



*Good news  
for your business*

# magazin

REPRINT

SONDERDRUCK

Hennecke GmbH, St. Augustin

PUR Composite Spray Moulding (PUR-CSM)

PU MAGAZIN Juni/Juli 2005

PU MAGAZINE International July 2005



Postfach 1041 25  
D-40852 Ratingen

# PUR Composite Spray Moulding (PUR-CSM)

Mit der PUR-CSM-Technologie hat Hennecke ein flexibles und effizientes Produktionskonzept entwickelt, mit der die verschiedensten PUR-Sprühtechnologien zur Herstellung von lang- oder endlosfaserverstärkten Bauteilen oder auch von Compound-Formteilen aus gefüllten PUR-Systemen abgedeckt werden können. Auch eine gezielte Kombination der verschiedenen Fertigungstechnologien ist möglich, da die verschiedenen CSM-Verfahrensvarianten auf ein und demselben Maschinenkonzept beruhen. Damit können die spezifischen Vorteile der einzelnen Fertigungsverfahren in idealer Weise in einem Bauteil vereint werden. Für den Verarbeiter bedeutet dies ein Maximum an Flexibilität.

Im Besonderen werden in diesem Beitrag die systembedingten Merkmale der Hennecke-Sprühtechnologie erläutert sowie deren Vorteile am Beispiel von PUR-CSM zur Herstellung von Sandwichbauteilen mit Wabenkern und der Variante zur Fertigung von Langglasfaser verstärkten PUR-Formteilen im offenen Verfahren mit dem Multitec® Rohstoffsystem verdeutlicht.

## 1. Einleitung

Die Luftfahrtindustrie hat es erfolgreich vorgebracht. Dort, wo es in extremer Weise auf Gewichtsreduzierung bei gleichzeitig hohen Anforderungen an die Werkstoffeigenschaften ankommt, haben hoch entwickelte Sandwich-Verbundwerkstoffe aus Kernelementen mit einer Wabenstruktur und belastbaren, zugfesten Deckschichten längst Hochkonjunktur. In Zukunft kommt es darauf an, die Sandwichbauweise immer weiter an die Großserienfertigung mit ihren spezifischen Bauteil-, Produktivitäts- und Rentabilitätsanforderungen anzupassen. Die Firma Hennecke und die Bayer MaterialScience AG haben die Entwicklung auf diesem Gebiet durch die Bereitstellung spezifischer PUR-Systeme wie Baypreg® F sowie entsprechender Ferti-

gungstechnologien schon frühzeitig vorangetrieben. PUR-CSM Baypreg® Sandwich als Fertigungsverfahren stellt jedoch nur eine interessante Variante zur Produktion funktionaler Bauteile aus faserverstärktem Polyurethan (PUR) dar, wie dieser Beitrag zeigen wird.

## 2. PUR-CSM: Polyurethan Composite Spray Moulding

Bei PUR-Faserverbundbauteilen kann grundsätzlich unterschieden werden zwischen glas- und naturfaserverstärkten Bauteilen sowie zwischen monolithischen Bauteilen und Sandwich-Konstruktionen. Die Hennecke GmbH bietet diesbezüglich unter dem Oberbegriff **PUR-CSM** – abgeleitet von den Begriffen **Composite** für faserverstärkte Bauteile oder Formteile aus gefüllten PUR-Systemen und **Spray Moulding** als Kernelement der Verarbeitung – diverse Sprühtechnologien an, die sich in vielen Anwendungen schon bewährt haben (**Abb. 1**). Darüber hinaus bietet die PUR-CSM-Maschinenteknik die Option, die verschiedenen Fertigungsverfahren gezielt zu kombinieren, so dass deren verfahrensspezifischen Vorteile idealerweise in einem Bauteil vereint werden können.

Zur Herstellung langglasfaserverstärkter Formteile, bei denen statt vorgefertigter Fasermatten Glasrovings von der Rolle in beliebige Längen zugeschnitten und verarbeitet werden, kommt das PUR-CSM-Verfahren hier beispielsweise mit dem Bayer MaterialScience Rohstoff Baydur® STR zum Einsatz. Polyurethan und Glasrovings werden gleichzeitig in das geöffnete Werkzeug eingetragen, wobei die geschnittenen Glasfasern von außen dem PUR-Sprühstrahl zudosiert werden. Anschließend erfolgt die Ausformung des Formteils durch Ausschäumen im geschlossenen Werkzeug. Die regellose Verteilung der Glasfasern verleiht dem Fertigteile eine hohe mechanische Festigkeit in allen Belastungsrichtungen.

PUR-CSM zur Verarbeitung von Multitec® ist die neueste von verschiedenen praxisbewährten Varianten, die Hennecke unter dem Begriff PUR-CSM anbietet. Hier werden ebenfalls geschnittene Langglasfasern zusammen mit dem PUR-Gemisch in eine offene Form eingetragen. Der wesentliche Unterschied zur PUR-CSM Baydur® -Variante besteht darin, dass das PUR-Gemisch in mehreren Schichten – kompakt oder geschäumt und wahlweise verstärkt oder unverstärkt – aufgetragen wird und in der offenen Form bei Raumtemperatur in moderaten Formzeiten aushärtet.

Naturfasermatten aus Hanf, Sisal, Flachs etc. können nach dem CSM-Verfahren unter Einsatz von Baypreg® F oder ähnlichen Rohstoffsystemen zu dünnwandigen, extrem leichten Automobil-Formteilen mit hohem Biege-E-Modul und hoher Biegefestigkeit verpresst werden. Die Gewichtseinsparung gegenüber gleichen Teilen aus konventionellen Materialien liegt zwischen 30 bis 45 %, abhängig vom Gewicht der Naturfasermatten. Das Verfahrensprinzip beruht auf dem Besprühen der Naturfasermatten aus Flachs, Sisal, Hanf etc. mit einem speziellen PUR-Sprühsystem und dem anschließenden Verpressen und Aushärten des mit PUR benetzten Faserhalbzeugs zum Verbundbauteil.

Mit der gleichen Rohstoff-Familie lassen sich auch Sandwich-Konstruktionen herstellen. Durch den Einsatz von Baypreg® F als Rohstoffsystem lassen sich Fertigteile realisieren,

\* Dr. Ingo Kleba, Produktmanager Automotive  
Gero Willmeroth, Vertriebsleiter Formschaumanlagen  
Hennecke GmbH, St. Augustin  
Zweitveröffentlichung mit freundlicher Genehmigung  
der VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf  
Vortrag, Polyurethan 2005, 26.–27. Januar 2005,  
Baden-Baden, VDI-Gesellschaft Kunststofftechnik

die über ein außergewöhnliches gewichtsspezifisches Eigenschaftsspektrum verfügen und ein größeres Leichtbaupotenzial als andere Sandwich-Elemente besitzen. Das macht sie nicht nur für den Automobilbau interessant.

Als sehr junge Verfahrensvarianten, die ihre Zukunft noch vor sich haben, sind die Herstellung von Sandwich-Bauteilen und die Verarbeitung von Multitec® Gegenstand der weiteren Ausführungen.

### 3. Merkmale der PUR-CSM-Sprühtechnologie

Die Hennecke-Sprühtechnologie als Grundbestandteil aller Varianten des PUR-CSM-Verfahrens zeichnet sich durch eine Reihe spezifischer Verfahrensmerkmale aus. Hier ist zunächst das Wissen über betriebspunkt-spezifische Sprühdüsen-Kennlinien, in denen die effektive Sprühbreite als Funktion der Austragsleistung und des Sprühabstandes festgehalten ist, und das charakteristische Sprühbild der Sprühdüse zu nennen (Abb. 2). Ersteres erlaubt die Auswahl einer geeigneten Sprühdüse sowie die Identifizierung von richtiger Austragsleistung und Sprühabstand zur Planung des Sprühbildes für eine konkrete Anwendung.

Das charakteristische Sprühbild ist hingegen die elementare Voraussetzung dafür, dass bei der Auslegung des Sprühprozesses die Bahnen mit einem definierten Überlappungsbereich zum letztendlichen Sprühbild zusammengefügt werden können, ohne dabei lokale Masseanhäufungen an PUR in Kauf nehmen zu müssen. Abbildung 3 verdeutlicht dies schematisch am Beispiel eines gemessenen Sprühprofils, d. h. der typischen, glockenförmigen Masseverteilung mit abnehmender PUR-Menge zu den Rändern hin, für einen definierten Sprühabstand und eine bestimmte Austragsleistung. Je nach Bauteilanforderung lässt sich dabei die Güte der Masseverteilung über den Bahnabstand regulieren. Bei Bedarf kann hier durch eine nur geringfügige Verkleinerung der Bahnbreite eine Anpassung der Sprühqualität an gehobene Bauteilansprüche herbeigeführt werden.

Insgesamt betrachtet sind neben der Anwendungserfahrung sowohl die Sprühdüsen-Kennlinien als auch das charakteristische Sprühprofil der Garant für eine schnelle Auslegung des Sprühprozesses sowie eine sehr gleichmäßige PUR-Verteilung – letzteres ist die Grundvoraussetzung zur Produktion qualitativ hochwertiger Teile. Abbildung 4 verdeutlicht die hohe Sprühqualität am Beispiel eines Schiebedachkassette. Inclusive der Wendepunktbereiche wurde hier eine sehr geringe Flächengewichtsschwankung (kleiner Pro-

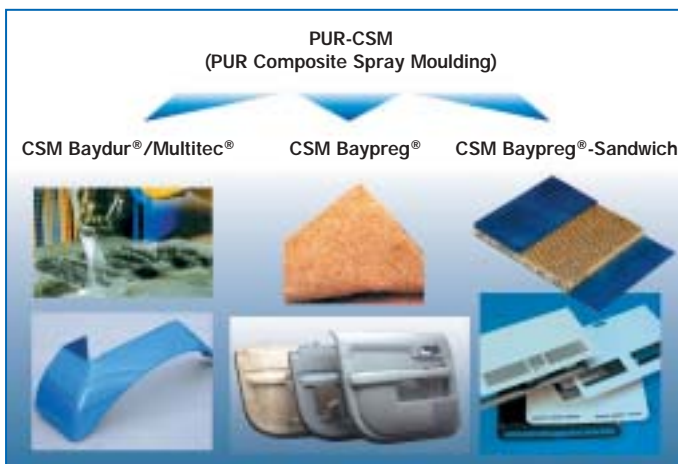


Abb. 1: Verfahrensvarianten der PUR-CSM-Technologie

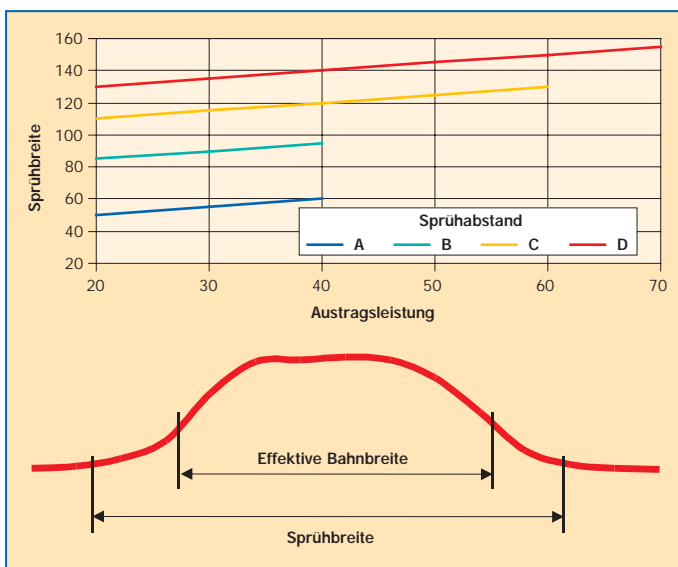


Abb. 2: Beispiel einer Sprühdüsen-Kennlinie (links) und charakteristisches Sprühbild der Hennecke-Sprühdüse (rechts)

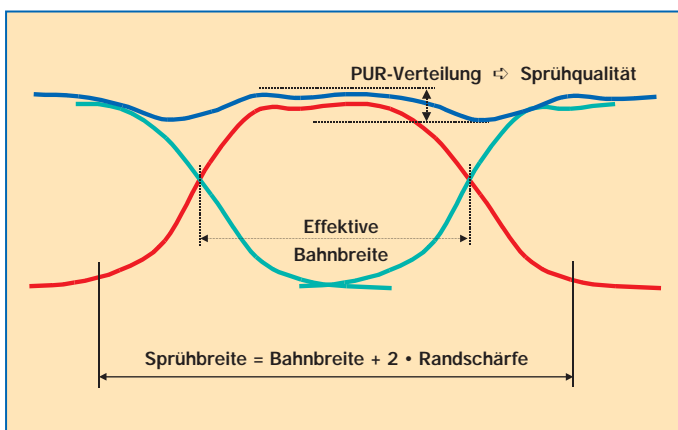


Abb. 3: Schematische Darstellung der Auslegung eines Sprühprozesses

bendurchmesser von nur 30 mm) von unter  $\pm 10\%$  erreicht, womit die PUR-Verteilung ebenso gut ist wie die der Glasfasern einer Matte.

Weitere Merkmale der Hennecke-Sprühtechnik im Überblick sind:

- Großer Austragsleistungsbereich der Sprühdüsen z. B. zur flexiblen Anpassung des Materialauftrags bei laufender Produktion – vom großflächigen Auftrag bis zum lokal gezielten Auftrag im Rand- oder Kantenbereich
- Keine Reinigung der Sprühdüse von Schuss zu Schuss und somit geringer Wartungsaufwand
- Hohe Prozessstabilität und Maschinenverfügbarkeit
- Geringer Overspray
- Möglichkeit zur Kombination der verschiedenen PUR-CSM-Technologien.

Die hier erläuterten Merkmale der Hennecke-Sprühtechnik werden seit nunmehr fast zehn Jahren in den verschiedensten Praxisanwendungen und Verfahrensvarianten genutzt. Die PUR-Sprühtechnologie steht aber erst am Anfang ihrer Geschichte. Ihre Potenziale sind bei Weitem noch nicht ausgeschöpft, wie die folgenden Beispiele zeigen werden.

#### 4. PUR-CSM zur Herstellung von Sandwichformteilen

Wenn es um Gewichtseinsparung bei gleichzeitig sehr hoher Biegesteifigkeit geht, sind PUR-Sandwichverbunde „unschlagbar“. Solche Sandwichformteile bestehen aus Kernlagen mit einer Waben- oder Wellenstruktur und glasfaserverstärkten Deckschichten mit einer Polyurethanmatrix. Je nach Anwendungsfall steht eine Vielzahl von Kernmaterialien zur Verfügung, wie Papier, Aluminium und Kunststoffe – auch Schäume sind denkbar. Die weiteste Verbreitung haben derzeit Wabenstrukturen aus Papier. Das Verpressen der Deckschichten mit den Kernlagen erfolgt dabei mit speziellen thermisch aktivierten PUR-Systemen wie dem System Baypreg® F von Bayer MaterialScience, welches als Matrixwerkstoff der Deckschichten dem

Materialverbund schließlich seine Endeigenschaften verleiht.

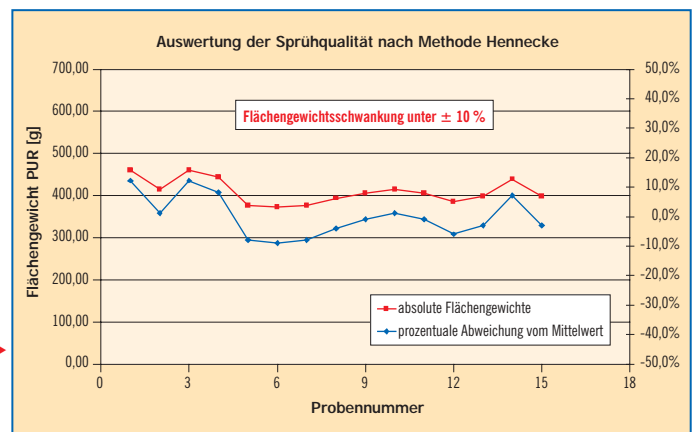
Die Herstellung solcher Sandwichverbunde erfolgt durch die Kombination eines PUR-Sprühauftrages mit einem Pressprozess zur Formgebung. Die einzelnen Prozessschritte sind **Abbildung 5** zu entnehmen.

Neben den oben erläuterten Vorteilen zeichnet sich PUR-CSM Baypreg® Sandwich dabei durch die folgenden weiteren Leistungsmerkmale aus:

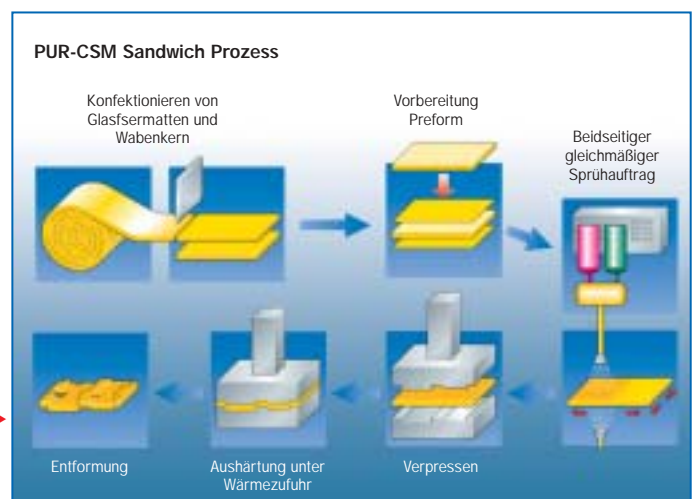
- Keine Vorformung des Sandwich-Preforms erforderlich
- Effektive Ausformung unter Wärmezufuhr (120 – 140 °C) bei moderaten Formindrücken von 10 – 40 bar und schnelle Aushärtung des Formteils in 45 - 90 s
- Direktes Einschäumen von Befestigungselementen und Einlegern.

Im Bedarfsfall lässt sich das Sandwich-Verfahren auch durch die CSM Baydur® Variante in idealer Weise ergänzen. Dies ist z. B. notwendig, um zusätzliche partielle Verstärkungen zu erhalten, u. a. zur Versteifung von Befestigungselementen im Kraffteinleitungsbereich oder zur Vermeidung von Schwachstellen durch Abscherungen in Bereichen hoher Verstreckungsgrade. Zudem können hierdurch zusätzliche Versteifungsrippen (**Abb. 6**) dargestellt oder auch die Randbereiche des Bauteils gezielt verstärkt werden. Durch diese Verfahrenskombination lässt sich der Materialeinsatz auf ein notwendiges Minimum reduzieren. Der Schlüssel hierzu liegt in der Tatsache, dass für beide Technologien der gleiche Sprühmischkopf verwendet wird und die Zufuhr der Glasfasern bei CSM Baydur® außerhalb von Mischkopf und Sprühvorsatz erfolgt. Damit kann der Sprühmischkopf seiner Hauptaufgabe – gleichmäßiger und großflächiger PUR-Auf-

**Abb. 4:**  
Sprühverteilung am Beispiel einer Schiebedachkassette



**Abb. 5:**  
Verfahrensablauf PUR-CSM zur Herstellung von Sandwich-Bauteilen



trag – gerecht werden. Die Synergie beider Verfahren, die durch eine gezielte technologische Konsolidierung möglich wurde, kann somit genutzt werden, um dem steigenden Kostendruck bei gleichzeitig zunehmender Funktionalität der Bauteile gerecht zu werden. Mehr noch hat der Anwender die Möglichkeit, mit ein und derselben Anlage beide CSM-Varianten zu betreiben.

Die besonderen Merkmale der aus dem CSM-Verfahren resultierenden PUR-Sandwichverbunde lassen sich wie folgt charakterisieren:

- Sehr hohe Faseranteile in den Deckschichten von ca. 50 %
- Leichtbau pur: Sehr steife und gleichzeitig leichte Bauteile
  - Mehr als 25 % höheres mech. Eigenschaftsniveau als andere PUR-Sandwichbauteile bei gleichem Bauraum und Flächengewicht oder

Abb. 7: Gestaltungsfreiheit bei einem Bayreg-Sandwichformteil



- Mehr als 30–35 % geringeres Gewicht bei gleichen Eigenschaften
- Große Gestaltungsfreiheit für Designer (Abb. 7)
- Homogene Eigenschaften aufgrund des Einsatzes von Glasfasermatten in Kombination mit der guten Hennecke-Sprühqualität
- Hohe Wärmeformbeständigkeit und gute Dimensionsstabilität.

## 5. PUR-CSM zur Verarbeitung von Multitec®

Bei der Verarbeitung des PUR-Sprühsystems Multitec® nach dem PUR-CSM Verfahren ist die Bezeichnung „Multi“ zum einen charakteristisch für seine Mehrkomponentigkeit:

- Isocyanat
- Polyol A (schnell)
- Polyol B (langsam)
- Treibmitteladditiv
- Geschnittene Verstärkungsfasern
- Farbkomponente (optional).

Der Begriff „Multi“ steht jedoch gleichermaßen für die geschichtete Struktur (unverstärkt/faserverstärkt) des fertigen Formteils. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass „Multi“ ein Synonym für Flexibilität in Sachen Verarbeitungseigenschaften, Schichtaufbau und Werkstoff-Performance ist.

Die daraus resultierenden Merkmale des PUR-Systems Multitec® lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Variable Einstellung der Reaktivität durch Kombination der beiden Polyole
- Formzeiten von wenigen Minuten
- Kein Nachtempern erforderlich
- Kein Einsatz von Lösemitteln
- Gezielte Einstellung des mechanischen Eigenschaftsniveaus durch Zugabe geschnittener Glasfasern
- Einsatz des Treibmitteladditivs zur
  - Erzeugung von Sandwichstrukturen mit Schaumkern
  - Ausformung kompl. Geometriebereiche
- Gute Lackierbarkeit durch geschlossene/kompakte Oberflächenstruktur.

Hinsichtlich der Verarbeitung zeichnet sich das Material dadurch aus, das durch den schichtweisen Sprühauftrag in die offene Form lediglich eine Formhälfte notwendig ist, die aufgrund der geringen mechanischen und thermischen Belastung durchaus aus einem Kunstharz bestehen kann, und dass auf einen Formträger verzichtet werden kann. Gerade dieser Aspekt macht diese Prozesstechnik für kleinere bis mittlere Stückzahlen und/oder größere Formteile interessant, da hier die Formkosten und der Invest für einen Formträger erheblich ins Gewicht fallen.

Ein typischer Prozessablauf bei PUR-CSM Multitec® sieht dabei wie folgt aus:

- Eintrennen des Werkzeugs und direkter Mehrschicht-Sprühauftrag in die Form
- Optionales Eintragen eines Gelcoats oder Einlegen einer vorgeformten Oberflächenfolie
- Auftrag der 1. Multitec®-Schicht (kompakt, ohne Verstärkungsfasern)
- Auftrag der 2. Multitec®-Schicht (kompakt, verstärkt)
- Auftrag der 3. Multitec®-Schicht (kompakt, ohne Verstärkungsfasern)
- Aushärtung und Entformung.

Abbildung 8 zeigt exemplarisch ein folienkaschiertes Prototyp-Bauteil, das nach obigem Prozessablauf gefertigt wurde, sowie dessen Schichtstruktur.

Die verfahrensspezifischen Besonderheiten der Multitec®-Verarbeitung mittels der PUR-CSM Hochdrucktechnik lassen sich wie folgt zusammenfassen:

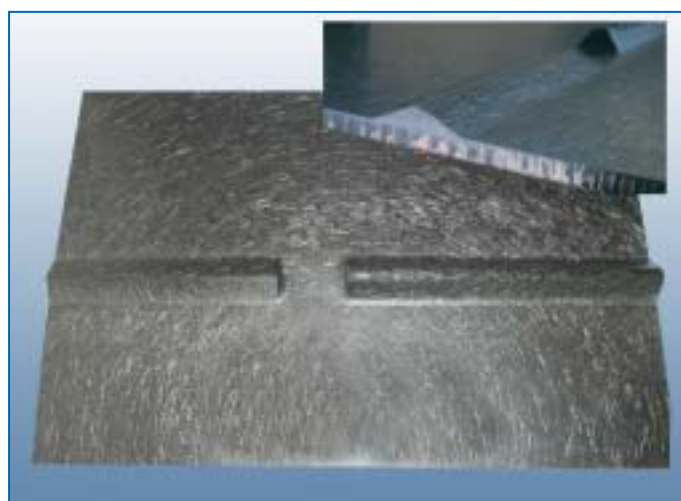


Abb. 6: Verstärkungsrippe auf einem CSM Bayreg® Bauteil, erzeugt durch lokalen Einsatz von CSM Baydur®

- Faserlängen von 5 – 12,5 mm bei Faseranteilen von 10 – 25 %
- Hoher Automatisierungsgrad durch Roboter-Einsatz
- Sehr gleichmäßiger und reproduzierbarer Materialauftrag
- Kurze Prozesszeiten und hohe Produktivität
- Dicken der Einzelschichten von < 1 mm möglich
- Besprühen schräger Flächen (z. B. 70°-Neigung) ohne Ablaufen.

Zentraler Bestandteil einer CSM Anlage ist dabei neben dem Sprühmischkopf das Schneidwerk samt Faserzuführeinheit sowie das Equipment zur Faserzuführung von der Rovingabzugstation. **Abbildung 9** zeigt den PUR-CSM-Sprühmischkopf mit Schneidwerk und Faserzuführeinheit, wie er auch für CSM Baydur® eingesetzt wird, und dessen Funktionsprinzip.

Die Besonderheiten des CSM-Maschinenkonzeptes zum Langfasersprühen sind:

- Gute Faserbenetzung außerhalb des Mischkopfes
- Glasaustragsleistungen von bis zu 250 g/s bei moderaten Fadengeschwindigkeiten (bis 50 % Glasanteil, variable Länge)
- Zuverlässige Glaszuführung
- Stufenlose Mengenänderung
- gezielte Ablage des PUR/Glas-Compounds.

Der Einsatzbereich der PUR-CSM Multitec® Variante ist – wie oben bereits angesprochen – grundsätzlich in der Fertigung von größeren Bauteilen und/oder in kleineren bis mittleren Serien zu sehen. Schwerpunkt ist dabei einerseits die Substitution klassischer GFK-Bauteile in Form von Handlaminaten und Fasersprühanwendungen wie z. B. zur rückseitigen Verstärkung von Bade- und Duschwannen. Im Bereich der GFK-Verarbeitung (glasfaserverstärkte Kunststoffe) nehmen diese so genannten offenen Verfahren mit 340000 t/a ca. 35 % der Gesamtproduktion an GFK in Europa von etwa 1 Mio. t/a ein (Zahlenangaben für 2000, 2001 und 2002 (geschätzt); AVK-TV). Innerhalb der offenen Verfahren werden dabei ca. 35 % der GFK-

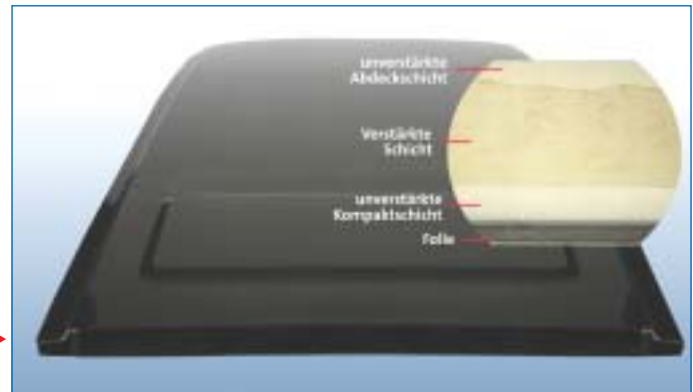
Produkte im Faserspritzverfahren und 65 % im Handlaminierverfahren hergestellt. Bevorzugte Matrixwerkstoffe sind Epoxidharze (EP-Harze) und insbesondere ungesättigte Polyesterharze (UP-Harze). Problematisch erweisen sich dabei die Lösemittel- und Styrol-Emission in Kombination mit einer verschärften Umweltgesetzgebung. Hierfür bietet Multitec® eine Lösung.

Weiterer Einsatzbereich sind Bauteile mit höheren Ansprüchen an die Oberflächenqualität, da aufgrund der geschlossenen Oberflächenstruktur sowohl bei lackierten als auch folienkaschierten Teilen ein spezifischer Vorteil erreicht werden kann. Potenzielle

Anwendungen sind dabei Anbauteile im Landmaschinen- und Nutzfahrzeugsbereich. Da man hier jedoch erst am Anfang der Entwicklung steht, sind noch zahlreiche weitere Anwendungen denkbar.

## 6. Fazit und Zukunftsperspektiven

Mit der PUR-CSM-Technologie bietet Hennecke ein Maschinenkonzept für verschiedene Fertigungslösungen an. Der Verarbeiter erschließt sich mit der PUR-CSM-Technologie somit ein hohes Maß an Flexibilität. ■



**Abb. 8:**  
PUR-CSM Multitec® Bauteil mit Folienkaschierung



**Abb. 9:**  
Langfasersprühen bei PUR-CSM

# PUR composite spray moulding (PUR-CSM)

With its PUR-CSM technology Hennecke has developed a flexible and efficient production concept covering the diverse PU spraying technologies for the production of long or endless fibre reinforced components or compound mouldings made of filled PU systems. Even a selective combination of the various technologies is possible because the different CSM process variants rely on one and the same machine design. As a result, the specific advantages of the different production methods can be ideally united in a component. Processors will thus gain maximum flexibility. The paper focuses on the system-inherent characteristics of Hennecke's spray technology and illustrates its advantages on the example of the PUR-CSM process for manufacturing sandwich components with honeycomb cores and the variant for producing long fibre reinforced PU mouldings in an open process using the Multitec® raw material system.

## 1. Introduction

It was the aircraft industry which successfully led the way. In an environment where lightweighting is just as essential as achieving material properties to the most exacting standards, advanced sandwich composites utilizing a honeycomb core structure and facings of high load resistance and tensile strength have long become widespread. The challenge now lies in steadily adapting the sandwich principle to high-volume manufacturing environments with their specific demands on products, productivity and return on investment. Hennecke and Bayer MaterialScience AG have been driving this development by delivering specific PU systems such as Baypreg® and corresponding production technologies from a very early date. However, as we shall see below, PUR-CSM Baypreg® Sandwich as a production process is but one of several interesting variants for

making functional components from fibre-reinforced polyurethane (PU).

## 2. PUR-CSM: Polyurethane Composite Spray Moulding

In the field of fibre-reinforced PU composites, a basic distinction can be made between glass and natural fibre-reinforced products as well as between monolithic or sandwich structures. Under the heading **PUR-CSM** (derived from the term *composite* for fibre-reinforced or filled PU products and *spray moulding* denoting the key processing technology), Hennecke GmbH offers a variety of well-proven spray technologies (**Fig. 1**). Moreover, the PUR-CSM machine concept

makes it possible to combine the diverse production technology variants in a selective manner so that their process-specific advantages can be ideally united in a moulding.

For manufacturing long-fibre reinforced mouldings, the PUR-CSM process is combined, for instance, with the raw material Baydur® STR from Bayer MaterialScience. Instead of using pre-fabricated fibre mats, the mouldings are made with glass rovings that are dispensed from a reel and cut to any length before processing. Polyurethane and glass roving are introduced into the open mould simultaneously, with the chopped glass fibres being externally added to the PU spray jet. The moulding is then formed by foaming in the closed mould. The irregular distribution of the glass fibres imparts a high mechanical strength to the finished part in all load directions.

PUR-CSM for processing Multitec® is the most recent of various well-proven variants offered by Hennecke under the term PUR-CSM. Here, too, chopped long glass fibres are introduced into the open mould together with the PU mixture. The key difference from the PUR-CSM Baydur® variant is that the PU mixture is applied in several layers – compact or foamed, with or without reinforcement – and is allowed to cure in the open mould at ambient temperature within moderate mould cycle times.

Natural fibre mats made from flax, sisal, hemp, etc., can be compressed into thin-



Fig. 1: PUR-CSM technology – process variants

\* Dr. Ingo Kleba, Product Manager Automotive  
Gero Willmeroth,  
Sales Manager foam moulding equipment  
Hennecke GmbH, St. Augustin  
Secondary right of publication with kind permission  
of VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf, Germany  
Paper, Polyurethan 2005, 26 - 27 January 2005,  
Baden-Baden, Germany, VDI-Gesellschaft Kunststoff  
technik

walled, extremely lightweight automotive mouldings using the CSM process and Baypreg® F or similar raw material systems. The weight reduction achieved over conventional materials lies in a range between 30 and 45 %, depending on the weight of the natural fibre mats. The process is based on the principle of spraying a special PU system onto natural fibre mats of flax, sisal, hemp, or the like. This is followed by compression and curing of the PU-wetted semi-finished part into the final composite product.

This group of raw materials can also be used to manufacture sandwich structures. Using Baypreg® F as raw material system yields finished components that have an unusual range of weight-specific characteristics and a greater lightweighting potential than other sandwich products. As a result, this method is attractive not just for automotive applications.

Both the production of sandwich composites and the processing of Multitec® are very recent technologies which still have their future ahead of them. They will therefore be examined in detail below.

### 3. Characteristics of the PUR-CSM spraying technology

Hennecke's spray technology, as the cornerstone of all PUR-CSM process types, is characterized by a number of distinctive features. Foremost among these are the extensive know-how reflected in operating-point-specific spray nozzle characteristics, expressing their effective spraying width as a function of output and spraying distance, as well as the characteristic spraying profile of Hennecke nozzles (Fig. 2). The former facilitates the selection of a suitable nozzle and the determination of the correct output rate and spraying distance, both of which are essential for planning the spray pattern for a given application.

The characteristic spray profile, on the other hand, is a basic criterion for ensuring, during design of the spraying process, that the

nozzle paths will combine into the desired final spray profile with a defined amount of overlap so as to avoid any localized accumulation of excessive amounts of PU. This is illustrated schematically in Figure 3, which exemplifies a measured spray profile – with its typical bell-shaped mass distribution and decreasing PU application towards the edges

– for a defined spraying distance and nozzle output. Depending on the demands posed on the moulding, the mass distribution quality can be controlled via the path distance. If necessary, the spray quality can be adapted to more exacting component requirements through minimal path width reduction.

Fig. 2: Example of a spray nozzle characteristic (left) and characteristic spray profile of a Hennecke nozzle (right)

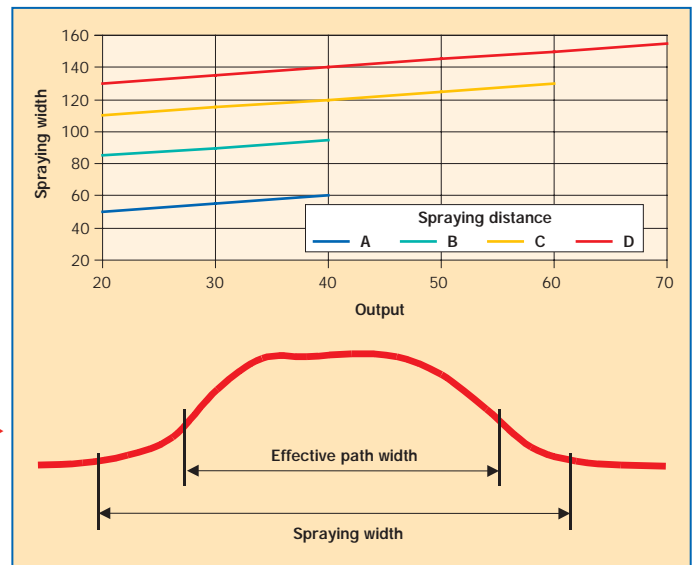


Fig. 3: Schematic layout of a spraying process

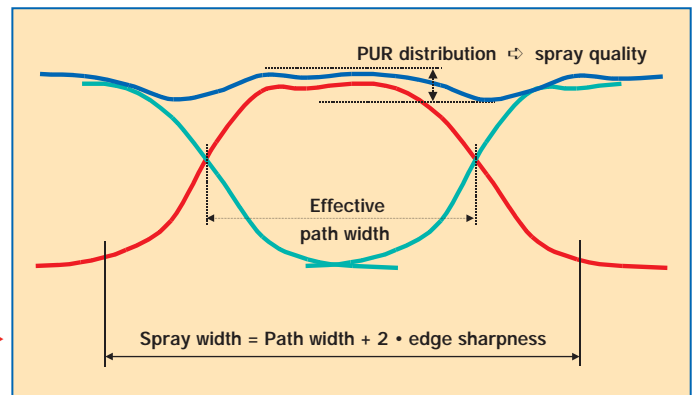
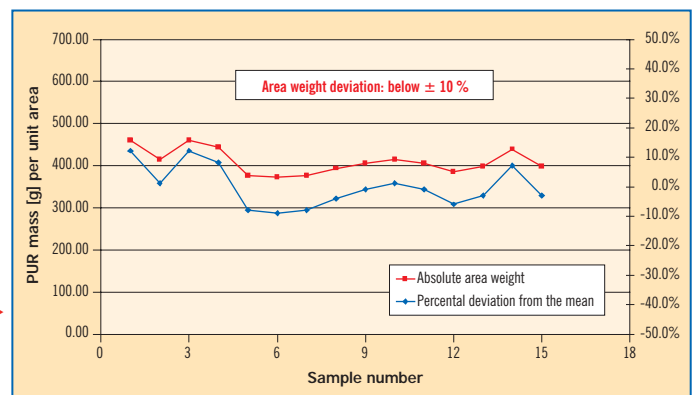


Fig. 4: Spray distribution by the example of a sliding roof cassette



All in all, extensive application experience, accurate nozzle characteristics and an appropriate spraying profile are necessary preconditions for a fast-acting design of the spray application process and a highly uniform PU distribution which, after all, is a basic requirement for the production of high-quality mouldings. **Figure 4** demonstrates the high spraying quality achieved by the example of a spray pattern for a sliding roof cassette. The area weight deviation, including the turning point sections, is below  $\pm 10\%$  (note the small sample diameter of just 30 mm), which makes for a PU distribution that is as good as the distribution of glass fibres in a mat.

Other key advantages of Hennecke's spray technology can be summarized as follows:

- Large nozzle output range, e.g., for flexible in-process adjustment of the PU quantities applied (from coverage of large surfaces to localized application in edge areas)
- No need for nozzle cleaning between shots, resulting in low maintenance requirements
- High process stability and machine availability rate
- Low overspray
- Capability to combine the various PUR-CSM-technologies.

The above characteristics of Hennecke's spraying technology have been put to successful use in diverse practical applications and process variants for almost 10 years now. Still, the success story of the PU spraying technology has only just begun. Its

potential is far from being exhausted, as the following examples will show.

#### 4. PUR-CSM for manufacturing sandwich mouldings

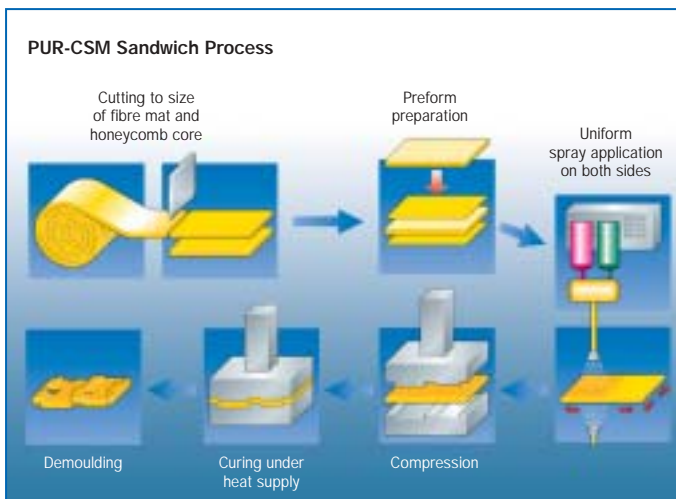
When it comes to saving weight while achieving very high levels of flexural strength, PU sandwich composites come second to none. Such sandwich mouldings consist of a honeycomb or corrugated core structure plus glass-fibre reinforced facings based on a polyurethane matrix. Depending on the application, numerous core materials such as paper, aluminium and plastics are available – conceivably, even foams may be used. At present, paper honeycombs represent the most widespread solution. The facings are integrated with the core by compression using special thermally activated PU systems such as Baypreg® F, marketed by Bayer MaterialScience. As the matrix material for the facing layers, this system is responsible for the final properties of the composite.

Such sandwich composites are made by combining a PU spray application with a compression moulding process. The individual process steps are illustrated in **Figure 5**.

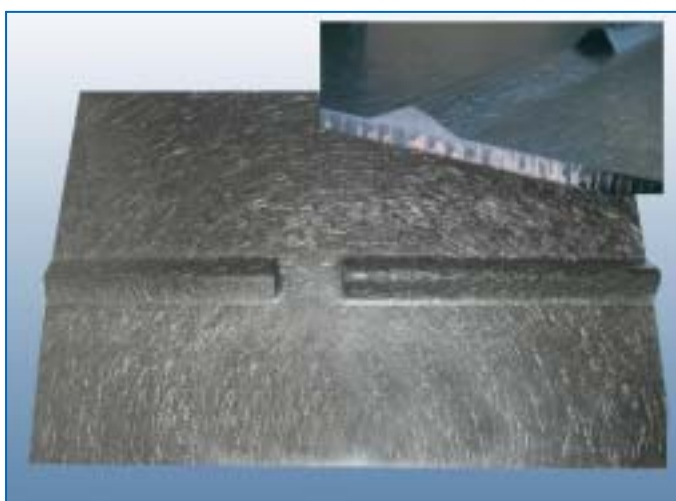
Apart from the benefits of Hennecke's spray application technology outlined above, PUR-CSM Baypreg® Sandwich distinguishes itself by the following additional features:

- No need for preliminary shaping of the sandwich preform
- Effective moulding under heat input (120 – 140 °C) at moderate internal mould pressures (10 - 40 bars) and rapid curing of the moulding within 45 – 90 s
- Direct integration of fixing elements and inserts into the foam.

Where necessary, the Sandwich process can be ideally supplemented with the CSM Baydur® variant. This may be necessary to provide additional reinforcement in partial areas, e.g., to stiffen fixing elements near the force introduction point or to prevent shear-induced failures in high-stretch regions. In addition, this technique may be used to create additional stiffening ribs (**Fig. 6**) or to pro-



**Fig 5:** PUR-CSM process for manufacturing sandwich composites



**Fig. 6:** Stiffening rib on a CSM Baypreg® moulding, produced by localized use of CSM Baydur®

vide selective strengthening in edge areas of the moulding. This combination of processes can effectively reduce the material input to the necessary minimum. The enabling factor is that both technologies use the same spray mixhead, and that with CSM Baydur® the glass fibres are introduced outside the mixhead and the spray attachment. As a result, the spray mixhead can fulfil its actual task, which is to ensure a uniform application of PU over extended surface areas. The synergy between both processes, which was made possible by way of a target-oriented consolidation of technologies, can thus provide an ideal means of meeting increasing cost pressures and concurrent demands for increased moulding functionalities. What is more, the user has the choice to run both CSM variants on the same line.

The specific characteristics of the PU sandwich composites yielded with the CSM process can be described as follows:

- Very high fibre concentration in the facings (approx. 50 %)
- Lightweighting at its best: very stiff but low-weight components
  - mechanical properties increased by more than 25 % compared to other PU sandwich components given the same volume and area weight, or
  - more than 30 – 35 % weight reduction with identical properties
- Great freedom of design (**Fig. 7**)
- Homogeneous characteristics due to the use of glass fibre mats in combination with Hennecke's excellent spray application quality

**Fig. 7:** Design freedom with a Baypreg® sandwich moulding



- High heat deflection resistance and dimensional stability.

## 5. PUR-CSM for processing Multitec®

When being processed according to the PUR-CSM method, the prefix "multi" of the PU spray system Multitec® stands, first of all, for its multi-component nature:

- Isocyanate
- Polyol A (fast)
- Polyol B (slow)
- Blowing agent additive
- Chopped reinforcement fibres
- Colouring component (optional).

At the same time, though, "multi" refers to the multi-layered structure (non-reinforced/fibre-reinforced) of the finished moulding. In summary, it can be stated that the prefix "multi" is a synonym for the method's flexibility in terms of processing properties, layer structure, and materials performance.

The resulting characteristics of the Multitec® PU system may be summarized as follows:

- Variable reactivity adjustment via combination of the two polyols
- Moulding times of just a few minutes
- No need for subsequent thermal treatment
- No use of solvents
- Aimed adjustment of mechanical properties through addition of cut glass fibres
- Use of the blowing agent additive for
  - production of sandwich structures with foam core
  - moulding of geometrically complex areas
- Good paintability due to closed/compact surface structure.

In terms of processing properties, the material is characterized by the fact that the multi-layer spray application process into the open mould requires only a single mould half which, given the low mechanical and thermal loads involved, may quite suitably consist of

a synthetic resin. Moreover, there is no need for a mould carrier. This aspect in particular makes the technology attractive for small-to-medium production runs and/or larger mouldings, where mould costs and capital investment in the mould carrier are significant factors.

A typical PUR-CSM Multitec® process includes the following steps:

- Spraying of release agent and direct multi-layer spray application into the mould
- Optionally:
  - application of a gel coat, or
  - placement of a preformed surface foil
- Application of the 1st Multitec® layer (compact, without reinforcement fibres)
- Application of the 2nd Multitec® layer (compact, reinforced)
- Application of the 3rd Multitec® layer (compact, without reinforcement fibres)
- Curing and demoulding.

**Figure 8** exemplifies a foil-laminated prototype moulding made according to the above process. Its multi-layer structure is illustrated as well.

The distinctive process-specific features of Multitec® processing using the PUR-CSM high-pressure technology can be summarized as follows:

- Fibre lengths of 5 - 12.5 mm at 10 – 25 % fibre concentrations
- High degree of automation due to robotic solutions
- Highly uniform and reproducible application of material
- Short processing times and high productivity
- Individual layer thickness < 1 mm possible
- Spraying on sloped surfaces (e.g., 70° gradient) without running off.

A key component of each CSM production line, apart from the spray mixhead, is the cutting mechanism with its fibre supply unit and the equipment for feeding the fibres from the roving draw-off station. **Figure 9** shows the PUR-CSM spray mixhead with its cutting

and fibre supply units (as also used for CSM Baydur®) and illustrates the operating principle.

The CSM machine concept for long fibre spray application is noted for the following characteristics:

- Good wetting of fibres outside the mix-head
- Glass discharge rates up to 250 g/s at

moderate thread velocities (up to 50 % glass concentration, variable length)

- Reliable glass supply
- Continuously variable quantity adjustment
- Targeted application of the PU/glass compounds.

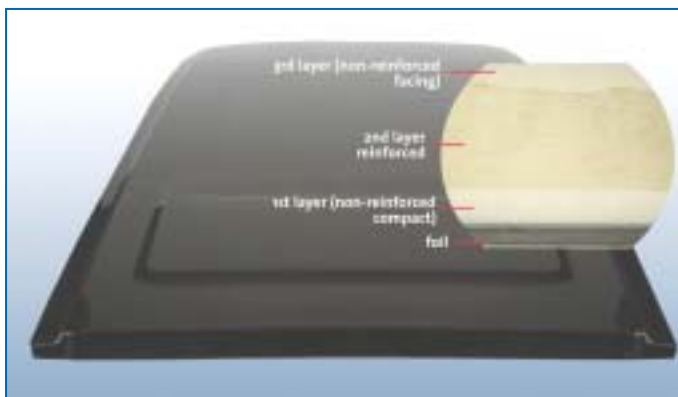
As mentioned earlier, the PUR-CSM Multitec® variant is basically intended for larger mouldings and/or small-to-medium production

runs. One main field of application lies in the substitution of classic FRP mouldings based on manual laminating and fibre spraying techniques, e. g., for reinforcing the underside of bathtubs and shower trays. In the field of GRP (glass fibre reinforced plastics) processing, these so-called open moulding methods now account for 340,000 tonnes/year or approx. 35 % of the total GRP production in Europe, which is now at about 1 million tonnes/year (figures for 2000, 2001 and 2002 (estimated), AVK-TV). From the total open process GRP output, approx. 35 % are made by fibre-spray gun moulding and 65 % by manual laminating methods. The preferred matrix materials are epoxy (EP) resins and, specifically, unsaturated polyester (UP) resins. However, the associated solvent and styrene emissions are now problematic in view of stricter environmental regulations. In this context, Multitec® offers a sustainable solution.

Another field of use refers to mouldings subject to superior surface quality requirements. Due to the closed surface structure, a specific benefit can be obtained with both paint-coated and foil-laminated components. Potential applications include hang-on parts for agriculture and transportation vehicles. However, since development is still very much in the beginning here, numerous other applications are conceivable.

## 6. Conclusions and outlook

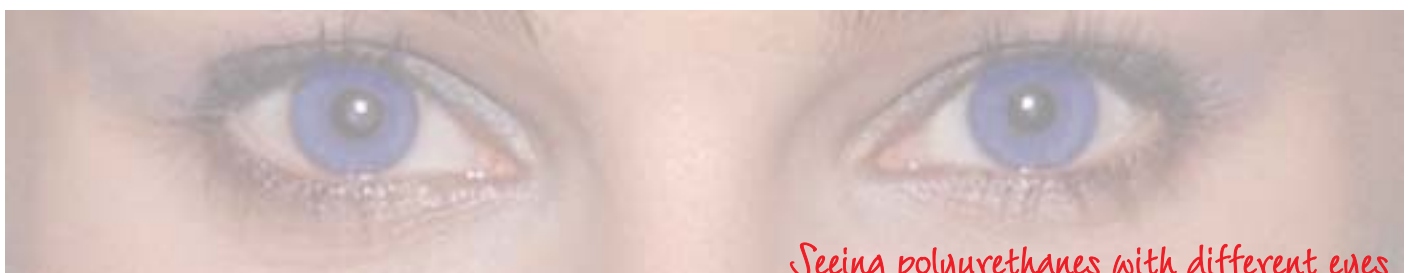
With its PUR-CSM Technology, Hennecke offers a machine concept for diverse production solutions. Processors acquiring PUR-CSM technology will thus gain unsurpassed flexibility.



◀ Fig. 8:  
Foil-laminated PUR-CSM  
Multitec® moulding



◀ Fig. 9:  
Long fibre spray  
application with PUR-CSM



Seeing polyurethanes with different eyes




## Extra flexible: PUR solutions made by Hennecke

Diverse products, variable throughputs, profitable manufacturing solutions: with its multi-application **automotives equipment** and modular design approach, Hennecke has become the premium source of tailor-made solutions for the automotive industry. So go for the pole position - with Hennecke's PUR processing expertise.

For more information refer to [www.hennecke.com](http://www.hennecke.com).

Hennecke   
Polyurethane Technology

A  Bayer MaterialScience Company