglich Versandkosten), jährliche Bezugskosten: Online: 63,00 €, Print und Online: 80,00 €, zuzüglich Versandkosten (Inland: 10,00 €, Ausland: 15,00 €).

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.

Hinweis:

In dieser Fachzeitschrift wird aus Gründen der Lesbarkeit auf eine durchgängige geschlechtsneutrale Formulierung verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichermaßen für alle Geschlechter. Die gewählte Sprachform dient allein der sprachlichen Vereinfachung und beinhaltet keine Wertung.

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, phone: +49 211 1591-0, fax: -150, e-mail: media@dvs-media.info, www.dvs-media.eu, management: Dirk Sieben

Editorial department:

Sarah Gottschalk (Managing Editor),
Nicole Stramka M. A. (Responsible),
phone: +49 211 1591-289, nicole.stramka@dvs-media.info,
Sylvia Hanagan

Editorial advisory board:

Dr.-Ing. Tobias Beiß, Prof. Dr.-Ing. Dietmar Drummer, Dipl.-Ing. Thomas Frank, Dr.-Ing. Sven Friedrich, Dr.-Ing. Christoph Heering, Dr.-Ing. Odo Karger, Dr.-Ing. Eduard Kraus, Dr.-Ing. Joachim Natrop, Dipl.-Ing. Hans-Dieter Plum, Dr.-Ing. Matthias Pöge, Dr.-Ing. Ulrich Andreas Russek, B. Eng. Wirtschaftsingenieur Sebastian Schlegel, Prof. Dr.-Ing. Andreas Seefried, Prof. Dr.-Ing. Volker Schöppner, Dr. Mike Troughton

Advertising:

Markus Winterhalter (Responsible), phone: +49 211 1591-142, markus.winterhalter@dvs-media.info;
Britta Wingartz, phone: -155, britta.wingartz@dvs-media.info.
Price list no. 17 dated January 1, 2025 is valid at present.

Translations:

Ian Widdows

Customer Service:

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

Purchase conditions:

“JOINING PLASTICS - FÜGEN VON KUNSTSTOFFEN” will be published three times a year. 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: € 31.00 (plus shipping costs), annual purchase costs online: € 63.00, print and online: € 80.00 plus shipping costs (Germany: € 10.00, abroad: € 15.00).

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.

Note:

For the sake of readability, this technical scientific journal does not use gender-neutral language throughout. All gender-specific terms apply equally to all genders. The chosen form is intended solely for linguistic simplicity and does not imply any judgement.

ISSN 1864-3450

Fachbuchreihe Schweißtechnik

Taschenbuch DVS-Merkblätter und -Richtlinien: Fügen von Kunststoffen

Die Neuauflage unseres Fachbuches enthält sämtliche Merkblätter, Richtlinien und Richtlinienentwürfe in deutscher Sprache, die sich mit dem Fügen im Rohrleitungs-, Behälter- und Anlagenbau sowie in der Serienfertigung beschäftigen.

Weiterhin werden die in englischer Sprache erhältlichen Richtlinien sowie die mittlerweile erschienenen korrespondierenden DIN EN-Normen genannt. Ebenso sind die Ausbildungs- und Prüfungsrichtlinien in dieser Auflage enthalten.

Gegenüber der 19. Auflage enthält die aktuelle Auflage 22 neue beziehungsweise überarbeitete Dokumente aus allen Bereichen des Kunststofffügens.

Vollständigkeit, Aktualität und die internationale Perspektive machen das Taschenbuch unverzichtbar für alle, die sich fachlich mit dem Fügen von Kunststoffen befassen.



Taschenbuch DVS-Merkblätter

und -Richtlinien:

Fügen von Kunststoffen

20. Auflage

Erscheinungstermin: Dezember 2023

Seiten: 1660

Best.-Nr.: 100684

ISBN: 978-3-96144-243-0

Auch als E-Book und USB-Stick erhältlich.

Preis: 138,00 €



Zeitraum Term	Titel Title	Ort Location	Veranstalter Organizer	Internet Internet
08.10.2025 - 15.10.2025	K 2025	Düsseldorf	Messe Düsseldorf GmbH	https://www.k-online.com/
22.10.2025 - 23.10.2025	Laserschweißen von Kunststoffen	Würzburg	SKZ - KFE gGmbH	https://t1p.de/04ey9
28.10.2025 - 29.10.2025	Ultraschallschweißen in der Serienfertigung	Würzburg	SKZ - KFE gGmbH	https://t1p.de/3r50j
30.10.2025	Technologie der Sonotrode	Würzburg	SKZ - KFE gGmbH	https://t1p.de/lc90f
06.11.2025 - 07.11.2025	29. Technomer	Chemnitz	Institut und Fördergemeinschaft für das Institut für Fördertechnik und Kunststoffe an der Technischen Universität Chemnitz e. V., Kunststoffzentrum in Leipzig und Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden	https://t1p.de/technomer
18.11.2025 - 21.11.2025	Formnext 2025	Frankfurt am Main	Mesago Messe Frankfurt GmbH	https://formnext.mesago.com/events/de.html
09.12.2025 - 11.12.2025	Oman Plast 2025	Muscat	Silver Star Corporation L.L.C.	https://www.omanplast.net/
20.01.2026 - 22.01.2026	Swiss Plastics Expo	Luzern	Messe Luzern AG	https://www.swissplastics-expo.ch/de
06.02.2026 - 07.02.2026	38. Oldenburger Rohrleitungsforum	Oldenburg	Institut für Rohrleitungsbau an der Fachhochschule Oldenburg e. V.	https://lmy.de/SldIC
25.02.2026 - 26.02.2026	KPA Ulm 2026	Ulm	Easyfairs GmbH	https://www.kpa-messe.de/
04.03.2026 - 05.03.2026	33. Internationales Kolloquium Kunststofftechnik	Aachen	IKV - Institut für Kunststoffverarbeitung an der RWTH Aachen	https://lmy.de/XrzFt
10.03.2026 - 12.03.2026	JEC World 2026	Paris	JEC Group	https://www.jec-world.events/
25.03.2026 - 26.03.2026	PIAE - Plastics in Automotive Engineering - Kunststoffe im Automobilbau 2026	Mannheim	VDI Wissensforum GmbH	https://www.vdi-wissensforum.de/piae/
09.06.2026 - 11.06.2026	Kuteno und KPA	Bad Salzuflen	Easyfairs GmbH	https://www.kuteno.de/ https://www.kpa-messe.de/
02.06.2026 - 04.06.2026	Interplas 2026	Birmingham	Rapid News Communications Group	https://interplasuk.com/newfront

Inserentenverzeichnis JOINING PLASTICS – FÜGEN VON KUNSTSTOFFEN

Advertiser listing JOINING PLASTICS – FÜGEN VON KUNSTSTOFFEN

AGRU Kunststofftechnik GmbH	Bad Hall/Österreich	141
DVS Media GmbH	Düsseldorf	156, 189, 209
Evosys Laser GmbH	Erlangen	153
Excelitas Noblelight GmbH	Kleinostheim	149
Fischer Kunststoff-Schweißtechnik GmbH	Berkatal	147
FORSTHOFF GmbH	Solingen	U3/Inside Back Cover
Frank GmbH	Mörfelden-Walldorf	137
Frimo Group GmbH	Lotte	145
Fuchs Umwelttechnik Produktions- und Vertriebs-GmbH	Staig	157
HSK Kunststoff Schweißtechnik GmbH	Bad Honnef	159
Hürner Schweißtechnik GmbH	Mücke	143
Ihne & Tesch GmbH	Lüdenscheid	181
INGENIA GmbH	Altlay	139
KLN Ultraschall AG	Heppenheim	161
KVT Bielefeld GmbH	Bielefeld	155
Leister Technologies AG	Kaegiswil/Schweiz	151
MUNSCH Kunststoff-Schweißtechnik GmbH	Ransbach-Baumbach	Titel/Front Cover
ProByLas AG	Root D4/Schweiz	148
RINCO ULTRASONIC AG	Romanshorn/Schweiz	163
Röchling Industrial SE & Co.KG	Haren	U4/Back Cover
Wegener International GmbH	Eschweiler	U2/Inside Front Cover

Qualität produziert in Deutschland seit über 45 Jahren

Quality produced in Germany since over 45 years

Schweißautomaten

Welding Machines

**Handschweißgeräte**

Heat Guns

**Luftheritzer**

Air Heater

**Heissluftgebläse**

Hot Air Blower

**Andrückrollen**

Pressure Roller



**QUALITY
MADE IN
GERMANY**
FORSTHOFF
**MORE THAN
45 YEARS**

FORSTHOFF GmbH
Freiheitstraße 24
D-42719 Solingen
Telefon +49 212 336052
E-Mail: info@forsthoff.com
www.forsthoff.com

Schweißpistolen

Welding Guns



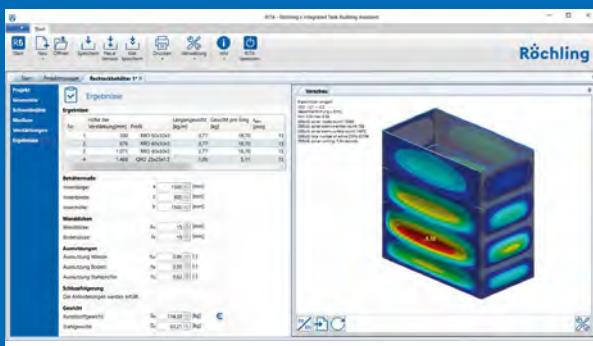
RITA® 6

RITA® 6
Neue Berechnungs-
möglichkeiten

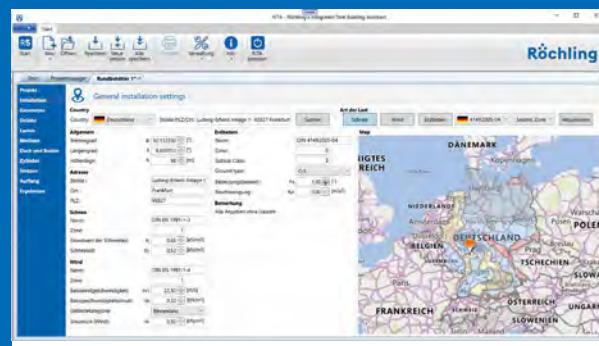
Röchling's Integrated Tank building Assistant

Die Behälterberechnungssoftware RITA® wird von Behälterbauern für die statische Berechnung von rechteckigen und zylindrischen Behältern aus thermoplastischen Kunststoffen in mehr als 35 Ländern weltweit eingesetzt. Seit der Veröffentlichung der komplett neu entwickelten Version RITA® 5 im Jahr 2021, können Anwender der Software ihre berechneten Behälter in 3D visualisieren.

Basierend auf dieser Technologie bietet die neue Version RITA® 6.0 weitere Möglichkeiten zur Optimierung von Behälterkonstruktionen und ein neues Tool, um die Nutzung der Software weiter zu erleichtern.



Neben der Berechnung nach der DVS-Richtlinie 2205 können mit RITA® 6.0 Rechteckbehälter auch mithilfe der 3D-FEM (Finite-Elemente-Methode) berechnet werden.



Darüber hinaus wurde mit RITA® 6.0 die Definition von Wind-, Schnee- und Erdbebenlasten vereinfacht. Benutzer können jetzt über Bing-Maps den Standort definieren, an dem der Behälter aufgestellt werden soll und die Software ermittelt automatisch die bei der Berechnung zu berücksichtigenden standortbezogenen Lasten.

Der Einsatz von 3D-FEM bietet folgende Vorteile:

- Detaillierte dreidimensionale Analyse von Rechteckbehältern
- Visualisierung von Berechnungsergebnissen für Behälterverformungen und Spannungen im Werkstoff
- Schnelle Anpassung und Vergleich verschiedener Behälterdesigns

Kontakt: RITA@roechling.com

Scannen Sie den QR Code
für mehr Informationen

