

# Herausforderungen an die Verbindungstechnik in Anwendungen aus Leichtbau und erneuerbaren Energien

## Challenges relating to joining technology in applications from lightweight construction and renewable energies

### 1. Einleitung

Klimawandel und globale Erwärmung, Ressourcenknappheit, aber auch die zunehmende Mobilität sind Beispiele für übergreifende Veränderungen, die mehr denn je eine nachhaltige Entwicklung erfordern, welche die Bedürfnisse der Gegenwart befriedigt, ohne die Entwicklung zukünftiger Generationen zu gefährden. Die Förderung der Nachhaltigkeit in der Produktentwicklung ebenso wie in der Fertigung ist Gegenstand aktueller Politik und wird in Zukunft ein wesentliches Kernelement der technologischen Entwicklung in Deutschland sein.

Im Sinne einer nachhaltigen Energieerzeugung gewinnen erneuerbare Energien stetig an Bedeutung. Zur Senkung des Energieverbrauchs steht derzeit für mobile Transportmittel und -güter ebenso wie auch für dynamisch bewegte Maschinen- und Anlagenkomponenten vor allem auch der Leichtbau im Fokus. Ergänzend zu einer bedarfsgerechten Fertigung einzelner Komponenten können funktionsfähige Systeme nur durch eine werkstofflich und anwendungstechnisch optimierte und adaptierte Füge-technik hergestellt und hierdurch eine nachhaltige Produktion garantiert werden.

Um zukünftige Forschungsfelder und den Forschungsbedarf im Bereich der Kunststoff-Verbindungstechnik vor diesem Hintergrund aufzuzeigen, wurde die hier vorgestellte Studie zum Thema „Herausforderungen an die Verbindungstechnik in Anwendungen aus Leichtbau und erneuerbaren Energien“ durchgeführt. Unter Bezugnahme auf diese praxisnahe Bedarfsanalyse können zukünftige Forschungsvorhaben der industriellen Gemeinschaftsforschung auf die Anforderungen aus der industriellen Anwendung abgestimmt werden.

Im Rahmen des am 6. März 2012 in Erlangen veranstalteten DVS-Forschungsseminars „Kunststofffügetechnik in Leichtbau und erneuerbaren Energien: Effizienter Materialeinsatz durch intelligente Verbindungslösungen“ wurden die Ergebnisse der Studie und die daraus abgeleiteten Forschungsfelder vorgestellt und diskutiert. Die Erkenntnisse der Studie und des Forschungsseminars sollen Basis für eine Forschungsagenda des DVS zum Thema „Kunststofffügen“ sein und damit eine Grundlage für die zukünftige Ausrichtung der industriellen Gemeinschaftsforschung im DVS bilden.

### 2. Allgemeines zur Studie

Die Studie „Herausforderungen an die Verbindungstechnik in Anwendungen aus Leichtbau und erneuerbaren Ener-

### 1. Introduction

Not only climate change, global warming and the scarcity of resources but also increasing mobility are examples of all-encompassing changes which, more than ever, are necessitating sustainable development meeting the needs of the present without jeopardising the development of future generations. Promoting sustainability in product development as well as in fabrication is the subject of current politics and will be an essential core element of the technological development in Germany in the future.

In the sense of sustainable energy generation, ever greater significance is being attached to renewable energies. In order to lower energy consumption, attention is currently focusing, above all, also on lightweight construction for

mobile means of transport and transport goods as well as for dynamically moved machine and installation components. In addition to fabricating individual components in a way appropriate for the needs, functioning systems can only be manufactured using joining technology with optimised and adapted materials and applications engineering and sustainable production can only be guaranteed in this way.

The study introduced here dealt with the subject of "Challenges relating to joining technology in applications from lightweight construction and renewable energies" and served to highlight future research fields and the need for research in the area of plastics joining technology against this background. With reference to this practically oriented analysis of the needs, future research projects for joint industrial research can be adjusted to the requirements from industrial application.

The results of the study and the research fields derived from these were presented and discussed within the framework of the DVS research seminar entitled "Plastics joining technology in lightweight construction and renewable energies: Efficient material utilisation due to intelligent joining solutions" which was staged in Erlangen on March 6, 2012. The findings of the study and the research seminar should be the basis for a research agenda of DVS on the subject of "Plastics joining" and should thus form a foundation for the future orientation of joint industrial research in DVS.

### 2. General information about the study

The study entitled "Challenges relating to joining technology in applications

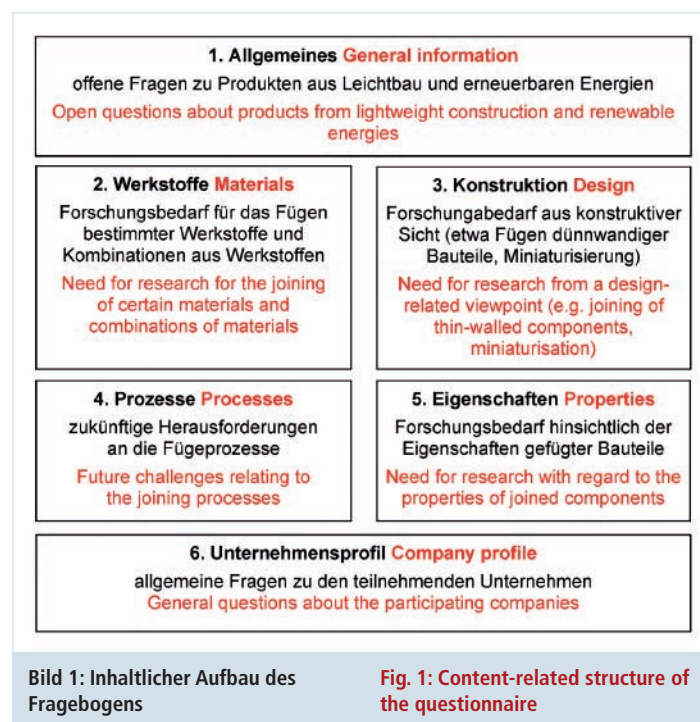
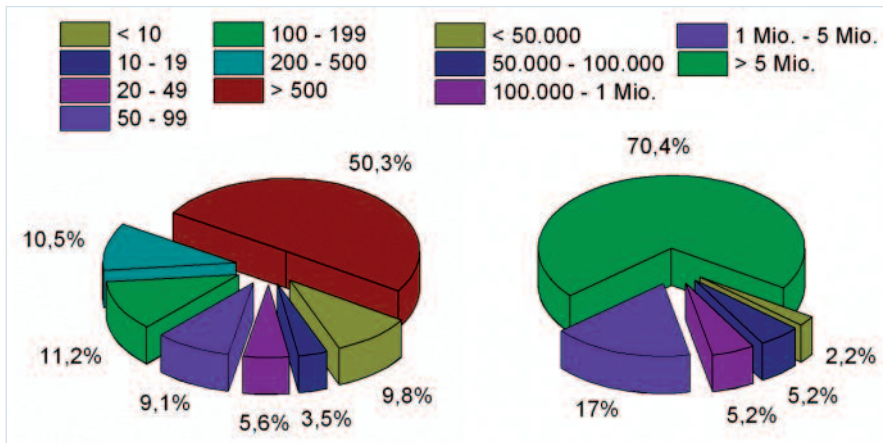


Bild 1: Inhaltlicher Aufbau des Fragebogens

Fig. 1: Content-related structure of the questionnaire



**Bild 2: links:** Anzahl der Beschäftigten im Unternehmen; **rechts:** jährlicher Umsatz des Unternehmens in Euro

**Fig. 2: Left:** number of employees in the company; **right:** annual turnover of the company in Euros

gion“ wurde von der Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e. V. des DVS in Auftrag gegeben. Die Durchführung und Auswertung erfolgte durch den Lehrstuhl für Kunststofftechnik der Universität Erlangen-Nürnberg. Hierzu wurde ein digital ausfüllbarer Fragebogen an Experten der Kunststofftechnik aus Wirtschaft und Wissenschaft versandt.

### 2.1 Aufbau des Fragebogens

Der Fragebogen war inhaltlich in sechs Themenbereiche untergliedert. Neben allgemeinen Fragen zu Produkten aus Leichtbau und erneuerbaren Energien sowie zum Unternehmensprofil der Befragten, wurden fachliche Fragen aus den Bereichen Werkstoffe, Konstruktion, Prozesse und Eigenschaften gefügter Bauteile gestellt, Bild 1.

Innerhalb der fachlichen Blöcke wurde der Forschungsbedarf anhand von geschlossenen Fragen ermittelt, das heißt für jede Frage waren mehrere Antwortmöglichkeiten vorgegeben. Die Teilnehmer der Studie konnten bei jeder Antwort den jeweiligen Forschungsbedarf auf einer sechsstufigen Skala gewichten. Höhere Zahlen bedeuteten hierbei auch eine höhere Gewichtung des jeweiligen fachlichen Aspekts. Abgerundet wurde jeder fachliche Block durch eine offene Frage (freie Antwortmöglichkeit), um sicher zu stellen, dass wesentliche Aspekte durch die geschlossenen Fragen angesprochen wurden, beziehungsweise diese gegebenenfalls ergänzt werden konnten und kein relevantes Forschungsfeld unberücksichtigt bleibt.

### 2.2 Teilnehmer der Studie

An der Umfrage haben sich 156 Teilnehmer aus 127 Unternehmen und Instituten beteiligt. Dabei lag die Anzahl der

Beschäftigten bei etwa der Hälfte der Unternehmen bei 500 oder weniger, was für ein ausgewogenes Verhältnis zwischen kleinen und mittelständischen Unternehmen sowie Großunternehmen spricht, Bild 2 links. Die Auswertung des jährlichen Umsatzes der Unternehmen zeigt ein ähnliches Bild. Von etwa einem Viertel der Unternehmen werden jährliche Umsätze zwischen 50.000 Euro und 5 Millionen Euro angegeben, Bild 2 rechts.

Die Industriebranchen, in denen die befragten Unternehmen tätig sind, sind in Bild 3 dargestellt. Dabei war die Nennung einer Zugehörigkeit zu mehreren Branchen möglich. Die Ergebnisse zeigen zunächst, dass im Rahmen der Studie ein breites Spektrum an Branchen abgedeckt werden konnte. Die drei wichtigsten Branchen sind hierbei die Automobilindustrie, die kunststoffverarbeitende Industrie sowie der Maschinenbau, aber auch die Großchemie, die Medizin- und Energietechnik ebenso wie unter anderem die Textilindustrie waren signifikant vertreten.

from lightweight construction and renewable energies“ was commissioned by the Research Association for Welding and Allied Processes of DVS. The execution and the evaluation were carried out by the Professorship of Plastics Technology at the University of Erlangen-Nuremberg. For this purpose, a questionnaire which could be filled in digitally was dispatched to experts in plastics technology from the economic and scientific fields.

### 2.1 Structure of the questionnaire

The contents of the questionnaire were divided into six subject areas. In addition to general questions about products from lightweight construction and renewable energies as well as about the company profile of the surveyed people, subject-related questions were asked from the following fields: materials, design, processes and properties of joined components, Fig. 1.

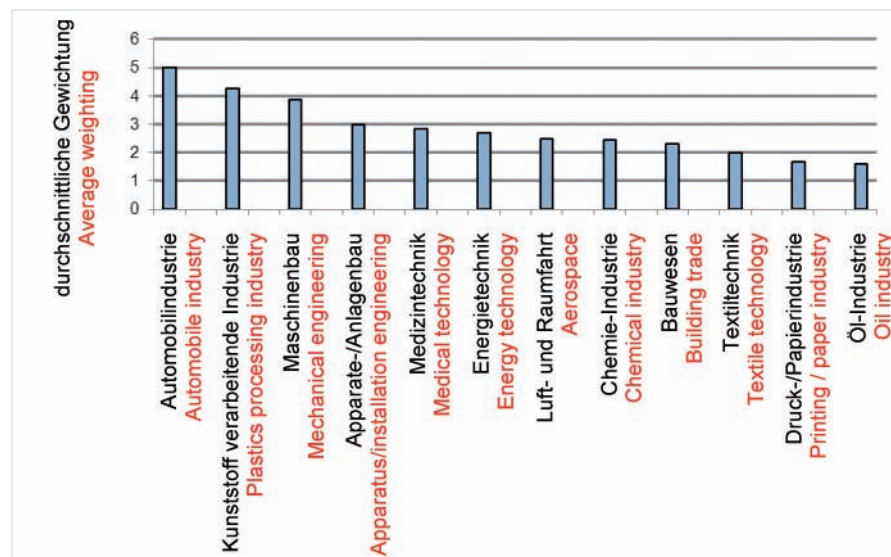
Within the subject-related blocks, the need for research was established on

the basis of closed questions, i.e. several answer possibilities were stipulated for every question. With every answer, the participants in the study were able to weight the need for research in each case on a six-stage scale. In this respect, higher figures also signified a higher weighting of the subject-related aspect concerned. Every subject-related block was rounded off by an open question (free answer possibility) in order to ensure that essential aspects were addressed by the closed questions or that these could be supplemented if necessary and no relevant research field remains unconsidered.

### 2.2 Participants in the study

156 participants from 127 companies and institutes have been involved in the survey. In this respect, the number of employees at roughly half of the companies was 500 or fewer. This is indicative of a well-balanced relationship between small and medium-sized companies and large companies, Fig. 2 left. The evaluation of the annual turnover of the companies shows a similar picture. About a quarter of the companies indicated annual turnovers between Euro 50,000 and Euro 5 million, Fig. 2 right.

The industrial sectors in which the surveyed companies are active are portrayed on Fig. 3. Here, it was possible to specify affiliation to several sectors. First of all, the results show that a wide spectrum of sectors could be covered within the framework of the study. In this respect, the three most important sectors are the automobile industry, the plastics processing industry and



**Bild 3: Tätig-**keit der Unternehmen in bestimmten Industriebranchen (gewichtet nach 1 = gar nicht bis 6 = sehr viel)

**Fig. 3: Activities of the companies in certain industrial sectors (weighted from 1 = not at all to 6 = very many)**

Bei etwa der Hälfte der teilnehmenden Unternehmen arbeiten bis zu zehn Mitarbeiter im Bereich der Verbindungstechnik, ein weiteres Viertel der Teilnehmer haben in diesem Bereich bis 50 Mitarbeiter, Bild 4 links. Mit knapp 4% der Befragten sind vermutlich Maschinen- und Anlagenhersteller der Verbindungstechnik vertreten, die über 500 Mitarbeiter beschäftigen. Das bei diesen Unternehmen am häufigsten eingesetzte Verfahren ist die mechanische Verbindungstechnik, gefolgt vom Schweißen und vom Kleben, Bild 4 rechts. Das Fügen durch

Umformen und das Fügen durch Umformen werden zum Zeitpunkt der Befragung deutlich weniger eingesetzt.

**3. Ergebnisse**  
**3.1 Allgemeines**

Da in der Studie die Themenfelder „Leichtbau“ und „erneuerbare Energien“ als Schwerpunkte gesetzt waren, wurden die Teilnehmer in einer offenen Frage gebeten, Produkte zu nennen die sie mit den oben genannten Begriffen als Erstes assoziieren. Die hierbei am häufigsten angegebenen Produkte sind in Bild 5 dargestellt. Interessant dabei

mechanical engineering. However, large-scale chemistry, medical and energy technology as well as (amongst others) the textile industry were represented to a significant extent.

At around half of the participating companies, up to ten employees work in the field of joining technology. Another quarter of the participants have up to 50 employees in this area, Fig. 4 left. Machine and installation manufacturers which deal with joining technology and employ over 500 people are presumably represented with nearly 4 % of the surveyed people.

The process utilised most frequently at these companies is mechanical joining technology, followed by welding and adhesive bonding, Fig. 4 right. Joining by means of primary shaping and joining by means of forming were being utilised considerably less at the time of the survey.

**3. Results**  
**3.1 General information**

Since the subject fields of "lightweight construction" and "renewable energies" were set as main focal points in the study, the participants were asked, in an open question, to name products which they firstly associate with the terms indicated above. The products specified most frequently in this respect are portrayed on Fig. 5. Here, it is interesting that, in spite of the predominant affiliation to the plastics processing and automobile industries (Fig. 3), the "lightweight construction" term was most frequently connected with the aeroplane, only then followed by the automobile or the automobile body, Fig. 5 left. The distinction between both the latter products was deliberately retained in the evaluation of the survey since this has also been reflected in the answers of the surveyed people in this form. Around half of the surveyed people associate products from the fields of wind power as well as solar thermics and photovoltaics with the "renewable energies" term, Fig. 5 right. Packaging products follow in third place. It is conspicuous that merely 3 % of the surveyed people named products from the electromobility sector. Likewise, only 3 % specified products connected with the battery.

**3.2 Materials**

As a rule, new products are connected with new materials, new processes, an innovative design or even new application functions. Since plastics have an enormously wide and growing spectrum of properties, it is of particular interest which plastics or plastics sectors are presumably those with the greatest potential in the product fields on which the survey is based. Fig. 6 shows the materials which, in the estimation of the participants in the survey, will gain significance in the future. Accordingly, growing significance is being attached, above all, to fibre composite plastics (FCPs). In this respect,

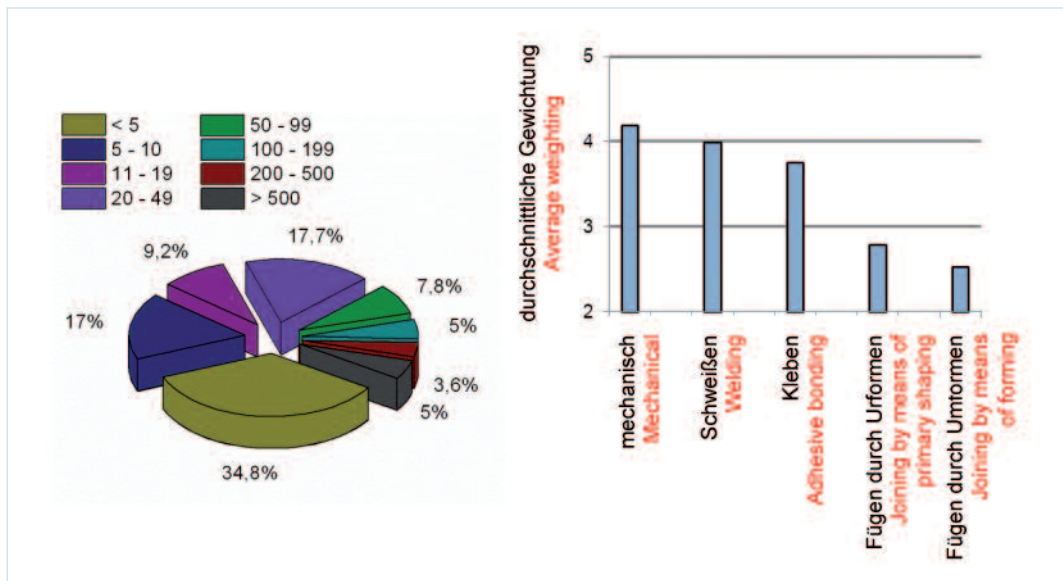


Bild 4: links: Anzahl der Beschäftigten im Bereich Kunststoffverbindungstechnik; rechts: im Unternehmen eingesetzte Verbindungstechniken (gewichtet nach 1 = gar nicht bis 6 = sehr viel)

Fig. 4: Left: number of employees in the field of plastics joining technology; right: joining technologies utilised in the company (weighted from 1 = not at all to 6 = very many)

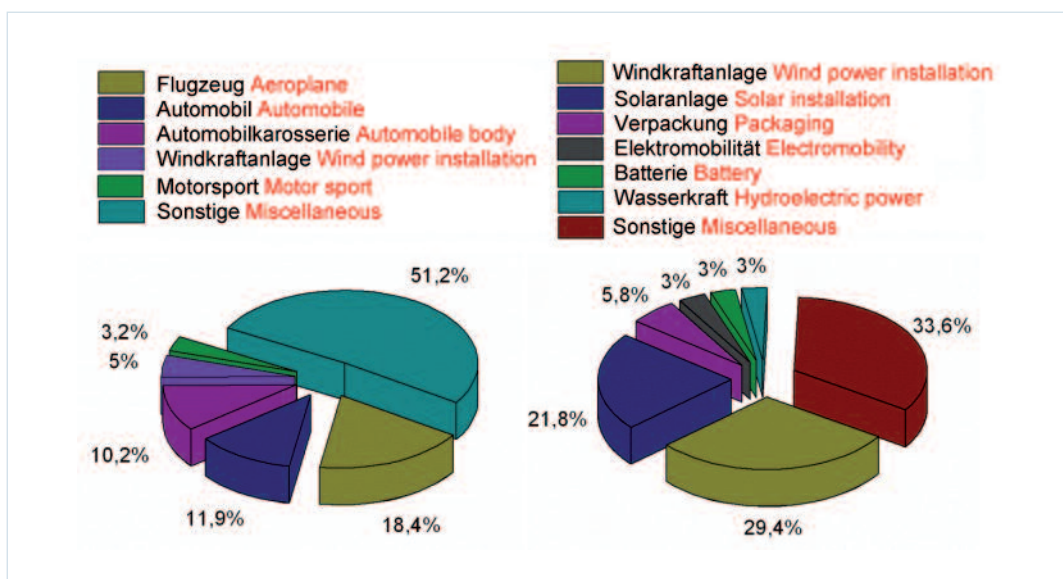


Bild 5: links: Produkte, die mit dem Begriff „Leichtbau“ assoziiert werden; rechts: Produkte, die mit dem Begriff „erneuerbare Energien“ assoziiert werden

Fig. 5: Left: products associated with the "lightweight construction" term; right: products associated with the "renewable energies" term

ist, dass trotz überwiegender Zugehörigkeit zur kunststoffverarbeitenden und Automobilindustrie (Bild 3) am häufigsten mit dem Begriff „Leichtbau“ das Flugzeug in Verbindung gebracht wurde, dann erst gefolgt vom Automobil beziehungsweise der Automobilkarosserie, Bild 5 links. Die Unterscheidung zwischen beiden zuletzt genannten Produkten wurde in der Auswertung der Umfrage bewusst beibehalten, da sich dies auch so in den Antworten der Befragten wiederspiegelt hat. Rund die Hälfte der Befragten assoziieren mit dem Begriff „erneuerbare Energien“ Produkte aus den Bereichen Windkraft sowie Solarthermie und Fotovoltaik, Bild 5 rechts. An dritter Stelle folgen Verpackungsprodukte. Auffällig ist, dass lediglich 3% der Befragten Produkte aus dem Bereich der Elektromobilität nannten. Ebenfalls nur 3% gaben Produkte an, die in Zusammenhang mit der Batterie stehen.

### 3.2 Werkstoffe

Neue Produkte stehen in der Regel mit neuen Werkstoffen, neuen Prozessen, einer neuartigen Gestaltung oder auch neuen Anwendungsfunktionen in Verbindung. Da Kunststoffe ein enorm breites und wachsendes Eigenschaftsspektrum besitzen, ist es von besonderem Interesse, welche Kunststoffe beziehungsweise Kunststoffbereiche vermutlich diejenigen mit dem größten Potential in den der Umfrage zugrunde liegenden Produktfeldern sind. Bild 6 zeigt die Werkstoffe, die nach Einschätzung der Umfrageteilnehmer in Zukunft an Bedeutung gewinnen werden.

Demnach sind vor allem Faserverbundkunststoffe (FVK) von wachsender Bedeutung, wobei FVK mit thermoplastischer Matrix deutlich vor denen mit duroplastischer Matrix liegen. Hochgefüllten Kunststoffen und Kunststoffen mit spezieller Additivierung wird in etwa die gleiche Bedeutung zuerkannt wie FVK mit duroplastischer Matrix. Weniger an Bedeutung gewinnen werden in den benannten Produktfeldern nach Einschätzung der Befragten zunächst Biopolymere sowie nicht spezifisch modifizierte Thermoplaste, Duroplaste und Elastomere.

Versucht man den Forschungsbedarf für bedeutsame Kunststoffgruppierungen auf einzelne Fügeverfahren aufzuschlüsseln, so zeigt sich, dass dem Kle-

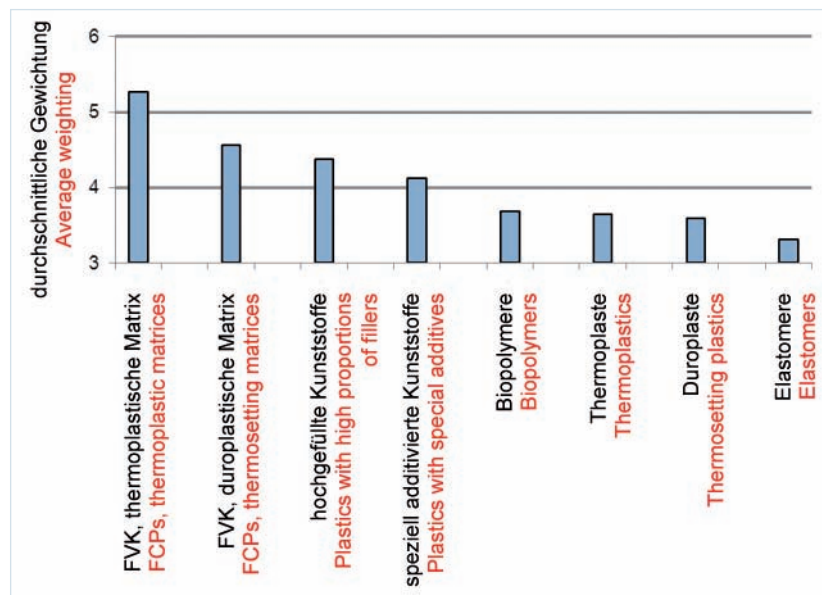


Bild 6: Werkstoffe, die nach Einschätzung der Befragten in Zukunft an Bedeutung gewinnen werden (gewichtet nach 1 = keine Bedeutung bis 6 = große Bedeutung)

Fig. 6: Materials which, in the estimation of the surveyed people, will gain significance in the future (weighted from 1 = no significance to 6 = great significance)

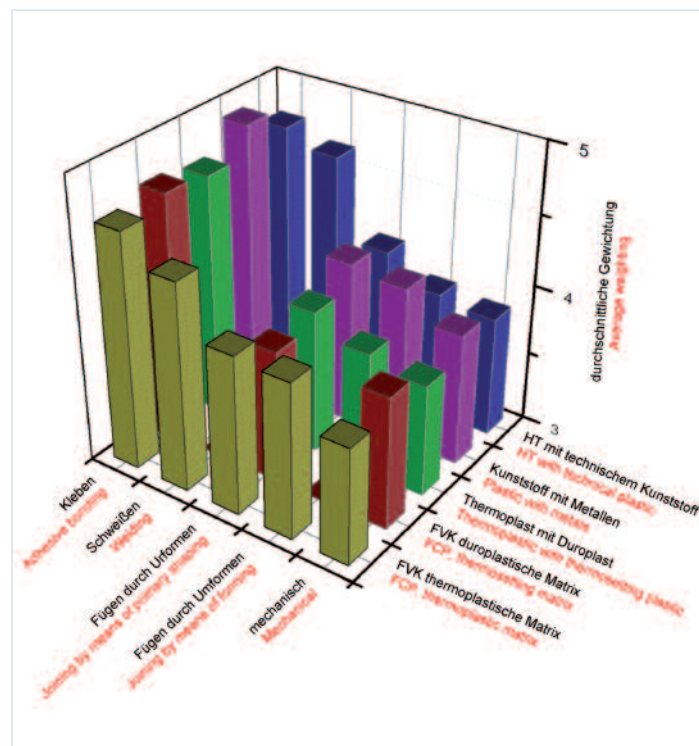


Bild 7: Forschungsbedarf bei Werkstoffen und Werkstoffkombinationen, differenziert nach den entsprechenden Verbindungstechniken (gewichtet von 1 = kein Forschungsbedarf bis 6 = hoher Forschungsbedarf)

Fig. 7: Need for research into materials and material combinations, differentiated according to the corresponding joining technologies (weighted from 1 = no need for research to 6 = great need for research)

ben und dem Schweißen von Kunststoffen die größte Bedeutung beigemessen wird, Bild 7.

Vor allem beim Kleben von Kunststoffen mit Metallen besteht aus Sicht der Umfrageteilnehmer hoher Forschungsbedarf. Der Bedarf beim Schweißen ist auf vergleichbarem, wenn auch etwas geringerem Niveau. Im Vergleich zum Kleben und Schweißen ist der For-

FCPs mit thermoplastischer Matrix sind weit voraus denjenigen mit duroplastischer Matrix. In der Einschätzung der Befragten sind Biopolymere sowie nicht spezifisch modifizierte Thermoplaste, Duroplaste und Elastomere weniger an Bedeutung zu gewinnen. In der Einschätzung der Befragten sind Biopolymere sowie nicht spezifisch modifizierte Thermoplaste, Duroplaste und Elastomere weniger an Bedeutung zu gewinnen. In der Einschätzung der Befragten sind Biopolymere sowie nicht spezifisch modifizierte Thermoplaste, Duroplaste und Elastomere weniger an Bedeutung zu gewinnen.

ifications will initially gain less significance in the designated product fields. If an attempt is made to break down the need for research for groups of significant plastics according to individual joining technologies, it is shown that the greatest significance is attributed to the adhesive bonding and welding of plastics, Fig. 7. In the view of the participants in the survey, there is a great need for research, above all, into the adhesive bonding of plastics with metals. The need in the case of welding is on a comparable, even if somewhat lower level. In comparison with adhesive bonding and welding, there is a substantially smaller need for research into joining by means of primary shaping and forming and into mechanical joining technology. Gauged by the average weighting which is between 3.5 and 4 in the case of these processes, the need for further research activities here must nevertheless be rated as great. Within the material combinations specified in the inquiry, it is not possible to recognise any significant difference in the average weighting of the need for research.

From a material-related viewpoint, there is also a particularly great need for research with regard to the long-time behaviour and ageing of joints, as is shown by the results of an open question, Fig. 8. Mixed-material joints were rated as the second most important with 17 % of the nominations, followed by the complex of subjects relating to surface modification with 8 %. The keywords specified most often in connection with surface modifications were adhesive bonding without any pretreatment, the joining of dissimilar materials

schungsbedarf beim Fügen durch Urbeziehungsweise Umformen sowie der mechanischen Verbindungstechnik deutlich geringer. Gemessen an der durchschnittlichen Gewichtung, die bei diesen Verfahren zwischen 3,5 und 4 liegt, ist Bedarf an weiterer Forschungsaktivität hier dennoch als hoch einzuschätzen. Innerhalb der abgefragten Werkstoffkombinationen ist kein signifikanter Unterschied in der durchschnittlichen Gewichtung des Forschungsbedarfs zu erkennen.

Besonders hoher Forschungsbedarf aus werkstofflicher Sicht besteht des Weiteren hinsichtlich des Langzeitverhaltens beziehungsweise der Alterung von Verbindungen wie das Ergebnis einer offenen Frage zeigt, Bild 8. Als am zweitwichtigsten eingeschätzt wurden Mischmaterialverbindungen mit 17% der Nennungen, gefolgt von der Thematik der Oberflächenmodifikation mit 8%. Die meist genannten Stichworte im Zusammenhang mit Oberflächenmodifikationen waren das Kleben ohne Vorbehandlung, das Verbinden artfremder Werkstoffe sowie das Kleben von Polyolefinen. Wichtig ist nach Meinung der Umfrageteilnehmer ebenfalls die Weiterentwicklung der Prüftechnik zur besseren Qualitätssicherung.

### 3.3 Konstruktion

Kunststoffe erfordern in besonderem Maße eine gesamtheitliche Betrachtung bei der konstruktiven Auslegung, die über die mechanischen Aspekte hinaus thermische, optische, elektrische, akustische und andere gebrauchorientierte Anforderungen berücksichtigen muss, aber auch gezielt nutzen kann. Auch wenn die Verbindungstechnik in der Regel am Ende der Fertigungsprozesskette steht, so ist die Beachtung konstruktiver Aspekte im Hinblick auf die Fügeprozesse besonders zu Beginn des Produktentstehungsprozesses von entscheidender Bedeutung. Daher ist es wichtig, den Forschungsbedarf im Themenfeld der Konstruktion aufzuzeigen.

Erhöhte Forschungsaktivität aus konstruktiver Sicht ist laut Umfrage hinsichtlich der Toleranz der Fügepartner, dünnwandiger Bauteile sowie für komplexe Fügenahtverläufe erforderlich, Bild 9. Ebenfalls großer Forschungsbedarf, wenn auch geringer in der durchschnitt-



Bild 8: Weiterer Forschungsbedarf beim Fügen von Kunststoffen aus werkstofflicher Sicht (offene Frage)

Fig. 8: Need for further research into joining plastics from a material-related viewpoint (open question)

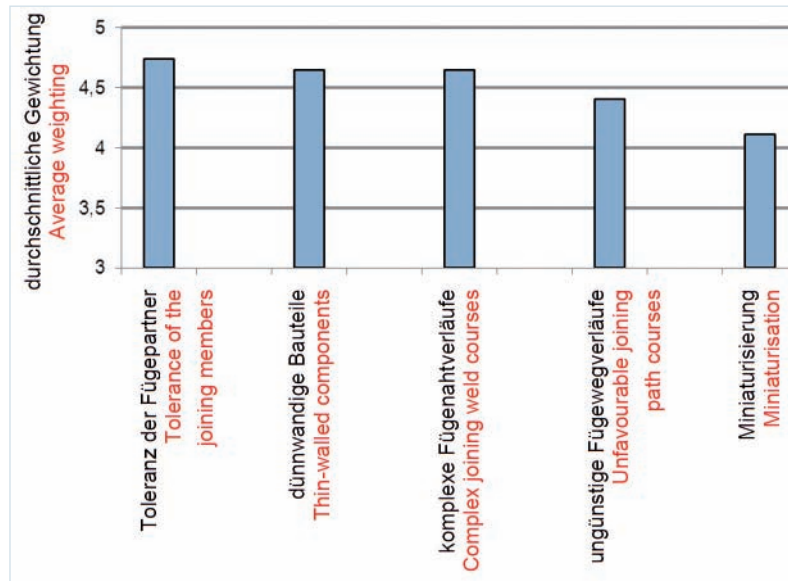


Bild 9: Geometrische Herausforderungen an die Verbindungstechnik (gewichtet nach 1 = keine Herausforderung bis 6 = hohe Herausforderung)

Fig. 9: Geometrical challenges relating to joining technology (weighted from 1 = no challenge to 6 = major challenge)

lichen Bewertung, besteht bei ungünstigen Fügewegverläufen sowie aufgrund der fortschreitenden Miniaturisierung der zu fügenden Bauteile.

Wird der Forschungsbedarf hinsichtlich konstruktiver Aspekte entsprechend nach den einzelnen Verfahren zum Fügen von Kunststoffen untergliedert, so zeigt sich, dass ähnlich wie bei den Fragen zum Forschungsbedarf aus werkstofflicher Sicht (vergleiche Kap. 3.2), nach Meinung der Umfrageteilnehmer erhöhte Forschungstätigkeit vor allem beim Schweißen und Kleben erforderlich ist, Bild 10.

Obwohl in den vorangegangenen Fragen bereits thematisiert, wurde in einer offenen Frage zum weiteren Forschungsbedarf hinsichtlich konstruktiver Aspekte mit einer deutlichen Mehrheit nochmals explizit die Berechnung und Simulation genannt, Bild 11.

Ähnliches gilt für Problemstellungen beim Fügen von Kunststoffen aufgrund der Toleranzen der Fügepartner, was ebenfalls in vorangegangenen Fragen bereits angeklungen ist. Darüber hinaus besteht nach Einschätzung der Teilnehmer der Studie

as well as the adhesive bonding of polyolefins. In the opinion of the participants in the survey, it is also important to refine the testing and inspection technology for better quality assurance.

### 3.3 Design

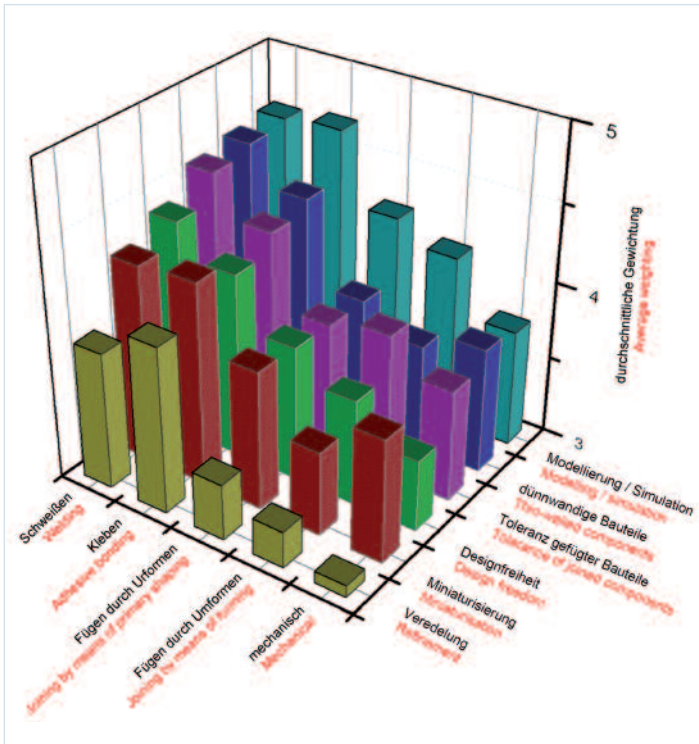
To a particular extent, plastics necessitate an all-encompassing consideration with regard to the structural design which, beyond the mechanical aspects, must take account of thermal, optical, electrical, acoustic and other utilisation-oriented requirements but can also use them in a targeted way. Even if joining technology is generally located at the end of the fabrication process chain, decisive significance is attached to complying with design-related aspects in relation to the joining processes especially at the beginning of the product development process. Therefore, it is important to highlight the need for research in the subject field of design. According to the survey, increased research activities from a design-related viewpoint are required with regard to the tolerance of the joining members

and to thin-walled components as well as for complex joining weld courses, Fig. 9. There is also a great need for research, even if smaller in the average assessment, in the case of unfavourable joining path courses as well as because of the advancing miniaturisation of the components to be joined.

If the need for research with regard to design-related aspects is divided according to the individual processes for joining plastics, it is shown that, similar to the case of the questions about the need for research from a material-related viewpoint (cf. Chap. 3.2), increased research activities are required, above all, with regard to welding and adhesive bonding in the opinion of the participants in the survey, Fig. 10.

Although this subject had already been addressed in the previous questions, calculation and simulation were once again named explicitly with a clear majority in an open question about the need for further research with regard to design-related aspects, Fig. 11.

A similar situation applies to problems relating to joining plastics because of



**Bild 10:** Forschungsbedarf hinsichtlich konstruktiver Aspekte, differenziert nach den entsprechenden Verbindungstechniken (gewichtet von 1 = kein Forschungsbedarf bis 6 = hoher Forschungsbedarf)

**Fig. 10:** Need for research with regard to design-related aspects, differentiated according to the corresponding joining technologies (weighted from 1 = no need for research to 6 = great need for research)

besonderer Forschungsbedarf hinsichtlich des Schutzes der Fügestelle vor Korrosion (bei Vorhandensein eines metallischen Fügepartners) beziehungsweise Alterung sowie aufgrund der Problematik unterschiedlicher Wärmeausdehnungen bei Mischmaterialverbindungen. Weitere wichtige Punkte sind die Berücksichtigung der Faserorientierung bei gefüllten Werkstoffsystemen, die Designfreiheit beziehungsweise die Füge-naht selbst als Designelement, die Minimierung von eventuell notwendiger Nacharbeit, die Realisierung von Hohlräumen oder nicht zuletzt die Lasteinleitung in flächige Strukturen.

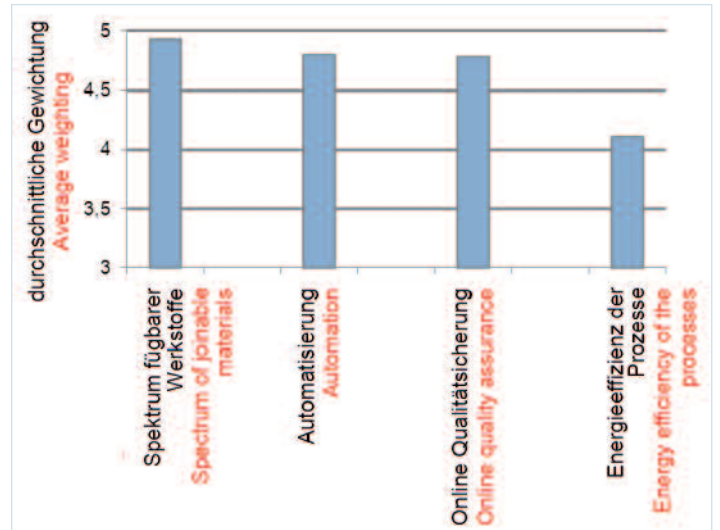
### 3.4 Prozesse

Aufgrund des stetig steigenden Anforderungsprofils der zu fügenden Bauteile sind auch die Fügeprozesse selbst durch eine fortschreitende Technologisierung gekennzeichnet. Die Vielfalt der Anforderungen reicht dabei von der Integration von Funktionselementen über Marktrends bei Werkstoffen (Optimierung der Verarbeitungs- und Gebrauchseigenschaften, Vielfalt von Funktionsfüllstoffen) bis hin zum Formteildesign (dreidimensionale Konturen, optisch sichtbare Verbindungsstellen, Variantenvielfalt). Von besonderem Interesse ist daher der aus diesen Anforderungen



**Bild 11:** Weiterer Forschungsbedarf beim Fügen von Kunststoffen hinsichtlich konstruktiver Aspekte (offene Frage)

**Fig. 11:** Need for further research into joining plastics with regard to design-related aspects (open question)



**Bild 12:** Zukünftige Herausforderungen an die Fügeprozesse (gewichtet nach 1 = keine Herausforderung bis 6 = hohe Herausforderung)

**Fig. 12:** Future challenges relating to the joining processes (weighted from 1 = no challenge to 6 = major challenge)

the tolerances of the joining members. This had already been heard in the previous questions too. In the estimation of the participants in the study, there is also a particular need for research with regard to the protection of the joint from corrosion (subject to the presence of a metallic joining member) and ageing as well as to the set of problems caused by different thermal expansions in the case of mixed-material joints. Other important points are the consideration of the fibre orientation in the case of filled material systems, the design freedom and the joining weld itself as a design element, the minimisation of any post-weld machining which may be necessary, the implementation of voids or, not least, the load introduction into large-area structures.

### 3.4 Processes

Because of the ever more stringent profile of requirements on the components to be joined, the joining processes

themselves are also characterised by advancing technologisation. In this respect, the diversity of the requirements extends from the integration of functional elements via market trends relating to materials (optimisation of the processing and utilisation properties and diversity of the functional fillers) right up to the moulding design (three-dimensional contours, optically visible joints and diversity of variants). Therefore, particular interest is centring on the future need for research resulting from these requirements on the joining processes.

According to the results of the survey, future challenges relating to the joining processes can be seen, above all, in the spectrum of joinable materials, in automation and in online quality assurance, Fig. 12. Thus, there is a somewhat smaller need for research with regard to the energy efficiency of the processes. This result is emphasised by a breakdown of the need for research into the joining processes according to the corresponding joining technologies, Fig. 13. The greatest need for research activities is seen in the case of online quality assurance.

The need for further development and research with regard to the automation of the processes and to the spectrum of materials joinable with each other is also on roughly the same level. Principally in the case of adhesive bonding and welding, unanswered questions are still seen in this connection. However,

an die Fügeprozesse resultierende zukünftige Forschungsbedarf.

Laut Umfrageergebnisse sind zukünftige Herausforderungen an die Fügeprozesse vor allem in dem Spektrum ffügbarer Werkstoffe, in der Automatisierung und in der Online-Qualitätssicherung zu sehen, Bild 12. Etwas weniger Forschungsbedarf besteht demnach hinsichtlich der Energieeffizienz der Prozesse.

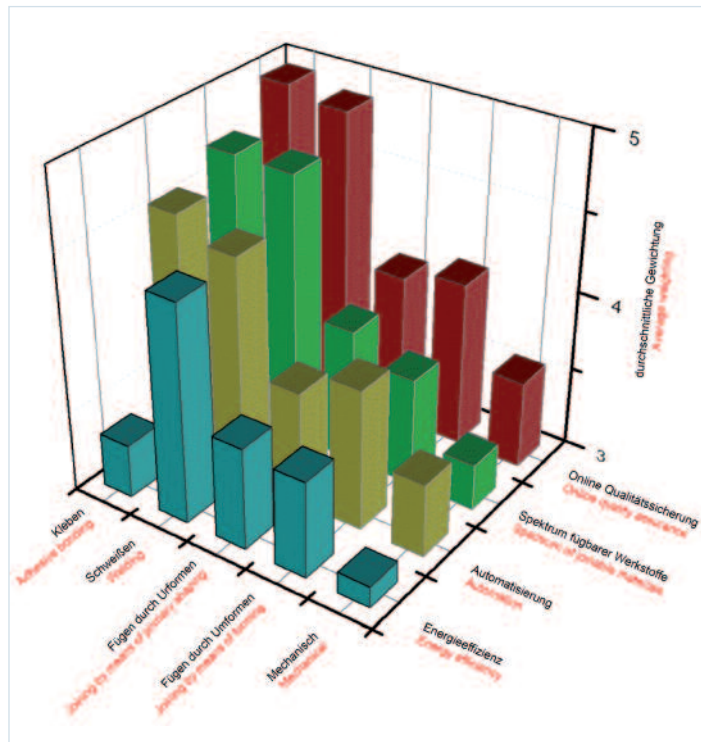
Eine Aufschlüsselung des Forschungsbedarfs bei den Fügeprozessen nach den entsprechenden Verbindungstechniken unterstreicht dieses Ergebnis, Bild 13. Der meiste Bedarf an Forschungsaktivität wird bei der Online-Qualitätssicherung gesehen.

Auf etwa dem gleichen Niveau bewegt sich auch der Bedarf an weiterer Entwicklung und Forschung bezüglich der Automatisierung der Prozesse und dem Spektrum miteinander ffügbarer Werkstoffe. Vor allem beim Kleben und Schweißen werden in diesem Zusammenhang noch offene Fragestellungen gesehen. Aber auch der Forschungsbedarf beim Fügen durch Ur- und Umformen ist hier nicht zu vernachlässigen. Wie bereits angedeutet, wird einer weiteren Forschung zur Steigerung der Energieeffizienz der Fügeprozesse vergleichsweise geringere Bedeutung beigemessen. Das Schweißen stellt hier eine Ausnahme dar. Offensichtlich besteht bei diesem Fügeverfahren ein hoher Bedarf hinsichtlich der Verbesserung der Energieeffizienz.

Etwa ein Fünftel der Befragten nannten in einer offenen Frage zum weiteren Forschungsbedarf hinsichtlich der Fügeprozesse nochmals die Online-Qualitätssicherung als wichtigste Thematik, Bild 14. Als zweitwichtigster Punkt wurde das Ziel einer Prozesszeitenverkürzung genannt. Mit 7% aller Antworten wurde der Bedarf an Prozessen für Mischmaterialverbindungen hervorgehoben. Darüber hinaus sind nach Ansicht der Befragten Themen wie das Einbetten elektronischer Komponenten, die Verringerung von Verunreinigungen durch den Fügeprozess, die Wirtschaftlichkeit und Großserientauglichkeit und nicht zuletzt die Prozesssimulation wichtige Ansatzpunkte für zukünftige Forschungsarbeiten.

**3.5 Eigenschaften gefügter Bauteile**

Kunststoffe sind in ihrem Verhalten komplexe Werkstoffe. Das viskoelastische Verhalten, die starke Temperaturabhän-



**Bild 13:** Forschungsbedarf hinsichtlich der Fügeprozesse, differenziert nach den entsprechenden Verbindungstechniken (gewichtet von 1 = kein Forschungsbedarf bis 6 = hoher Forschungsbedarf)

**Fig. 13:** Need for research with regard to the joining processes, differentiated according to the corresponding joining technologies (weighted from 1 = no need for research to 6 = great need for research)

the need for research into joining by means of primary shaping and forming should not be neglected here either. As already suggested, comparatively less significance is attached to further research into raising the energy efficiency of the joining processes. Welding constitutes an exception here. Obviously, there is a great need for improving the energy efficiency in the case of this joining process.

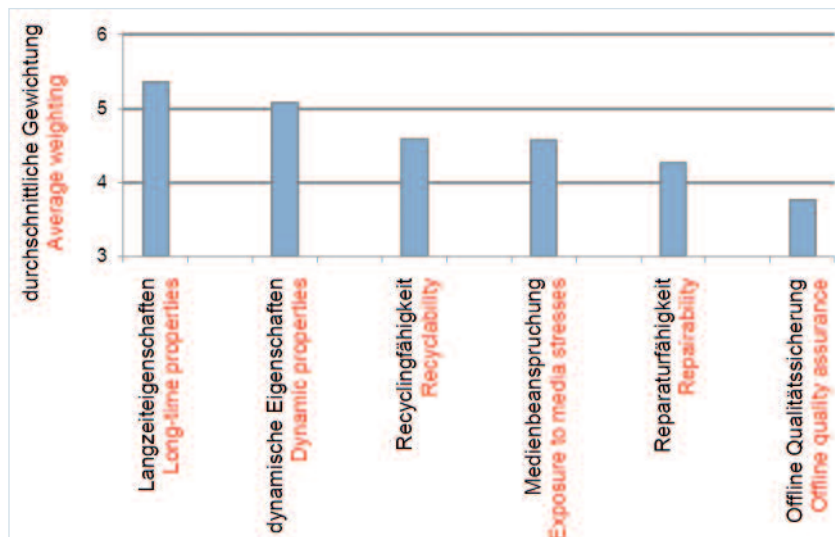
In an open question about the need for further research with regard to the joining processes, roughly a fifth of the surveyed people once again named online quality assurance as the most important complex of subjects, Fig. 14.

The objective of shorter process times was named as the second-most-important point. The need for processes for mixed-material joints was highlighted with 7% of all the answers. In the view of the surveyed people, subjects such as the embedding of electronic components, the decrease in contaminations caused by the joining process, economic viability, suitability for large-scale series and, not least, process simulation are also important starting points for future research work.



**Bild 14:** Weiterer Forschungsbedarf beim Fügen von Kunststoffen hinsichtlich der Prozesse (offene Frage)

**Fig. 14:** Need for further research into joining plastics with regard to the processes (open question)



**Bild 15:** Zukünftige Herausforderungen an die Eigenschaften gefügter Bauteile (gewichtet nach 1 = keine Herausforderung bis 6 = hohe Herausforderung)

**Fig. 15:** Future challenges relating to the properties of joined components (weighted from 1 = no challenge to 6 = major challenge)

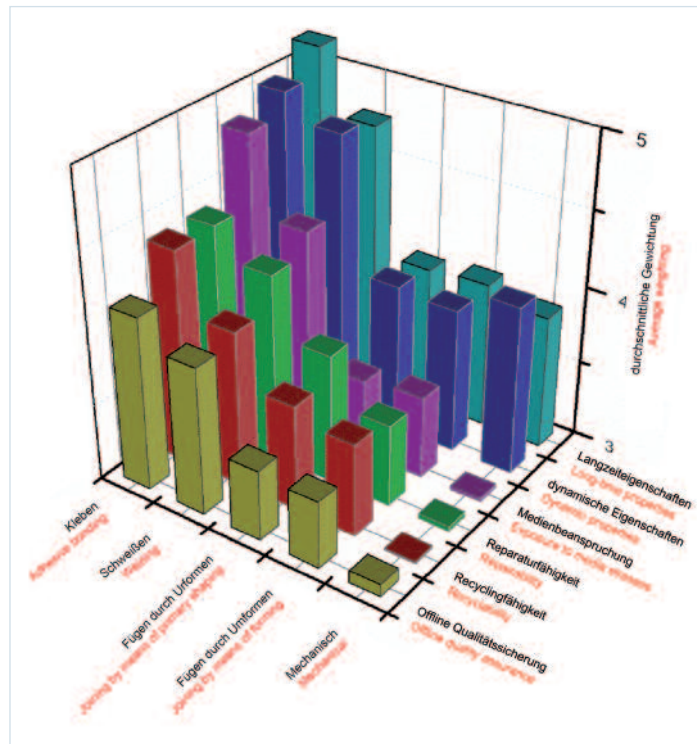
gigkeit der Eigenschaften und die vielfältigen Möglichkeiten partieller Modifikationen erschweren die einfache Erfassung beziehungsweise die Anwendung gebräuchlicher Berechnungsverfahren. Vermehrte Erkenntnisse und zunehmendes Wissen können die Anwendungsmöglichkeiten überdurchschnittlich erhöhen. Dies gilt in hervor- gehobenem Maße auch für die Eigen- schaften gefügter Kunststoffbauteile, weshalb es von besonderem Interesse ist, hinsichtlich welcher Eigenschaften im Speziellen die meiste Forschungsaktivität erforderlich ist.

Die größten Herausforderungen an die Eigenschaften gefügter Bauteile liegen nach Einschätzung der Befragten bei den Langzeiteigenschaften und den dynamischen Eigenschaften, Bild 15. Etwas weniger, aber mit einer durchschnittlichen Gewichtung von über 4 immer noch hoch ist der Forschungsbedarf hinsichtlich der Recyclingfähigkeit, der Medienbeanspruchung sowie der Reparaturfähigkeit der gefügten Bauteile.

Auch bei einer Differenzierung nach den entsprechenden Verbindungstechniken wird der höchste Forschungsbedarf bei den Langzeiteigenschaften und den dynamischen Eigenschaften, sowie den Verbindungseigenschaften unter Medienbeanspruchung gesehen, Bild 16. Besonders beim Schweißen und Kleben ist der Bedarf an weiterer Forschungs- tätigkeit hoch. Der Forschungsbedarf hinsichtlich der Langzeiteigenschaften von Klebeverbindungen erzielt den höchsten Wert innerhalb der gesamten Umfrage.

In einer offenen Frage zum Forschungsbedarf hinsichtlich der Eigenschaften gefügter Kunststoffbauteile wurde bei nahezu einem Drittel der genannten Themen nochmals explizit ein hoher Forschungsbedarf hinsichtlich der Langzeiteigenschaften beziehungsweise der Alterung von Verbindungen angegeben, Bild 17.

Am zweithäufigsten wurde die Thematik der Temperaturwechselbeanspruchung von gefügten Bauteilen genannt, was letztendlich in einem gewissen Zusammen- hang mit den Langzeiteigen- schaften steht. Weitere wichtige Punkte sind die Entwicklung von Methoden zur Prü- fung der Verbindungseigenschaften, die Modellierung und Simulation gefügter Bauteile sowie die Eigenschaften von Mischmaterialverbindungen.



**Bild 16:** Forschungsbedarf hinsichtlich der Eigenschaften gefügter Bauteile, differenziert nach den entsprechenden Verbindungstechniken (gewichtet von 1 = kein Forschungsbedarf bis 6 = hoher Forschungsbedarf)

**Fig. 16:** Need for research with regard to the properties of the joined components, differentiated according to the corresponding joining technologies (weighted from 1 = no need for research to 6 = great need for research)

#### 4. Zusammenfassung

Die Befragung von über 150 Teilnehmern aus Wirtschaft und Wissenschaft zeigt, dass in der Kunststoffverbindungstechnik allgemein nach wie vor hoher Forschungsbedarf besteht. Bei einer möglichen Gewichtung zwischen 1 = „kein Forschungsbedarf“ bis 6 = „hoher Forschungsbedarf“ lag die durchschnittliche Gewichtung bei der überwiegenden Mehrheit der Fragestellungen zwischen 3,5 und 5.

Die meiste Forschungsaktivität wird von industrieller Seite beim Schweißen und

#### 3.5 Properties of joined components

Plastics are complex materials as far as their behaviour is concerned. The viscoelastic behaviour, the strong temperature dependence of the properties and the diverse possibilities of partial modifications complicate the simple understanding and application of common calculation procedures. More findings and greater knowledge may lead to an above-average increase in the application possibilities. To an outstanding extent, this also applies to the properties of joined

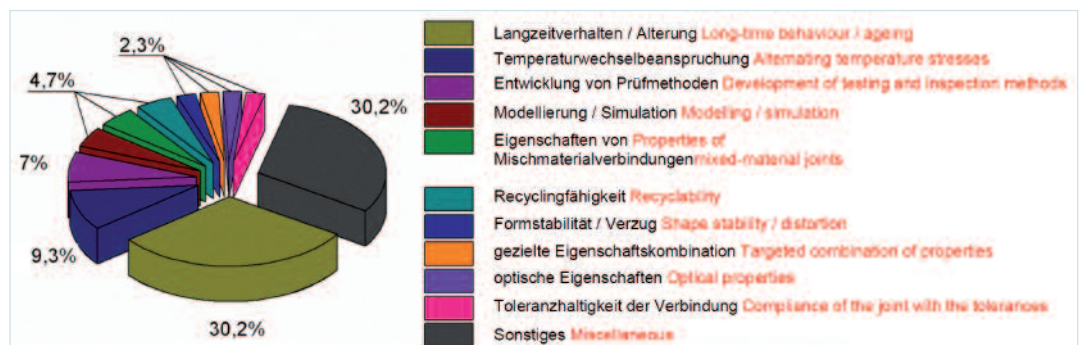
plastic components. For this reason, particular interest is centring on where most research activities are especially necessary with regard to which properties.

In the estimation of the surveyed people, the greatest challenges relating to the properties of joined components lie in the long-time properties and the dynamic properties, Fig. 15. The need for research with regard to the recyclability, the exposure to media stresses as well as the reparability of the joined components is somewhat smaller but, with an average weighting of over 4, still high. Also with regard to differentiation according to the corresponding joining technologies, the greatest need for research is seen in relation to the long-time properties, the dynamic properties as well as the joint properties when subjected to media stresses, Fig. 16.

The need for further research activities is great particularly in the case of welding and adhesive bonding. The need for research with regard to the long-time properties of adhesive-bonded joints reaches the highest value within the entire survey.

In an open question about the need for research with regard to the properties of joined plastic components, a great need for research with regard to the long-time properties and the ageing of joints was once again explicitly specified on nearly a third of the named subjects, Fig. 17.

The complex of subjects relating to alternating temperature stresses on joined components was named second most frequently. This is ultimately connected with the long-time properties in a certain way. Other important points are the development of methods for testing and inspecting the joint properties, the modelling and simulation of joined components as well as the properties of mixed-material joints.



**Bild 17:** Weiterer Forschungsbedarf beim Fügen von Kunststoffen hinsichtlich der Eigenschaften gefügter Bauteile (offene Frage)

**Fig. 17:** Need for further research into joining plastics with regard to the properties of joined components (open question)



Kleben gefordert. Der Forschungsbedarf beim Fügen durch Ur- und Umformen sowie bei der mechanischen Verbindungstechnik wird zwar vergleichsweise geringer eingeschätzt, liegt aber mit einer durchschnittlichen Bewertung von meist über 3 ebenfalls auf insgesamt hohem Niveau.

Besondere Bedeutung in der Zukunft wird laut Umfrage den Faserverbundkunststoffen beigemessen, und damit einhergehend auch der Verbindungstechnik für diese Werkstoffgruppe. Aus werkstofflicher Sicht besteht des Weiteren hoher Forschungsbedarf bei hybriden Werkstoffkombinationen, also beim Verbinden von beispielsweise Kunststoffen mit Metallen, Thermoplasten mit Duroplasten oder Hochtemperaturthermoplasten mit technischen Thermoplasten.

Offene Fragestellungen werden auch hinsichtlich der Modellierung und Simulation gesehen, sowohl bei den Fügeprozessen selbst als auch bei den späteren Eigenschaften der gefügten Bauteile. Im Zusammenhang mit den Fügeprozessen besteht darüber hinaus hoher Forschungsbedarf bei der Weiterentwicklung von Online-Qualitätssicherungsstrategien.

Besonders hervorgehoben wurde seitens der Teilnehmer der Studie der Forschungsbedarf bezüglich der Langzeiteigenschaften gefügter Bauteile. Dies

bezieht sich sowohl auf deren Vorhersage, auf die Entwicklung von entsprechenden Prüfmethode als auch auf den Schutz vor Alterung beziehungsweise Korrosion. In diesem Zusammenhang wurde ebenfalls der Bedarf an weiterer Forschungstätigkeit hinsichtlich der Verbindungseigenschaften bei Temperaturwechselbeanspruchung und Medienbeanspruchung genannt.

Bereits in der Vergangenheit war die Füge-technik durch eine kontinuierliche Technologisierung gekennzeichnet, und eröffnet heute zahlreiche Kombinationsmöglichkeiten auf Basis eines breiten Spektrums an Fügeprozessen und fügen Werkstoffen. Die fortschreitende Entwicklung in Leichtbau und erneuerbaren Energien ist gekennzeichnet durch eine zunehmende Komplexität der zu fügenden Bauteile, einer steigenden Funktionsdichte und nicht zuletzt durch einen intelligenten Multi-Material-Mix („material on local demand“). Kunststoffe besitzen ein großes Potential diesen Anforderungen gerecht zu werden. Damit steht die Füge-technik als integraler Bestandteil der Wertschöpfungskette bereits heute vor großen Herausforderungen. Dem entsprechend besteht mehr denn je ein hoher Forschungsbedarf in der Kunststoff-Verbindungstechnik. Die durchgeführte Studie liefert hierzu wichtige Impulse für die industrielle Gemeinschaftsforschung.

#### 4. Summary

The survey of over 150 participants from the economic and scientific fields shows that, in general, there continues to be a great need for research in plastics joining technology. With a possible weighting from 1 = "no need for research" to 6 = "great need for research", the average weighting was between 3.5 and 5 for the overwhelming majority of the questions. The industrial sector is demanding most research activities with regard to welding and adhesive bonding. Although the need for research into joining by means of primary shaping and forming as well as into mechanical joining technology is rated as comparatively smaller, it is also on a high level all in all with an average assessment of over 3 in most cases.

According to the survey, particular significance in the future will be attached to the fibre composite plastics and, in association with these, also to the joining technology for this group of materials. From a material-related viewpoint, there is also a great need for research into hybrid material combinations, i.e. for the joining of (for example) plastics with metals, thermoplastics with thermosetting plastics or high-temperature thermoplastics with technical thermoplastics.

Unanswered questions are also seen in relation to modelling and simulation, with regard not only to the joining processes themselves but also to the subsequent properties of the joined components. In connection with the joining processes, there is also a great

need for research into the refinement of online quality assurance strategies. The participants in the study placed particular emphasis on the need for research with regard to the long-time properties of joined components. This relates not only to predicting these properties and developing corresponding testing and inspection methods but also to protecting these components from ageing and corrosion. The need for further research activities with regard to the joint properties when subjected to alternating temperature stresses and to media stresses was also specified in this connection. Joining technology was already characterised by continuous technologisation in the past and is today opening up a large number of combination possibilities on the basis of a wide spectrum of joining processes and joinable materials. The advancing development in lightweight construction and renewable energies is characterised by an increasing complexity of the components to be joined, by a rising density of functions and, not least, by an intelligent multi-material mix ("material on local demand"). Plastics have a great potential for satisfying these requirements. As an integral constituent of the value added chain, joining technology is thus already facing major challenges today. Correspondingly, there is a great need for research in plastics joining technology more than ever. For this purpose, the conducted study supplies important stimuli for joint industrial research.



## Unser DVD-Tipp

### „Kunststoffsweißtechnik in der Praxis“

Bei der heutigen Vielfalt der Kunststoffarten und Anwendungen sind zur kompetenten Auswahl und fachgerechten Ausführung des jeweils geeigneten Schweißverfahrens umfangreiche theoretische und praktische Kenntnisse erforderlich.

Die neu erschienene DVD „Kunststoffsweißtechnik in der Praxis“ verschafft einen umfassenden Überblick über die Kunststoffsweißverfahren und dient zur vertiefenden Information über die schweißtechnische Verarbeitung von Kunststoffen sowie zur Schulung von Schweißpersonal.

Die DVD enthält über 30 Filme zu den konventionellen und zu neuen Kunststoff-Schweißverfahren. Die Filme vermitteln durch Aufnahmen aus der Arbeitspraxis, 3-D-Animationen und erklärendem Text präzise, klar verständlich und praxisnah die fachgerechte Ausführung, die ablaufenden Prozesse und die zu beachtenden Besonderheiten der Schweißverfahren.

DVS Media GmbH • Aachener Str. 172 • 40223 Düsseldorf

Tel: +49 (0) 211/15 91 161 • Fax: +49 (0) 211/15 91 250 Mail: media@dvs-hg.de • www.dvs-media.info



Herausgeber: tibb e. V.  
Bestell-Nr. 500 252

Preis: 29,95 EUR

