

# Verbundhaftungsuntersuchungen an Mehrkomponentenspritzgussteilen

## Masterarbeit

von

**Hubert Grieshofer**

eingereicht am

**IKV - Institut Kunststoffverarbeitung  
an der Montanuniversität Leoben**

unter Mitarbeit der

**Polymer Competence Center Leoben GmbH**



Betreuung: DI Dr. mont. Thomas Lucyshyn  
DI Dr. mont. Konrad Fischer  
DI Thomas Kisslinger

Begutachtung: Univ.-Prof. DI Dr. mont. Clemens Holzer

Leoben, April 2010

## **Eidesstattliche Erklärung**

Ich erkläre an Eides statt, dass ich diese Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfsmittel bedient habe.

## **Affidavit**

I declare in lieu of oath, that I wrote this thesis and performed the associated research myself, using only literature cited in this volume.

---

Datum

---

Unterschrift

## Danksagung

Für ihre Geduld, ihr Wohlwollen und ihre Unterstützung möchte ich den Betreuern dieser Arbeit, Herrn Dipl.-Ing. Dr. mont. Konrad Fischer, Herrn Dipl.-Ing. Thomas Kisslinger und Herrn Dipl.-Ing. Dr. mont. Thomas Lucyshyn, meinen größten Dank aussprechen.

Die vorliegende Arbeit wurde für die Polymer Competence Center Leoben GmbH im Rahmen eines K<sub>plus</sub>-Projektes „Durchgängigkeit der Werkzeugkonstruktion von Bauteilen bis zum maßgerechten Werkzeug für hochwertige Bauteile“ durchgeführt. Als Teil des Kompetenzzentren-Programms K<sub>plus</sub> des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie unter Beteiligung der Montanuniversität Leoben, der Technischen Universität Graz, der Johannes Kepler Universität Linz, der Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH und der Upper Austrian Research GmbH wurde diese Arbeit mit Mitteln des Bundes und der Länder Steiermark und Oberösterreich gefördert.

Mein Dank gilt auch den Projektpartnern dieses Projektes, welche ein Zustandekommen dieser Arbeit ermöglicht haben. Den Mitarbeitern des Instituts für Kunststoffverarbeitung an der Montanuniversität Leoben und der Polymer Competence Center Leoben GmbH möchte ich für die Bereitstellung von Gerätschaften und Räumlichkeiten, ihre Unterstützung und ihr herzliches Entgegenkommen danken.

## Kurzfassung

Diese Forschungsarbeit beschäftigte sich mit der Untersuchung der Einflüsse von Verarbeitungsparametern auf die Haftungseigenschaften von Mehrkomponentenspritzgussteilen.

Es wurden vier unterschiedliche Probekörpergeometrien (2 mm-, 4 mm-Zugstab, Scherprüfkörper und Schälprüfkörper), sowie diverse Materialpaarungen (Hart/Hart und Hart/Weich) auf deren Verbundfestigkeit untersucht. Dabei wurden die Verzögerungszeit bis zum Einspritzen der zweiten Komponente, die Massetemperatur der zweiten Komponente, die Nachdruckhöhe der zweiten Komponente, sowie die Einspritzgeschwindigkeit der zweiten Komponente als veränderbare Verarbeitungsparameter herangezogen.

Die Probekörper wurden bei der Fa. Camo Formen- und Werkzeugbau GmbH mit Sitz in Schwanenstadt hergestellt und in weiterer Folge an der Montanuniversität Leoben einer Zugprüfung unterzogen. Die Haftung wurde über die sich ergebende Verbundfestigkeit ermittelt.

Aus der Auswertung der Ergebnisse geht hervor, dass vor allem eine höhere Massetemperatur der zweiten Komponente, sowie eine verkürzte Verzögerungszeit einen positiven Effekt auf die Haftung haben. Begründen lässt sich der Einfluss dieser Verarbeitungsparameter mittels diverser Haftungstheorien. Die Ergebnisse dieser Arbeit wurden größtenteils mittels der Diffusionstheorie nach Vojuckij erklärt. Dabei führt eine höhere Massetemperatur zu erhöhter Molekülkettenbeweglichkeit, welche in weiterer Folge zu einer verbesserten Interdiffusion der einzelnen Komponenten führt.

Es konnten Zunahmen in der Haftung von bis zu 146% bei erhöhter Massetemperatur und von bis zu 115% bei verkürzter Verzögerungszeit festgestellt werden. Aus den Auswertungen aller untersuchter Probekörper zeigte sich, dass eine höhere Massetemperatur in mehr als zwei Drittel aller Fälle zu einer höheren Verbundhaftung führte. Die Einflussgröße der kürzeren Verzögerungszeit liegt bei über 50%.

Aus den übrigen untersuchten Verarbeitungsparametern konnten keine eindeutigen Schlussfolgerungen, die Haftung betreffend, gezogen werden. Aus den Ergebnissen dieser Arbeit lässt sich ableiten, dass das Temperaturniveau in den Grenzflächen der Komponenten einen signifikanten Einfluss auf die Haftungsgüte von Mehrkomponentenspritzgussteilen besitzt.

## **Abstract**

This study is about the effects of process parameters on the adhesion of multi-component injection moulded parts.

Four different test specimen types (2mm- , 4mm- tensile bar, shear-specimen, peel-specimen), as well as different material combinations (hard/hard, hard/soft) have been investigated regarding the bonding strength. The variable process parameters were the melt temperature of the second component, the delay time until the injection of the second component, the holding pressure of the second component and the injection rate of the second component.

Test specimens were produced at Camo Formen- und Werkzeugbau GmbH in Schwanenstadt and were further tested at the Montanuniversität Leoben. The measured bonding strength was a measure for the adhesion.

According to the measurements a higher level of melt temperature of the second component and a shorter delay time had the most positive effect on adhesion. These results can be interpreted by several adhesion theories. In this study most of the results were interpreted using the adhesion theory by Vojuckij. Due to higher molecule chain activity at higher melt temperatures there is a better interdiffusion of each component.

Some test specimens showed an increase in adhesion by 146% at higher melt temperatures. The highest increase in adhesion using shorter a delay time was 115%. Furthermore, the analysis of all measured test specimens showed that in more than 66% of the tested specimens a higher melt temperature lead to higher bond strength. A positive effect of a shorter delay time was detected in more than 50% of the investigated test specimens. The other analysed process parameters shown no significant influence on the adhesion. According to the results of this study the main conclusion is that the temperature level at the interfaces of the components has a significant influence on the bond strength of multi-component injection moulded parts.

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1	<i>Einführung .....</i>	1
1.2	<i>Zielsetzung und Vorgehensweise .....</i>	4
<b>2</b>	<b>Grundlagen.....</b>	<b>5</b>
2.1	<i>Standard-Spritzgießprozess .....</i>	5
2.2	<i>Mehrkomponentenspritzgießen .....</i>	7
2.3	<i>Werkzeugtechnik .....</i>	9
2.4	<i>Grenzfläche und Haftung.....</i>	11
2.4.1	Thermodynamik der Grenzfläche .....	11
2.4.2	Grundlagen der Adhäsion und Haftung.....	12
2.4.2.1	Mechanisches Adhäsionsmodell.....	14
2.4.2.2	Spezifische Adhäsionsmodelle .....	14
2.4.2.2.1	Polarisationstheorie .....	14
2.4.2.2.2	Elektrostatische Theorie .....	14
2.4.2.2.3	Diffusionstheorie .....	15
2.4.2.2.4	Thermodynamik der Phasengrenzen.....	17
2.4.2.2.5	Chemische Bindungstheorie.....	17
2.5	<i>Thermoplastische Elastomere .....</i>	18
2.5.1	TPE-V .....	21
2.5.2	TPE-S .....	22
2.6	<i>Thermoplaste.....</i>	23
2.6.1	Polyamid (PA) .....	23
2.6.2	Polypropylen .....	25
2.7	<i>Ermittlung der Verbundhaftung und des Bruchverhaltens .....</i>	27
2.7.1	Verbundhaftung bei Zugbeanspruchung.....	27
2.7.2	Verbundhaftung bei Scherbeanspruchung.....	27
2.7.3	Verbundhaftung bei Schälbeanspruchung .....	28
2.7.4	Bruchverhalten der Mehrkomponenten-Verbindung.....	29
2.7.4.1	Adhäsionsbruch (AF) .....	29
2.7.4.2	Kohäsionsbruch (CF) .....	30
2.7.4.3	Mischbruch.....	30
<b>3</b>	<b>Experimentelles .....</b>	<b>31</b>
3.1	<i>Probekörperdimensionierung.....</i>	31
3.2	<i>Probekörperherstellung .....</i>	33
3.3	<i>Vorgehensweise .....</i>	35

<b>4</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>37</b>
4.1	<i>Grilamid LV5H – Kraiburg TC6PCN (TPE)</i> .....	37
4.1.1	2 mm – Zugstab .....	38
4.1.2	mm – Zugstab .....	42
4.1.3	Scherprüfkörper .....	47
4.1.4	Schälprüfkörper .....	50
	<i>Grilon BG30HM – Santoprene 8291-55PA</i> .....	52
4.1.5	2 mm - Zugstab .....	52
4.1.6	mm – Zugstab .....	56
4.1.7	Scherprüfkörper .....	60
4.2	<i>Cryolen 801-94-01 – Kraiburg TC6 PNC</i> .....	64
4.2.1	2 mm Zugstab .....	64
4.2.2	4 mm Zugstab .....	68
4.2.3	Scherprüfkörper .....	72
4.3	<i>Grilamid FE 7503 natural – Kraiburg TC6PNC</i> .....	73
4.3.1	2 mm- Zugstab .....	73
4.3.2	4 mm – Zugstab .....	77
4.4	<i>Bergamid 700 GF 35H – Radilon A natur</i> .....	81
4.4.1	2mm – Zugstab .....	81
4.4.2	mm – Zugstab .....	85
4.4.3	Scherprüfkörper .....	89
4.5	<i>Radilon A natur – Radilon A blau</i> .....	94
4.5.1	2mm Zugstab .....	94
4.5.2	mm Zugstab .....	97
4.5.3	Scherprüfkörper .....	101
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung und Schlussfolgerung .....</b>	<b>105</b>
<b>6</b>	<b>Abkürzungen .....</b>	<b>110</b>
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>111</b>
<b>8</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>114</b>
8.1	<i>Radilon A natur</i> .....	114
8.2	<i>Grilamid LV 5H</i> .....	115
8.3	<i>Bergamid A 700 G35H</i> .....	117
8.4	<i>Kraiburg TC 6 PNC</i> .....	120
8.5	<i>Grilamid FE7503 natural</i> .....	122
8.6	<i>Grilon BG-30HM</i> .....	123
8.7	<i>Santoprene 8291-55PA</i> .....	125
8.8	<i>Ketrix Cryolen 801-94-01</i> .....	127
8.9	<i>Maschinendaten</i> .....	128

# 1 Einleitung

## 1.1 Einführung

In der heutigen Zeit spielt Innovation und Kostenreduktion eine bedeutende Rolle. Hierfür ist es notwendig Fertigungsprozesse schneller und kostengünstiger zu gestalten. Das Mehrkomponentenspritzgießverfahren stellt eine Möglichkeit dar, dies zu realisieren. Sowohl Designer, Konstrukteure als auch Verbraucher können von diesem vielseitigen Verfahren profitieren.

Die Kombination unterschiedlicher Werkstoffe (z.B.: verschiedene Kunststoffe, Metalle, Textilien) ermöglichen Konstrukteuren eine Optimierung von Bauteilen [1]. Für Designer bietet die Mehrkomponententechnik die Möglichkeit aufgrund der speziellen Eigenschaften der Werkstoffe neue, funktionellere Produkte zu entwerfen [2]. Eine Verbindung eines harten Thermoplasten mit einem weichen thermoplastischen Elastomer kann zum Beispiel sowohl Optik, als auch Haptik eines Produktes verbessern.

Ausschlaggebend für die Mehrkomponententechnik ist die Güte der Haftung in der Grenzschicht. Einer ausreichend belastungsfähigen Verbindung zweier Kunststoffe liegen verschiedene Haftungstheorien zu Grunde [20;22,23,34]. Weiters kann die Verbundfestigkeit durch gezielte chemische Modifizierung der einzelnen Komponenten, bei der es zur Ausbildung chemischer Verbindungen kommt, verbessert werden [4].

Eine Kombination eines beliebigen Thermoplasten mit einem Anderen ist aufgrund der teilweisen Inkompatibilität nicht möglich. Um die Verbundhaftung abschätzen zu können werden Haftungsmatrizen herangezogen (Tabelle 1).

## 1. Einleitung

Tabelle 1: Verbundhaftungen für Hart/Weich-Verbindungen [3]

	PS-GP	PS-HI	PVC	PVC-Weich	PPE mod.	PMMA	SAN	ASA	ABS	PC/ABS	PC	PC/PBT	PBT	PET	POM	PA6	PA66	PA12	PP	PE-HD	PE-LD	EVA	CA
TPU	-	-	+	+			+	+	+	+	+	+	o	+	+	o+	o+		-	-	-	-	+
TPE-A	-	-	-	-					-		-		-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	
TPE-E	-	-	-	-					-		-		+	+	-	+	+		-	-	-	-	
TPE-O	-	-	-	-					-		-		-	-	-	+	+		+	-	-	-	
TPE-V	-	-	-	-												+	+						
TPE-S	+	+	-	-					+		-	-	-	-	-	o+	o+		+	+	+		

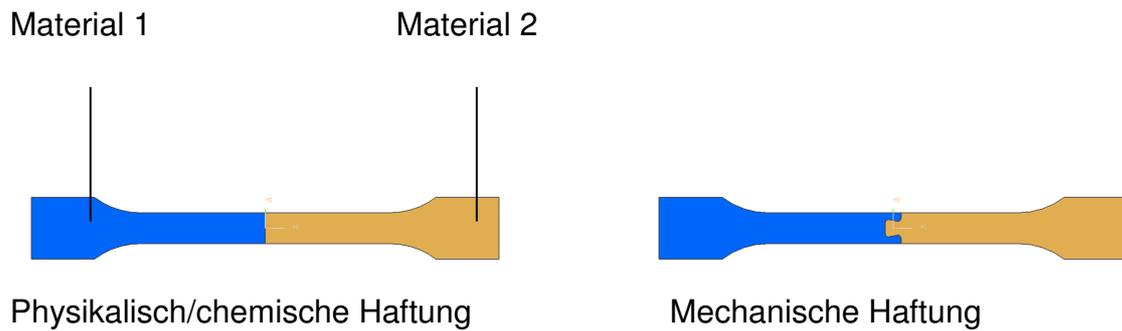
+ = gute Verbindung; o = schlechte Verbindung; - = keine Verbindung, freies Feld = keine Information

Die in Tabelle 1 gezeigte Haftungsmatrix zeigt die Haftungsgüte einzelner Hart/Weich-Verbindungen. Diese Tabellen dienen jedoch nur als Anhaltspunkt, da innerhalb der Materialgruppen eine Vielzahl an Materialmodifikationen existieren.

Mit Hilfe unterschiedlicher Aktivierungsprozesse kann die Verbundhaftung weiter erhöht werden. Dazu gehören das Primern, das Beflammen, die Corona- und die Plasma-Behandlung [5].

Für Materialpaarungen mit geeigneten Haftungseigenschaften sind einfache Bauteilgeometrien anwendbar. Für Materialpaarungen mit unzulänglicher Haftung ist die Gestaltung aufwendigerer, mechanischer Verbindungen notwendig. Hinterschneidungen sorgen in diesem Fall für die formschlüssige Verbindung der beiden Materialien (Abbildung 1).

Einen Sonderfall des Mehrkomponentenspritzgusses stellt der Montagespritzguss dar. Hier wird gezielt das Abgleiten der Grenzflächen eingesetzt, um bewegliche Bauteile herzustellen (z.B. Gelenkverbindungen, Schnallenteile) [6].



*Abbildung 1: Haftungsmechanismen*

Sind für eine Kombination aus unterschiedlichen Polymeren die Haftungsbedingungen ausreichend erfüllt, bietet die Mehrkomponententechnik unterschiedliche Verarbeitungsmöglichkeiten. So können beispielsweise beide Polymerschmelzen gleichzeitig in die Kavität eingespritzt werden. Dieses Verfahren wird als Sandwichspritzgießen bezeichnet, und setzt eine chemische und physikalische Kompatibilität des Kunststoffes voraus. Die während des Füllvorganges aufeinander treffenden Schmelzeströme bilden eine „heiße“ Grenzfläche, die mit einer Bindehaft vergleichbar ist. Im Belastungsfall kann diese Bindehaft zu einer Schwachstelle im Bauteil führen.

Ein anderes Verarbeitungsverfahren, unter Bildung einer „kalten“ Grenzfläche, stellt die Core-Back Technik dar. Hierbei werden die einzelnen Materialien zeitlich versetzt eingespritzt. Ein Kernzug innerhalb des Werkzeugs gibt einen weiteren Teil der Kavität frei, nachdem die Füllung mit der ersten Komponente abgeschlossen wurde [7].

Durch das Core-Back Verfahren lässt sich eine scharf definierte Grenzfläche durch einfache Werkzeugtechnik realisieren. Aus diesem Grund findet dieses Verfahren vor allem im Montagespritzguss Anwendung.

### **1.2 Zielsetzung und Vorgehensweise**

Ziel dieser Untersuchung war es, die Einflüsse der Verarbeitungsparameter auf die Verbundhaftung für unterschiedliche Materialpaarungen zu überprüfen. Dabei sollte gezeigt werden, inwiefern sich Änderungen der Massetemperatur, der Nachdruckhöhe, der Kühlzeit und der Einspritzgeschwindigkeit auf die Verbundhaftung auswirken.

Im Vordergrund dieser Untersuchungen stand die Ermittlung der Verbundfestigkeit verschiedener Hart/Weich-, sowie Hart/Hart-Verbindungen. Bei den Hartkomponenten handelt es sich vor allem um Polyamidtypen, sowohl mit als auch ohne Glasfasern. Für die Weichkomponente wurden verschiedene thermoplastische Elastomere verwendet. Es sollte gezeigt werden, in wieweit die Haftung von den Verarbeitungsparametern abhängt.

Eine Beweglichkeit der Molekülketten ist für die Interdiffusion Voraussetzung. Diese Beweglichkeit hängt stark von der Massetemperatur der beiden Materialien, dem Nachdruck und der Kühlzeit ab [6]. Untersucht wurden auch der Einfluss der Verzögerungszeit, mit der das zweite Material auf das Erste trifft, sowie die Einspritzgeschwindigkeit der zweiten Komponente.

Um präzisere Aussagen bezüglich der Haftung treffen zu können, wurden unterschiedliche Prüfkörpergeometrien bemustert. Neben dem Vielzweckprüfkörper wurden auch Scher- und Schälprüfkörper hergestellt. Diese sollen bei mechanischer Belastung zu verschiedenen Spannungszuständen führen.

## 2 Grundlagen

### 2.1 Standard-Spritzgießprozess

#### Prozessablauf

Bei der Verarbeitung von Polymerwerkstoffen bieten sich dem Konstrukteur unterschiedliche Arten der Formgebungsverfahren. Eines der meist verbreiteten ist das Spritzgießen. Dies liegt an der guten Automatisierbarkeit und der hohen Formteilgenauigkeit.

Der Prozessablauf lässt sich in folgende Schritte unterteilen:

- 1 Werkzeug schließen
- 2 Einspritzen
- 3 Nachdrücken und Abkühlen
- 4 Dosieren
- 5 Werkzeug öffnen und entformen

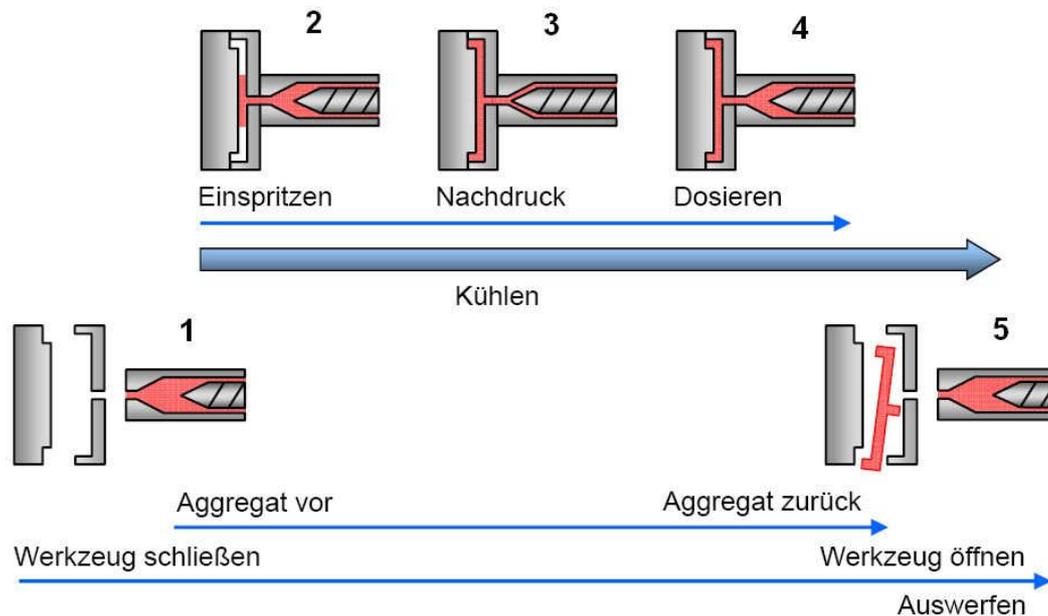


Abbildung 2: Spritzgießzyklus [9]

In Abbildung 2 ist der Spritzgießzyklus schematisch dargestellt. Im 1. Schritt (1) schließen sich die beiden Werkzeughälften, und werden mit der von der Schließeinheit geleisteten Schließkraft zusammengepresst. Daraufhin fährt die Plastifiziereinheit nach vorne, bis sie das Werkzeug berührt. Im 2. Schritt

## 2. Grundlagen

(2) wird die durch Heizleistung und Scherung plastifizierte Schmelze, mittels axialer Bewegung der Schnecke, eingespritzt. Die Schmelze füllt den vom Werkzeug vorgegebenen Hohlraum (Kavität). Mit Beginn des Einspritzvorganges fängt gleichzeitig die Kühlzeit zu wirken an. Durch Nachdrücken von Schmelze (3), wird die durch thermische Abkühlung bedingte Schwindung kompensiert. Die Kühlung ist bedingt durch das Kühlmedium (Wasser, Öl), welches durch Kühlkanäle im Werkzeug strömt. Nach Beendigung der Nachdruckphase kann mit dem Dosieren (4) für den nächsten Zyklus begonnen werden. Hierbei wird in etwa soviel Schmelze in den Schneckenraum gebracht, wie für die Formfüllung notwendig ist plus einen Restmassepolster, welcher eine bessere Nachdruckwirksamkeit bewirkt. Nach Beendigung der Kühlzeit öffnen sich beide Werkzeughälften und das fertige Bauteil wird ausgeworfen (5).

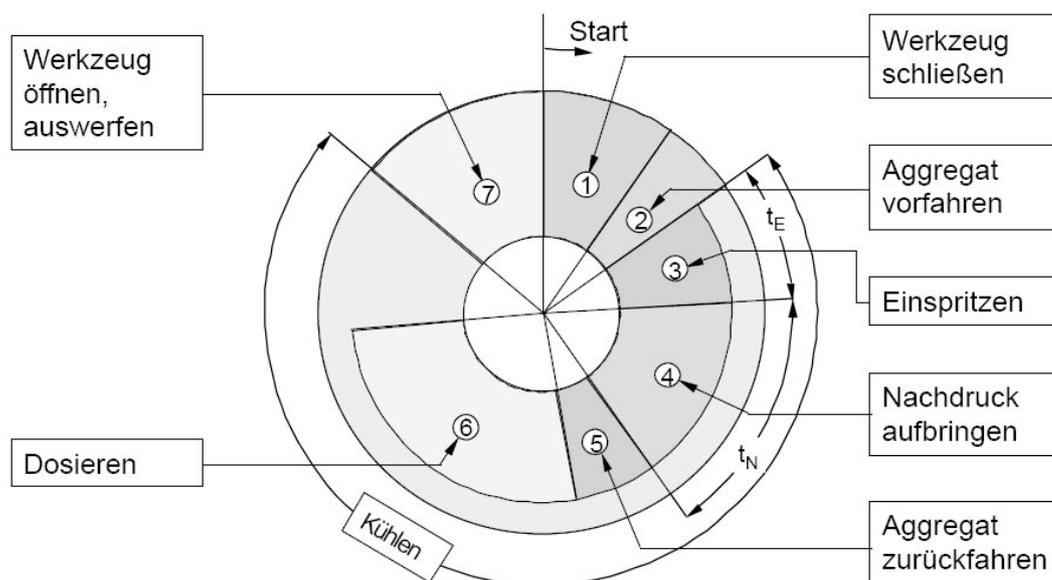


Abbildung 3: Zeitlicher Ablauf des Spritzgießprozesses bei Verwendung einer Verschlussdüse [10]

Einige der in Abbildung 2 schematisch dargestellten Arbeitsschritte können parallel ablaufen. Einen detaillierten zeitlichen Ablauf des gesamten Spritzgießprozesses stellt Abbildung 3 dar. Die Bewegungen der Schließ- bzw. der Plastifiziereinheit können sowohl hydraulisch, als auch elektrisch

umgesetzt werden. Alle Wege, Zeiten und Drücke lassen sich mittels der Steuereinheit regeln.

Eine wirtschaftliche Gestaltung des Prozesses resultiert aus einer Verkürzung der Gesamtzykluszeit. Durch eine Optimierung einzelner Verfahrensschritte kann dies erreicht werden.

### **2.2 Mehrkomponentenspritzgießen**

Die Zusammenführung zweier Materialien innerhalb eines Arbeitsschrittes wird als Mehrkomponentenspritzguss bezeichnet. Dabei ist die Kombination der Werkstoffe die verbunden werden können sehr vielfältig. Beispielsweise können Polymere mit unterschiedlichen Eigenschaften verbunden werden.

Der Begriff Mehrkomponentenspritzgießen lässt sich unterteilen in:

- Mehrkomponentenspritzgießen mit fester Verbindung
- Mehrkomponentenspritzgießen mit loser Verbindung  
(Montagespritzgießen)

Während des Einspritzvorganges können die Polymerschmelzen entweder aneinander abgleiten oder ineinander eindringen. Weitere Arten des Mehrkomponentenspritzgießens können damit unterschieden werden. Das 2K- und 3K-Verbundspritzgießen, das Zwei-, Drei- beziehungsweise Mehrfarbenspritzgießen und das Overmoulding [3].

Eine Eigenheit des Mehrkomponentenspritzgießens stellt die Grenzfläche dar. Diese ist mit der Bindenaht oder Fließnaht im Standardspritzguss zu vergleichen. Bindenähte treten auf, wenn bereits abgekühlte Schmelzefronten aufeinander treffen, im Mehrkomponentenspritzguss wird dies als „kalte“ Grenzfläche bezeichnet. Fließnähte treten auf, wenn Schmelzefronten aneinander abgleiten, dieses Phänomen wird in der Mehrkomponenten Technologie als „heiße“ Grenzfläche charakterisiert.

Diese Bezeichnungen sind auf die Temperatur der Schmelzefronten beim Aufeinandertreffen zurückzuführen.

Abbildung 4 zeigt, wie sich das Mehrkomponentenspritzgießen mit Hilfe von „kalter“ und „heißer“ Grenzfläche unterteilen lässt.

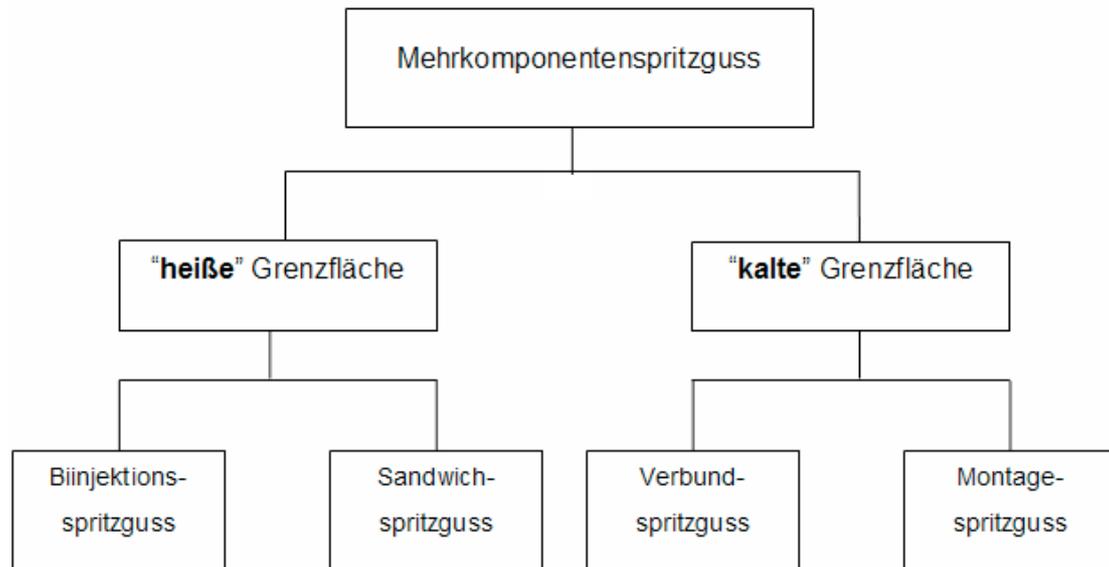


Abbildung 4: Unterteilung des Mehrkomponentenspritzgusses [8]

### 2.3 Werkzeugtechnik

Eine Umsetzung des Verbundspritzgießens lässt sich mittels unterschiedlichen Werkzeugtechniken durchführen. Dabei unterscheidet man drehende, nicht drehende und umsetzende Werkzeugsysteme [7].

#### 1. Drehende Werkzeugsysteme:

- a) Drehteller
- b) Drehwerkzeug
- c) Drehkreuze bzw. –kerne
- d) Stack-Mould-Technik
- e) Indexplattenverfahren

#### 2. Nichtdrehende Werkzeugsysteme:

- a) Core-Back-Technik

#### 3. Werkzeugsysteme mit Umsetztechnik

Drehende Werkzeugsysteme können weiters in vertikal und horizontal rotierende Werkzeuge unterteilt werden.

Die Probekörper für die Untersuchungen in dieser Arbeit wurden mittels der Core-Back-Technik hergestellt.

#### Core-Back-Technik

Beim Core-Back Verfahren wird zuerst die erste Komponente eingespritzt und durch verschiebbare Einsätze oder Kerne ein Teil der Kavität für den zweiten Kunststoff verschlossen gehalten. Ohne Zwischenöffnen des Werkzeuges wird durch verschieben, der im Werkzeug beweglichen Elemente der Hohlraum für die zweite Komponente freigegeben. Innerhalb einer einstellbaren Verzögerungszeit kann der zweite Kunststoff eingespritzt werden. Die Komponenten können dabei neben-, über-, oder ineinander angeordnet sein (siehe Abbildung 5).

Da die Vorspritzlinge nicht entformt sondern nur bereichsweise freigestellt werden, ist die Komplexität der herstellbaren Formteile eingeschränkt. Nachteilig ist auch die längere Zykluszeit, da Vorspritzling und Fertigspritzling nicht zeitgleich gespritzt werden können. Vorteilhaft ist die geringe und

## 2. Grundlagen

---

variierbare Wartezeit bis zum Aufspritzen der zweiten Komponente. Dadurch wird im Vergleich zu den anderen Verfahren das Aufspritzen auf eine weniger erkaltete erste Komponente mit im Allgemeinen günstigerer Verbundhaftung, möglich [22].

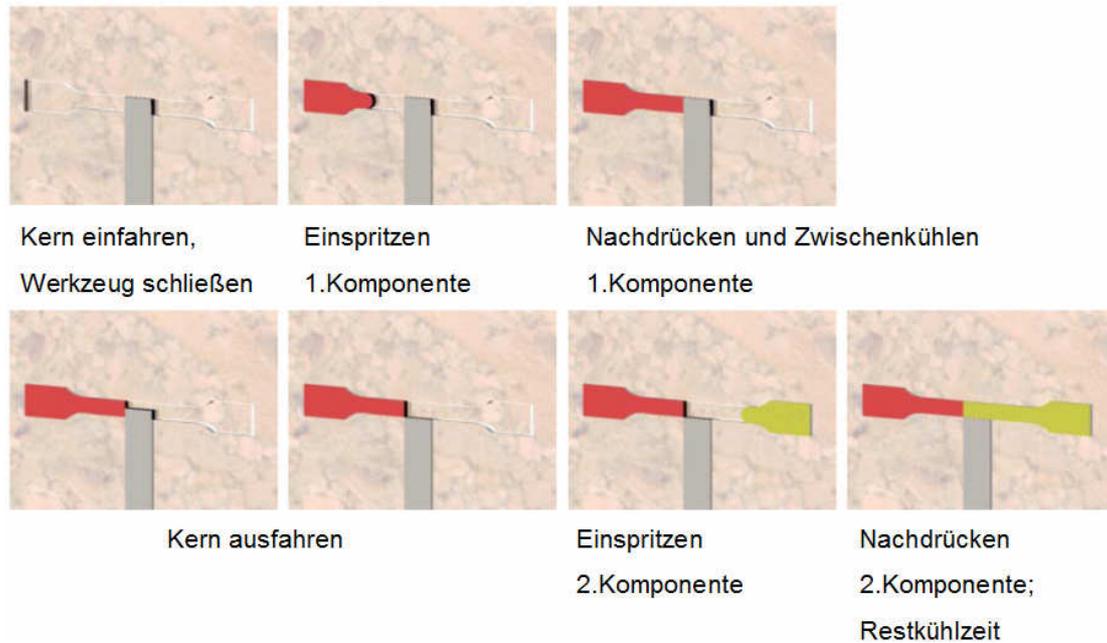


Abbildung 5: Core-Back Technik [8]

### 2.4 Grenzfläche und Haftung

In technischen Prozessen spielen Grenz- und Oberflächenphänomene eine entscheidende Rolle. Diese treten beispielsweise beim Mehrkomponentenspritzgießen, Verkleben, Lackieren, und Bedrucken auf. Die Oberflächenspannung bestimmt in weiterer Folge die adhäsive Haftung und die Benetzung [18].

#### 2.4.1 Thermodynamik der Grenzfläche

Bevor mit einer genaueren Betrachtung der Wirkungsprinzipien der Adhäsion begonnen werden kann, ist es notwendig über die Eigenschaften der Grenzfläche Bescheid zu wissen. Für eine gute Haftung im späteren Verbund ist es notwendig die beiden Polymerwerkstoffe eng aneinander zu bringen und zu benetzen. Ausschlaggebend für eine gute Benetzung ist die Oberflächenspannung, diese tritt an der Trennfläche zweier Phasen aufgrund von verschiedenen intermolekularen Wechselwirkungen auf. Die Oberflächenspannung wird als Maß für die Benetzungsfähigkeit herangezogen.

Die Messung erfolgt über die Bestimmung des Kontaktwinkels  $\theta$ , den eine Flüssigkeit mit der Oberfläche eines Festkörpers bildet (Abbildung 6). Je größer der Kontaktwinkel ist desto schlechter ist die Benetzung [27].

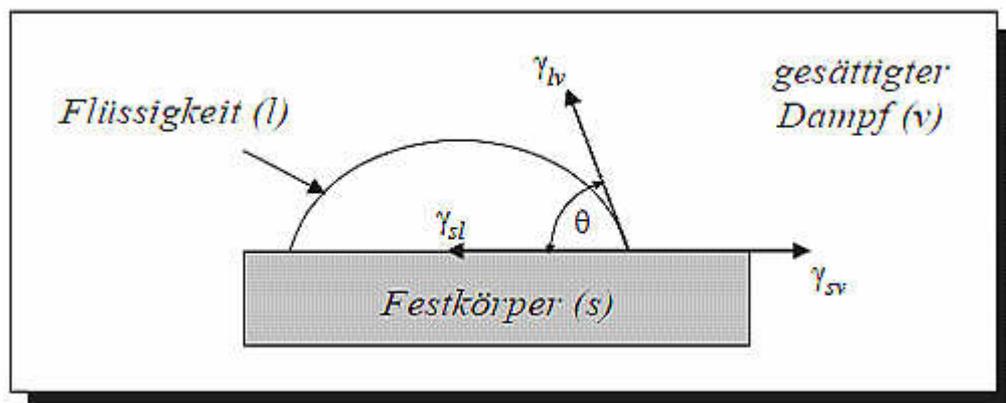


Abbildung 6: Liegender Tropfen auf einer Festkörperoberfläche [24]

Mittels der Young-Duprèschen Gleichung kann das Gleichgewicht, im Kontaktpunkt der drei Phasen (fest (s), flüssig (l) und gasförmig (v)), dargestellt werden.

$$\gamma_{sv} = \gamma_{sl} + \gamma_{lv} \cos \theta \quad (1)$$

In der Literatur [27] werden diverse Methode zur Bestimmung der Oberflächenspannung von Festkörpern ausführlich beschrieben.

In der Praxis hat sich gezeigt, dass Verbindungen aus Polymerwerkstoffen mit ähnlicher Oberflächenspannung meist zu größeren Verbundhaftungen führen [8].

### 2.4.2 Grundlagen der Adhäsion und Haftung

Unter Adhäsion/Haftung versteht man eine kraftschlüssige Verbindung zweier Materialien. Diese kann mittels einer Klebeschicht, oder wie im Fall der Mehrkomponententechnik direkt erreicht werden [19].

In den vergangenen Jahrzehnten hat sich das Wissen über Haftungseigenschaften stetig verbessert. Früher wurde von einer reinen mechanischen Haftung (aufgrund von Verhakungen der Oberfläche) ausgegangen. Heute unterscheidet man diverse Adhäsionstheorien voneinander.

Die folgende Abbildung 7 soll einen Überblick über die in der Literatur häufig verwendeten Adhäsionstheorien geben. Grundsätzlich wird zwischen rein mechanischer Adhäsion (Formschluss) und spezifischer Adhäsion unterschieden. Die Betrachtung einer einzelnen Adhäsionstheorie reicht nicht aus, um das Haftungsverhalten zu beschreiben. Die Adhäsion ergibt sich aus dem Zusammenwirken der einzelnen Haftungsmechanismen.

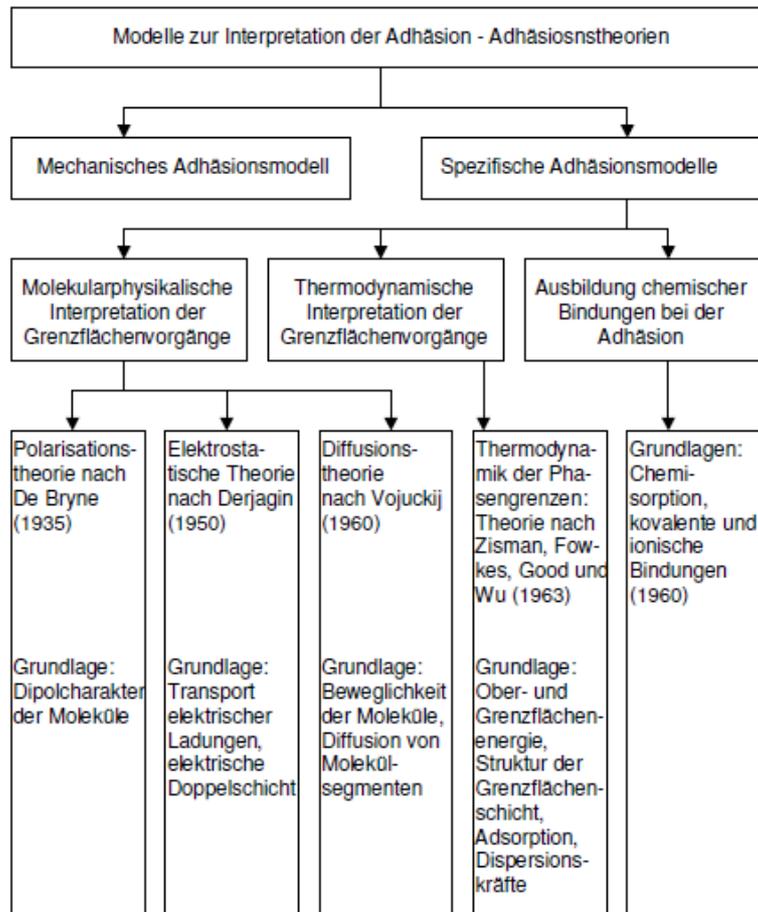


Abbildung 7: Adhäsionstheorien [20]

Unter dem Begriff der spezifischen Adhäsion werden jene Phänomene zusammengefasst, die auf physikalischen und chemischen Wechselwirkungen beruhen [20].

### 2.4.2.1 Mechanisches Adhäsionsmodell

Diese Theorie basiert auf einer formschlüssigen Verankerung zweier Komponenten aufgrund deren Oberflächenstruktur. Abbildung 8 zeigt die schematische Wirkungsweise der mechanischen Adhäsionsmodelles.

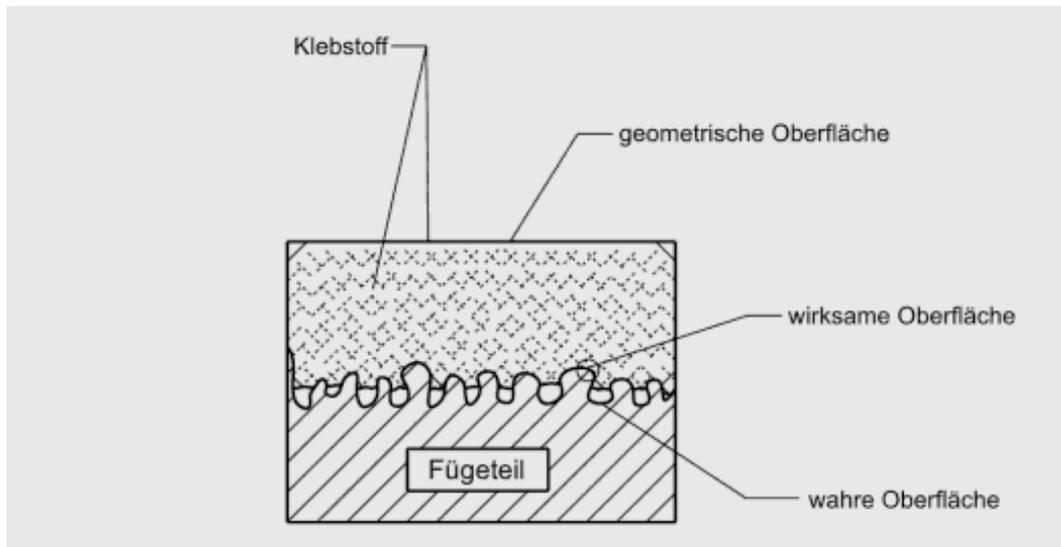


Abbildung 8: Mechanische Haftung (Verankerung) [21]

### 2.4.2.2 Spezifische Adhäsionsmodelle

#### 2.4.2.2.1 Polarisierungstheorie

Wurde entwickelt von De Bryne im Jahre 1935 und beruht auf den Kräften zwischen den Dipolen der Atome und Moleküle. Kernaussage dieser Theorie ist, dass die Polarität Einfluss auf die sich ausbildende Adhäsion hat. Es konnte nachgewiesen werden, dass eine Erhöhung der Polarität sich positiv auf das Haftungsverhalten von Klebeverbindungen auswirkt [22].

#### 2.4.2.2.2 Elektrostatische Theorie

Untersuchungen von Verbunden aus Kautschuk und Metall zeigten entgegengesetzte Ladungen der beiden Teile nach der Trennung. Ausgehend von diesen Beobachtungen formulierten B.V. Derjaguin und S.V. Smilga die Elektrostatische Theorie (elektronische-, elektrische Doppelschicht- oder Parallelplatten-Kondensator-Theorie). Diese geht von einer elektrischen Doppelschicht aus, in der es zu einem Ladungstransport kommt.

Die Adhäsionskräfte basieren auf den elektrostatischen Kräften entlang der Doppelschicht (siehe Abbildung 9) [23,24].

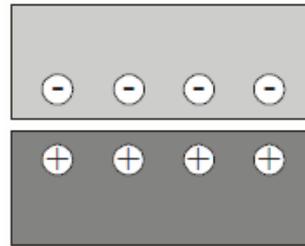


Abbildung 9: Ladungsverteilung bei der elektrostatischen Theorie [25]

### 2.4.2.2.3 Diffusionstheorie

Der Grundgedanke dieser Theorie ist eine Ausbildung von Verschlaufungen der Molekülketten in Kunststoff-Kunststoff-Verbindungen. Dabei können Polymerketten, die eine ausreichende Beweglichkeit und gegenseitige Löslichkeit besitzen, ineinander diffundieren. Der Bereich in welchem Molekülketten diffundieren, wird als Grenzphase oder Interphase bezeichnet. Tritt keine Diffusion auf, spricht man von einer Grenzfläche oder Interface (Abbildung 10) [25].

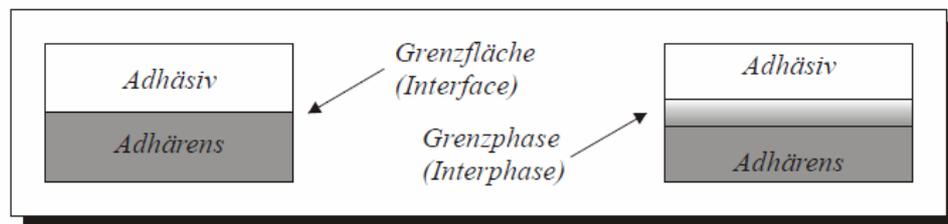


Abbildung 10: Grenzfläche und Grenzphase [25]

Die folgende Abbildung 11 soll schematisch die Interdiffusion von Kettensegmenten und die Ausbildung von Verschlaufungen darstellen.



Abbildung 11: Schematische Darstellung der Interdiffusion von Molekülketten [26]

Das Diffusionsverhalten zweier Materialien in x-Richtung wird durch das zweite Fick'sche Gesetz beschrieben.

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -D(t) \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad (2)$$

(D: Diffusionskoeffizient, c: Konzentration, t: Zeit)

Eine erhöhte Molekülbeweglichkeit wirkt sich positiv auf die Diffusionsgeschwindigkeit, bei der ein Konzentrationsausgleich stattfindet, aus.

Der Ablauf der Diffusion wird beim Mehrkomponentenspritzgießen beeinflusst von diversen Parametern. Dazu gehören die Moleküllorientierungen, die Eigenspannungen und die Viskositätsänderung während des Abkühlvorganges. Einen Effekt weist unter anderem die Zeitspanne, in der die Schmelze die abgekühlte Grenzfläche berührt und Molekülbewegung auftritt, auf. Diese längere Zeitspanne ermöglicht ein erhöhtes Maß an Interdiffusion und Ausbildung von Verschlaufungen. Einen wesentlichen Einfluss weist aber die Massetemperatur der zweiten Komponente auf, da eine Erhöhung dieser Temperatur eine verbesserte Kettenbeweglichkeit mit sich führt [8].

### **2.4.2.2.4 Thermodynamik der Phasengrenzen**

Diese Theorie basiert auf den Untersuchungen von Zisman. Dabei wurden Kontaktwinkelmessungen bei unterschiedlichen Polymerwerkstoffen durchgeführt und ein Zusammenhang zur Benetzungsfähigkeit aufgestellt. Eine kritische Benetzungsspannung dient dabei zur Charakterisierung der einzelnen Oberflächen. Untersuchungen haben gezeigt, dass Oberflächen mit vermehrten CH<sub>2</sub> – Gruppen eine höhere kritische Benetzungsspannung aufweisen als Oberflächen mit vermehrten CH<sub>3</sub> – Gruppen.

*Tabelle 2 : Kritische Benetzungsspannungen unterschiedlicher Polymere*

Oberfläche	kritische Benetzungsspannung (N/m)
PTFE	18
PE	31
PS	33
PVC	39
PET	43
PA 6,6	46

Niedrige kritische Benetzungsspannungen resultieren in besserer Oberflächenbenetzung [34].

### **2.4.2.2.5 Chemische Bindungstheorie**

Das auftreten von Adhäsion wird bei dieser Theorie mit der Ausbildung von kovalenten und ionischen Bindungen zwischen den einzelnen Komponenten erklärt. Voraussetzung dafür ist eine chemische Affinität.

## 2.5 Thermoplastische Elastomere

Da mit der Weichkomponente elastische Eigenschaften realisiert werden sollen, und eine Verarbeitung von Gummi auf Thermoplast-Spritzgussmaschinen nicht möglich ist, kommen größten Teils thermoplastische Elastomere (TPE) zum Einsatz. Thermoplastische Elastomere (TPE) sind polymere Werkstoffe, die sowohl die Eigenschaften der Elastomere als auch der Thermoplaste vereinen. Bei Temperaturen zwischen 20°C bis 120°C, weisen TPE's eine gummielastische Verformung auf. Im Schmelzbereich liegt thermoplastisches Verhalten vor. Eine Temperaturabhängigkeit des Schubmoduls veranschaulicht die erläuterten Eigenschaften (Abbildung 12).

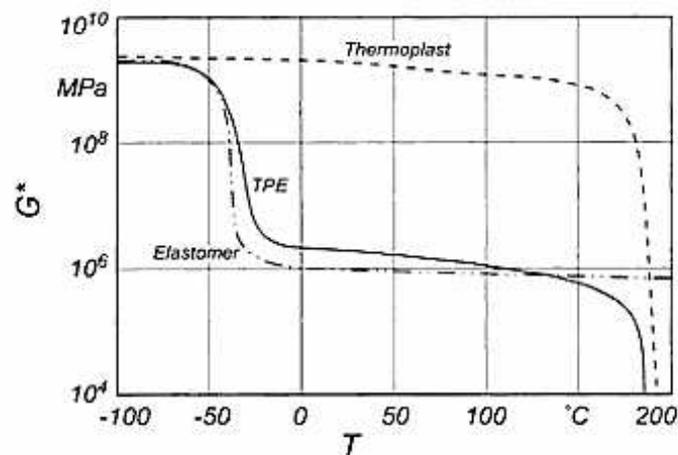


Abbildung 12: Temperaturabhängigkeit des komplexen Schubmoduls  $G^*$  [28]

Aus der gezeigten Abbildung lässt sich ein niedriger Glasübergang bei -50 bis -20°C erkennen. Unterhalb dieser Temperatur sind TPE's energieelastisch, darüber entropieelastisch. Dehnungsprozesse aufgrund beweglicher Molekülketten werden als entropieelastisch bezeichnet. Starre Körper, deren Moleküle keine Beweglichkeit aufweisen, werden als energieelastisch charakterisiert. Eine für die Verarbeitung maßgebliche Eigenschaft von TPE ist, dass diese ein Schmelzverhalten aufweisen. Verantwortlich dafür ist das Zweiphasensystem aus einer Weich- und einer thermoplastischen Hartphase. Für die physikalischen Vernetzungsstellen und die Festigkeit innerhalb des

Polymers sind die Hartphasen verantwortlich, während die Weichphase die elastischen Eigenschaften und das Kälteverhalten festlegen.

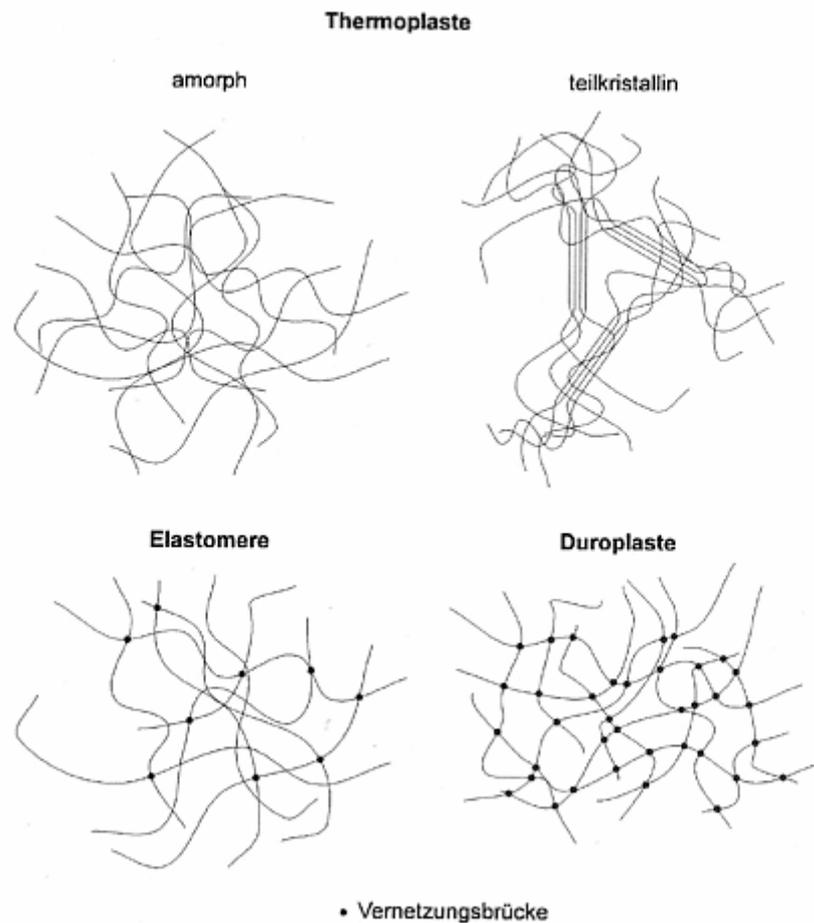


Abbildung 13: Einteilung der Polymere [12]

Abbildung 13 zeigt die Unterteilung der Polymere aufgrund ihrer morphologischen Struktur. Thermoplaste lassen sich grob in amorphe und teilkristalline Kunststoffe unterteilen. Teilkristalline Thermoplaste unterscheiden sich dabei von amorphen durch parallel angeordnete Kettensegmente (kristalline Bereiche). Elastomere und Duroplaste weisen Vernetzungsbrücken zwischen den einzelnen Molekülketten auf. Duroplaste besitzen deutlich mehr dieser Vernetzungsbrücken als Elastomere.

## 2. Grundlagen

---

Thermoplastische Elastomere können weiters in Block-Copolymere und Polymerblends unterteilt werden.

### 1. Block-Copolymeren:

- a) Styroltypen (TPE-S)
- b) Polyetherester (TPE-E)
- c) Polyetherurethane (TPE-U)
- d) Polyetheramide (TPE-A)

### 2. Polymerblends:

- a) unvernetzten (TPE-O)
- b) vernetzten (TPE-V)

Bei den Polymerblends ist zu bemerken, dass es sich um eine disperse EPDM-Phase in einer PP-Matrix handelt [13,14].

Das Schmelzverhalten von TPE's ermöglicht eine Verarbeitung zusammen mit Thermoplasten innerhalb eines Arbeitsschrittes.

In der Mehrkomponententechnik werden vor allem TPE-S und TPE-V eingesetzt, da diese bessere Haftungseigenschaften mit verschiedenen Kunststoffen aufweisen. Die folgende Tabelle 2 soll die Haftungsgüte veranschaulichen.

*Tabelle 3: Verbundfestigkeit von Hart-Weich-Verbindungen [13]*

Hartkomponente	TPE-S	TPE-V	TPE-A	TPE-U	TPE-E
PP	1	1	6	6	6
PE	3		6	6	6
PA 6 mod. 25%GF	4	4	4	4	4
PA 6.6 mod. 25% GF	4	4	4	4	4
PA 12 mod. 25%GF	4	4	4	4	4
PA 6	6	6	6	4	6
PA 6.6	6	6	6	4	6
ABS	6	6	6	4	6

1 ausgezeichnete Haftung, 2 sehr gute Haftung, 3 gute Haftung,  
4 ausreichende Haftung, 5 geringe Haftung, 6 keine Haftung [13]

### 2.5.1 TPE-V

In weiterer Folge soll ein vernetzendes TPE genauer betrachtet werden, da neben einem TPE-S auch ein TPE-V für diese Untersuchungen in dieser Arbeit verwendet wurde.

Der Vernetzungsvorgang geschieht während des Compoundierens und wird als dynamische Vulkanisation bezeichnet. Die elastischen Eigenschaften des TPE's hängen dabei vom Vernetzungsgrad ab.

Die Eigenschaften der Polymerblends hängen von der Größe der Elastomerteilchen ab. Kleinere Teilchen sorgen für bessere mechanische Eigenschaften. Aufgrund der Mischbarkeit lassen sich neue Polymerprodukte mit besonderen Eigenschaften herstellen.

#### **Eigenschaften**

Die Zugfestigkeit hängt von Anteil und Teilchengröße der Hartphase und vom Vernetzungsgrad der Elastomerphase ab. Härte und Modul sind im Wesentlichen nur vom Thermoplastanteil abhängig. Gute elastische Eigenschaften ergeben Blends zwischen 30 und 50 Teilen Thermoplast auf 100 Teile Elastomer. Die Eigenschaften können weiters durch Zugabe von Füllstoffen (Ruß) und Weichmachern beeinflusst werden. TPV's zeichnen sich durch ausgezeichnete mechanische, Öl-, Temperatur- und Ermüdungsbeständigkeit sowie gute thermoplastische Verarbeitbarkeit aus [14].

### 2.5.2 TPE-S

Thermoplastische Elastomere auf Styrol-Butadien-Basis besitzen aufgrund ihrer Eigenschaften ein breites Anwendungsspektrum. TPE's auf Styrol-Basis haben in der Regel eine Blockarchitektur mit kurzen Polystyrol-Außenblöcken und einem längeren Polybutadien-Innenblock. Der Styrolgehalt liegt unter 30%. Bei Zimmertemperatur verhält sich TPE-S ähnlich wie vulkanisierter Gummi. Oberhalb von 100-140°C wird eine thermoplastische Verarbeitung möglich. Abbildung 14 zeigt den schematischen Aufbau sowie die Morphologie eines typischen TPE-S.

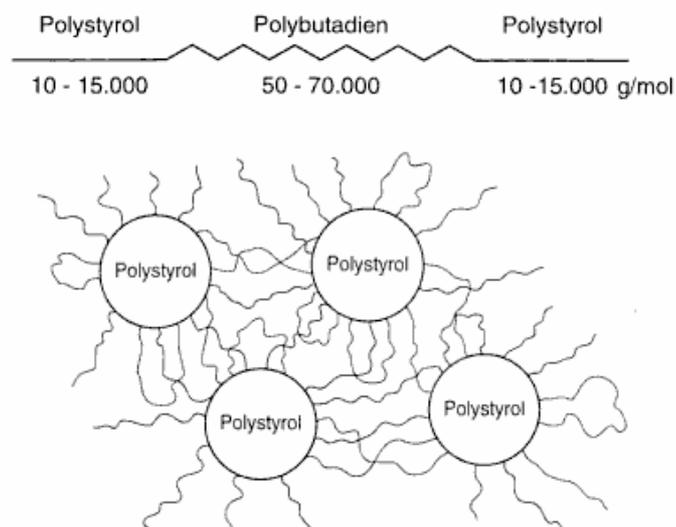


Abbildung 14: Blockaufbau und Morphologie eines typischen thermoplastischen Styrol-Butadien-Elastomers [33]

#### Eigenschaften

Die mechanischen und chemischen Eigenschaften von thermoplastischen Elastomeren auf Styrol-Basis hängen vom Styrol-Dien-Verhältnis ab. Aufgrund dieser Abhängigkeit lassen sich gewisse Eigenschaften (Haftung, Oberflächenbeschaffenheit, Verarbeitung, Dichte) nach gewünschten Zielvorgaben einstellen. Vor allem die Haftung mit Polypropylen ist sehr gut. Weitere Vorteile von TPE-S liegen in der erhöhten Ozon- und Witterungsbeständigkeit. Nachteile von thermoplastischen Elastomeren auf Styrol-Basis liegen im Abriebverhalten und im Verzug [33].

### 2.6 Thermoplaste

Mit Hilfe des Mehrkomponentenspritzgießens, lassen sich eine Vielzahl von technischen Verbunden herstellen. Darunter fallen sowohl Hart/Hart-, als auch Hart/Weich-Verbunde. Als Hartkomponente werden vor allem Polyamidtypen, aber auch Polypropylen (PP), Polyvinylchlorid (PVC) und viele mehr eingesetzt. Da mit der Weichkomponente elastische Eigenschaften realisiert werden sollen, und eine Verarbeitung von Gummi mit Spritzgussmaschinen nur bedingt möglich ist, kommen größten Teils thermoplastische Elastomere (TPE) zum Einsatz. Es soll nun auf die, für diese Untersuchungen verwendeten, Thermoplaste näher eingegangen werden.

#### 2.6.1 Polyamid (PA)

Unter Polyamiden versteht man hochmolekulare Stoffe, deren monomere Bausteine durch Säureamidgruppen  $-\text{CONH}-$  miteinander verknüpft sind. Die Kohlenwasserstoffreste zwischen den Säuregruppen können aliphatischer oder aromatischer Natur oder gemischt aliphatisch-aromatisch sein. Die Wahl der Monomeren ist ausschlaggebend für die unterschiedlichen Eigenschaften der Polyamide. Von der Vielzahl der denkbaren Polyamide hat sich in der Praxis nur eine kleine Anzahl bewährt und durchgesetzt.

Das Prinzip der Verknüpfung von Monomeren über Säureamidgruppen findet sich auch bei den Oligo- und Polypeptiden in der Natur, wobei die Vielzahl der Proteine in der Regel aus 20 Aminocarbonsäuren aufgebaut ist [15].

Die meisten Typen sind teilkristallin und deswegen in der Eigenfarbe opak durchscheinend. PA hat sich als Konstruktionswerkstoff aufgrund seiner hohen Schlagzähigkeit, seiner geringen Kerbempfindlichkeit, seines hohen Verschleißwiderstandes und hohen Temperaturbeständigkeit bewährt. Polyamid wird häufig mit Glasfasern verstärkt, um die mechanischen Eigenschaften noch zu verbessern [3].

Die Fähigkeit der Wasseraufnahme von PA setzt eine Vortrocknung des Materials vor der Verarbeitung voraus [17]. Glasfasergefülltes PA führt zu Verschleißerscheinungen an Schnecke und Zylinder. Aus diesem Grund müssen alle Plastifizierelemente guten Verschleißschutz aufweisen.

## 2. Grundlagen

---

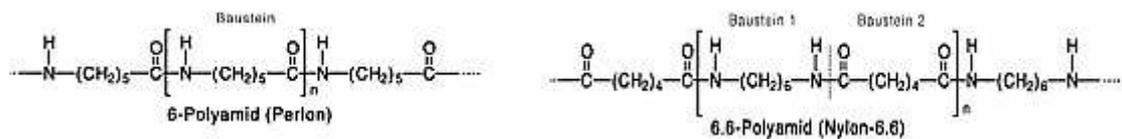


Abbildung 15: Polyamid 6 und Polyamid 6.6 [16]

Weltweit werden vor allem Polyamid 6 (Perlon) und Polyamid 6.6 (Nylon-6.6) eingesetzt (Abbildung 15). Polyamid 12 bildet nur einen geringen Anteil. Der Großteil der Produkte aus Polyamid wird mittels Spritzgussverfahren hergestellt (73 Gew.-%). 23 Gew.-% werden durch Extrusion hergestellt [16].

### Haftungseigenschaften:

Die Ausbildung einer Haftungsverbindung mittels Mehrkomponententechnik basiert auf ähnlichen Mechanismen wie beim Kleben. Bei einem Verbinden von Füge­teilen treten adhäsive- sowie diffusionsbedingte Haftungseigenschaften auf. Die Ausbildung einer guten Haftverbindung hängt dabei von einer Kompatibilität der Komponenten ab. Als Parameter hierfür kann die Oberflächenspannung herangezogen werden.

Wie bereits erläutert, kommt es bei adhäsiven Verbindungen zu einer Ausbildung von physikalischen und chemischen Adsorption – und Binde­vorgängen. Polyamide neigen zu adhäsivem Haftungsverhalten, nachdem die Oberfläche vorbehandelt wurde. Dies kann zum Beispiel durch Aufrauen, Gasbeflammen oder Beizen geschehen [17].

Untersuchungen der Klebeeigenschaften von Polyamid zeigen diffusionsbedingten Haftungseigenschaften. Dabei kommt es zu einem Eindiffundieren von Lösungsmittel, Monomer und Polymer des Klebstoffes. In der Mehrkomponententechnik geht man davon aus, dass Molekülketten diffundieren können.

Eine Erhöhung der Temperatur bei Klebungen von Polyamid zeigt bessere Haftungswerte. Ein hoher Kristallinitätsgrad wirkt sich negativ auf die Haftungsausbildung aus. Die kristallinen Anteile verhindern die diffusionsbedingte Haftung [17].

### 2.6.2 Polypropylen

Polypropylen ist nach Polyethylen (PE) weltweit der meist verwendete Standardkunststoff. Die Einsatzbereiche liegen vor allem im Verpackungsbereich, aber auch in der Textilindustrie (Fasern aus PP). Weiters wird PP in der Automobilbranche und im Konsumbereich eingesetzt.

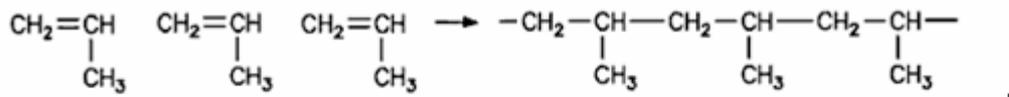
Die wichtigsten Unterschiede von PP zu PE sind:

- Niedrigere Dichte
- Höhere Glasübergangstemperatur
- Höherer Schmelzbereich
- PP-Homopolymere sind in der Kälte spröde
- PP neigt kaum zur Bildung von Spannungsrissen
- PP ist weniger oxidationsbeständig

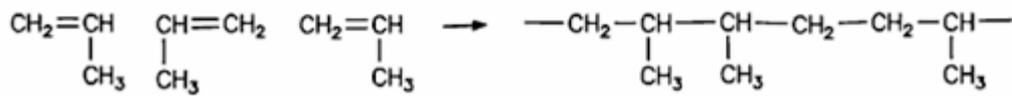
Die Herstellung von PP erfolgt beispielsweise unter Verwendung so genannter Ziegler-Natta-Katalysatoren ( $\text{MgCl}_2/\text{TiCl}_4/\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$ ). Dadurch können sehr regelmäßige Strukturen von PP erzeugt werden (isotaktisches PP). Ein hoher Ordnungsgrad und eine hohe Kristallinität zeichnen dieses Polymer aus. Die Kristallisationsfähigkeit und der Kristallinitätsgrad von PP hängen wesentlich von der Taktizität der molekularen Ketten ab. Abbildung 16 zeigt, wie sich die Monomerbausteine miteinander Verknüpfen können, und welche Anordnungen der Methyl-Gruppen ( $\text{CH}_3$ ) um die Hauptkette möglich sind.

## 2. Grundlagen

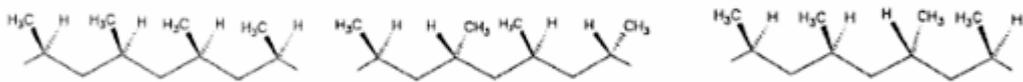
---



Kopf-Schwanz-Verknüpfung



Schwanz-Schwanz-Verknüpfung



isotaktisch

syndiotaktisch

ataktisch

Abbildung 16: Verknüpfungsmöglichkeiten und Taktizität von PP [28]

Die Einsatztemperaturen von PP können dauerhaft 100 °C betragen, kurzzeitig sogar bis 140 °C. Die Schmelztemperatur liegt zwischen 160 °C und 165 °C. Die Glasübergangstemperatur liegt bei 10 °C.

Ataktisches Polypropylen weist günstigere Haftungseigenschaften aufgrund der niedrigeren Schmelzviskosität auf [29,30].

### 2.7 Ermittlung der Verbundhaftung und des Bruchverhaltens

#### 2.7.1 Verbundhaftung bei Zugbeanspruchung

Wie im vorigen Kapitel 2.4.2 erklärt, sind unterschiedliche Mechanismen für die Ausbildung einer Haftung zwischen den Grenzflächen zweier Polymere verantwortlich. Die Haftung wird als jene Kraft gesehen, welche aufgebracht werden muss, um den Verbund zu lösen. Eine Betrachtung dieser Kraft (inneren Kraft  $F_i$ ) bezogen auf die wahre Oberfläche  $A_w$  der Grenzschicht führt zu der so genannten Haftfestigkeit  $\sigma_H$ .

$$\sigma_H = F_i / A_w \quad (3)$$

Da eine Bestimmung der inneren Kraft  $F_i$ , sowie der wahren Oberfläche  $A_w$  nur sehr schwer möglich ist, wurde der Begriff der Verbundfestigkeit  $\sigma_V$  eingeführt. Dabei wird die aus dem Zugversuch auftretende Bruchkraft  $F_B$  auf die nominellen Querschnittsfläche  $A_N$  bezogen.

$$\sigma_V = F_B / A_N \quad (4)$$

Die ermittelten Verbundfestigkeiten aus dem Zugversuch (ISO 527) können somit als Kennwerte für die Haftung herangezogen werden.

#### 2.7.2 Verbundhaftung bei Scherbeanspruchung

Für eine Betrachtung der Verbundfestigkeit wurden im Laufe dieser Arbeit nicht nur Zugprüfkörper, sondern auch andere Probekörpergeometrien untersucht. Dazu gehört unter anderem der Scherprüfkörper. Die Grenzfläche wurde bei diesem Probekörper dahingehend ausgelegt, dass vorwiegend Scherspannungen während der Zugprüfung induziert werden. Der sich ausbildende Spannungsverlauf ist vergleichbar, mit den auf Scherbelastung ausgelegten Probekörpern von Klebeverbindung [30]. Die mittlere Schubspannung  $\tau_m$  lässt sich aus dem in Abbildung 17 gegebenen Belastungsfall folgendermaßen feststellen.

$$\tau_m = F / b \cdot l_{\text{Ü}} \quad (5)$$

(mit  $b$ : Breite der Überlappung;  $l_{\text{Ü}}$ : Überlappungslänge;  $F$ : angreifende Kraft)

Neben der für den Kraftfluss verantwortlichen Schubspannung treten auch noch Längs- und Normalspannungen auf. Die normal zur Grenzfläche auftretenden Spannungen werden auch als Schälspannungen bezeichnet und beanspruchen die Verbindung stark, da sie ein schnelles Ein- und Weiterreißen verursachen. Die größten Schälspannungen treten in den Endbereichen der Überlappungsschicht auf [31].

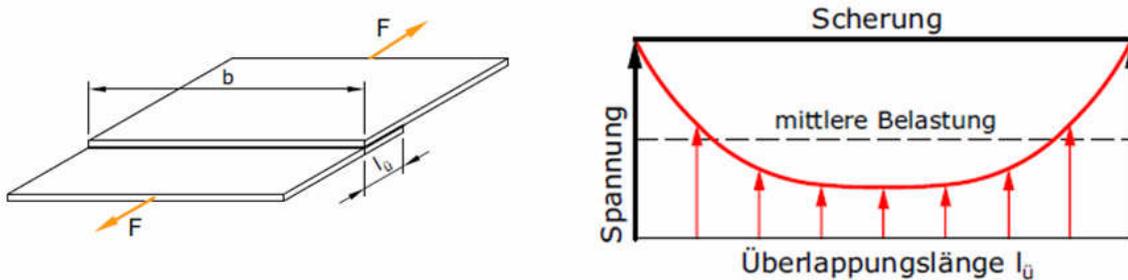


Abbildung 17: Scherbeanspruchung und resultierende Spannungsverteilung [31]

### 2.7.3 Verbundhaftung bei Schälbeanspruchung

Ein weiterer untersuchter Beanspruchungszustand ist die Schälbeanspruchung. Diese wird als ungünstigster Belastungsfall angesehen, da es im Bereich des Überlappungsendes zu sehr hohen Spannungsspitzen kommt (siehe Abbildung 18). Die Spannungen entstehen aufgrund der geringen Einwirkfläche der Zugkraft und können die Verbundfestigkeit um ein Vielfaches übersteigen.

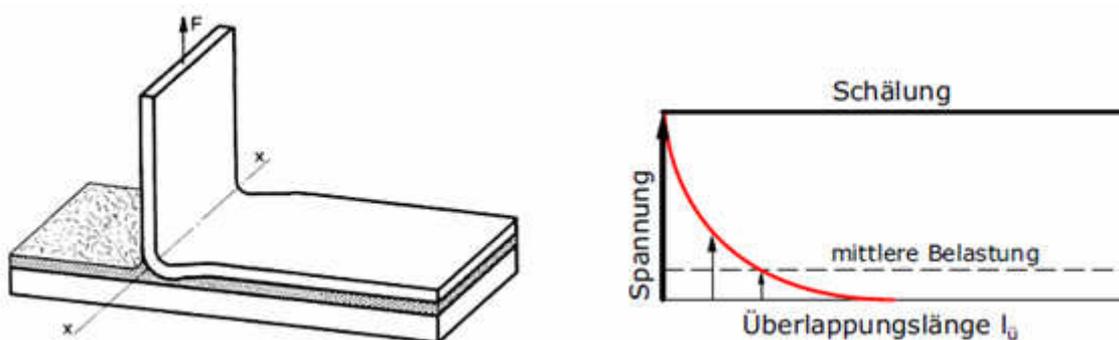


Abbildung 18: Schälbeanspruchung und resultierende Spannungsverteilung [32]

Im Fall der Schälbeanspruchung wird nicht von einer Schälfestigkeit gesprochen, da keine Festigkeit, das heißt auf eine Fläche bezogene Kraft, gemessen wird [32]. Es wird von einem Schälwiderstand der Verbundhaftung gegenüber einer senkrecht, abschälenden wirkenden Kraft gesprochen. Der Schälwiderstand  $\sigma_S$  lässt sich folgendermaßen ermitteln.

$$\sigma_S = F/b \cdot EL \quad (6)$$

(mit b: Überlappungsbreite; EL: Einheitslänge (1mm); F: angreifende Kraft)

### 2.7.4 Bruchverhalten der Mehrkomponenten-Verbindung

Das Bruchverhalten von Mehrkomponenten-Verbindungen soll nach den in Abbildung 19 dargestellten Brucharten unterschieden werden.

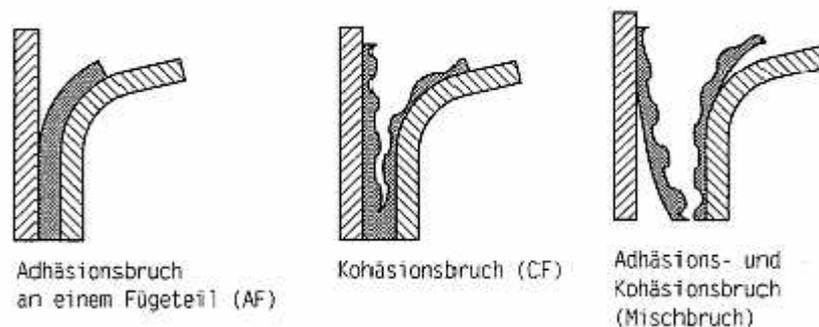


Abbildung 19: Schematische Darstellung unterschiedlicher Brucharten bei Kunststoffverbunden [22]

Die dargestellten Brucharten, Bezeichnungen und Abkürzungen sind in der Norm DIN EN ISO 10365 beschrieben.

#### 2.7.4.1 Adhäsionsbruch (AF)

Ein Adhäsionsbruch bei Mehrkomponentenspritzgussteilen liegt dann vor, wenn kein Material des zweiten Werkstoffes an der Grenzschicht haften bleibt. Das adhäsive Bruchverhalten lässt folgern, dass die Verbundhaftung geringer ist, als die Werkstofffestigkeit. Diese Bruchart lässt darauf schließen, dass es zu keiner Verschlaufung der Molekülketten gekommen ist. Somit ist ein Verbund der einen Adhäsionsbruch aufweist, durch eine geringe spezifische Festigkeit gekennzeichnet.

### **2.7.4.2 Kohäsionsbruch (CF)**

Der Kohäsionsbruch lässt sich durch das Vorhandensein von Polymerpartikeln der einen Komponente an der anderen Komponente erkennen. Somit findet der Bruch nicht in der Grenzphase statt, sondern innerhalb des Materials mit der geringeren Zugfestigkeit. Dabei lassen sich zwei unterschiedliche Arten des Kohäsionsbruches unterscheiden. Beim spröden Kohäsionsbruch kommt es quasi zu keiner Verformung in der Grenzfläche. Diese Art des Bruchverhaltens kann bei Hart/Hart-Verbunden auftreten.

Eine elastische Verformung, in der Grenzschicht bei Hart/Weich-Verbindungen, tritt hingegen beim zähen kohäsiven Bruchverhalten auf. Im Fall des Kohäsionsbruches ist die Verbundhaftung größer als die Werkstofffestigkeit der „schwächeren“ Komponente. Die Bruchausbildung erfolgt aufgrund von Inhomogenitäten (Kerben, Mikrorisse) oder Spannungsüberhöhungen [30].

Ein Kohäsionsbruch ist ein Anzeichen für eine stark ausgeprägte Interdiffusion beider Materialien. Die spezifische Festigkeit einer Verbindung, die einen solchen Bruch aufweist, ist durch die Zugfestigkeit der „schwächeren“ Komponente definiert.

### **2.7.4.3 Mischbruch**

Der Mischbruch ist eine Mischung zwischen Adhäsions- und Kohäsionsbruch. Die spezifische Festigkeit einer Verbindung, die einen Mischbruch aufweist, liegt in der Regel zwischen den spezifischen Festigkeiten des Adhäsions- beziehungsweise des Kohäsionsbruches.

## 3 Experimentelles

### 3.1 Probekörperdimensionierung

Für die Untersuchung der Haftung wurden die Prüfkörper dahingehend ausgewählt und dimensioniert, die in Kapitel 2.7 beschriebenen Spannungszustände in der Grenzfläche zu realisieren. Die gewählten Prüfkörpergeometrien (Abbildung 20) werden in weiterer Folge als Zug-, Scher- und Schälprüfkörper bezeichnet. Der Anguss erfolgte mittels Filmanguss an den Stirnflächen.

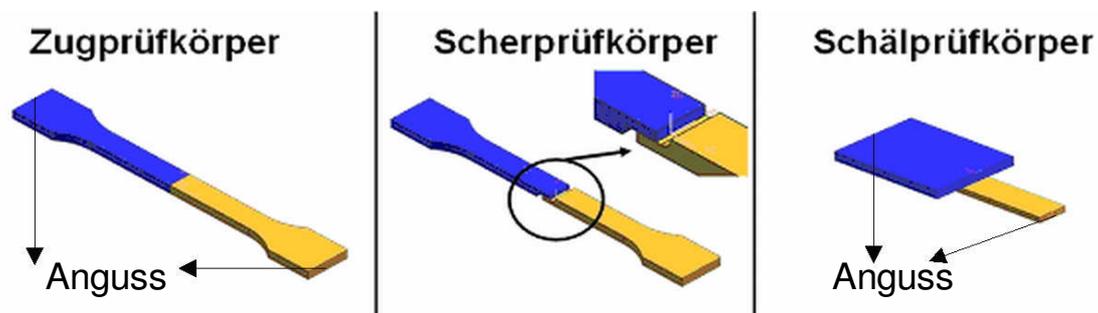
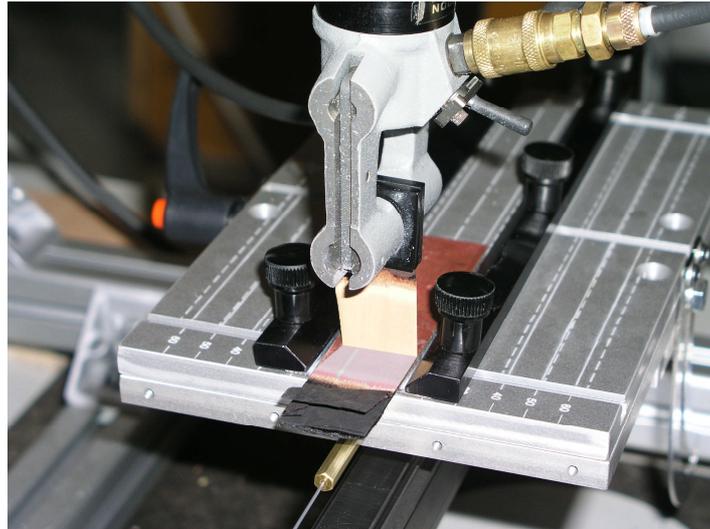


Abbildung 20: Prüfkörpergeometrien

Der Zug- und Scherprüfkörper wurden in Anlehnung an den Mehrzweckprüfkörper nach ISO 3167 Typ A entwickelt. Die Messung der Verbundfestigkeit erfolgte mittels einer Zugprüfmaschine der Montanuniversität Leoben (Zwick // Roell Z010 der Fa. Zwick GmbH & Co.KG, D-89079 Ulm). Der Zugprüfkörper wurde in zwei unterschiedlichen Dicken (2 mm und 4 mm) hergestellt, um den Einfluss der Grenzflächengröße abschätzen zu können.

Die Dimensionierung des Schälprüfkörpers erfolgte dahingehend, die Schälprüfung auf der Zugprüfmaschine Instron 4505 (Fa. Instron Limited, Buckinghamshire UK) durchführen zu können. Bei der Prüfung dieser Probekörper wurde eine spezielle Vorrichtung zur Ermittlung des Schälwiderstandes verwendet (Abbildung 21).



*Abbildung 21: Schälvorrichtung*

Dabei wurde die Hartkomponente in einen beweglich gelagerten Schlitten eingespannt. Bevor die Weichkomponente mittels einer Zugvorrichtung normal zur Schlittenfahrtrichtung abgezogen wurde, wurde in der Grenzfläche mittels eines Rasiermessers eine Einkerbung (1 mm Tiefe), als Rissinitiation, vorgenommen. Durch die spezielle Schälvorrichtung konnte der Kraftauftrag normal zur Grenzfläche eingeleitet und somit der Schälwiderstand ermittelt werden.

#### 3.2 Probekörperherstellung

Die Herstellung der einzelnen Probekörper erfolgte in Zusammenarbeit mit der Fa. Camo Formen- und Werkzeugbau GmbH mit Sitz in Schwanenstadt. Eine eigens für Mehrkomponentenspritzgussteile ausgelegte Spritzgussmaschine der Fa ENGEL (ERC 53/2-C, Datenblatt siehe Anhang) diente zur Bemusterung der Prüfkörper. Das verwendete Werkzeug (ebenfalls Fa. Camo), welches zur Formgebung verwendet wurde, erlaubt aufgrund von wechselbaren Einsätzen (Abbildung 22 – 24) die Herstellung der diversen Probekörpergeometrien (siehe Abbildung 20).

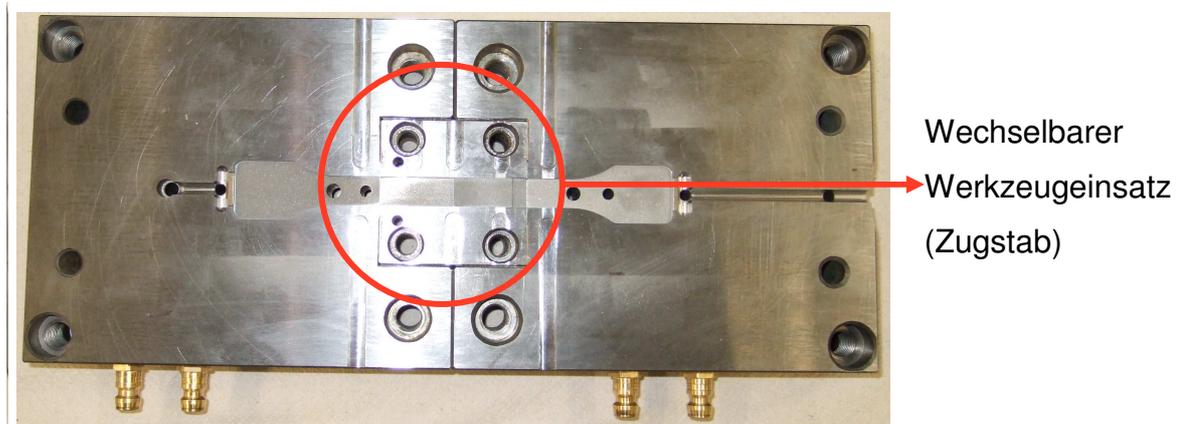
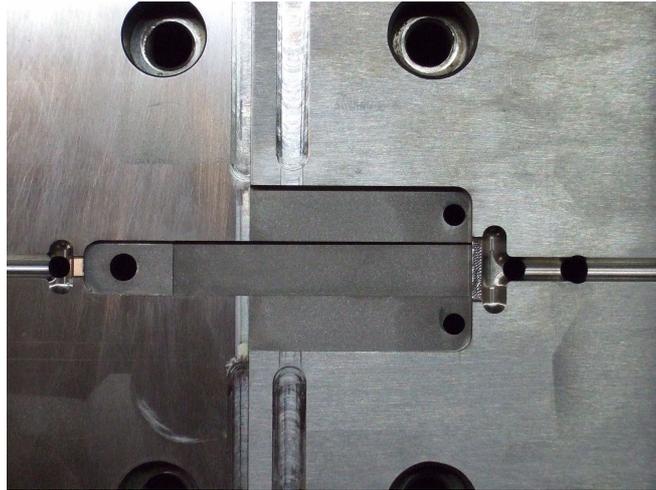


Abbildung 22: Werkzeug mit wechselbaren Einsätzen



Abbildung 23: Werkzeugeinsatz für den Scherprüfkörper



*Abbildung 24: Werkzeugeinsatz für den Schälprüfkörper*

Die verwendete Spritzgussmaschine verfügt über zwei Plastifiziereinheiten welche horizontal und vertikal angeordnet sind. Die erste Materialkomponente wird über die horizontale Plastifiziereinheit eingebracht, die zweite Materialkomponente wird über die vertikale Plastifiziereinheit in die Trennebene des Werkzeuges eingespritzt. Die thermisch abgekühlte („kalte“) Grenzfläche wird durch das Core-Back-Verfahren (Kapitel 0) ermöglicht.

### 3.3 Vorgehensweise

Für die Untersuchungen der Einflüsse von unterschiedlichen Prozessparametern auf die sich ausbildende Verbundhaftung, wurde für jede Materialpaarung ein geeigneter Versuchsplan erstellt. Dabei wurde jeweils eine hohe (▲) sowie eine niedrige (▼) Einstellung gewählt. Aus Tabelle 4 ist zu erkennen, dass die Verbundfestigkeit in Abhängigkeit der

- Verzögerungszeit  $t_v$  (Zeit zwischen Ende der Restkühlzeit der ersten Komponente und Start des Einspritzvorganges der zweiten Komponente)
- Massetemperatur der zweiten Komponente  $T_{M2}$
- Nachdruckhöhe der zweiten Komponente  $p_{N2}$
- Einspritzgeschwindigkeit der zweiten Komponente  $v_{E2}$

gemessen wurde.

Die jeweiligen Massetemperaturen der ersten sowie der zweiten Komponente wurden durch ausspritzen der Schmelze mittels Einstichthermometer festgestellt. Als Nachdruckhöhe der zweiten Komponente wurde der spezifische Hydraulikdruck angenommen.

Tabelle 4: Versuchsplan

Nr.	$t_v$	$T_{M2}$	$p_{N2}$	$v_{E2}$
1	$t_v$ ▼	$T_{M2}$ ▼	$p_{N2}$ ▲	$v_{E2}$ ▼
2	$t_v$ ▲	$T_{M2}$ ▼	$p_{N2}$ ▲	$v_{E2}$ ▼
3	$t_v$ ▲	$T_{M2}$ ▼	$p_{N2}$ ▼	$v_{E2}$ ▼
4	$t_v$ ▼	$T_{M2}$ ▼	$p_{N2}$ ▼	$v_{E2}$ ▼
5	$t_v$ ▼	$T_{M2}$ ▼	$p_{N2}$ ▲	$v_{E2}$ ▲
6	$t_v$ ▼	$T_{M2}$ ▲	$p_{N2}$ ▲	$v_{E2}$ ▼
7	$t_v$ ▲	$T_{M2}$ ▲	$p_{N2}$ ▲	$v_{E2}$ ▼
8	$t_v$ ▲	$T_{M2}$ ▲	$p_{N2}$ ▼	$v_{E2}$ ▼
9	$t_v$ ▼	$T_{M2}$ ▲	$p_{N2}$ ▼	$v_{E2}$ ▼
10	$t_v$ ▼	$T_{M2}$ ▲	$p_{N2}$ ▲	$v_{E2}$ ▲

### 3. Experimentelles

---

Der in Tabelle 4 dargestellte Versuchsplan ermöglicht es, den Einfluss einzelner Maschineneinstellungen auf die Verbundhaftung zu detektieren. Der Einfluss der Verzögerungszeit lässt sich durch den Vergleich der Festigkeitsergebnisse aus den Einstellungsnummern 1 und 2, 3 und 4, 6 und 7 beziehungsweise 8 und 9 ermitteln. Dabei wurde nur die Verzögerungszeit variiert während sämtliche anderen Maschineneinstellungen unverändert blieben.

Der Vergleich der Ergebnisse 1 und 6, 2 und 7, 3 und 8, 4 und 9 beziehungsweise 5 und 10 liefert den Einfluss der Massetemperatur der zweiten Komponente. Der Einfluss der Nachdruckhöhe der zweiten Komponente wird aus dem Vergleich der Ergebnisse 1 und 4, 2 und 3, 6 und 9 beziehungsweise 7 und 8 ermittelt. Um den Einfluss der Einspritzgeschwindigkeit der zweiten Komponente auf die Verbundhaftung feststellen zu können, vergleicht man die Festigkeitswerte der Einstellungsnummer 1 und 5 sowie 6 und 10.

Jede untersuchte Materialpaarung wurde nach diesem Versuchsplan bemustert und in weiterer Folge einer Festigkeitsprüfung unterzogen.

### 4 Ergebnisse

Für die Ermittlung aussagekräftiger Ergebnisse wurden für jede Einstellungsnummer aus dem Versuchsplan 5 Probekörper einer Festigkeitsprüfung unterzogen. Daraus wurde der Mittelwert für die Verbundfestigkeitsergebnisse gebildet. Die im folgendem dargestellten Diagramme zeigen somit die Mittelwerte aus 5 Festigkeitsmessungen.

#### 4.1 Grilamid LV5H – Kraiburg TC6PCN (TPE)

(Materialdatenblätter im Anhang)

Bei der Hartkomponente dieser Materialpaarung handelt es sich um ein PA12 (Grilamid), welches mit 50 Gewichtsprozent Glasfasern verstärkt wurde. Dieses bietet besonders gute Eigenschaften im Bereich der Chemikalienbeständigkeit,

UV-Beständigkeit, eine hohe Schlagfestigkeit sowie geringen Schwund. Dieses Material wird für Anwendungen in der Elektro-, Automobil-, Sanitärbranche und im Maschinenbau eingesetzt.

Das verwendete TPE-S der Fa. Kraiburg eignet sich besonders gut für das 2K-Spritzgussverfahren. Es weist eine besonders gute Haftung auf Polyamid auf und ist äußerst witterungsbeständig. Dieses Material wird vor allem im Dichtungsbereich eingesetzt.

### 4.1.1 2 mm – Zugstab

Tabelle 5: Versuchsplan Grilamid LV5H – Kraiburg TC6PNC

(Zugstab 2 mm;  $T_{M1} = 265 \text{ °C}$ ;  $t_K = 10 \text{ s}$ ;  $T_{WZ} = 60 \text{ °C}$ )

Einstellungsnr.:	$T_{M2}(\text{°C})$	$t_V \text{ (s)}$	$p_{N_2} \text{ (bar)}$	$v_{E2} \text{ (mm/s)}$
1	208	1	12	12
2	208	11	12	12
3	208	11	10	12
4	208	1	10	12
5	208	1	12	31
6	229	1	12	12
7	229	11	12	12
8	229	11	10	12
9	229	1	10	12
10	229	1	12	31

Abbildung 26 zeigt die Verbundfestigkeitsergebnisse der Materialpaarung Grilamid LV5H – Kraiburg TC6PNC. Die Bemusterung der Probekörper wurde nach dem in Tabelle 5 dargestellten Versuchsplan durchgeführt. Als Werkzeugeinsatz diente ein 2 mm-Zugstab, die Werkzeugtemperatur betrug 60 °C.

#### **Einfluss der Massetemperatur der zweiten Komponente**

1(▼) ↔ 6(▲), 2(▼) ↔ 7(▲), 3(▼) ↔ 8(▲), 4(▼) ↔ 9(▲), 5(▼) ↔ 10(▲)

Eine Erhöhung der Massetemperatur der zweiten Komponente wirkte sich sehr positiv auf die Verbundfestigkeit aus. Der mittlere Anstieg der Verbundfestigkeit betrug 31 Prozent. Die Ergebnisse aus Abbildung 25 lassen sich durch die Diffusionstheorie erklären. Die höhere Massetemperatur der zweiten Komponente führt beim Auftreffen auf die Kontaktfläche der ersten Komponente zu einer Temperaturerhöhung derselben. Das stärkere anschmelzen der Grenzschicht erhöht die Molekülbeweglichkeit und somit die Verschlaufung der Molekülketten, was wiederum die Verbundfestigkeit erhöht. Bemerkenswert ist der Anstieg der Haftung (71 %) bei erhöhter Einspritzgeschwindigkeit (31 mm/s).

## 4. Ergebnisse

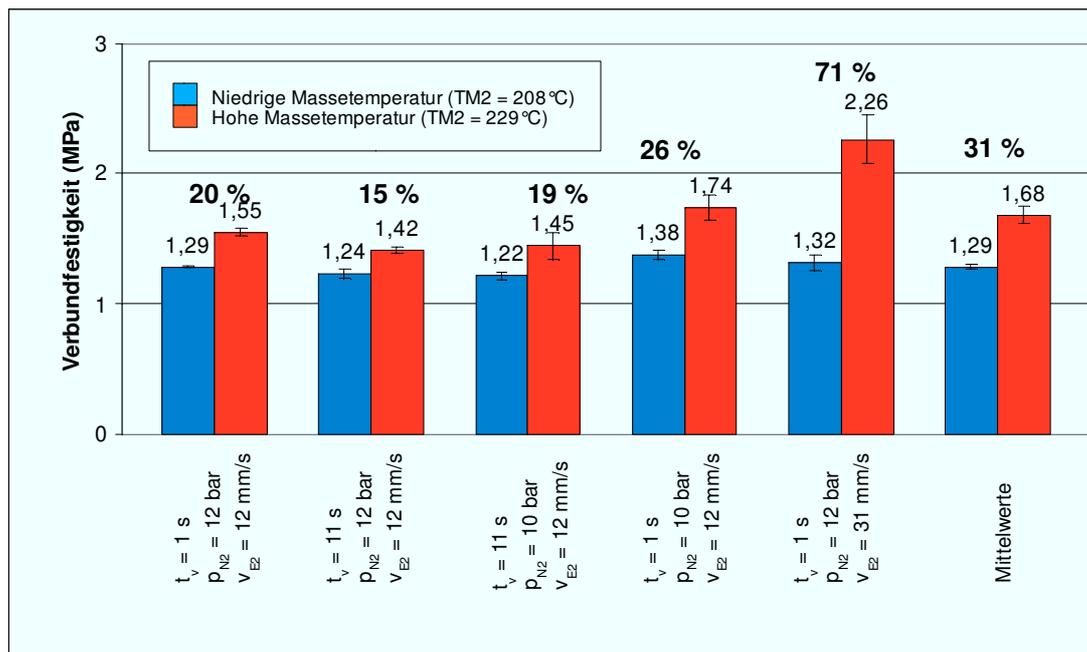


Abbildung 25: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Grilamid LV5H – Kraiburg TC6PNC in Abhängigkeit der Massetemperatur der zweiten Komponente (Zugstab 2 mm;  $T_{M1} = 265\text{ °C}$ ;  $t_K = 10\text{ s}$ ;  $T_{WZ} = 60\text{ °C}$ ), Prüfgeschwindigkeit= 50 mm/min

### Einfluss der Verzögerungszeit auf die Verbundhaftung

1(▼) ↔ 2(▲), 4(▼) ↔ 3(▲), 6(▼) ↔ 7(▲), 9(▼) ↔ 8(▲)

Wie in Kapitel 3.3 beschrieben, liefert ein Vergleich der Ergebnisse aus der Festigkeitsprüfung für die Einstellungsnummern 1(▼) und 2(▲), 4(▼) und 3(▲), 6(▼) und 7(▲) beziehungsweise 9(▼) und 8(▲) den Einfluss der Verzögerungszeit. Dabei wurde jeweils eine niedrige (▼=1 s) und eine hohe (▲=11 s) Einstellung für die Verzögerungszeit verwendet. In Abbildung 26 werden jeweils jene Einstellungen verglichen, welche sich lediglich in der Verzögerungszeit unterscheiden. Die Prozentangaben beziehen sich auf den Verbundhaftungsanstieg bei verkürzter Verzögerungszeit.

Eine Betrachtung der in Abbildung 26 dargestellten Messwerte zeigt, dass sich eine niedrige Verzögerungszeit positiv auf die Verbundhaftung auswirkt. Im Mittel beträgt die Zunahme der Verbundfestigkeit 12 Prozent bei niedriger Einspritzgeschwindigkeit. Dies lässt sich durch die bereits stärker abgekühlte Kontaktfläche der ersten Komponente erklären.

Bei niedriger Massetemperatur der zweiten Komponente zeigte die längere Verzögerungszeit einen geringeren Einfluss (4 % bzw. 13 %), als bei hoher

## 4. Ergebnisse

Massetemperatur (9 % bzw. 20 %). Der Verschlaufungsprozess und somit die Interdiffusion werden durch die geringere Temperatur erschwert.

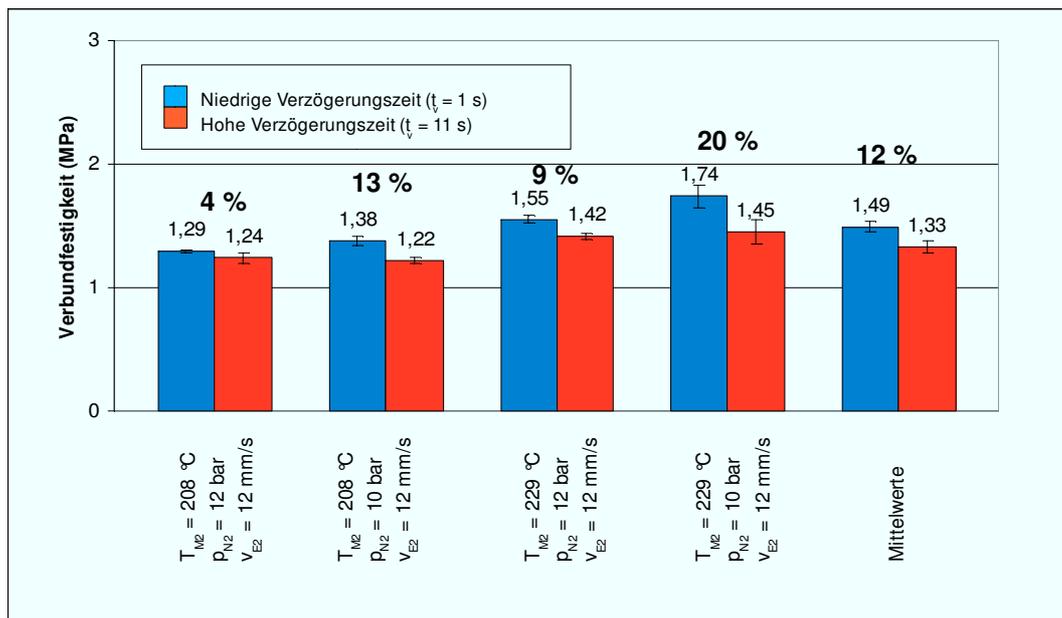


Abbildung 26: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Grilamid LV5H – Kraiburg TC6PNC in Abhängigkeit der Verzögerungszeit (Zugstab 2 mm;  $T_{M1} = 265$  °C;  $t_K = 10$  s;  $T_{WZ} = 60$  °C), Prüfgeschwindigkeit= 50 mm/min

### Einfluss der Nachdruckhöhe der zweiten Komponente

4(▼) ↔ 1(▲), 3(▼) ↔ 2(▲), 9(▼) ↔ 6(▲), 8(▼) ↔ 7(▲)

Abbildung 27 zeigt, dass eine geringere Nachdruckhöhe sich leicht positiv auf die Verbundhaftung auswirkt. Der mittlere Anstieg der Verbundfestigkeit beträgt 5 Prozent (bei niedrigem Nachdruck). Bei niedriger Massetemperatur der zweiten Komponente ( $T_{M2} = 208$  °C) und längerer Verzögerungszeit ( $t_v = 11$  s) führte ein geringer Nachdruck zu einer geringen Abnahme (-2 %) der Verbundfestigkeit. Der zu beobachtende Einfluss der Nachdruckhöhe ist jedoch geringer, als jener der Änderung der Massetemperatur der zweiten Komponente. Eine Erklärung für die Abnahme der Verbundfestigkeit bei erhöhtem Nachdruck könnte die Einbringung von Eigenspannungen sein.

Diese Eigenspannungen könnten sich mit jenen, durch den Zugversuch, induzierten Spannungen überlagern und dadurch zu einer Schwächung des Verbundes führen.

## 4. Ergebnisse

Die zu erwartende Verbesserung der Diffusion, aufgrund des erhöhten Nachdruckes, wird durch die Eigenspannungen kompensiert und es kommt zu einer Abnahme der Verbundhaftung mit höherem Nachdruck.

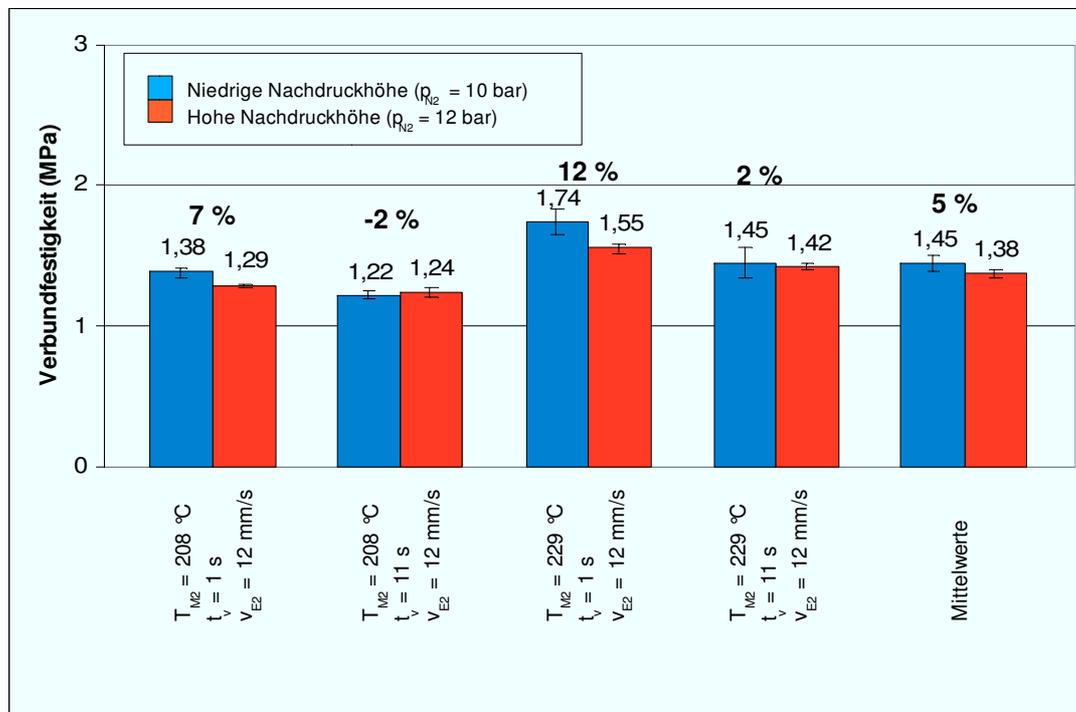


Abbildung 27: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Grilamid LV5H – Kraiburg TC6PNC in Abhängigkeit der Nachdruckhöhe (Zugstab 2 mm;  $T_{M_1} = 265$  °C;  $t_K = 10$  s;  $T_{WZ} = 60$  °C), Prüfgeschwindigkeit= 50 mm/min

### Einfluss der Einspritzgeschwindigkeit der zweiten Komponente

1(▼) ↔ 5(▲), 6(▼) ↔ 10(▲)

Bei niedriger Massetemperatur der zweiten Komponente hat eine Erhöhung der Einspritzgeschwindigkeit keinen deutlichen Effekt (2 %) auf die Verbundhaftung, da die Unterschiede im Bereich der Standardabweichung liegen. Einen deutlich größeren Einfluss zeigt die Einspritzgeschwindigkeit bei erhöhter Massetemperatur (46 %). Dieser Effekt lässt sich dadurch erklären, dass aufgrund der höheren Geschwindigkeit die Schmelze weniger stark auskühlt und somit mit höherer Temperatur auf die erste Komponente trifft. Dieser Effekt hat einen positiven Einfluss auf die Diffusion und somit auf die sich ausbildende Verbundhaftung.

## 4. Ergebnisse

Eine hohe Massetemperatur der zweiten Komponente begünstigt aufgrund der erhöhten Interdiffusion den Einfluss auf die Verbundhaftung. Abbildung 28 soll die Einflüsse der Einspritzgeschwindigkeit nochmals verdeutlichen.

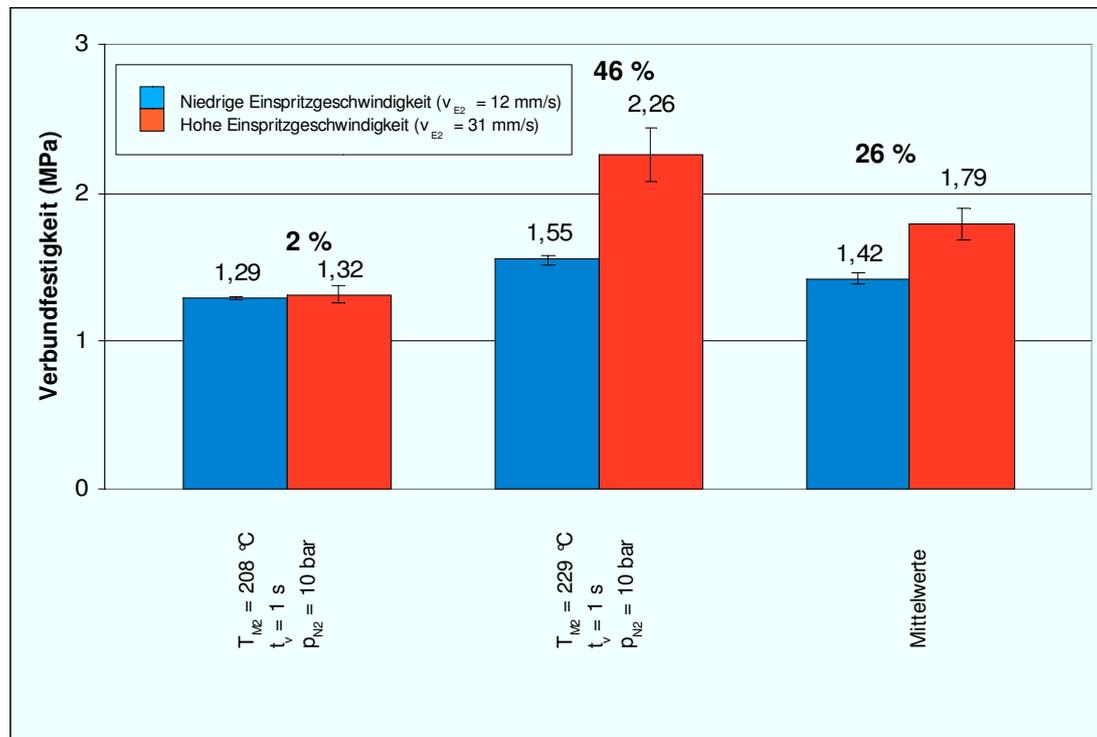


Abbildung 28: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Grilamid LV5H – Kraiburg TC6PNC in Abhängigkeit der Einspritzgeschwindigkeit (Zugstab 2 mm; T<sub>M1</sub> = 265 °C; t<sub>K</sub> = 10 s; T<sub>WZ</sub> = 60 °C), Prüfgeschwindigkeit= 50 mm/min

### 4.1.2 mm – Zugstab

Die Bemusterung des 4 mm – Zugstabes für die Materialpaarung Grilamid LV5H – Kraiburg TC6PNC erfolgte nach dem in Tabelle 6 dargestellten Versuchsplan.

Tabelle 6: Versuchsplan Grilamid LV5H – Kraiburg TC6PNC

(Zugstab 4 mm;  $T_{M1} = 265 \text{ °C}$ ;  $t_K = 10 \text{ s}$ ;  $T_{WZ} = 60 \text{ °C}$ )

Einstellungsnr.:	$T_{M2}(\text{°C})$	$t_V \text{ (s)}$	$p_{N_2} \text{ (bar)}$	$v_{E2} \text{ (mm/s)}$
1	207	1	16	12
2	207	11	16	12
3	207	11	12	12
4	207	1	12	12
5	207	1	16	31
6	228	1	16	12
7	228	11	16	12
8	228	11	12	12
9	228	1	12	12
10	228	1	16	31

### **Einfluss der Massetemperatur der zweiten Komponente**

1(▼) ↔ 6(▲), 2(▼) ↔ 7(▲), 3(▼) ↔ 8(▲), 4(▼) ↔ 9(▲), 5(▼) ↔ 10(▲)

Abbildung 29 zeigt die ermittelten Verbundfestigkeitswerte in Abhängigkeit der Massetemperatur der zweiten Komponente für den 4 mm – Zugstab. Aus dem Vergleich der hohen und niedrigen Einstellungswerte geht hervor, dass sich eine hohe Massetemperatur ( $T_{M2} = 228 \text{ °C}$ ) positiv auf die Verbundhaftung auswirkt. Der mittlere Verbundfestigkeitsanstieg liegt bei 11 Prozent. Aus Abbildung 29 geht hervor, dass bei einer Parametermodifikation eine Abnahme der Haftung mit erhöhter Massetemperatur und Einspritzgeschwindigkeit der zweiten Komponente einhergeht. Eine Erklärung dafür liegt nicht vor.

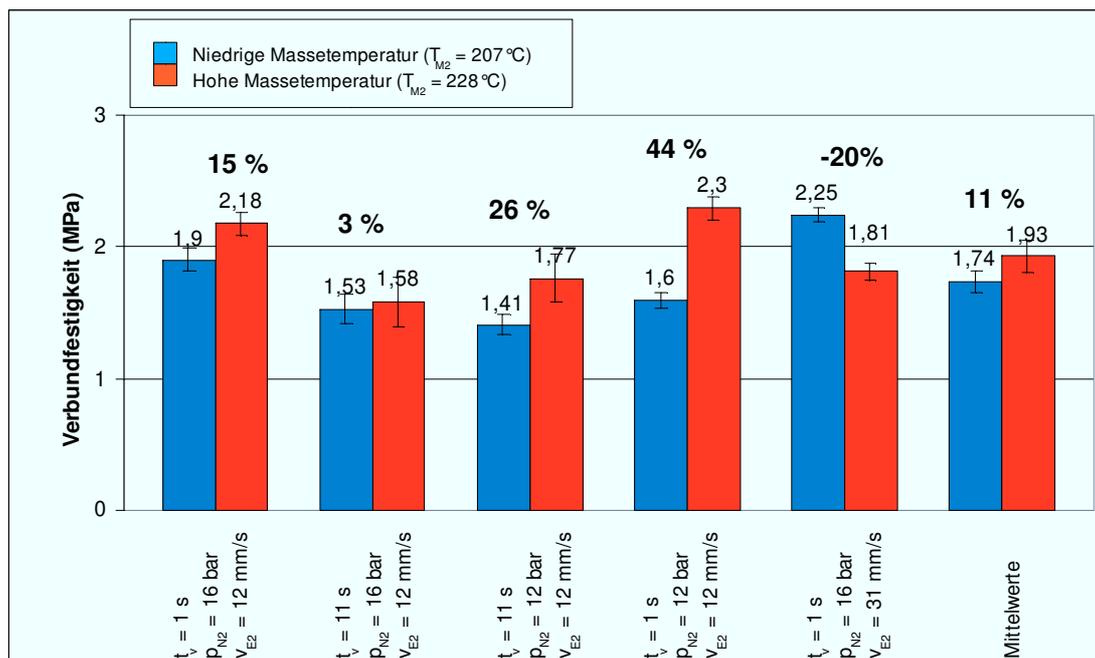


Abbildung 29: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Grilamid LV5H – Kraiburg TC6PNC in Abhängigkeit der Massetemperatur der zweiten Komponente (Zugstab 4 mm;  $T_{M1} = 265\text{ °C}$ ;  $t_K = 10\text{ s}$ ;  $T_{WZ} = 60\text{ °C}$ ), Prüfgeschwindigkeit= 50 mm/min

### Einfluss der Verzögerungszeit auf die Verbundhaftung

1(▼) ↔ 2(▲), 4(▼) ↔ 3(▲), 6(▼) ↔ 7(▲), 9(▼) ↔ 8(▲)

Auch eine verkürzte Verzögerungszeit bis zum Einspritzen der zweiten Komponente (siehe Abbildung 30) wirkt sich, wie beim 2 mm – Zugstab, positiv auf die Haftung dieser Materialpaarung aus. Im Mittel liegt der Anstieg der Verbundfestigkeit bei 27 Prozent.

## 4. Ergebnisse

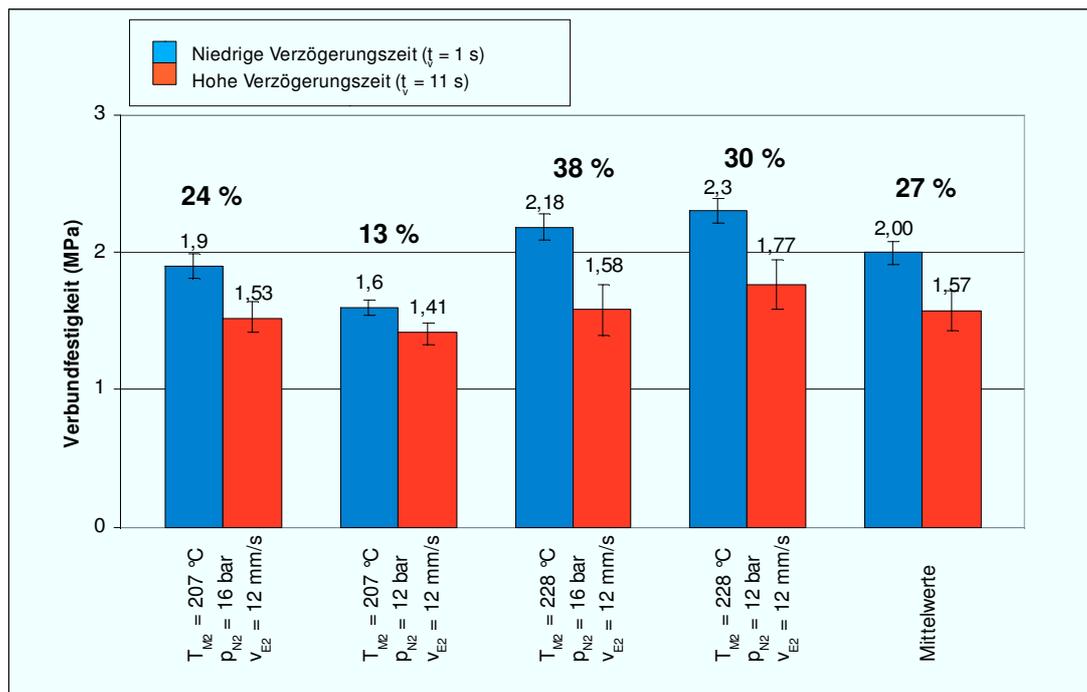


Abbildung 30: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Grilamid LV5H – Kraiburg TC6PNC in Abhängigkeit der Verzögerungszeit (Zugstab 4 mm;  $T_{M1} = 265$  °C;  $t_K = 10$  s;  $T_{WZ} = 60$  °C), Prüfgeschwindigkeit= 50 mm/min

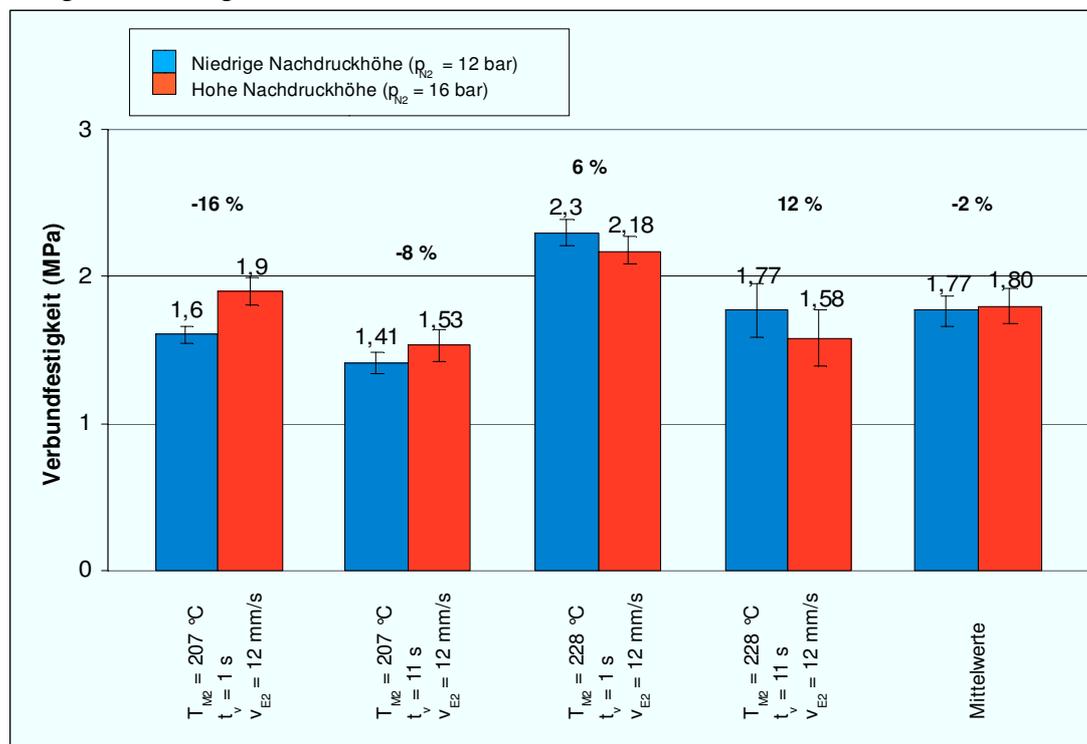


Abbildung 31: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Grilamid LV5H – Kraiburg TC6PNC in Abhängigkeit der Nachdruckhöhe (Zugstab 4 mm;  $T_{M1} = 265$  °C;  $t_K = 10$  s;  $T_{WZ} = 60$  °C), Prüfgeschwindigkeit= 50 mm/min

### Einfluss der Nachdruckhöhe der zweiten Komponente

4(▼) ↔ 1(▲), 3(▼) ↔ 2(▲), 9(▼) ↔ 6(▲), 8(▼) ↔ 7(▲)

Der Einfluss der Nachdruckhöhe lässt sich aus Abbildung 31 aufgrund der Standardabweichungen der einzelnen Messungen nicht eindeutig feststellen.

### Einfluss der Einspritzgeschwindigkeit der zweiten Komponente

1(▼) ↔ 5(▲), 6(▼) ↔ 10(▲)

Eine Aussage über den Einfluss einer Einspritzgeschwindigkeit lässt sich aus Abbildung 32 nicht ziehen, da sich die Effekte bei niedriger und hoher Massetemperatur gegenläufig verhalten. Untersuchungen für den 2 mm-Zugstab dieser Materialpaarung haben gezeigt, dass die Verbundhaftung bei erhöhter Einspritzgeschwindigkeit und Massetemperatur ansteigt (46 %).

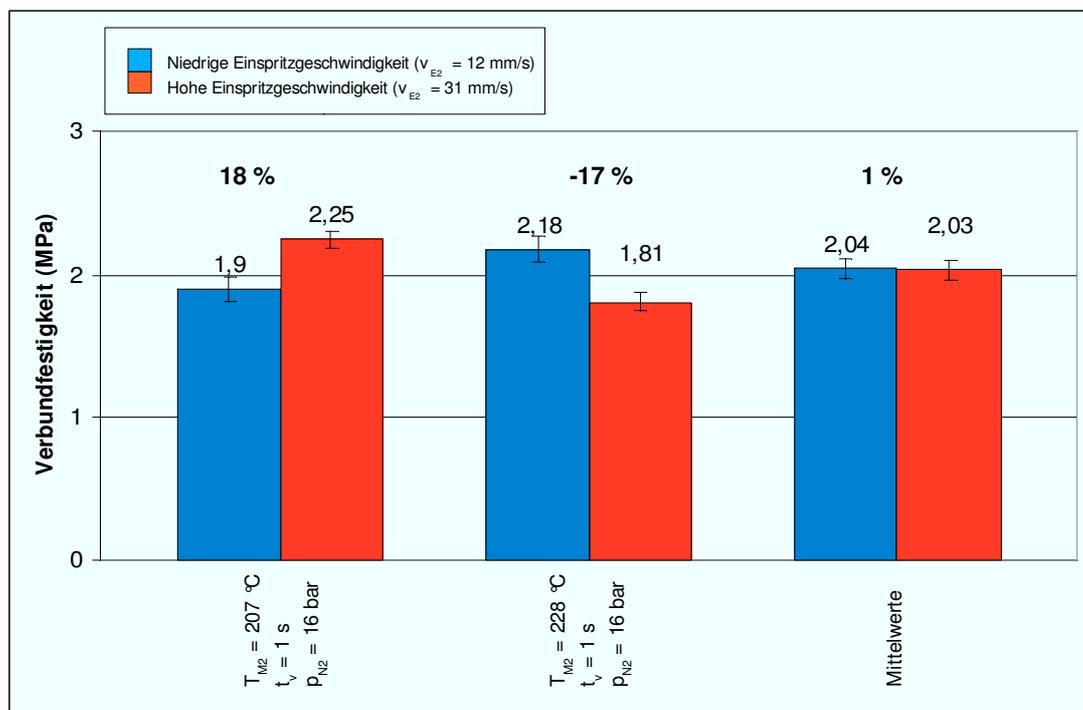


Abbildung 32: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Grilamid LV5H – Kraiburg TC6PNC in Abhängigkeit der Einspritzgeschwindigkeit (Zugstab 4 mm;  $T_{M1} = 265$  °C;  $t_K = 10$  s;  $T_{WZ} = 60$  °C), Prüfgeschwindigkeit= 50 mm/min

### 4.1.3 Scherprüfkörper

Die Festigkeitswerte des Zugversuches für den Scherprüfkörper sind in der folgenden Abbildungen 9 bis 12 dargestellt. Die Bemusterung dieses Probekörpers wurde nach dem in Tabelle 7 dargestellten Versuchsplan durchgeführt.

*Tabelle 7: Versuchsplan Grilamid LV5H – Kraiburg TC6PNC*

*(Scherprüfkörper;  $T_{M1} = 265 \text{ °C}$ ;  $t_K = 10 \text{ s}$ ;  $T_{WZ} = 60 \text{ °C}$ )*

Einstellungsnr.:	$T_{M2}(\text{°C})$	$t_v \text{ (s)}$	$p_{N2} \text{ (bar)}$	$v_{E2} \text{ (mm/s)}$
1	208	1	14	12
2	208	11	14	12
3	208	11	10	12
4	208	1	10	12
5	208	1	14	32
6	237	1	14	12
7	237	11	14	12
8	237	11	10	12
9	237	1	10	12
10	237	1	14	32

#### **Einfluss der Massetemperatur der zweiten Komponente**

1(▼) ↔ 6(▲), 2(▼) ↔ 7(▲), 3(▼) ↔ 8(▲), 4(▼) ↔ 9(▲), 5(▼) ↔ 10(▲)

Eine Betrachtung der Ergebnisse aus Abbildung 33 zeigt, dass eine Erhöhung der Massetemperatur der zweiten Komponente zu deutlich höheren Verbundfestigkeiten führt. Der größte Anstieg beträgt dabei 45 Prozent. im Mittel nimmt die Haftung um 30 Prozent zu.

#### **Einfluss der Verzögerungszeit auf die Verbundhaftung**

1(▼) ↔ 2(▲), 4(▼) ↔ 3(▲), 6(▼) ↔ 7(▲), 9(▼) ↔ 8(▲)

Wie beim 2 mm- und 4 mm-Zugstab, bewirkt eine Verkürzung der Verzögerungszeit eine Erhöhung der Haftung. Diese liegt zwischen 25 und 4 Prozent. Abbildung 34 soll die Ergebnisse der Verbundhaftungsuntersuchung in Abhängigkeit der Massetemperatur der zweiten Komponente verdeutlichen.

#### 4. Ergebnisse

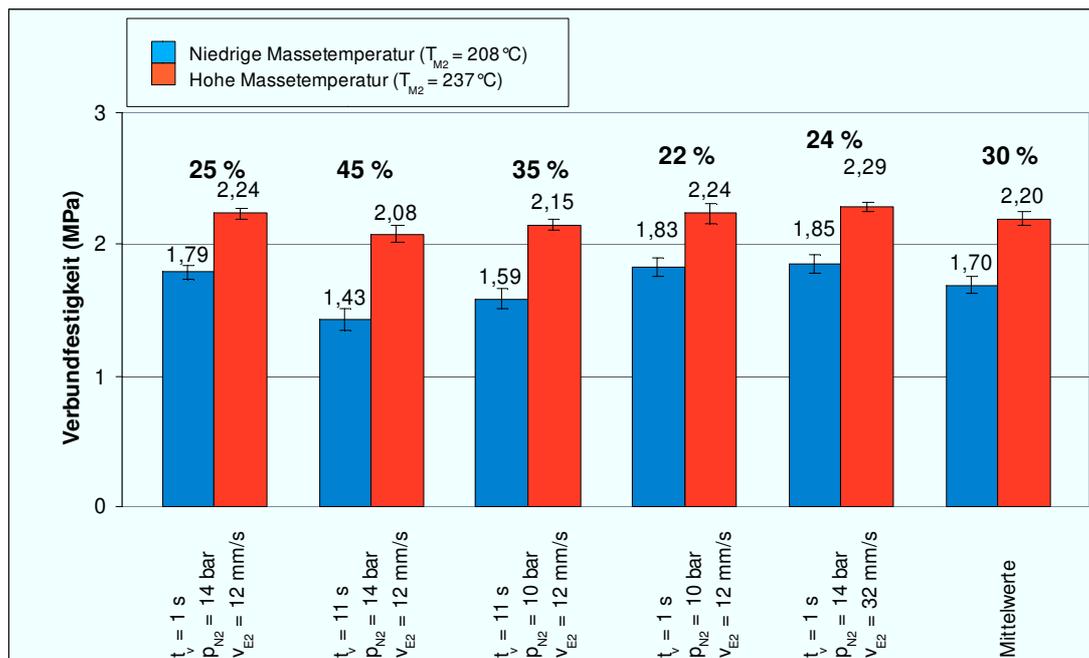


Abbildung 33: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Grilamid LV5H – Kraiburg TC6PNC in Abhängigkeit der Massetemperatur der zweiten Komponente (Zugstab 4 mm;  $T_{M1} = 265$  °C;  $t_K = 10$  s;  $T_{WZ} = 60$  °C), Prüfgeschwindigkeit= 50 mm/min

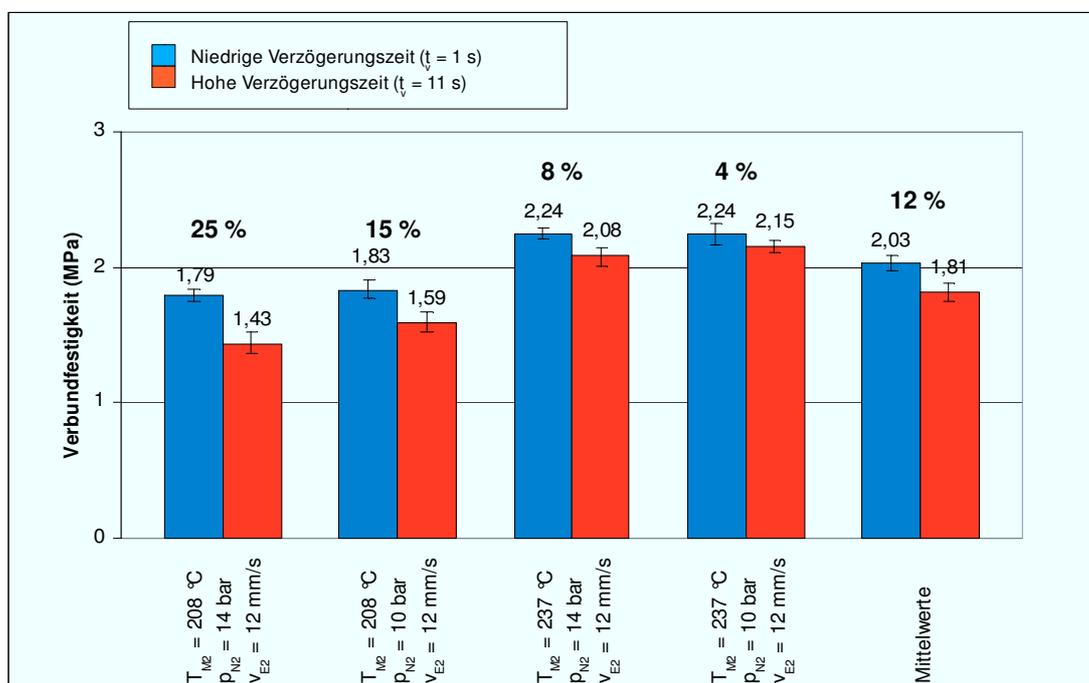


Abbildung 34: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Grilamid LV5H – Kraiburg TC6PNC in Abhängigkeit der Verzögerungszeit (Zugstab 4 mm;  $T_{M1} = 265$  °C;  $t_K = 10$  s;  $T_{WZ} = 60$  °C), Prüfgeschwindigkeit= 50 mm/min

### Einfluss der Nachdruckhöhe der zweiten Komponente

4(▼) ↔ 1(▲), 3(▼) ↔ 2(▲), 9(▼) ↔ 6(▲), 8(▼) ↔ 7(▲)

Eine Änderung der Nachdruckhöhe der zweiten Komponente führt zu geringfügig höheren Werten, bei niedrigerer Nachdruckhöhe (siehe Abbildung 35). Eine niedrigere Nachdruckhöhe führt im Mittel zu einem Anstieg der Verbundhaftung von 4 Prozent.

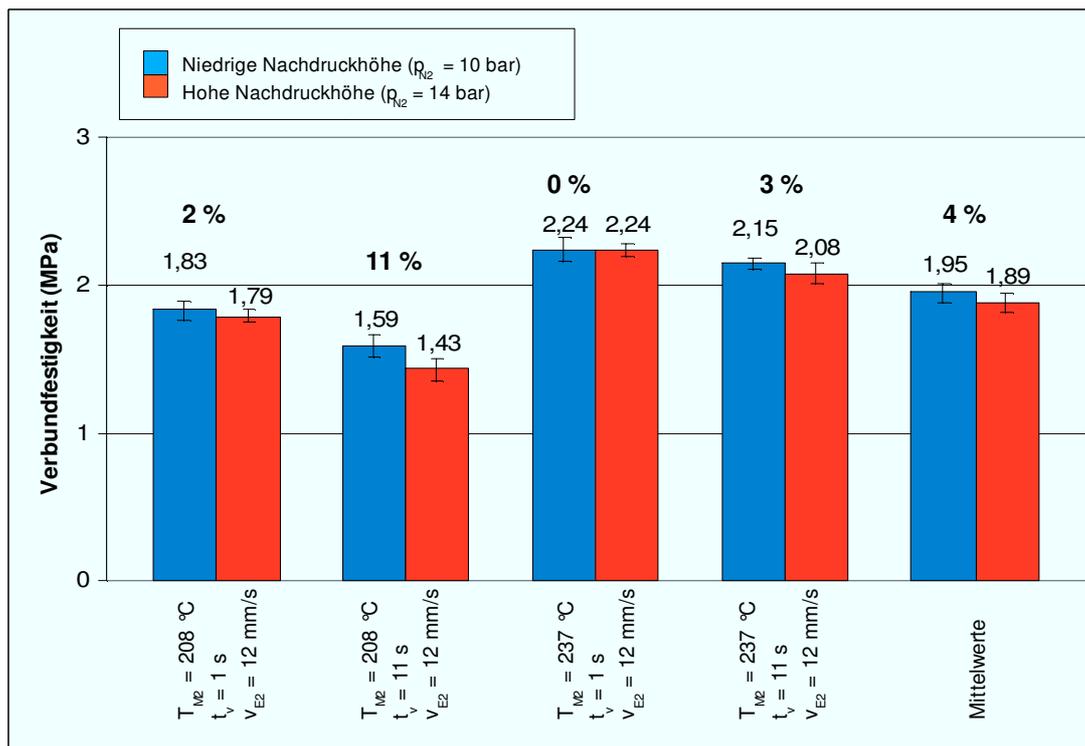


Abbildung 35: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Grilamid LV5H – Kraiburg TC6PNC in Abhängigkeit der Nachdruckhöhe (Zugstab 4 mm;  $T_{M1} = 265$  °C;  $t_K = 10$  s;  $T_{WZ} = 60$  °C), Prüfungsgeschwindigkeit= 50 mm/min

### Einfluss der Einspritzgeschwindigkeit der zweiten Komponente

1(▼) ↔ 5(▲), 6(▼) ↔ 10(▲)

Für die Einspritzgeschwindigkeit lässt sich eine leichte Erhöhung der Verbundfestigkeit mit höherer Geschwindigkeit feststellen. Ursachen die den ermittelten Resultaten zu Grunde liegen, wurden bereits im Kapitel 4.1.1 erläutert.

## 4. Ergebnisse

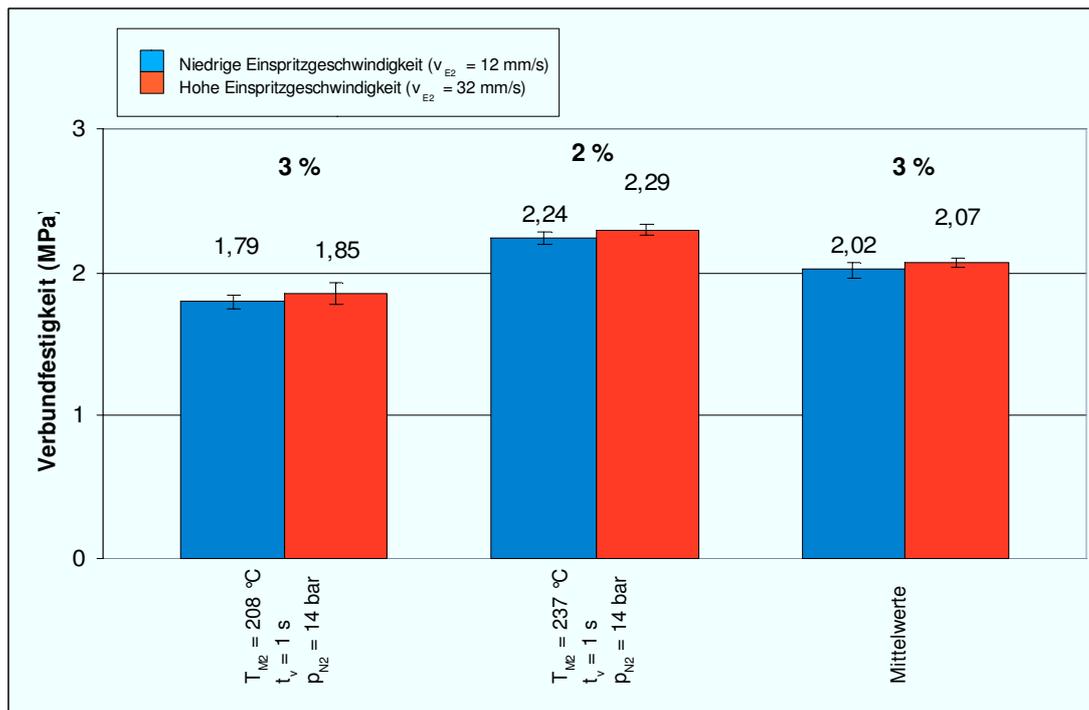


Abbildung 36: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Grilamid LV5H – Kraiburg TC6PNC in Abhängigkeit der Einspritzgeschwindigkeit (Zugstab 4 mm;  $T_{M1} = 265$  °C;  $t_K = 10$  s;  $T_{WZ} = 60$  °C), Prüfgeschwindigkeit = 50 mm/min

### 4.1.4 Schälprüfkörper

Die Bemusterung der Probekörper erfolgte nach dem in Tabelle 8 dargestellten Versuchsplan. Als Werkzeugeinsatz wurde ein Schälprüfkörper verwendet, die Werkzeugtemperatur betrug 60 °C.

Tabelle 8: Versuchsplan Grilamid LV5H – Kraiburg TC6PNC

(Schälprüfkörper;  $T_{M1} = 266$  °C;  $t_K = 8$  s;  $T_{WZ} = 60$  °C)

Einstellungsnr.:	T <sub>M2</sub> (°C)	t <sub>v</sub> (s)	p <sub>N2</sub> (bar)	v <sub>E2</sub> (mm/s)
1	208	1	14	12
2	208	11	14	12
3	208	11	10	12
4	208	1	10	12
5	208	1	14	32
6	227	1	14	12
7	227	11	14	12
8	227	11	10	12
9	227	1	10	12
10	227	1	14	32

Wie bereits in Kapitel 2.7.3 beschrieben, stellt die Schälbeanspruchung den ungünstigsten Belastungsfall, aufgrund von entstehenden Spannungsspitzen,

#### 4. Ergebnisse

---

dar. Diese können deutlich höher als die Verbundhaftung sein und somit zu einem vorzeitigen Versagen führen. Die Ergebnisse lassen keine eindeutige Schlussfolgerung zu.

Die folgende Abbildung 37 zeigt sowohl einen ungeprüften als auch einen geprüften Schälprüfkörper. Es lässt sich erkennen, dass es zu keinem Abschälen der Weichkomponente und der Hartkomponente kommt, obwohl eine Rissinitiierung in der Grenzfläche durch Einkerbungen (1mm Tiefe) erfolgte. Aufgrund dieser Ergebnisse, ist es nicht möglich für diesen Probekörpertyp eine Abhängigkeit der Verbundhaftung von den Prozessparametern zu detektieren.



*Abbildung 37: Ungeprüfter und geprüfter Schälprüfkörper der Materialpaarung Grilamid LV5H – Kraiburg TC6PNC*

## Grilon BG30HM – Santoprene 8291-55PA

(Materialdatenblätter im Anhang)

Bei dieser Materialpaarung handelt es sich, um ein haftungsmodifiziertes Polyamid 6 (Grilon) das mit 30 Gewichtsprozent Glasfaser verstärkt wurde. Die Hartkomponente (Grilon) ist hitzestabilisiert und besonders für einen Einsatz mit thermoplastischen Elastomeren geeignet. Die Weichkomponente ist ein vulkanisiertes TPE der Fa. Exxon Mobil Chemical und wurde eigens für die Verarbeitung im Mehrkomponentenbereich entwickelt. Bei diesem TPE treten besonders gute Haftungseigenschaften in Verbindung mit Polyamid 6 auf.

### 4.1.5 2 mm - Zugstab

Abbildung 39 bis 17 zeigen die Verbundfestigkeitsergebnisse der Materialpaarung Grilon BG30HM – Santoprene 8291-55PA für die einzelnen Parametermodifikationen. Die Bemusterung der Probekörper erfolgte nach dem in Tabelle 9 dargestellten Versuchsplan. Als Werkzeugeinsatz wurde ein 2 mm-Zugprüfkörper verwendet, die Werkzeugtemperaturen betragen 75 °C (Grilon) und 60 °C (Santoprene).

*Tabelle 9: Versuchsplan Grilon BG30HM – Santoprene 8291-55PA*

*(2 mm-Zugstab;  $T_{M1} = 288$  °C;  $t_K = 8$  s;  $T_{WZ1} = 75$  °C;  $T_{WZ2} = 60$  °C)*

Einstellungsnr.:	$T_{M2}$ (°C)	$t_V$ (s)	$p_{N_2}$ (bar)	$v_{E2}$ (mm/s)
1	220	1	8	25
2	220	11	8	25
3	220	11	5	25
4	220	1	5	25
5	220	1	8	55
6	265	1	8	25
7	265	11	8	25
8	265	11	5	25
9	265	1	5	25
10	265	1	8	55

**Einfluss der Massetemperatur der zweiten Komponente**

1(▼) ↔ 6(▲), 2(▼) ↔ 7(▲), 3(▼) ↔ 8(▲), 4(▼) ↔ 9(▲), 5(▼) ↔ 10(▲)

Aus der Betrachtung der Ergebnisse für die Verbundfestigkeit in Abbildung 38 lässt sich erkennen, dass eine Erhöhung der Massetemperatur der zweiten Komponente eine Verbesserung der Haftung von durchschnittlich 11 Prozent mit sich bringt. Dieser Effekt lässt sich durch die in Kapitel 4.1.1 beschriebenen Vorgänge erklären.

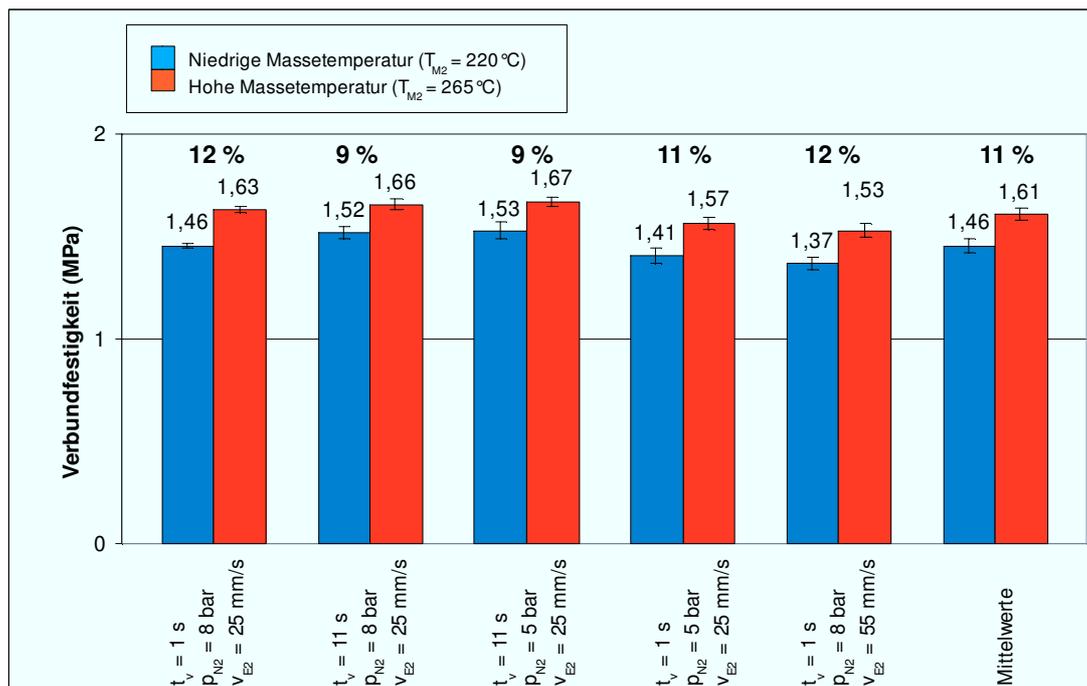


Abbildung 38: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Grilon BG30HM – Santoprene 8291-55PA in Abhängigkeit der Massetemperatur der zweiten Komponente (2 mm-Zugstab;  $T_{M1} = 288 \text{ °C}$ ;  $t_K = 8 \text{ s}$ ;  $T_{WZ1} = 75 \text{ °C}$ ;  $T_{WZ2} = 60 \text{ °C}$ ) Prüfgeschwindigkeit= 50 mm/min

### **Einfluss der Verzögerungszeit auf die Verbundhaftung**

1(▼) ↔ 2(▲), 4(▼) ↔ 3(▲), 6(▼) ↔ 7(▲), 9(▼) ↔ 8(▲)

Aus den übrigen veränderbaren Einstellungsparametern geht kein eindeutiger Trend, die Verbundfestigkeit betreffend, hervor. Untersuchungen der Verbundhaftung in Abhängigkeit von der Verzögerungszeit zeigen, dass eine verkürzte Verzögerungszeit niedrigere Festigkeiten liefert (siehe Abbildung 39).

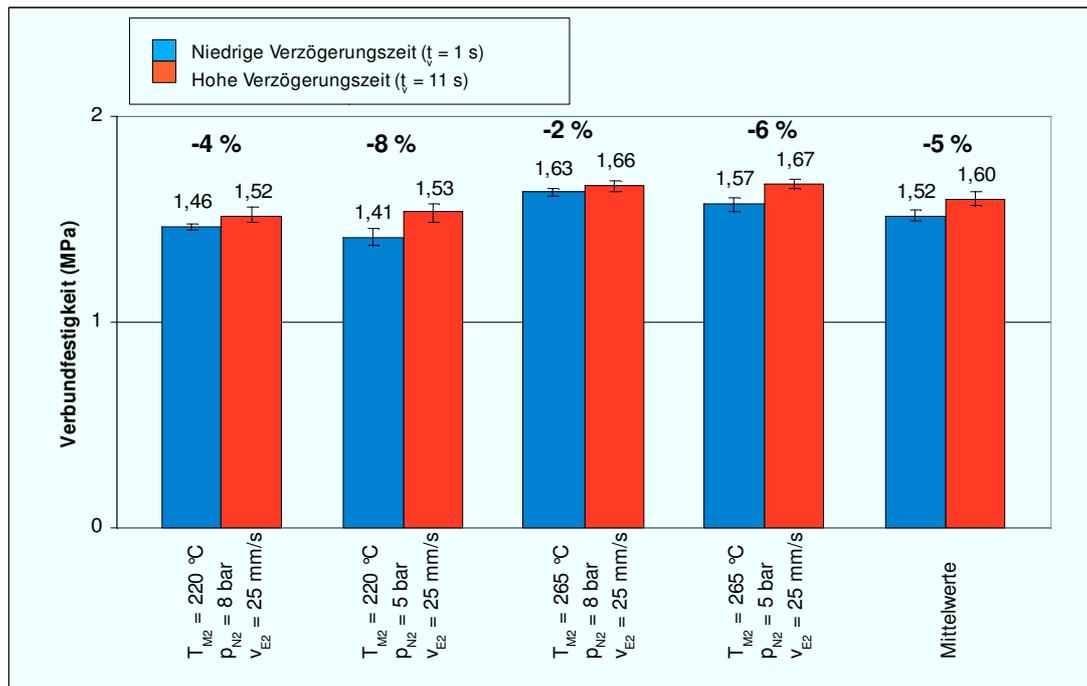


Abbildung 39: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Grilon BG30HM – Santoprene 8291-55PA in Abhängigkeit der Verzögerungszeit (2 mm-Zugstab;  $T_{M1} = 288$  °C;  $t_K = 8$  s;  $T_{WZ1} = 75$  °C;  $T_{WZ2} = 60$  °C) Prüfgeschwindigkeit= 50 mm/min

### **Einfluss der Nachdruckhöhe der zweiten Komponente**

4(▼) ↔ 1(▲), 3(▼) ↔ 2(▲), 9(▼) ↔ 6(▲), 8(▼) ↔ 7(▲)

Für diese Materialpaarung führen niedrigere Nachdruckhöhen zu einer geringfügigen Abnahme der Haftung (siehe Abbildung 40), was durch eine verminderte Diffusion der Molekülketten der zweiten Komponente zu erklären wäre. Da die Änderungen der Festigkeitswerte jedoch sehr gering (im Mittel -1 %) und teils innerhalb der Standardabweichung der einzelnen Messwerte sind, ist eine schlüssige Interpretation nicht möglich.

#### 4. Ergebnisse

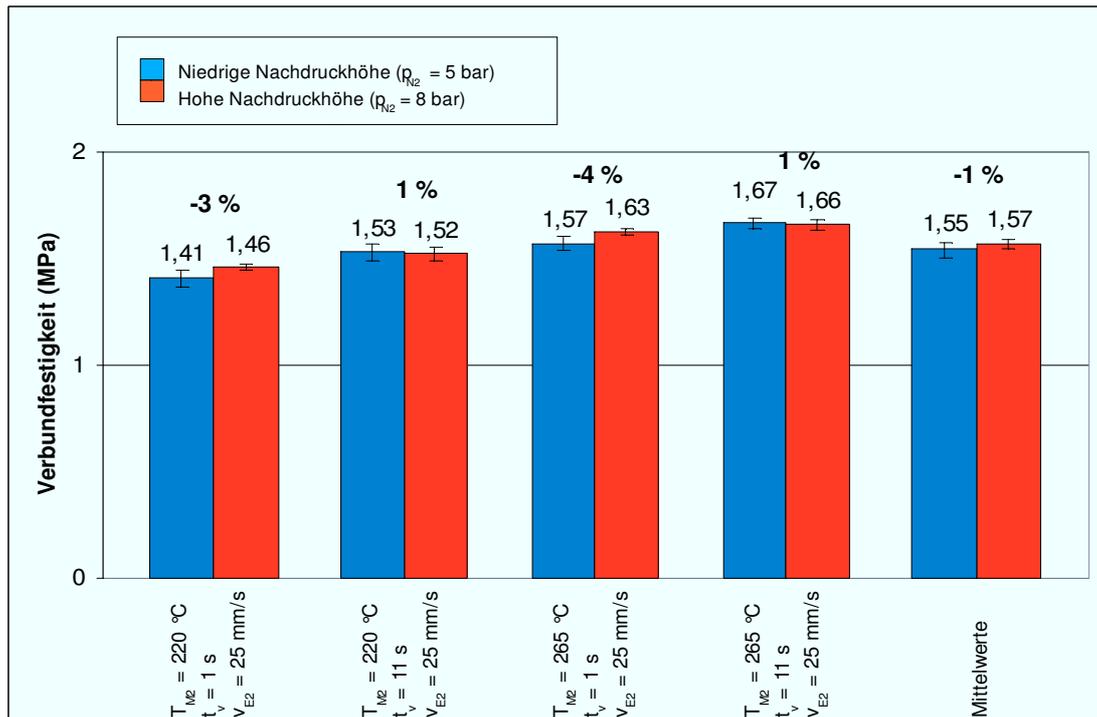


Abbildung 40: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Grilon BG30HM – Santoprene 8291-55PA in Abhängigkeit der Nachdruckhöhe (2 mm-Zugstab;  $T_{M1} = 288 \text{ °C}$ ;  $t_K = 8 \text{ s}$ ;  $T_{WZ1} = 75 \text{ °C}$ ;  $T_{WZ2} = 60 \text{ °C}$ )  
 Prüfgeschwindigkeit= 50 mm/min

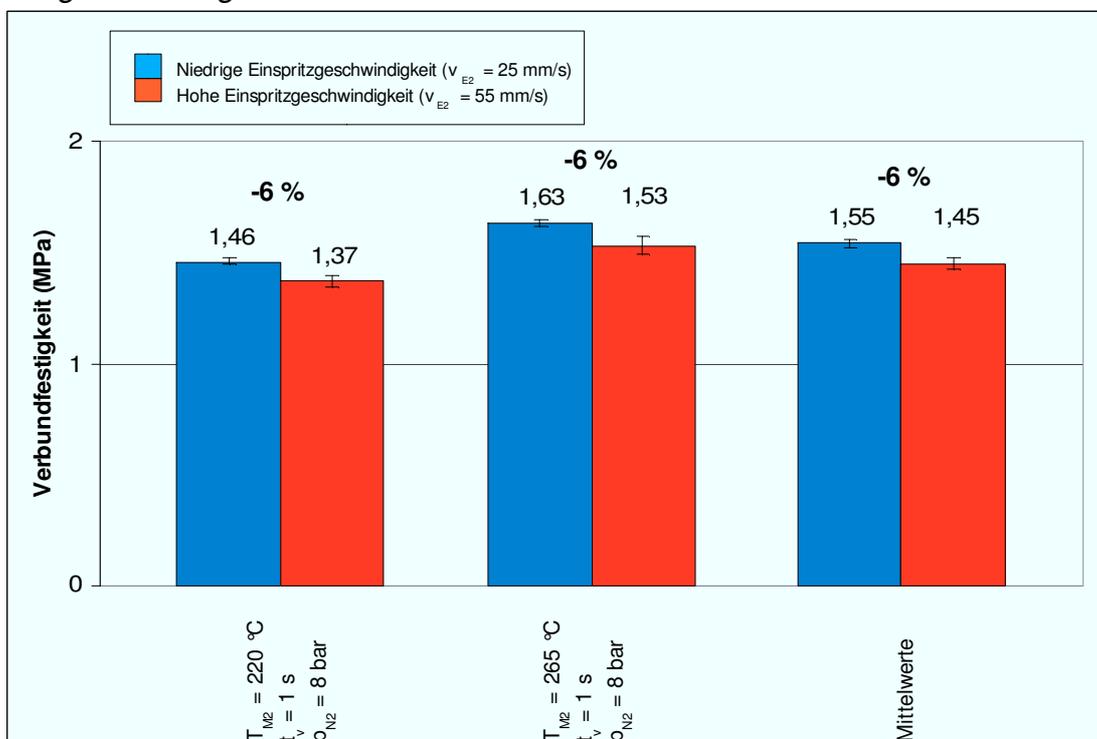


Abbildung 41: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Grilon BG30HM – Santoprene 8291-55PA in Abhängigkeit der Einspritzgeschwindigkeit (2 mm-Zugstab;  $T_{M1} = 288 \text{ °C}$ ;  $t_K = 8 \text{ s}$ ;  $T_{WZ1} = 75 \text{ °C}$ ;  $T_{WZ2} = 60 \text{ °C}$ )  
 Prüfgeschwindigkeit= 50 mm/min

### **Einfluss der Einspritzgeschwindigkeit der zweiten Komponente**

1(▼) ↔ 5(▲), 6(▼) ↔ 10(▲)

Abbildung 41 zeigt die Mittelwerte der Verbundfestigkeit in Abhängigkeit der Einspritzgeschwindigkeit. Es zeigt sich, dass eine höhere Einspritzgeschwindigkeit der zweiten Komponente zu einer geringfügigen Abnahme in der Verbundhaftung (-6 %) führt.

#### **4.1.6 mm – Zugstab**

Die Einstellungsparameter der Bemusterung für den 4 mm–Zugprüfstab sind in Tabelle 10 dargestellt. Die Werkzeugtemperaturen betragen wie beim 2 mm–Zugstab 75 °C (Grilon) beziehungsweise 60 °C (Santoprene).

*Tabelle 10: Versuchsplan Grilon BG30HM – Santoprene 8291-55PA  
Versuchsplan*

(4 mm-Zugstab;  $T_{M1} = 288 \text{ °C}$ ;  $t_K = 15 \text{ s}$ ;  $T_{WZ1} = 75 \text{ °C}$ ;  $T_{WZ2} = 60 \text{ °C}$ )

Einstellungsnr.:	$T_{M2}$ (°C)	$t_v$ (s)	$p_{N2}$ (bar)	$v_{E2}$ (mm/s)
1	220	1	7	10
2	220	11	7	10
3	220	11	3,5	10
4	220	1	3,5	10
5	220	1	7	25
6	265	1	7	10
7	265	11	7	10
8	265	11	3,5	10
9	265	1	3,5	10
10	265	1	7	25

### **Einfluss der Massetemperatur der zweiten Komponente**

1(▼) ↔ 6(▲), 2(▼) ↔ 7(▲), 3(▼) ↔ 8(▲), 4(▼) ↔ 9(▲), 5(▼) ↔ 10(▲)

Die aus der Zugprüfung ermittelten Verbundfestigkeitswerte in Abhängigkeit von der Massetemperatur sind in Abbildung 42 dargestellt. Es zeigt sich wiederum ein Anstieg der Haftungswerte mit Zunahme der Massetemperatur der zweiten Komponente. Die Verbundfestigkeit steigt im Mittel um 4 Prozent an. Dieser Haftungsanstieg fällt jedoch nicht so deutlich (11 %) wie beim 2 mm–Zugstab aus.

#### 4. Ergebnisse

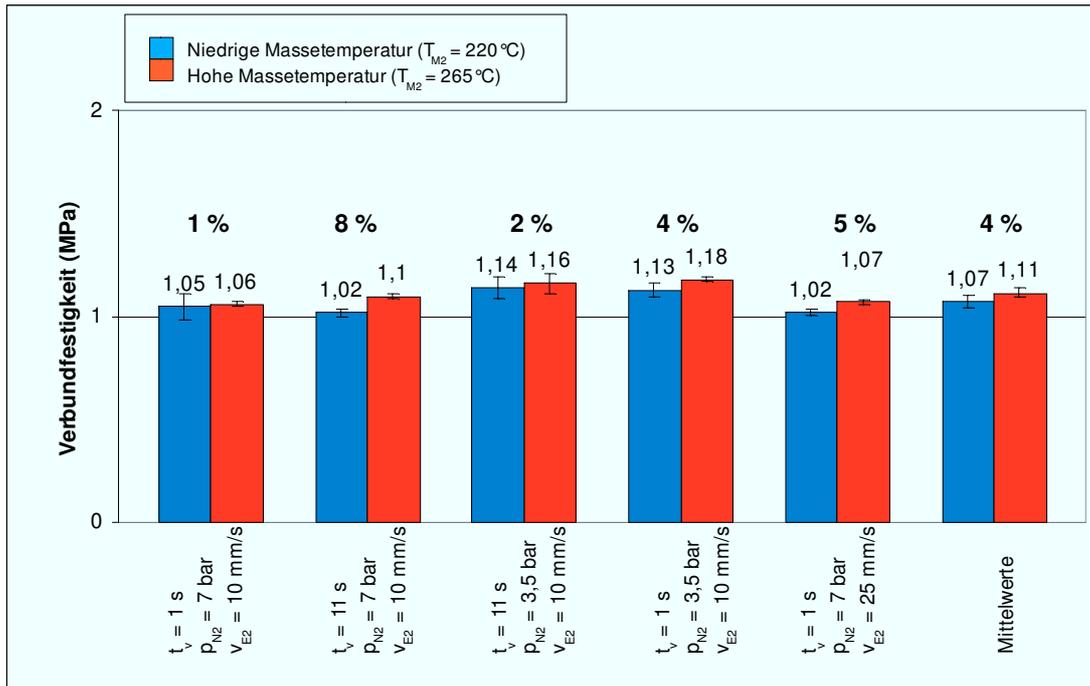


Abbildung 42: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Grilon BG30HM – Santoprene 8291-55PA in Abhängigkeit der Massetemperatur der zweiten Komponente (4 mm-Zugstab; T<sub>M1</sub> = 288 °C; t<sub>K</sub> = 15 s; T<sub>WZ1</sub> = 75 °C; T<sub>WZ2</sub> = 60 °C) Prüfgeschwindigkeit= 50 mm/min

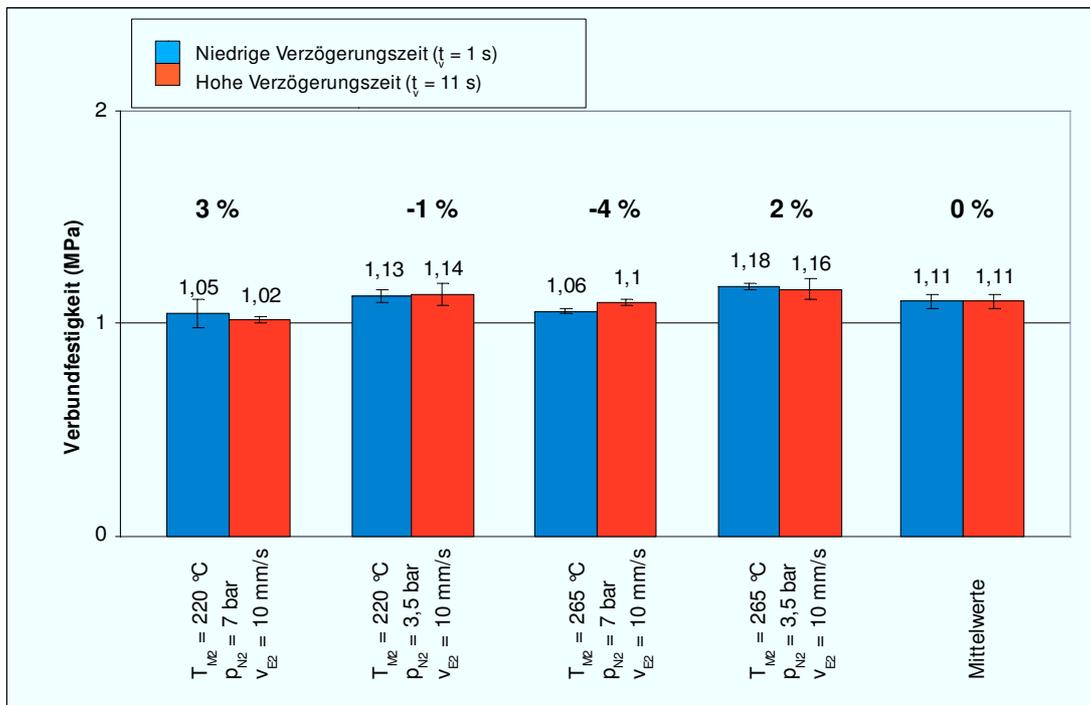


Abbildung 43: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Grilon BG30HM – Santoprene 8291-55PA in Abhängigkeit der Verzögerungszeit (4 mm-Zugstab; T<sub>M1</sub> = 288 °C; t<sub>K</sub> = 15 s; T<sub>WZ1</sub> = 75 °C; T<sub>WZ2</sub> = 60 °C) Prüfgeschwindigkeit= 50 mm/min

### Einfluss der Verzögerungszeit auf die Verbundhaftung

1(▼) ↔ 2(▲), 4(▼) ↔ 3(▲), 6(▼) ↔ 7(▲), 9(▼) ↔ 8(▲)

Bei dieser Materialpaarung und Probekörpergeometrie bewirkt eine Änderung der Verzögerungszeit keine erkennbare Erhöhung oder Erniedrigung der Verbundfestigkeit. Dies lässt sich in Abbildung 43 erkennen.

### Einfluss der Nachdruckhöhe der zweiten Komponente

4(▼) ↔ 1(▲), 3(▼) ↔ 2(▲), 9(▼) ↔ 6(▲), 8(▼) ↔ 7(▲)

Für diese Materialpaarung führt niedrigerer Nachdruck zu höheren Verbundhaftungswerten. Die prozentualen Steigerungen liegen dabei zwischen 12 und 5 Prozent. Der mittlere Anstieg liegt bei 9 Prozent. Eine Erklärung dafür wurde bereits in Kapitel 4.1.1 gegeben.

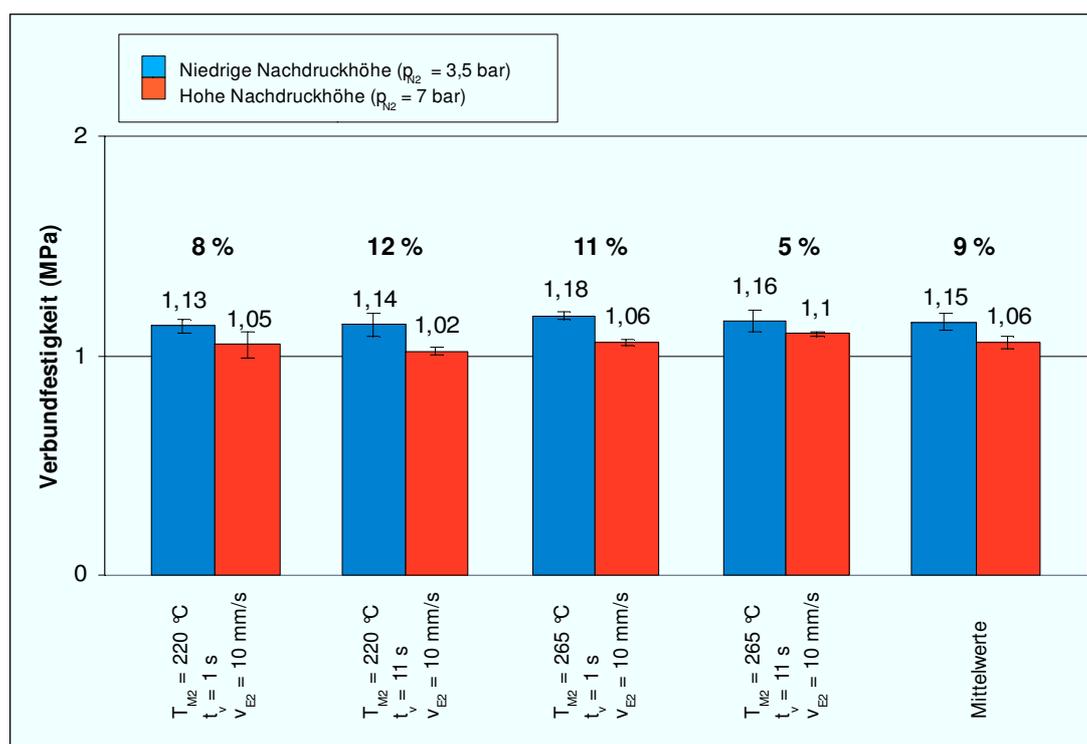


Abbildung 44: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Grilon BG30HM – Santoprene 8291-55PA in Abhängigkeit der Nachdruckhöhe (4 mm-Zugstab;  $T_{M1} = 288 \text{ °C}$ ;  $t_K = 15 \text{ s}$ ;  $T_{WZ1} = 75 \text{ °C}$ ;  $T_{WZ2} = 60 \text{ °C}$ ) Prüfgeschwindigkeit= 50 mm/min

**Einfluss der Einspritzgeschwindigkeit der zweiten Komponente**

1(▼) ↔ 5(▲), 6(▼) ↔ 10(▲)

Aus Abbildung 45 ist ersichtlich, dass der Einfluss einer höheren Einspritzgeschwindigkeit auf die Verbundhaftung zu vernachlässigen ist. Eine Erhöhung der Einspritzgeschwindigkeit von 10 auf 25 mm/s führt sowohl bei niedriger Massetemperatur ( $T_{M2} = 220 \text{ °C}$ ) als auch bei hoher Massetemperatur ( $T_{M2} = 265 \text{ °C}$ ) zu keiner relevanten Verbesserung der Verbundfestigkeit.

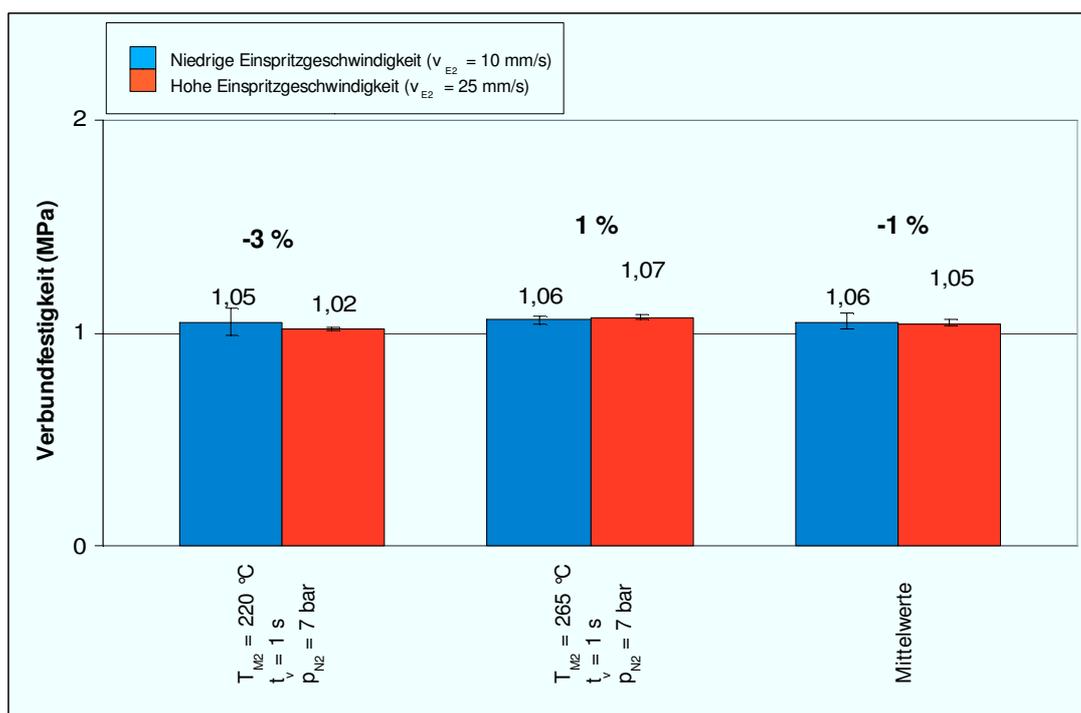


Abbildung 45: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Grilon BG30HM – Santoprene 8291-55PA in Abhängigkeit der Einspritzgeschwindigkeit (4 mm-Zugstab;  $T_{M1} = 288 \text{ °C}$ ;  $t_K = 15 \text{ s}$ ;  $T_{WZ1} = 75 \text{ °C}$ ;  $T_{WZ2} = 60 \text{ °C}$ ) Prüfgeschwindigkeit= 50 mm/min

### 4.1.7 Scherprüfkörper

Die Festigkeitswerte des Zugversuches für den Scherprüfkörper sind in der folgenden Abbildungen 46 bis 49 dargestellt. Die Bemusterung dieses Probekörpers wurde nach dem in Tabelle 11 dargestellten Versuchsplan durchgeführt. Die Werkzeugtemperatur der Hartkomponente (Grilon) betrug 75 °C, die der Weichkomponente (Santoprene) 60 °C.

*Tabelle 11: Versuchsplan Grilon BG30HM – Santoprene 8291-55PA  
(Scherprüfkörper;  $T_{M1} = 288$  °C;  $t_K = 20$  s;  $T_{WZ1} = 75$  °C;  $T_{WZ2} = 60$  °C)*

Einstellungsnr.:	$T_{M2}$ (°C)	$t_v$ (s)	$p_{N_2}$ (bar)	$v_{E2}$ (mm/s)
1	220	1	7	10
2	220	11	7	10
3	220	11	3,5	10
4	220	1	3,5	10
5	220	1	7	25
6	265	1	7	10
7	265	11	7	10
8	265	11	3,5	10
9	265	1	3,5	10
10	265	1	7	25

#### **Einfluss der Massetemperatur der zweiten Komponente**

1(▼) ↔ 6(▲), 2(▼) ↔ 7(▲), 3(▼) ↔ 8(▲), 4(▼) ↔ 9(▲), 5(▼) ↔ 10(▲)

Im Gegensatz zum 2 mm-Zugstab (im Mittel 11 %) zeigt der Scherprüfkörper eine geringfügige Abnahme der Verbundfestigkeit mit erhöhter Massetemperatur (im Mittel -5 %). Abbildung 46 zeigt den Vergleich einzelner Parametermodifikationen bei unterschiedlicher Massetemperatur der zweiten Komponente.

#### 4. Ergebnisse

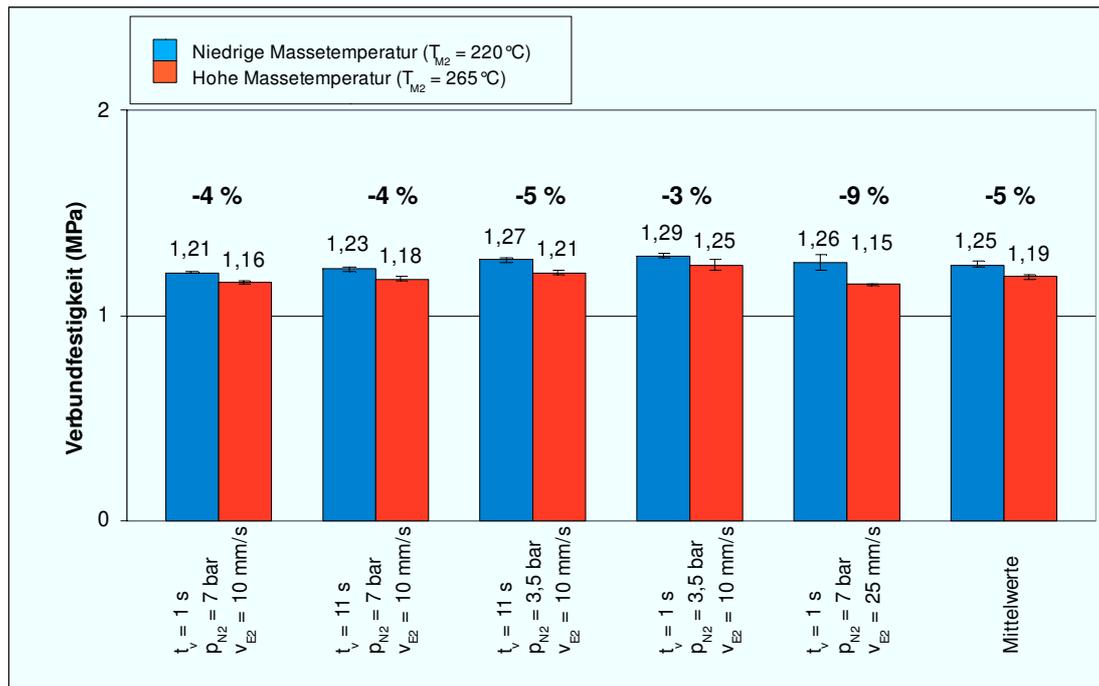


Abbildung 46: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Grilon BG30HM – Santoprene 8291-55PA in Abhängigkeit der Massetemperatur der zweiten Komponente (Scherprüfkörper;  $T_{M1} = 288\text{ °C}$ ;  $t_K = 20\text{ s}$ ;  $T_{WZ1} = 75\text{ °C}$ ;  $T_{WZ2} = 60\text{ °C}$ ) Prüfgeschwindigkeit= 50 mm/min

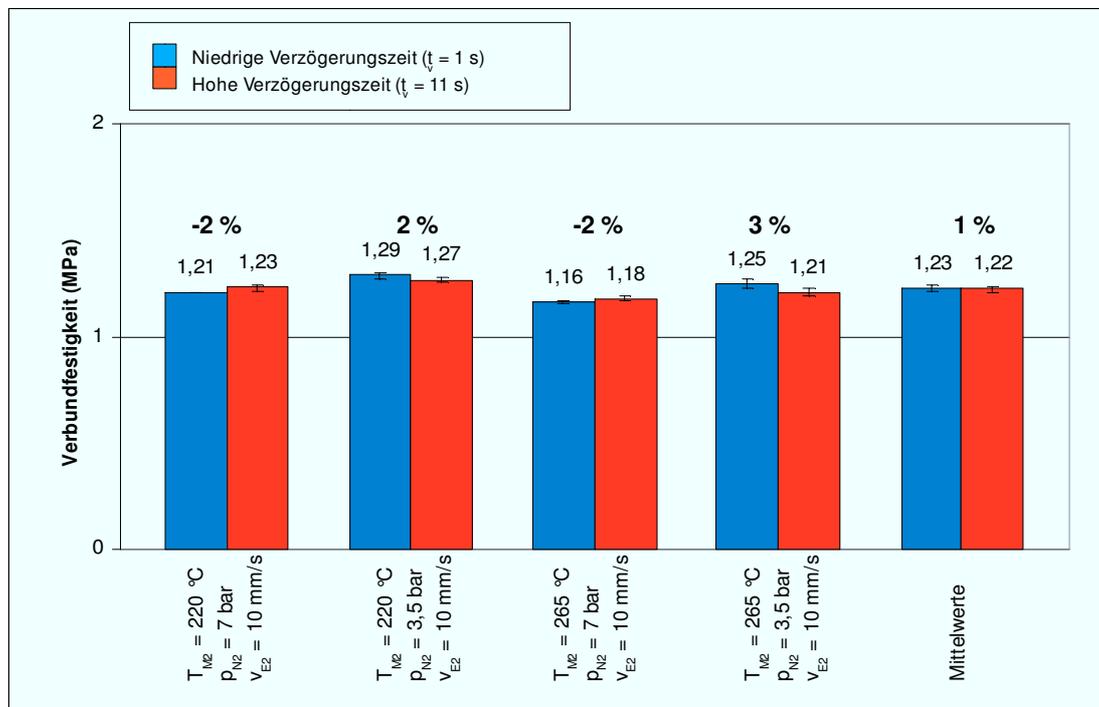


Abbildung 47: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Grilon BG30HM – Santoprene 8291-55PA in Abhängigkeit der Verzögerungszeit (Scherprüfkörper;  $T_{M1} = 288\text{ °C}$ ;  $t_K = 20\text{ s}$ ;  $T_{WZ1} = 75\text{ °C}$ ;  $T_{WZ2} = 60\text{ °C}$ ) Prüfgeschwindigkeit= 50 mm/min

**Einfluss der Verzögerungszeit auf die Verbundhaftung**

1(▼) ↔ 2(▲), 4(▼) ↔ 3(▲), 6(▼) ↔ 7(▲), 9(▼) ↔ 8(▲)

Aus den Verbundhaftungsergebnissen für den Scherprüfkörper (siehe Abbildung 47) wird ersichtlich, dass eine Änderung der Verzögerungszeit keinen maßgeblichen Effekt auf die Haftung besitzt.

**Einfluss der Nachdruckhöhe der zweiten Komponente**

4(▼) ↔ 1(▲), 3(▼) ↔ 2(▲), 9(▼) ↔ 6(▲), 8(▼) ↔ 7(▲)

Die in Abbildung 48 dargestellten Verbundfestigkeiten zeigen, dass eine geringere Nachdruckhöhe zu erhöhter Haftung führt. Die mittlere Erhöhung liegt dabei bei 5 Prozent.

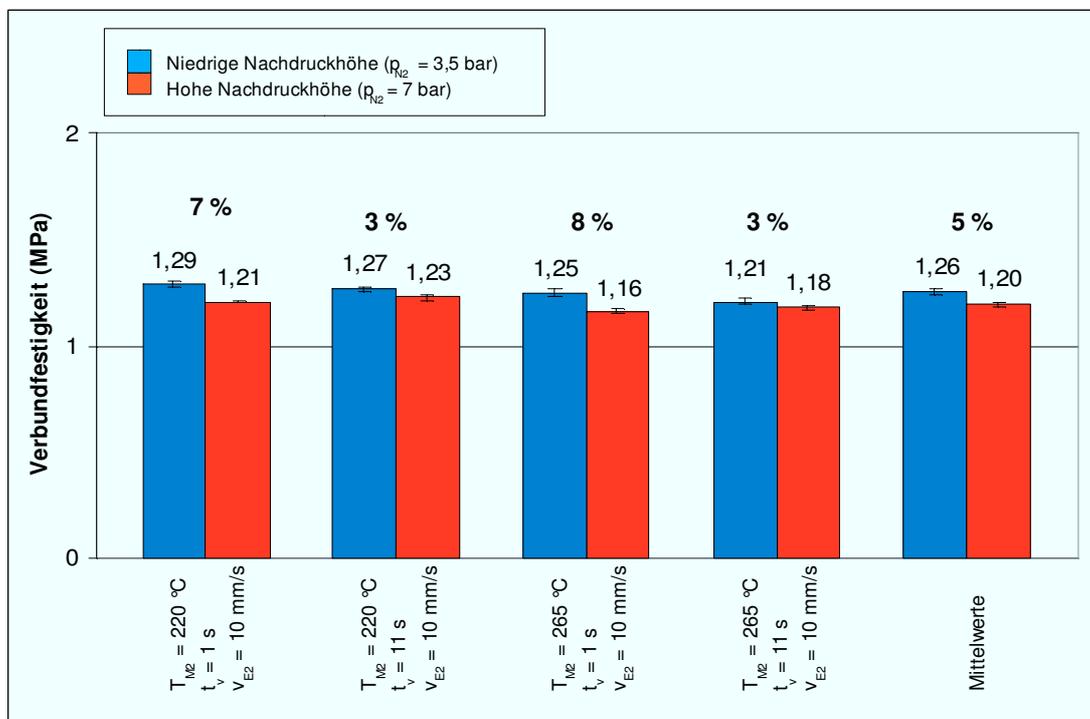


Abbildung 48: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Grilon BG30HM – Santoprene 8291-55PA in Abhängigkeit der Nachdruckhöhe (Scherprüfkörper; T<sub>M1</sub> = 288 °C; t<sub>K</sub> = 20 s; T<sub>WZ1</sub> = 75 °C; T<sub>WZ2</sub> = 60 °C) Prüfgeschwindigkeit= 50 mm/min

**Einfluss der Einspritzgeschwindigkeit der zweiten Komponente**

1(▼) ↔ 5(▲), 6(▼) ↔ 10(▲)

Abbildung 49 zeigt, dass eine Erhöhung der Einspritzgeschwindigkeit von 10 mm/s auf 25 mm/s keinen signifikanten Effekt auf die Verbundfestigkeit besitzt.

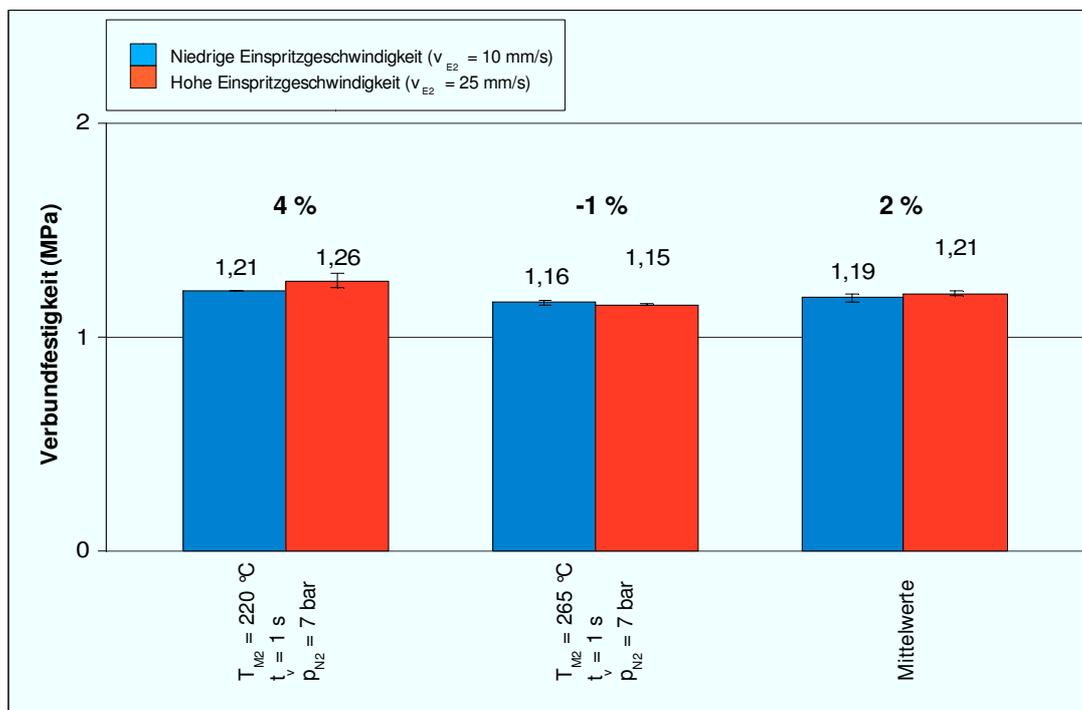


Abbildung 49: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Grilon BG30HM – Santoprene 8291-55PA in Abhängigkeit der Einspritzgeschwindigkeit (Scherprüfkörper;  $T_{M1} = 288$  °C;  $t_K = 20$  s;  $T_{WZ1} = 75$  °C;  $T_{WZ2} = 60$  °C) Prüfgeschwindigkeit= 50 mm/min

Auch für diese Materialkombination wurden die Widerstandswerte für den Schälprüfkörper ermittelt. Aufgrund des unzureichenden Abschälens der Weichkomponente wird jedoch auf eine Darstellung der Werte verzichtet.

## 4.2 Cryolen 801-94-01 – Kraiburg TC6 PNC

Die im Folgenden untersuchte Materialpaarung stellt erneut einen Hart/Weich-Verbund dar. Bei der Hartkomponente (Cryolen) handelt es sich um ein hochmolekulares Blend aus PP und PE der Fa. Ketrax. Dieses weist eine hohe Steifheit und eine gute Schlagzähigkeit bei Minustemperaturen auf. Die Eigenschaften der Weichkomponente (Kraiburg) werden im Kapitel 2.4 kurz erläutert.

### 4.2.1 2 mm Zugstab

Die Einstellungsparameter der Bemusterung für den 2 mm – Zugprüfstab sind in Tabelle 12 dargestellt. Die Massetemperatur der ersten Komponente betrug 261 °C bei einer Kühlzeit von 10 s und einer Werkzeugtemperatur von 30 °C.

*Tabelle 12: Versuchsplan Cryolen 801-94-01 – Kraiburg TC6PNC  
(2 mm Zugstab;  $T_{M1} = 261$  °C;  $t_K = 10$  s;  $T_{WZ}=30$  °C)*

Einstellungsnr.:	$T_{M2}$ (°C)	$t_v$ (s)	$p_{N2}$ (bar)	$v_{E2}$ (mm/s)
1	252	1	8	31
2	252	11	8	31
3	252	11	5	31
4	252	1	5	31
5	252	1	8	51
6	273	1	8	31
7	273	11	8	31
8	273	11	5	31
9	273	1	5	31
10	273	1	8	51

### Einfluss der Massetemperatur der zweiten Komponente

1(▼) ↔ 6(▲), 2(▼) ↔ 7(▲), 3(▼) ↔ 8(▲), 4(▼) ↔ 9(▲), 5(▼) ↔ 10(▲)

Aus dem Vergleich der einzelnen Parametermodifikationen für unterschiedliche Massetemperaturen der zweiten Komponente (siehe Abbildung 50) geht hervor, dass eine hohe Massetemperatur, für diese Materialpaarung und für diese Probekörpergeometrie, keinen signifikanten Einfluss hat. Lediglich eine Parametermodifikation zeigt eine Abnahme der Verbundfestigkeit (-16 %) mit erhöhter Massetemperatur.

## 4. Ergebnisse

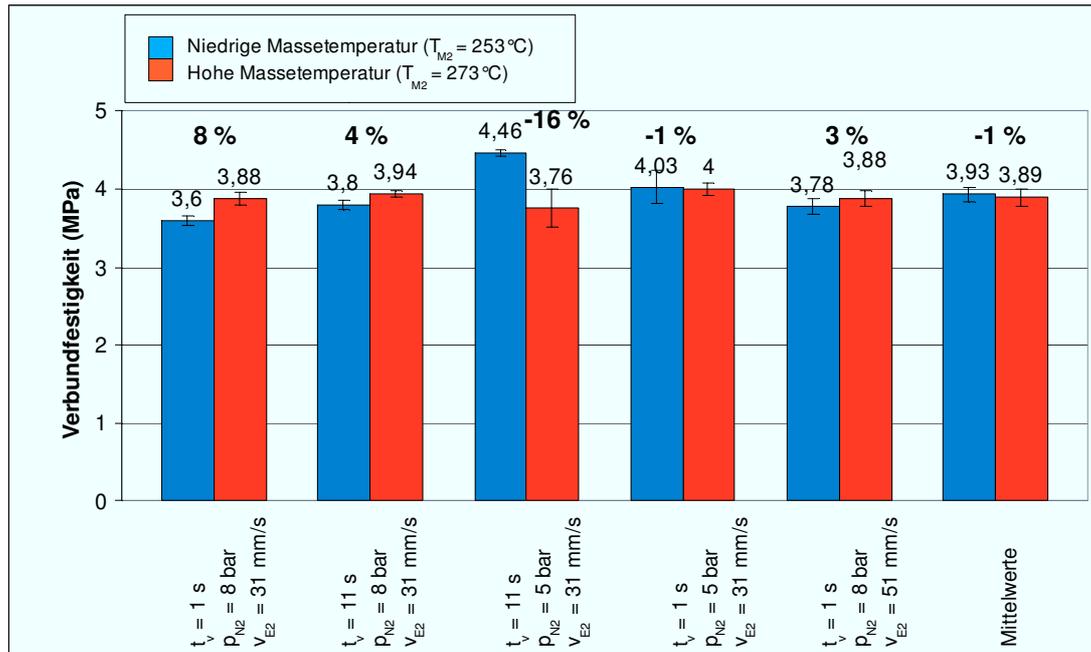


Abbildung 50: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Cryolen 801-94-01 – Kraiburg TC6PNC in Abhängigkeit der Massetemperatur der zweiten Komponente (2 mm Zugstab;  $T_{M1} = 261^\circ\text{C}$ ;  $t_K = 10\text{ s}$ ;  $T_{WZ} = 30^\circ\text{C}$ )  
Prüfgeschwindigkeit= 50 mm/min

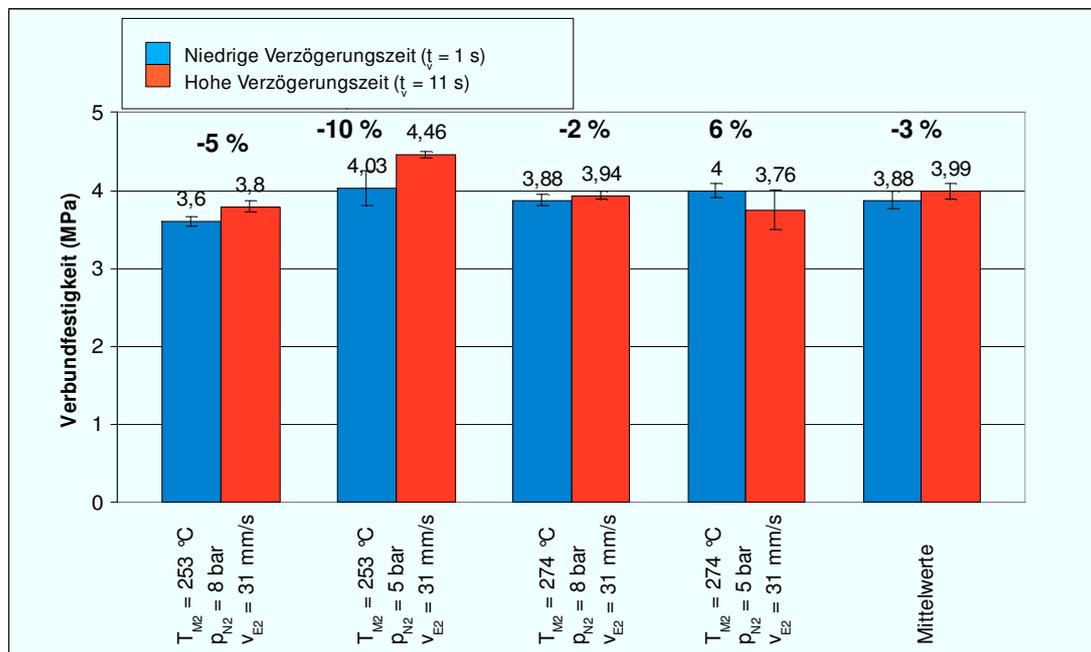


Abbildung 51: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Cryolen 801-94-01 – Kraiburg TC6PNC in Abhängigkeit der Verzögerungszeit (2 mm Zugstab;  $T_{M1} = 261^\circ\text{C}$ ;  $t_K = 10\text{ s}$ ;  $T_{WZ} = 30^\circ\text{C}$ )  
Prüfgeschwindigkeit= 50 mm/min

### **Einfluss der Verzögerungszeit auf die Verbundhaftung**

1(▼) ↔ 2(▲), 4(▼) ↔ 3(▲), 6(▼) ↔ 7(▲), 9(▼) ↔ 8(▲)

Die in Abbildung 51 dargestellten Mittelwerte der Verbundfestigkeit in Abhängigkeit der Verzögerungszeit lassen keinen eindeutigen Zusammenhang erkennen. Bemerkenswert ist, dass eine kürzere Verzögerungszeit ( $t_V = 1$  s) zu einer Reduktion der Verbundfestigkeit (im Mittel -3 %) führt.

### **Einfluss der Nachdruckhöhe der zweiten Komponente**

4(▼) ↔ 1(▲), 3(▼) ↔ 2(▲), 9(▼) ↔ 6(▲), 8(▼) ↔ 7(▲)

Ein niedrigerer Nachdruck ( $p_{N_2} = 5$  bar) führt zu einer geringfügigen Erhöhung der Verbundfestigkeit (im Mittel 7 %). Dies gilt jedoch nicht für jede untersuchte Parametermodifikation. Bei hoher Massetemperatur der zweiten Komponente ( $T_{M_2} = 273$  °C), langer Verzögerungszeit ( $t_V = 11$  s) und langsamer Einspritzgeschwindigkeit ( $v_{E_2} = 31$  mm/s) ergibt sich eine Abnahme der Verbundhaftung bei niedrigem Nachdruck. Aufgrund der hohen Standardabweichung (0,25 MPa) bei dieser Parametermodifikation besteht keine signifikante Abhängigkeit. Die Ergebnisse der Verbundfestigkeitsuntersuchung sind in Abbildung 52 dargestellt.

## 4. Ergebnisse

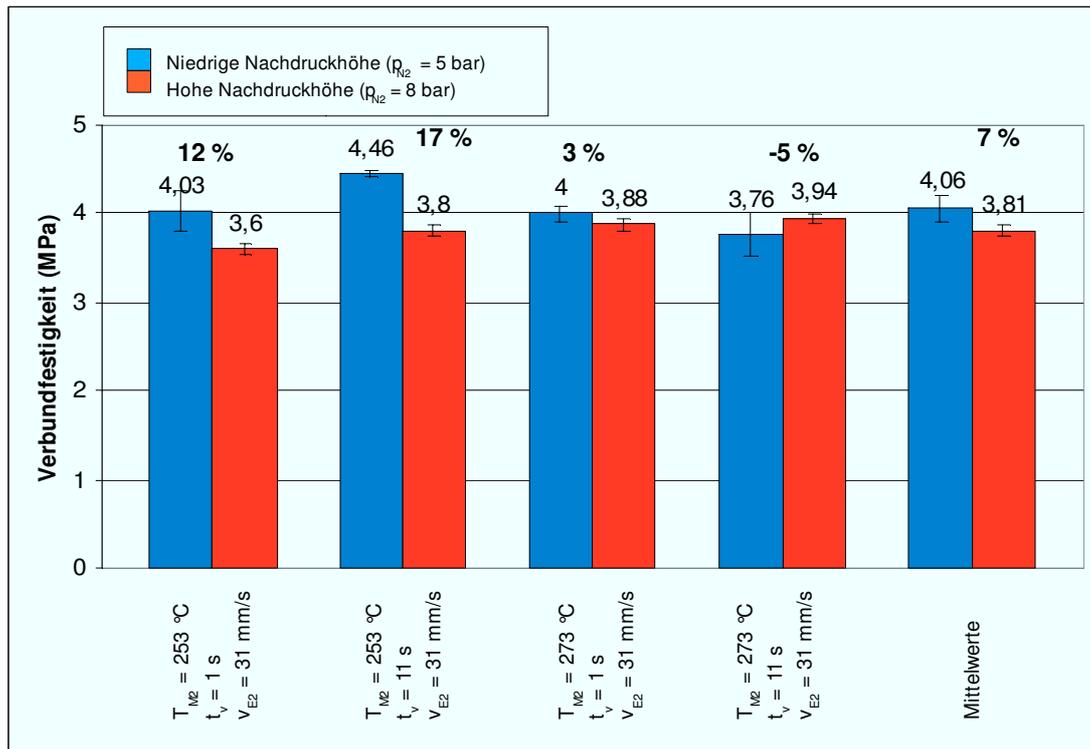


Abbildung 52: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Cryolen 801-94-01 – Kraiburg TC6PNC in Abhängigkeit der Nachdruckhöhe (2 mm Zugstab;  $T_{M1} = 261 \text{ °C}$ ;  $t_K = 10 \text{ s}$ ;  $T_{WZ} = 30 \text{ °C}$ )  
Prüfgeschwindigkeit= 50 mm/min

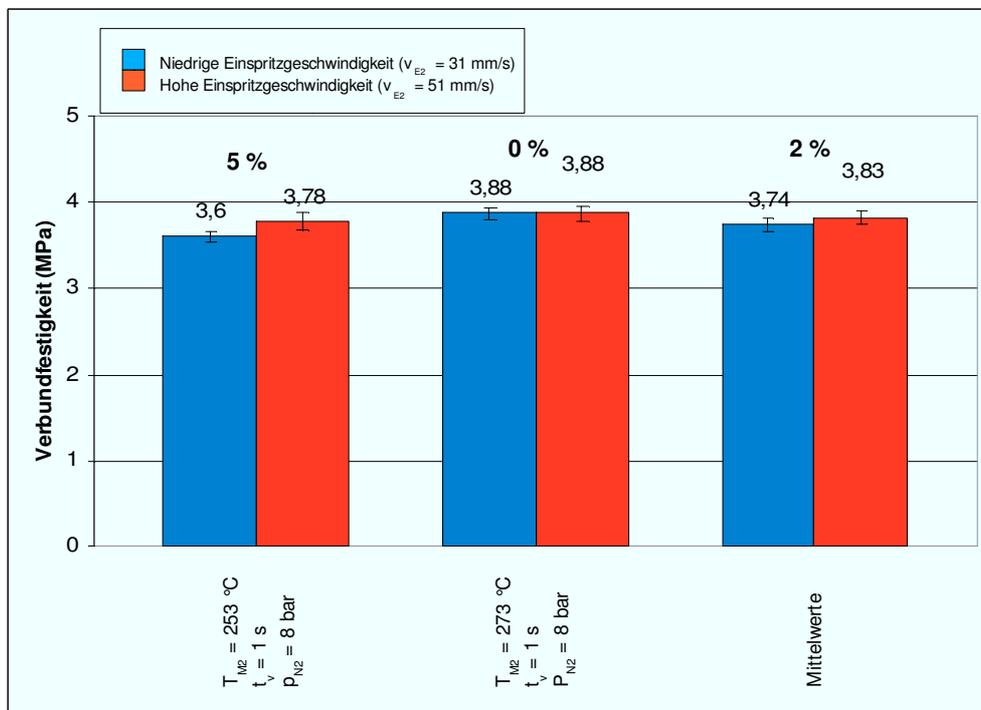


Abbildung 53: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Cryolen 801-94-01 – Kraiburg TC6PNC in Abhängigkeit der Einspritzgeschwindigkeit (2 mm Zugstab;  $T_{M1} = 261 \text{ °C}$ ;  $t_K = 10 \text{ s}$ ;  $T_{WZ} = 30 \text{ °C}$ )  
Prüfgeschwindigkeit= 50 mm/min

### **Einfluss der Einspritzgeschwindigkeit der zweiten Komponente**

1(▼) ↔ 5(▲), 6(▼) ↔ 10(▲)

Eine Variation der Einspritzgeschwindigkeit zeigt keinen signifikanten Einfluss auf die Verbundfestigkeit (siehe Abbildung 53).

#### **4.2.2 4 mm Zugstab**

Der verwendete Versuchsplan zur Erstellung der 4mm – Zugprüfkörper ist in Tabelle 13 dargestellt. Die Werkzeugtemperatur betrug 30 °C. Die ermittelten Verbundfestigkeiten aus dem Zugversuch zeigen Abbildung 54 bis 57.

*Tabelle 13: Versuchsplan Cryolen 801-94-01 – Kraiburg TC6PNC*

*(4 mm Zugstab;  $T_{M1} = 261$  °C;  $t_K = 10$  s;  $T_{WZ} = 30$  °C)*

Einstellungsnr.:	$T_{M2}$ (°C)	$t_v$ (s)	$p_{N_2}$ (bar)	$v_{E2}$ (mm/s)
1	250	1	8	25
2	250	11	8	25
3	250	11	5	25
4	250	1	5	25
5	250	1	8	50
6	274	1	8	25
7	274	11	8	25
8	274	11	5	25
9	274	1	5	25
10	274	1	8	50

### **Einfluss der Massetemperatur der zweiten Komponente**

1(▼) ↔ 6(▲), 2(▼) ↔ 7(▲), 3(▼) ↔ 8(▲), 4(▼) ↔ 9(▲), 5(▼) ↔ 10(▲)

Eine Erhöhung der Massetemperatur der zweiten Komponente hat keinen signifikanten Einfluss auf die Verbundfestigkeit (siehe Abbildung 54). Der mittlere Anstieg der Verbundfestigkeit liegt bei 2 Prozent.

## 4. Ergebnisse

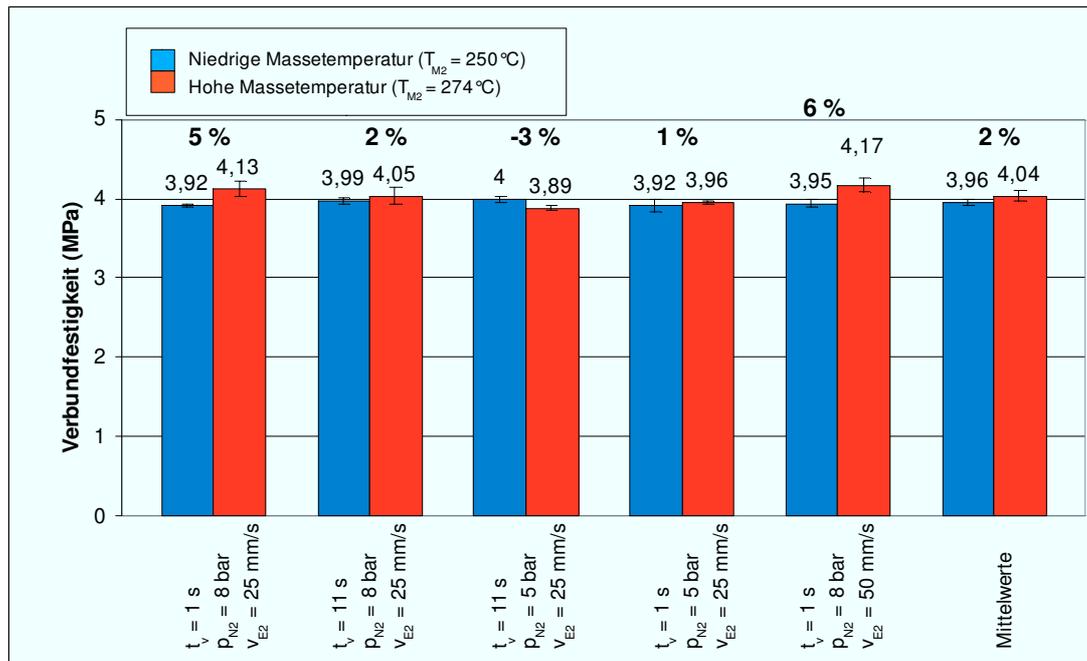


Abbildung 54: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Cryolen 801-94-01 – Kraiburg TC6PNC in Abhängigkeit der Massetemperatur der zweiten Komponente (4 mm Zugstab;  $T_{M1} = 261\text{ °C}$ ;  $t_K = 10\text{ s}$ ;  $T_{WZ} = 30\text{ °C}$ )  
Prüfgeschwindigkeit= 50 mm/min

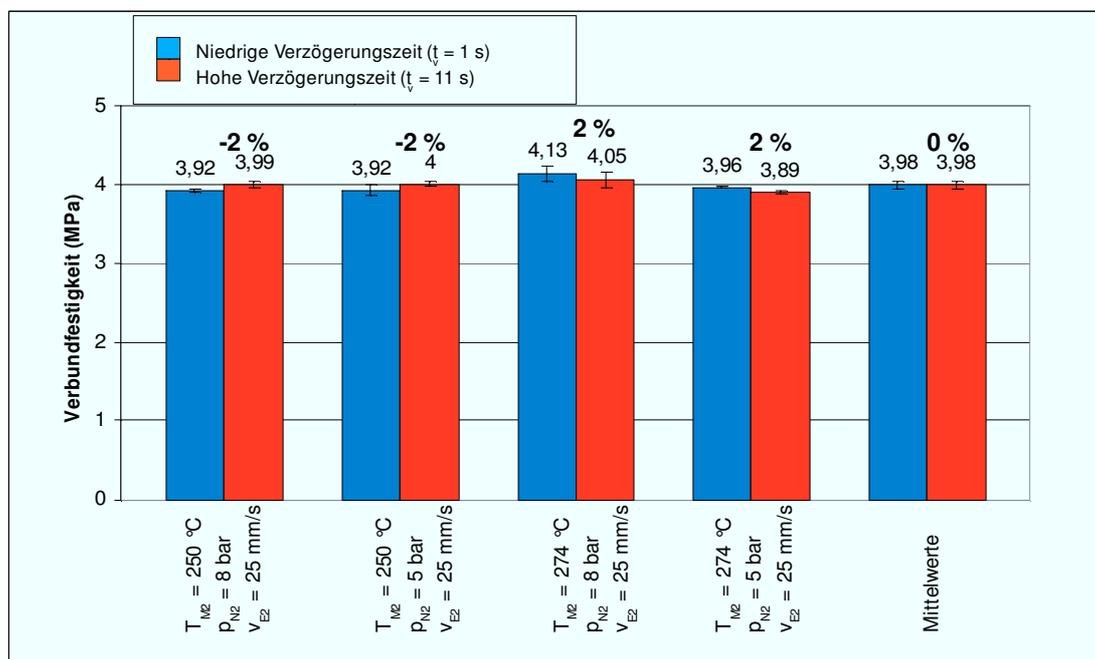


Abbildung 55: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Cryolen 801-94-01 – Kraiburg TC6PNC in Abhängigkeit der Verzögerungszeit (4mm Zugstab;  $T_{M1} = 261\text{ °C}$ ;  $t_K = 10\text{ s}$ ;  $T_{WZ} = 30\text{ °C}$ )  
Prüfgeschwindigkeit= 50 mm/min

## 4. Ergebnisse

### Einfluss der Verzögerungszeit auf die Verbundhaftung

1(▼) ↔ 2(▲), 4(▼) ↔ 3(▲), 6(▼) ↔ 7(▲), 9(▼) ↔ 8(▲)

Die Betrachtung der Festigkeitsergebnisse hinsichtlich der Einflüsse der Verarbeitungsparameter zeigt, dass die Verzögerungszeit keinen Einfluss auf die Haftung hat. Die Ergebnisse aus der Verbundfestigkeitsuntersuchung in Abhängigkeit der Verzögerungszeit werden in Abbildung 55 dargestellt.

### Einfluss der Nachdruckhöhe der zweiten Komponente

4(▼) ↔ 1(▲), 3(▼) ↔ 2(▲), 9(▼) ↔ 6(▲), 8(▼) ↔ 7(▲)

Der Einfluss der Nachdruckhöhe wird in folgender Abbildung 56 dargestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Nachdruckhöhe bei niedriger Massetemperatur der zweiten Komponente kaum einen Einfluss besitzt. Dagegen bewirkt, bei hoher Massetemperatur der zweiten Komponente ( $T_{M2} = 274 \text{ °C}$ ), eine niedrigere Nachdruckhöhe geringere Verbundhaftung (-4 %).

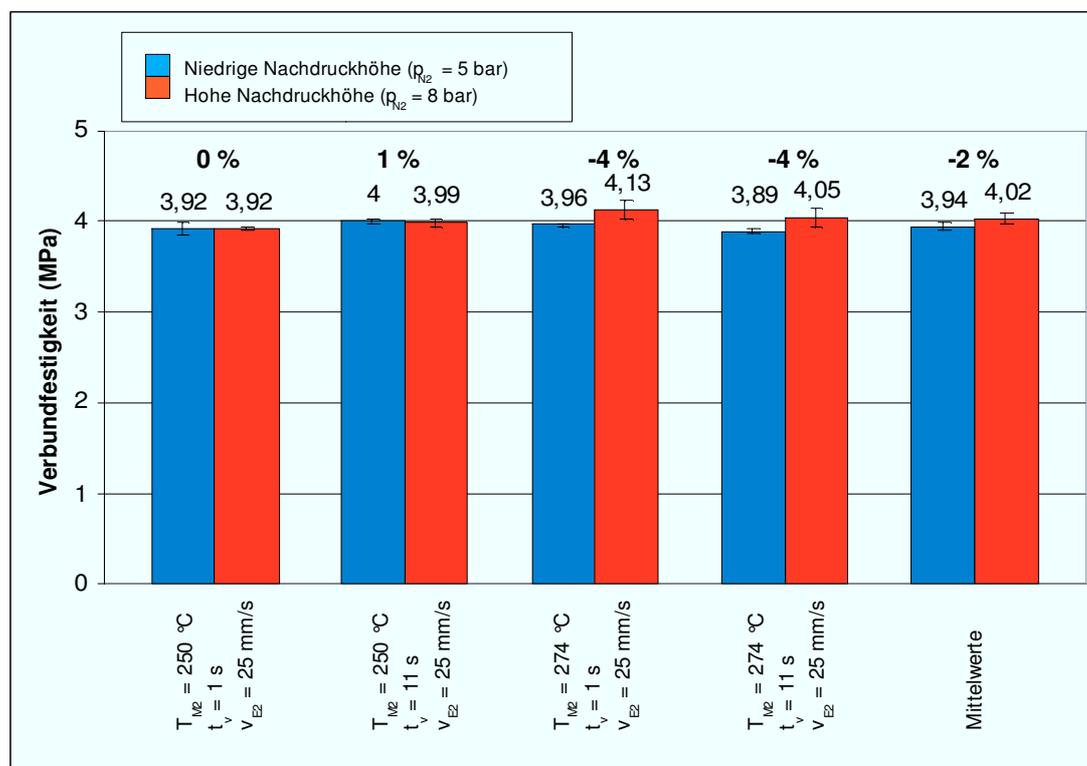


Abbildung 56: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Cryolen 801-94-01 – Kraiburg TC6PNC in Abhängigkeit der Nachdruckhöhe (4mm Zugstab;  $T_{M1} = 261 \text{ °C}$ ;  $t_K = 10 \text{ s}$ ;  $T_{WZ} = 30 \text{ °C}$ )  
Prüfgeschwindigkeit= 50 mm/min

**Einfluss der Einspritzgeschwindigkeit der zweiten Komponente**

1(▼) ↔ 5(▲), 6(▼) ↔ 10(▲)

Eine Erhöhung der Einspritzgeschwindigkeit von 25 mm/s auf 50 mm/s zeigt keine signifikante Zunahme in der Verbundfestigkeit (siehe Abbildung 57).

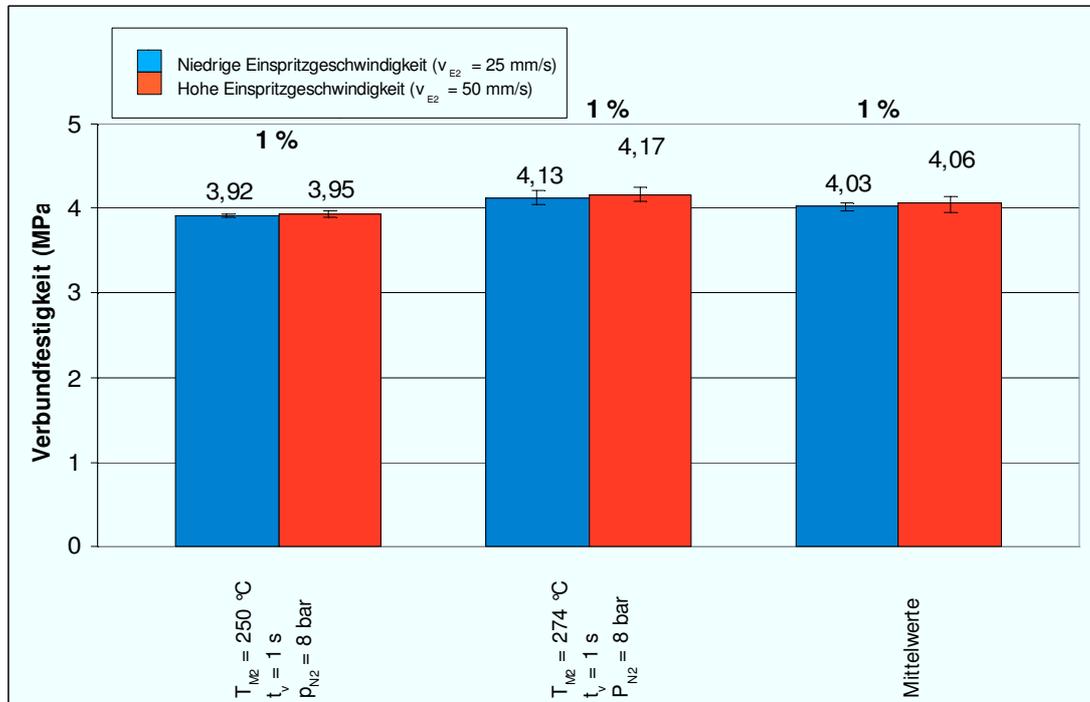
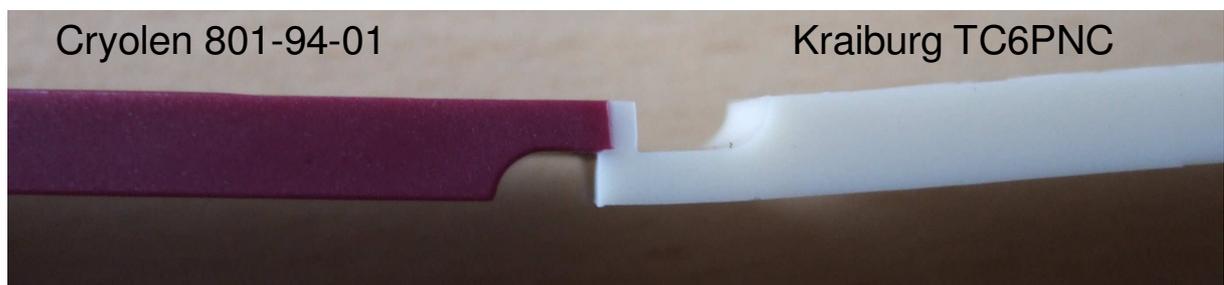


Abbildung 57: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Cryolen 801-94-01 – Kraiburg TC6PNC in Abhängigkeit der Einspritzgeschwindigkeit (4mm Zugstab;  $T_{M1} = 261 \text{ °C}$ ;  $t_K = 10 \text{ s}$ ;  $T_{WZ} = 30 \text{ °C}$ ) Prüfgeschwindigkeit= 50 mm/min

### 4.2.3 Scherprüfkörper

Bei der Bemusterung des Scherprüfkörpers der Materialpaarung Cryolen 801-94-01 – Kraiburg TC6PNC kam es zu einer unzureichenden Ausbildung der Grenzfläche zwischen der Hart (Cryolen)- und der Weichkomponente (Kraiburg), Abbildung 58 soll dies verdeutlichen. Es kam zu einem Eindringen der zweiten Komponente in den Kavitätsbereich der ersten Komponente. Zurückzuführen ist dieser Vorgang auf die hohe Schwindung des Cryolen. Aufgrund der zu geringen Überlappungslänge können die Ergebnisse für diesen Probekörpertyp nicht aussagekräftig interpretiert werden.



*Abbildung 58: Unzureichend ausgebildete Grenzfläche des Scherprüfkörpers der Materialpaarung Cryolen 801-94-01 – Kraiburg TC6PNC*

### 4.3 Grilamid FE 7503 natural – Kraiburg TC6PNC

(Materialdatenblätter im Anhang)

Die im Folgenden untersuchte Materialpaarung stellt wiederum eine Hart/Weich-Kombination dar. Die Hartkomponente bildet ein glasfaserverstärktes Polyamid 12 der Fa. EMS Grivory (Grilamid). Dieses ist eine für den Spritzguss geeignete Forschungstypen, für einen Einsatz in Verbindung mit Wasser. Das Polyamid zeigt eine hohe Steifigkeit und Zugfestigkeit. Darüber hinaus weist es eine gute Dimensionsstabilität und geringe Wasseraufnahme auf. Da es sich, wie bereits erwähnt um eine Forschungstypen handelt, war nur eine begrenzte Menge an Material vorhanden. Aus diesem Grund konnte nur eine Versuchsreihe für den 2 mm–Zugstab und den 4 mm–Zugstab untersucht werden.

Die Weichkomponente stellt wie in den vorangegangenen Materialpaarungen ein TPE der Fa. Kraiburg dar. Dieses eignet sich besonders im 2K–Spritzgussverfahren.

#### 4.3.1 2 mm- Zugstab

Die Bemusterung der Materialpaarung Grilamid FE 7503 natural – Kraiburg TC6PNC erfolgte nach dem in Tabelle 14 dargestellten Versuchsplan. Die Werkzeugtemperatur betrug dabei 60 °C.

*Tabelle 14: Versuchsplan Grilamid FE 7503 natural – Kraiburg TC6PNC*

*(2 mm Zugstab;  $T_{M1} = 306$  °C;  $t_K = 10$  s;  $T_{WZ}=60$  °C)*

Einstellungsnr.:	$T_{M2}$ (°C)	$t_v$ (s)	$p_{N2}$ (bar)	$v_{E2}$ (mm/s)
1	260	1	8	30
2	260	11	8	30
3	260	11	5	30
4	260	1	5	30
5	260	1	8	50
6	288	1	8	30
7	288	11	8	30
8	288	11	5	30
9	288	1	5	30
10	288	1	8	50

### Einfluss der Massetemperatur der zweiten Komponente

1(▼) ↔ 6(▲), 2(▼) ↔ 7(▲), 3(▼) ↔ 8(▲), 4(▼) ↔ 9(▲), 5(▼) ↔ 10(▲)

Die Untersuchung des Einflusses der Massetemperatur der zweiten Komponente zeigt einen Anstieg der Verbundhaftung mit hoher Massetemperatur ( $T_{M2} = 288 \text{ °C}$ ). Eine Parametermodifikation weist jedoch eine Abnahme (-14 %) der Verbundfestigkeit auf. Im Mittel liegt der Verbundfestigkeitsanstieg bei 13 Prozent. Abbildung 59 zeigt die Ergebnisse der Verbundfestigkeitsuntersuchung in Abhängigkeit von der Massetemperatur.

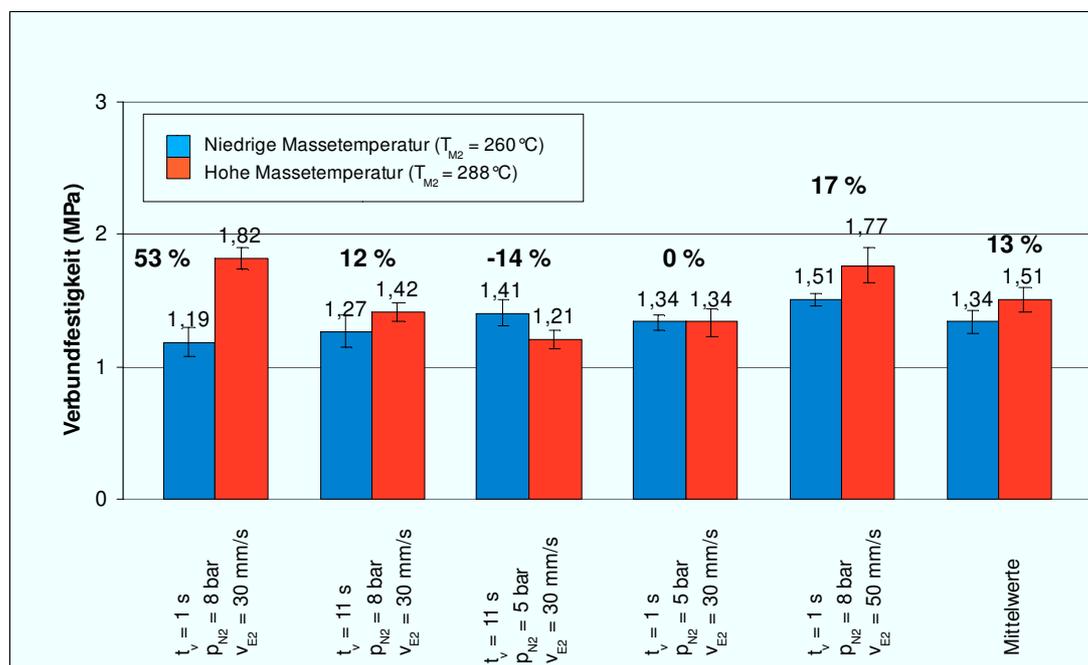


Abbildung 59: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Grilamid FE 7503 natural Kraiburg TC6PNC in Abhängigkeit der Massetemperatur der zweiten Komponente (2 mm Zugstab;  $T_{M1} = 306 \text{ °C}$ ;  $t_k = 10 \text{ s}$ ;  $T_{WZ} = 60 \text{ °C}$ ) Prüfgeschwindigkeit= 50 mm/min

### Einfluss der Verzögerungszeit auf die Verbundhaftung

1(▼) ↔ 2(▲), 4(▼) ↔ 3(▲), 6(▼) ↔ 7(▲), 9(▼) ↔ 8(▲)

Die Auswertung der Zugprüfungsergebnisse für den 2 mm–Probekörper ist in Abbildung 60 dargestellt. Eine Betrachtung der Verbundfestigkeiten hinsichtlich der Verzögerungszeit zeigt, dass bei geringer Massetemperatur der zweiten Komponente eine Abnahme der Haftung (-6 % bzw. -5 %) mit kürzerer Verzögerungszeit einherging.

## 4. Ergebnisse

Eine Erklärung für dieses Verhalten liegt zu dieser Zeit noch nicht vor. Bei hoher Massetemperatur der zweiten Komponente hingegen führte eine verkürzte Verzögerungszeit zu einem Anstieg (28 % bzw. 11 %) der Verbundhaftung. Dies würde sich durch die erhöhte Molekülbeweglichkeit (Interdiffusion) erklären, welche bei höheren Temperaturen vorherrscht.

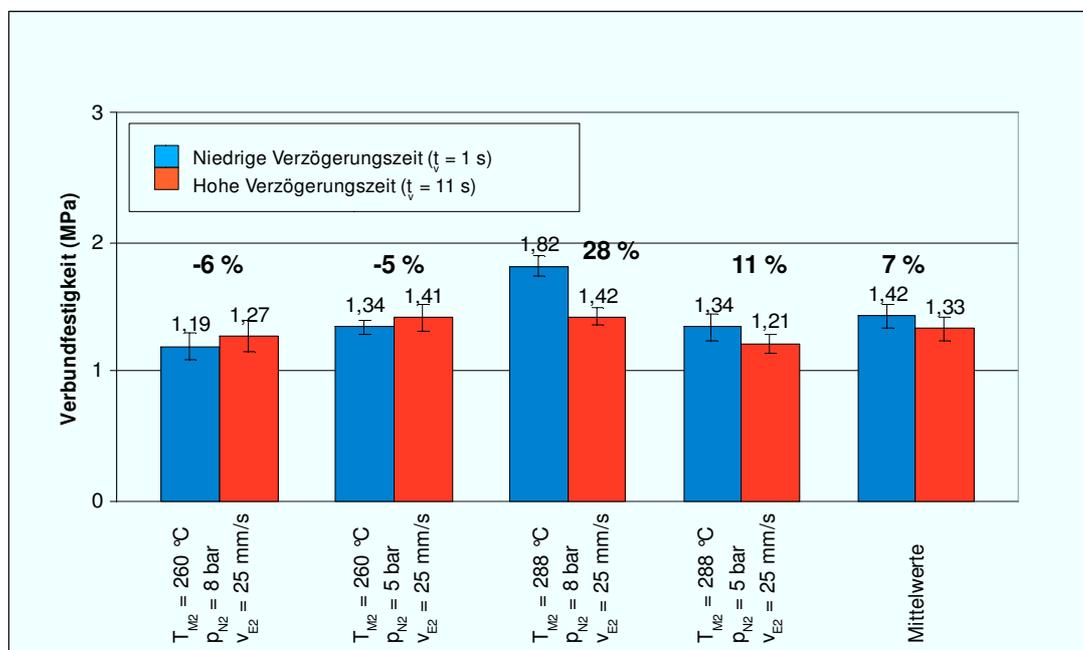


Abbildung 60: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Grilamid FE 7503 natural Kraiburg TC6PNC in Abhängigkeit der Verzögerungszeit (2 mm Zugstab;  $T_{M1} = 306$  °C;  $t_K = 10$  s;  $T_{WZ} = 60$  °C) Prüfgeschwindigkeit = 50 mm/min

### Einfluss der Nachdruckhöhe der zweiten Komponente

4(▼) ↔ 1(▲), 3(▼) ↔ 2(▲), 9(▼) ↔ 6(▲), 8(▼) ↔ 7(▲)

Die Ermittelten Verbundfestigkeiten in Abhängigkeit der Nachdruckhöhe (siehe Abbildung 61) zeigen unterschiedliche Ergebnisse bei niedriger und hoher Massetemperatur der zweiten Komponente. So wirkte sich ein niedriger Nachdruck bei niedriger Massetemperatur positiv auf die Haftung (13 % bzw. 11 %) aus. Ein reduziertes Maß an Eigenspannungen im Bereich der Grenzfläche könnte ein Grund dafür sein. Bei erhöhter Massetemperatur wird ersichtlich, dass ein niedriger Nachdruck zu niedrigen Haftungswerten (-26% bzw. -15 %) führte.

Eine Erklärung für diesen Effekt könnte das Zusammenwirken aus erhöhter Molekülbeweglichkeit aufgrund der Temperatur und den verbesserten Diffusionsbedingungen des erhöhten Nachdruckes sein. Hier wird die

## 4. Ergebnisse

Ausbildung von Eigenspannungen durch die verbesserte Diffusion bei einer Nachdruckerhöhung kompensiert. Grund dafür ist, dass das Material bei höherer Temperatur weniger viskos ist und somit ein erhöhter Nachdruck stärkeren Einfluss auf das Diffusionsverhalten besitzt.

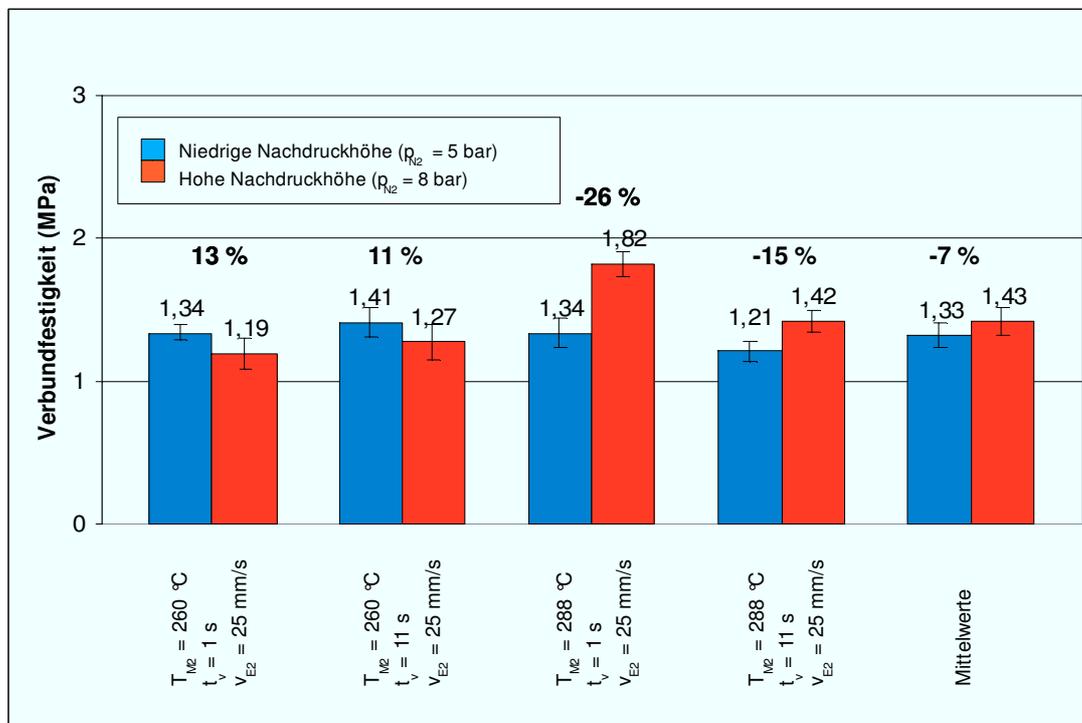


Abbildung 61: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Grilamid FE 7503 natural Kraiburg TC6PNC in Abhängigkeit der Nachdruckhöhe (2 mm Zugstab;  $T_{M1} = 306$  °C;  $t_K = 10$  s;  $T_{WZ} = 60$  °C) Prüfgeschwindigkeit = 50 mm/min

### Einfluss der Einspritzgeschwindigkeit der zweiten Komponente

1(▼) ↔ 5(▲), 6(▼) ↔ 10(▲)

Eine Erhöhung der Einspritzgeschwindigkeit von 30 mm/s auf 50 mm/s wies bei Tiefeinstellungen der Massetemperatur der zweiten Komponente ( $T_{M2} = 260$  °C) eine Erhöhung der Verbundfestigkeit von 27 Prozent auf.

Bei hoher Massetemperatur der zweiten Komponente ( $T_{M2} = 288$  °C) ist der Einfluss der Einspritzgeschwindigkeit zu vernachlässigen.

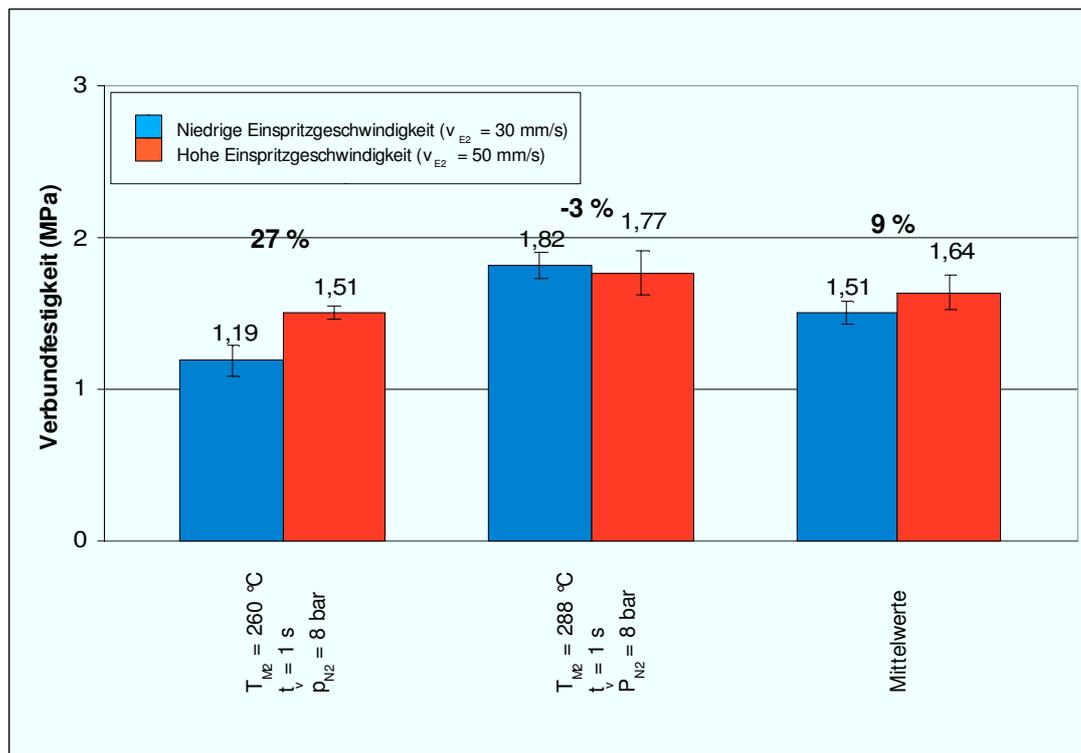


Abbildung 62: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Grilamid FE 7503 natural – Kraiburg TC6PNC in Abhängigkeit der Einspritzgeschwindigkeit (2 mm Zugstab;  $T_{M1} = 306\text{ °C}$ ;  $t_K = 10\text{ s}$ ;  $T_{WZ} = 60\text{ °C}$ )  
Prüfgeschwindigkeit = 50 mm/min

### 4.3.2 4 mm – Zugstab

Für die Bemusterung des 4 mm–Zugprüfkörpers wurde nach dem in Tabelle 15 dargestellten Versuchsplan vorgegangen. Wie bereits beim 2 mm–Zugstab betrug die verwendete Werkzeug Temperatur 60 °C.

Tabelle 15: Versuchsplan Grilamid FE 7503 natural – Kraiburg TC6PNC (4 mm Zugstab;  $T_{M1} = 306\text{ °C}$ ;  $t_K = 20\text{ s}$ ;  $T_{WZ} = 60\text{ °C}$ )

Einstellungsnr.:	$T_{M2}$ (°C)	$t_v$ (s)	$p_{N2}$ (bar)	$v_{E2}$ (mm/s)
1	260	1	11	31
2	260	11	11	31
3	260	11	7	31
4	260	1	7	31
5	260	1	11	50
6	284	1	11	31
7	284	11	11	31
8	284	11	7	31
9	284	1	7	31
10	284	1	11	50

### Einfluss der Massetemperatur der zweiten Komponente

1(▼) ↔ 6(▲), 2(▼) ↔ 7(▲), 3(▼) ↔ 8(▲), 4(▼) ↔ 9(▲), 5(▼) ↔ 10(▲)

Einen deutlichen Anstieg der Verbundhaftung brachte eine Erhöhung der Massetemperatur der zweiten Komponente (von 260 °C auf 284 °C) mit sich. Dies lässt sich durch die Diffusionstheorie erklären. Der maximale Anstieg der Verbundfestigkeit lag bei 92 Prozent. Im Mittel nahm die Verbundhaftung um 44 Prozent mit höherer Massetemperatur zu (siehe Abbildung 63).

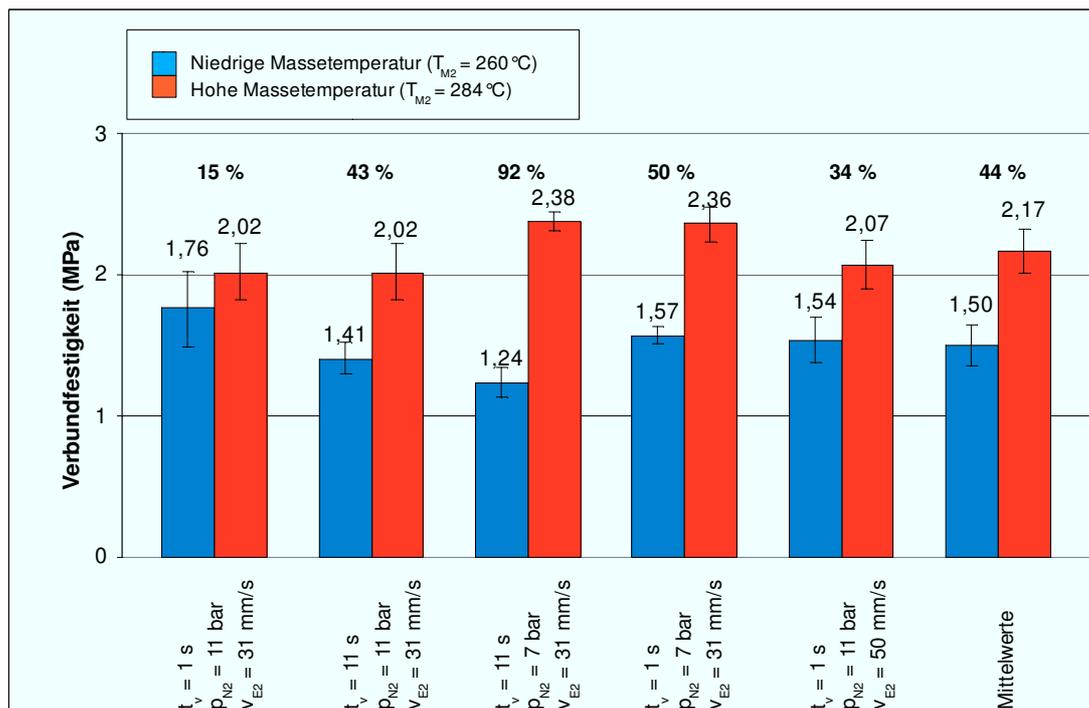


Abbildung 63: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Grilamid FE 7503 natural Kraiburg TC6PNC in Abhängigkeit der Massetemperatur der zweiten Komponente (4 mm Zugstab; T<sub>M1</sub> = 306 °C; t<sub>K</sub> = 20 s; T<sub>WZ</sub> = 60 °C) Prüfgeschwindigkeit = 50 mm/min

### Einfluss der Verzögerungszeit auf die Verbundhaftung

1(▼) ↔ 2(▲), 4(▼) ↔ 3(▲), 6(▼) ↔ 7(▲), 9(▼) ↔ 8(▲)

In Abbildung 64 werden die Mittelwerte der Verbundfestigkeit in Abhängigkeit der Verzögerungszeit dargestellt. Dabei zeigte eine geringere Verzögerungszeit bei niedriger Massetemperatur der zweiten Komponente (T<sub>M2</sub> = 260 °C) höhere Festigkeitswerte (25 % bzw. 27 %). Eine Erklärung für diesen Effekt wurde bereits in Kapitel 4.1.1 gegeben. Bei hoher Massetemperatur der zweiten Komponente zeigte die Verzögerungszeit hingegen keinen Einfluss mehr.

## 4. Ergebnisse

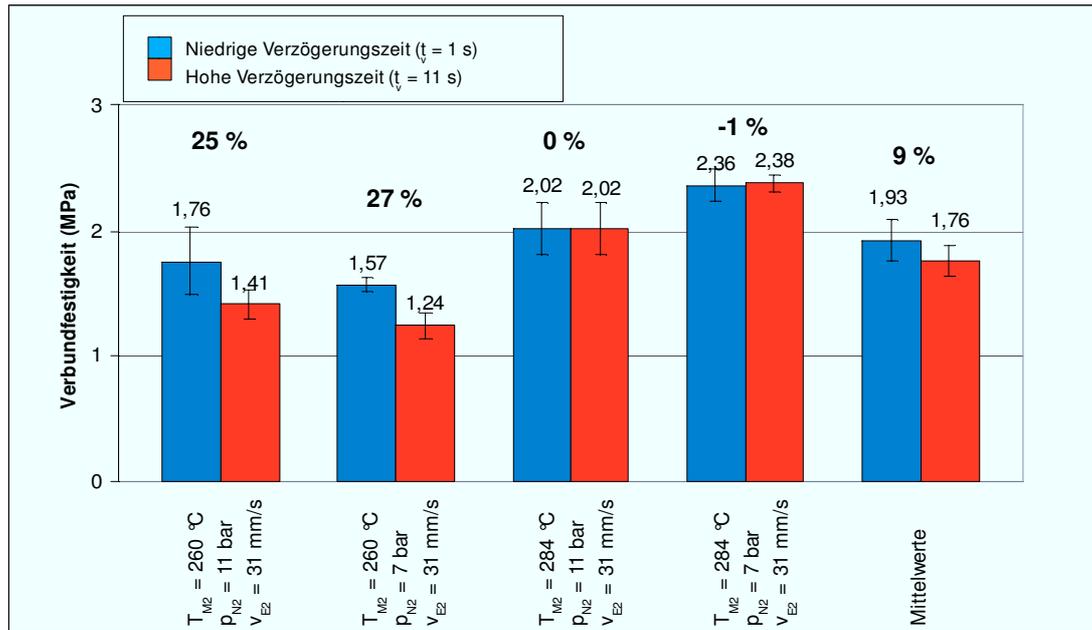


Abbildung 64: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Grilamid FE 7503 natural – Kraiburg TC6PNC in Abhängigkeit der Verzögerungszeit (4 mm Zugstab;  $T_{M1} = 306$  °C;  $t_K = 20$  s;  $T_{WZ} = 60$  °C) Prüfgeschwindigkeit= 50 mm/min

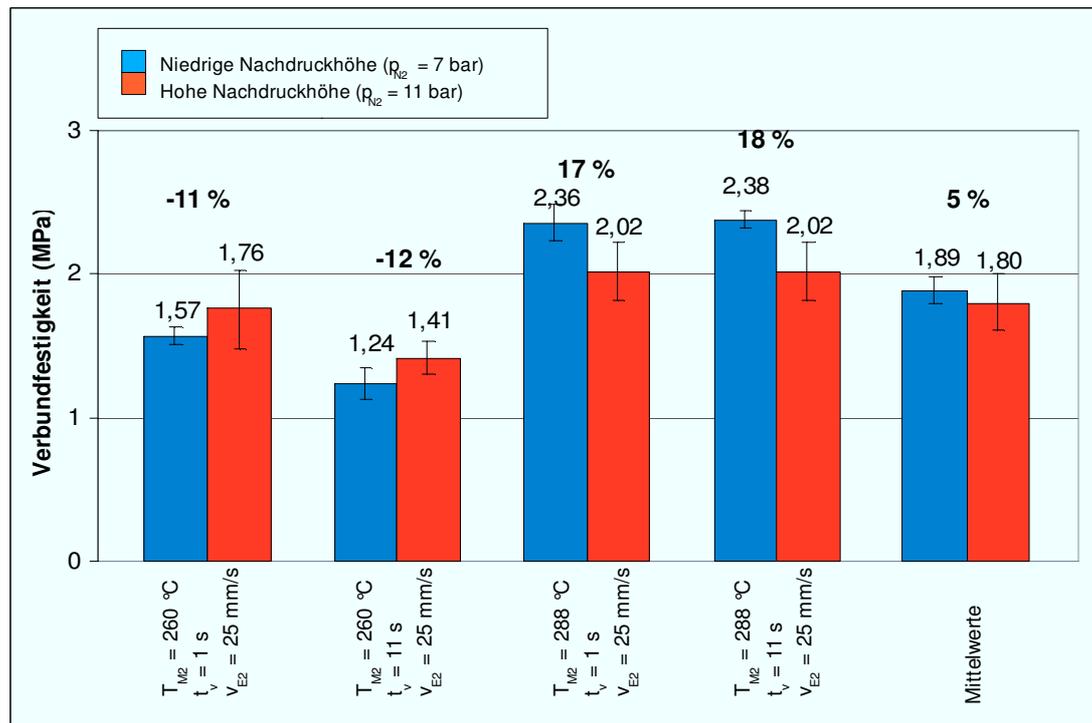


Abbildung 65: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Grilamid FE 7503 natural – Kraiburg TC6PNC in Abhängigkeit der Nachdruckhöhe (4 mm Zugstab;  $T_{M1} = 306$  °C;  $t_K = 20$  s;  $T_{WZ} = 60$  °C) Prüfgeschwindigkeit= 50 mm/min

### Einfluss der Nachdruckhöhe der zweiten Komponente

4(▼) ↔ 1(▲), 3(▼) ↔ 2(▲), 9(▼) ↔ 6(▲), 8(▼) ↔ 7(▲)

Der Vergleich der Ergebnisse für den Einfluss der Nachdruckhöhe (siehe Abbildung 65) ergab, dass sich bei niedriger Massetemperatur der zweiten Komponente ein niedrigerer Nachdruck ( $p_{N2} = 7$  bar) negativ auf die Verbundhaftung (-11 % bzw. -12 %) auswirkte. Dagegen wirkte sich die niedrige Nachdruckhöhe bei hoher Massetemperatur positiv auf die Verbundfestigkeit aus (Anstieg um 17 % bzw. 18 %).

### Einfluss der Einspritzgeschwindigkeit der zweiten Komponente

1(▼) ↔ 5(▲), 6(▼) ↔ 10(▲)

Eine Erhöhung der Einspritzgeschwindigkeit der zweiten Komponente lässt keine eindeutige Schlussfolgerung zu, da die Messwerte innerhalb der jeweiligen Standardabweichungen der Vergleichsmessung liegen. Dies geht aus Abbildung 66 hervor.

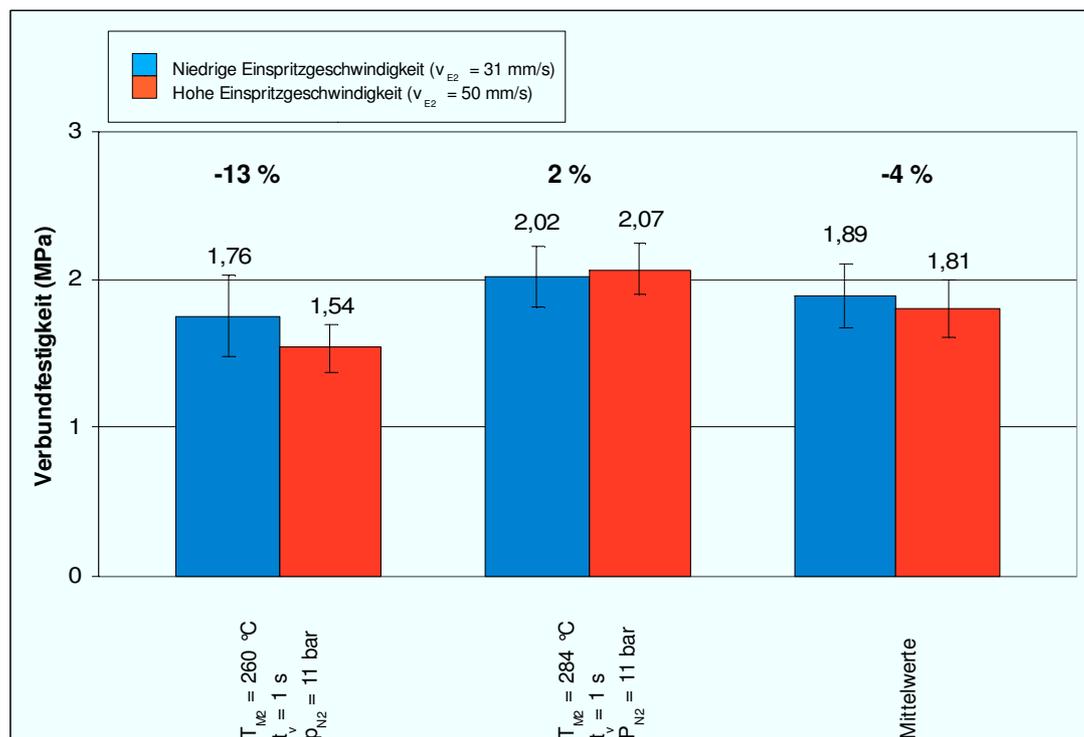


Abbildung 66: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Grilamid FE 7503 natural – Kraiburg TC6PNC in Abhängigkeit der Einspritzgeschwindigkeit (4 mm Zugstab;  $T_{M1} = 306$  °C;  $t_K = 20$  s;  $T_{WZ} = 60$  °C) Prüfgeschwindigkeit = 50 mm/min

#### 4.4 Bergamid 700 GF 35H – Radilon A natur

(Materialdatenblätter im Anhang)

Die bisher untersuchten Materialpaarungen stellen alle eine Verbindung aus einer Hart- und einer Weichkomponente dar. Es finden jedoch auch Materialpaarungen aus Hart/Hart-Kombinationen ein breites Anwendungsspektrum in der Spritzgussindustrie. Aus diesem Grund werden in weiterer Folge Verbundfestigkeitsergebnisse für diese Materialpaarungen vorgestellt.

Bergamid ist ein Polyamid 6,6 der Fa. PolyOne welches einen Glasfaseranteil von 35 Gewichtsprozent enthält. Dieses Material weist besonders gute Eigenschaften in Bezug auf Festigkeit, Steifigkeit, Härte, Form und Chemikalienbeständigkeit auf. Es wird vorwiegend in der KFZ- und Elektroindustrie eingesetzt. Bei Radilon A handelt es sich um ein unverstärktes, hoch wärmebeständiges Polyamid 6,6 von Radici Plastics.

##### 4.4.1 2mm – Zugstab

Tabelle 16 zeigt den Versuchsplan nach dem alle 2 mm-Zugprüfkörper der Materialpaarung Bergamid 700 GF 35H – Radilon A natur bemustert wurden.

*Tabelle 16: Versuchsplan Bergamid 700 GF 35H – Radilon A natur  
(2 mm-Zugstab;  $T_{M1} = 274 \text{ °C}$ ;  $t_K = 10 \text{ s}$ ;  $T_{WZ} = 80 \text{ °C}$ )*

Einstellungsnr.:	$T_{M2}$ (°C)	$t_V$ (s)	$p_{N2}$ (bar)	$v_{E2}$ (mm/s)
1	274	1	40	36
2	274	11	40	36
3	274	11	30	36
4	274	1	30	36
5	274	1	40	51
6	290	1	40	36
7	290	11	40	36
8	290	11	30	36
9	290	1	30	36
10	290	1	40	51

## 4. Ergebnisse

Die Ergebnisse der Verbundfestigkeitsmessung für den 2 mm-Zugstab sind in Abbildung 67 bis 70 dargestellt.

### Einfluss der Massetemperatur der zweiten Komponente

1(▼) ↔ 6(▲), 2(▼) ↔ 7(▲), 3(▼) ↔ 8(▲), 4(▼) ↔ 9(▲), 5(▼) ↔ 10(▲)

Aus dem Vergleich der Einstellungsnummern in Abbildung 67 wird deutlich, dass eine Änderung der Massetemperatur der zweiten Komponente einen signifikanten Einfluss auf die Verbundfestigkeit hatte. Die Steigerung der Verbundhaftung bei einer Erhöhung der Massetemperatur der zweiten Komponente betrug im Durchschnitt 86 Prozent. Der Spitzenwert der Verbundfestigkeitssteigerung, bei erhöhter Massetemperatur, betrug 146 Prozent. Eine Erklärung dafür wurde bereits in Kapitel 4.1.1 gegeben.

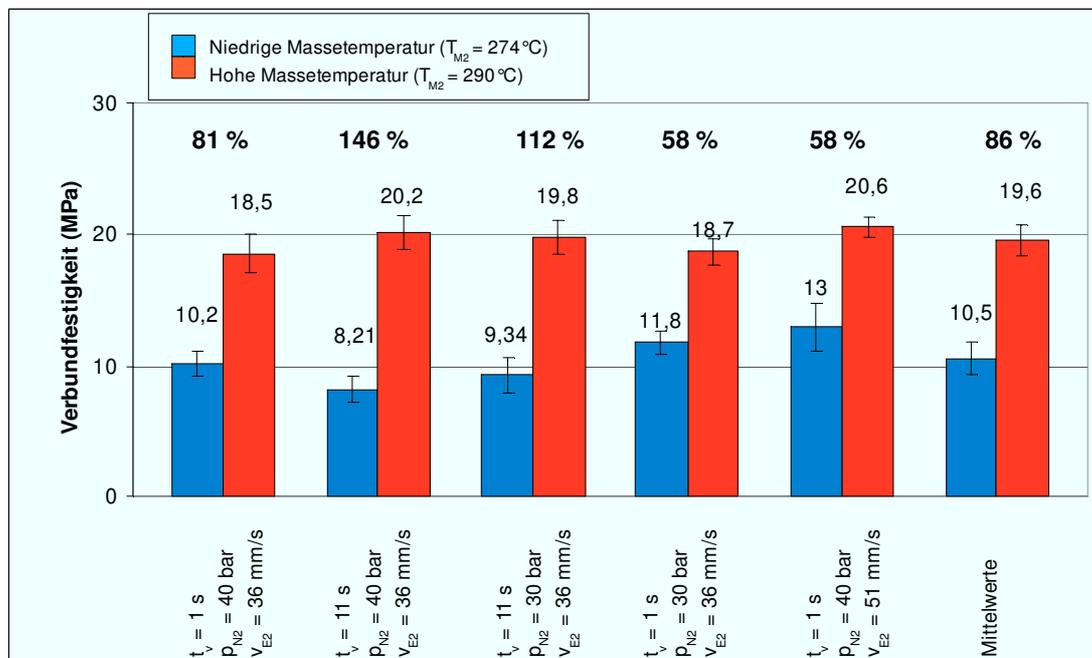


Abbildung 67: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Bergamid 700 GF 35H - Radilon A natur in Abhängigkeit der Massetemperatur der zweiten Komponente (2 mm-Zugstab;  $T_{M1} = 274\text{ °C}$ ;  $t_K = 10\text{ s}$ ;  $T_{WZ} = 80\text{ °C}$ ) Prüfgeschwindigkeit = 50 mm/min

### Einfluss der Verzögerungszeit auf die Verbundhaftung

1(▼) ↔ 2(▲), 4(▼) ↔ 3(▲), 6(▼) ↔ 7(▲), 9(▼) ↔ 8(▲)

Bei niedriger Massetemperatur der zweiten Komponente (1(▼) ↔ 2(▲), 4(▼) ↔ 3(▲)), wirkte sich eine Verringerung der Verzögerungszeit positiv (24 % bzw. 26 %) aus. Bei hohen Massetemperaturen der zweiten Komponente (6(▼) ↔ 7(▲), 9(▼) ↔ 8(▲)), war der Einfluss der Verzögerungszeit nicht signifikant. Diese Unterschiede der Verbundfestigkeit sind so gering, dass sie größtenteils in die Standardabweichung der Ergebnisse hineinfallen. Somit bewirkte eine Änderung der Verzögerungszeit bei dieser Materialpaarung keine signifikante Veränderung der Verbundfestigkeit.

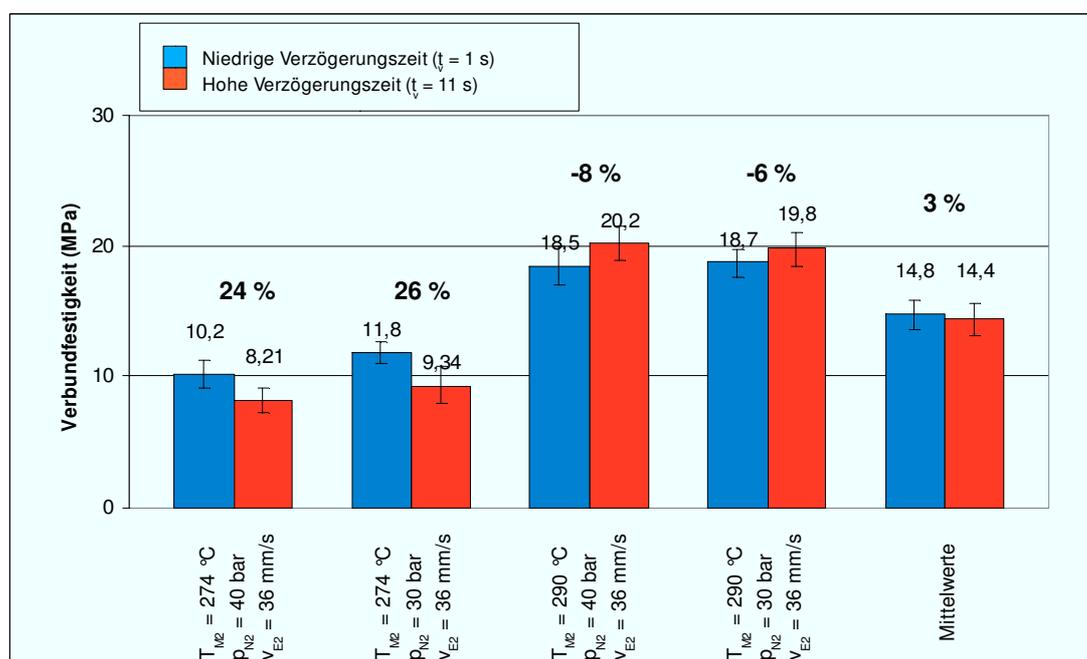


Abbildung 68: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Bergamid 700 GF 35H Radilon A natur in Abhängigkeit der Verzögerungszeit (2 mm-Zugstab;  $T_{M1} = 274$  °C;  $t_K = 10$  s;  $T_{WZ} = 80$  °C) Prüfgeschwindigkeit = 50 mm/min

### Einfluss der Nachdruckhöhe der zweiten Komponente

4(▼) ↔ 1(▲), 3(▼) ↔ 2(▲), 9(▼) ↔ 6(▲), 8(▼) ↔ 7(▲)

Eine Variation der Nachdruckhöhe verhält sich vergleichbar zu einer Veränderung der Verzögerungszeit. Dabei zeigte sich ein Anstieg der Verbundfestigkeit mit niedrigem Nachdruck ( $p_{N2} = 20$  bar) und niedriger Massetemperatur der zweiten Komponente (siehe Abbildung 69).

## 4. Ergebnisse

Bei hoher Massetemperatur zeigte sich kein Einfluss der Nachdruckhöhe. Auf Grund dessen hat diese Modifikation der Parameter keinen entscheidenden Einfluss auf die sich ausbildende Verbundhaftung.

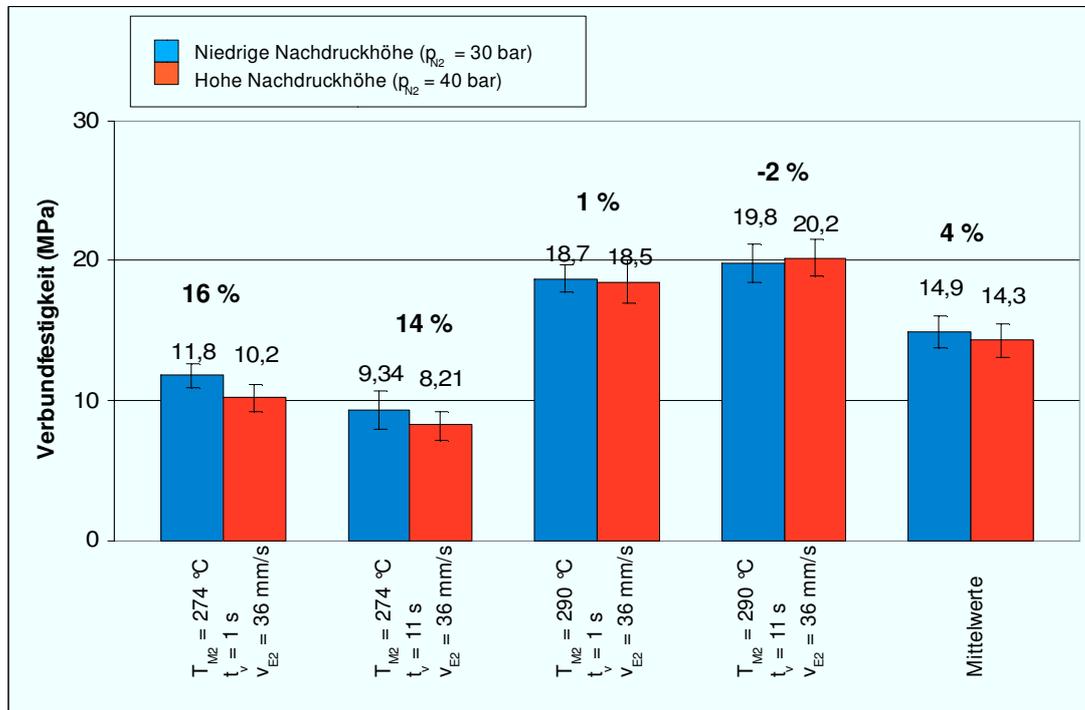


Abbildung 69: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Bergamid 700 GF 35H Radilon A natur in Abhängigkeit der Nachdruckhöhe (2 mm-Zugstab;  $T_{M1} = 274$  °C;  $t_K = 10$  s;  $T_{WZ} = 80$  °C) Prüfgeschwindigkeit = 50 mm/min

### Einfluss der Einspritzgeschwindigkeit der zweiten Komponente

1(▼) ↔ 5(▲), 6(▼) ↔ 10(▲)

Die Untersuchung des Einflusses der Einspritzgeschwindigkeit der zweiten Komponente zeigte, dass eine Erhöhung derselben sich positiv (im Mittel 17 %) auf die Haftung auswirkte (Abbildung 70). Dieser Effekt wird sowohl bei niedriger als auch bei hoher Massetemperatur der zweiten Komponente sichtbar. Die Unterschiede in den Verbundfestigkeiten sind zwar nicht so deutlich wie bei einer Erhöhung der Massetemperatur, sie liegen aber dennoch über der Standardabweichung. Die Ursache dieses Effektes ist wiederum in Kapitel 4.1.1 beschreiben.

## 4. Ergebnisse

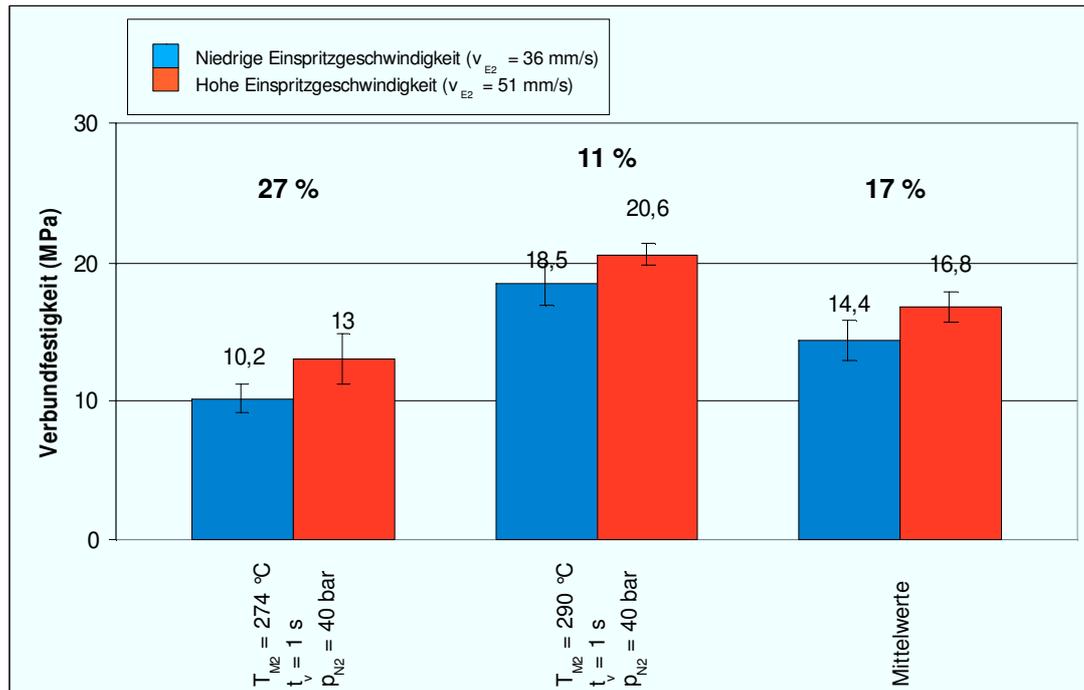


Abbildung 70: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Bergamid 700 GF 35H Radilon A natur in Abhängigkeit der Einspritzgeschwindigkeit (2 mm-Zugstab; T<sub>M1</sub> = 274 °C; t<sub>K</sub> = 10 s; T<sub>WZ</sub> = 80 °C) Prüfgeschwindigkeit = 50 mm/min

### 4.4.2 4 mm – Zugstab

Alle Probekörper für den 4 mm–Zugprüfkörper dieser Materialpaarung wurden nach dem in Tabelle 17 dargestellten Versuchsplan hergestellt.

Tabelle 17: Versuchsplan Bergamid 700 GF 35H – Radilon A natur (4mm Zugstab; T<sub>M1</sub> = 274 °C, t<sub>K</sub> = 10 s; T<sub>WZ</sub> = 80 °C)

Einstellungsnr.:	T <sub>M2</sub> (°C)	t <sub>v</sub> (s)	p <sub>N2</sub> (bar)	v <sub>E2</sub> (mm/s)
1	274	1	40	36
2	274	11	40	36
3	274	11	30	36
4	274	1	30	36
5	274	1	40	51
6	300	1	40	36
7	300	11	40	36
8	300	11	30	36
9	300	1	30	36
10	300	1	40	51

### Einfluss der Massetemperatur der zweiten Komponente

1(▼) ↔ 6(▲), 2(▼) ↔ 7(▲), 3(▼) ↔ 8(▲), 4(▼) ↔ 9(▲), 5(▼) ↔ 10(▲)

Weiters zeigte eine Erhöhung der Massetemperatur einen positiven Einfluss auf die Verbundfestigkeiten (im Mittel 31 % Anstieg), welcher aber nicht so deutlich ausgeprägt war, wie jener beim 2 mm-Zugstab (im Mittel 86 %).

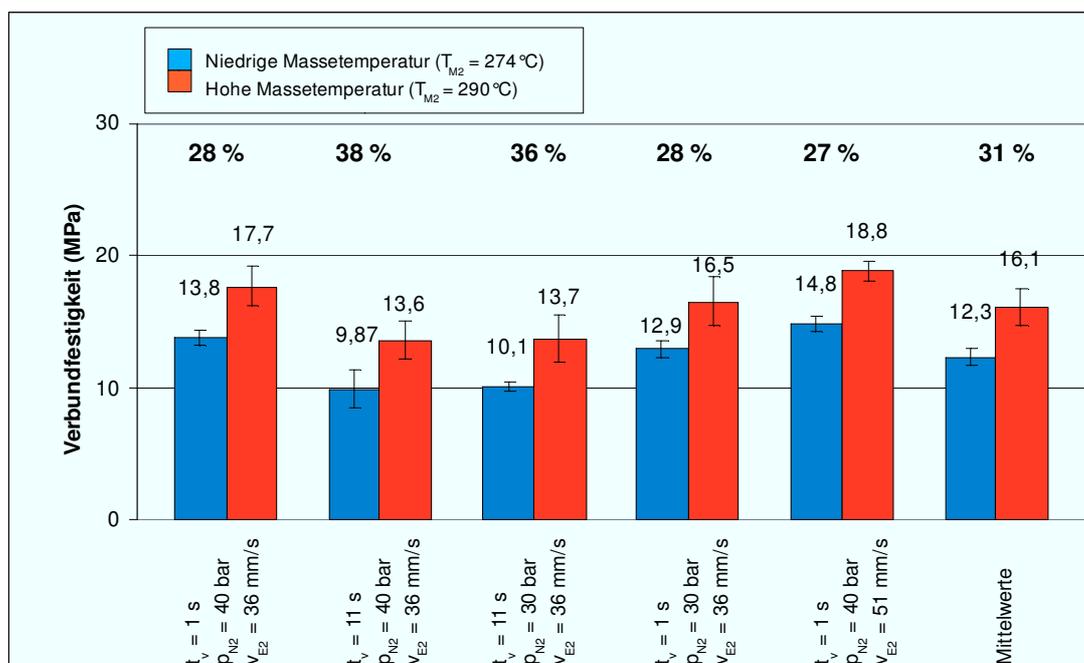


Abbildung 71: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Bergamid 700 GF 35H – Radilon A natur in Abhängigkeit der Massetemperatur der zweiten Komponente (4 mm-Zugstab;  $T_{M1} = 274\text{ °C}$ ;  $t_K = 10\text{ s}$ ;  $T_{WZ} = 80\text{ °C}$ )  
Prüfgeschwindigkeit = 50 mm/min

### Einfluss der Verzögerungszeit auf die Verbundhaftung

1(▼) ↔ 2(▲), 4(▼) ↔ 3(▲), 6(▼) ↔ 7(▲), 9(▼) ↔ 8(▲)

Im Gegensatz zu dem 2 mm-Zugprüfkörpern dieser Materialpaarung war beim 4 mm-Zugstab der Einfluss der Verzögerungszeit signifikanter (29 % im Vergleich zu 3 %). Dies wird aus dem Vergleich der Einstellungsnummern 1(▼) ↔ 2(▲), 4(▼) ↔ 3(▲), 6(▼) ↔ 7(▲), 9(▼) ↔ 8(▲) aus Abbildung 72 ersichtlich. Eine verkürzte Verzögerungszeit führte dabei sowohl bei niedriger als auch bei hoher Massetemperatur der zweiten Komponente zu einer Verbesserung der Verbundhaftung.

## 4. Ergebnisse

Im Vergleich zum 2 mm–Zugstab war der Einfluss einer verkürzten Verzögerungszeit stärker ausgeprägt. Dies lässt sich durch die größere Grenzfläche und die langsamere thermische Abkühlung dieser erklären.

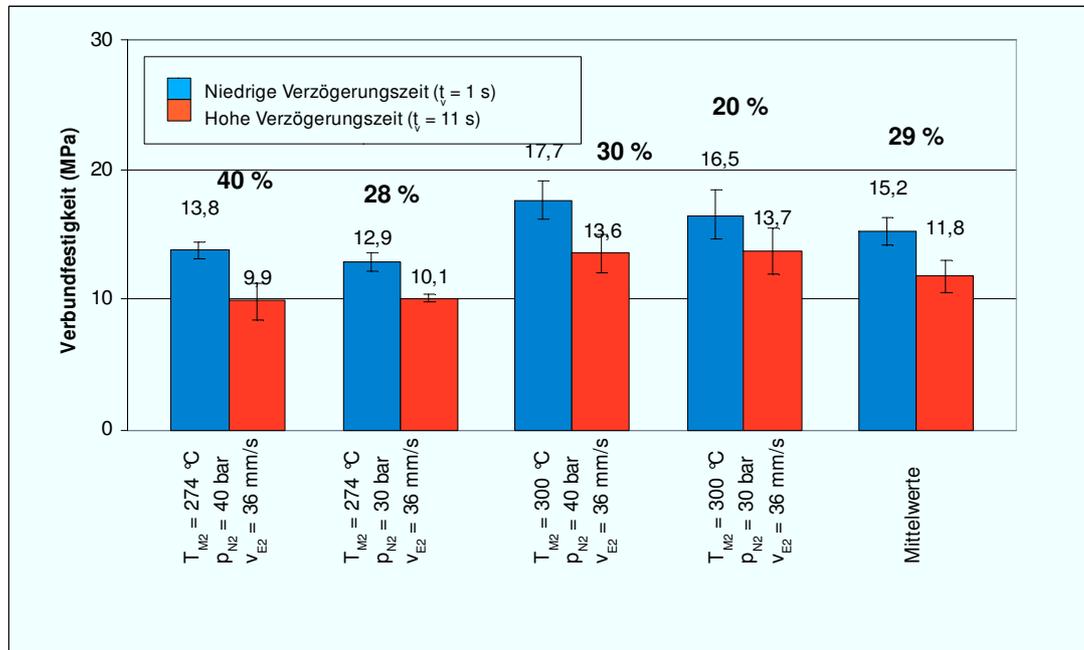


Abbildung 72: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Bergamid 700 GF 35H – Radilon A natur in Abhängigkeit der Verzögerungszeit (4 mm-Zugstab;  $T_{M2} = 274$  °C;  $p_{N2} = 40$  bar;  $v_{E2} = 36$  mm/s;  $T_{WZ} = 80$  °C) Prüfgeschwindigkeit = 50 mm/min

### Einfluss der Nachdruckhöhe der zweiten Komponente

4(▼) ↔ 1(▲), 3(▼) ↔ 2(▲), 9(▼) ↔ 6(▲), 8(▼) ↔ 7(▲)

Für die Materialpaarung Bergamid 700 GF 35H – Radilon A natur führte eine Modifikation der Nachdruckhöhe der zweiten Komponente zu keiner signifikanten Verbesserung der Haftung. Dies gilt sowohl für den 2 mm- als auch für den 4 mm-Zugstab. Die Vergleichsergebnisse sind in Abbildung 73 dargestellt.

## 4. Ergebnisse

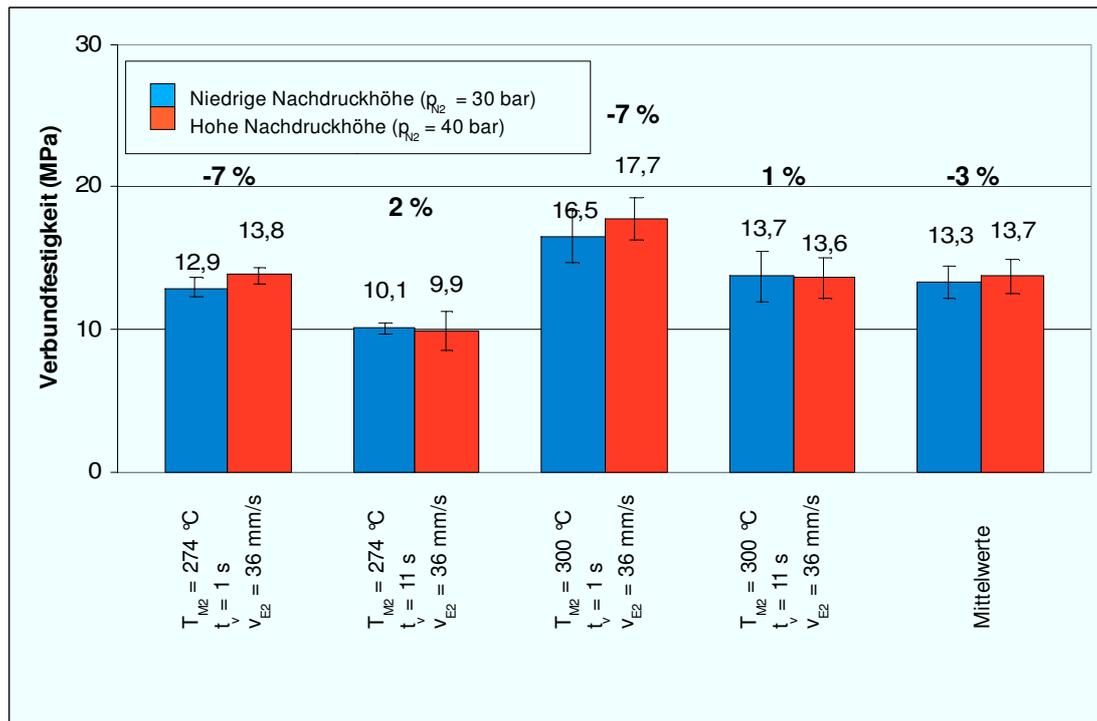


Abbildung 73: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Bergamid 700 GF 35H-Radilon A natur in Abhängigkeit der Nachdruckhöhe (4 mm-Zugstab;  $T_{M_1} = 274$  °C;  $t_K = 10$  s;  $T_{WZ} = 80$  °C) Prüfgeschwindigkeit = 50 mm/min

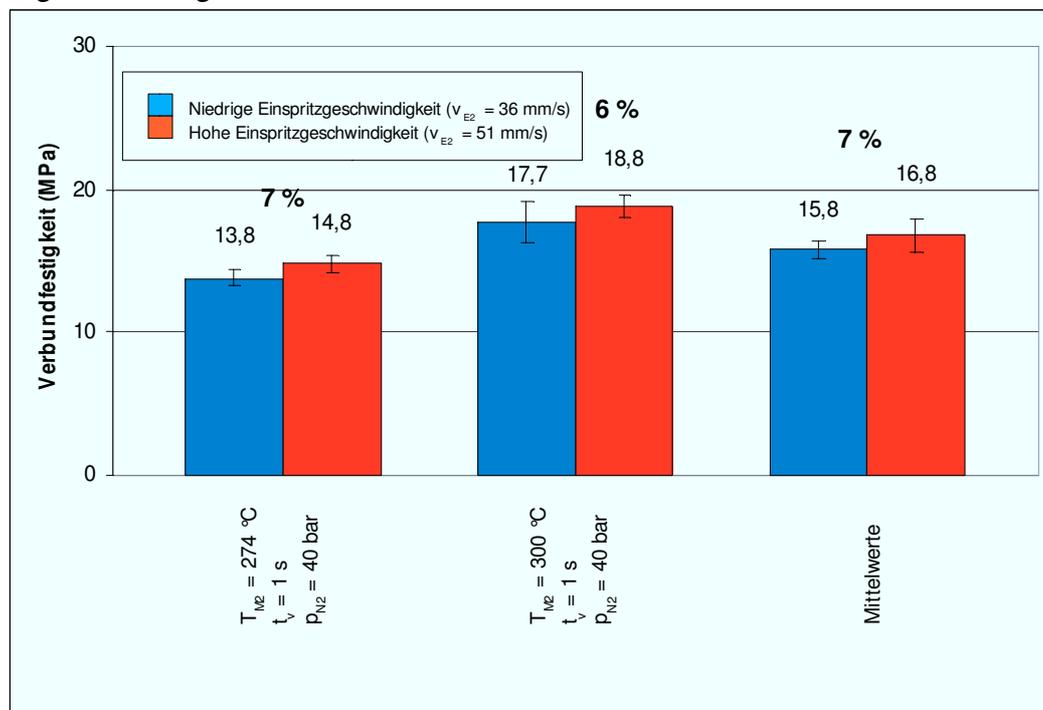


Abbildung 74: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Bergamid 700 GF 35H – Radilon A natur in Abhängigkeit der Einspritzgeschwindigkeit (4 mm-Zugstab;  $T_{M_1} = 274$  °C;  $t_K = 10$  s;  $T_{WZ} = 80$  °C) Prüfgeschwindigkeit = 50 mm/min

### **Einfluss der Einspritzgeschwindigkeit der zweiten Komponente**

1(▼) ↔ 5(▲), 6(▼) ↔ 10(▲)

Eine Erhöhung der Einspritzgeschwindigkeit der zweiten Komponente von 36 mm/s auf 51 mm/s führte wiederum zu einer geringfügigen Verbesserung der Verbundfestigkeiten (Abbildung 74). Im Mittel steigt die Verbundhaftung um 7 Prozent.

Eine Erklärung für die angeführten Auswirkungen bei unterschiedlichen Parametermodifikationen wurde bereits in Kapitel 4.1.1 gegeben.

#### **4.4.3 Scherprüfkörper**

Die Bemusterung dieses Probekörpers erfolgte nach dem in Tabelle 18 dargestellten Versuchsplan. Die Werkzeugtemperatur betrug 80 °C.

In den folgenden Abbildung 75 bis 78 sind die Mittelwerte der Verbundfestigkeitsprüfung dargestellt.

*Tabelle 18: Versuchsplan Bergamid 700 GF 35H – Radilon A natur  
(Scherprüfkörper;  $T_{M1} = 296$  °C;  $t_K = 10$  s;  $T_{WZ} = 80$  °C)*

Einstellungsnr.:	$T_{M2}$ (°C)	$t_v$ (s)	$p_{N2}$ (bar)	$v_{E2}$ (mm/s)
1	284	1	20	36
2	284	11	20	36
3	284	11	14	36
4	284	1	14	36
5	284	1	20	51
6	293	1	20	36
7	293	11	20	36
8	293	11	14	36
9	293	1	14	36
10	293	1	20	51

### Einfluss der Massetemperatur der zweiten Komponente

1(▼) ↔ 6(▲), 2(▼) ↔ 7(▲), 3(▼) ↔ 8(▲), 4(▼) ↔ 9(▲), 5(▼) ↔ 10(▲)

Einen positiven Effekt auf die Verbundfestigkeit brachte eine Erhöhung der Massetemperatur der zweiten Komponente mit sich. Im Mittel erhöhte sich die Verbundhaftung um 25 Prozent.

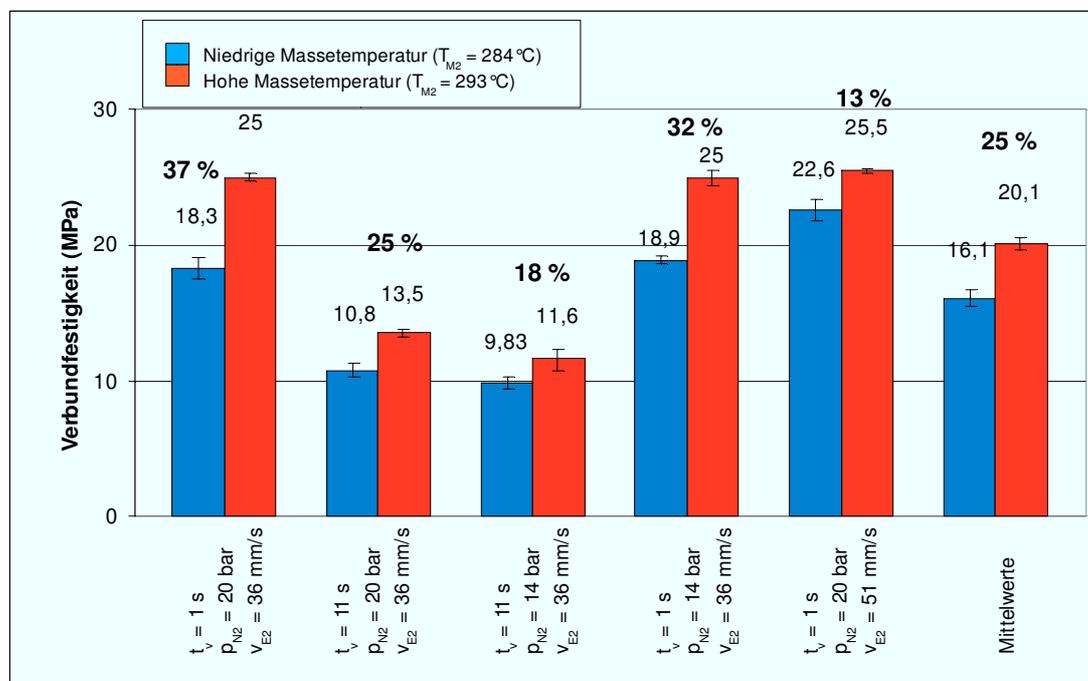


Abbildung 75: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Bergamid 700 GF 35H – Radilon A natur in Abhängigkeit der Massetemperatur der zweiten Komponente (Scherprüfkörper; T<sub>M1</sub> = 296 °C; t<sub>K</sub> = 10 s; T<sub>WZ</sub> = 80 °C) Prüfgeschwindigkeit = 50 mm/min

### Einfluss der Verzögerungszeit auf die Verbundhaftung

1(▼) ↔ 2(▲), 4(▼) ↔ 3(▲), 6(▼) ↔ 7(▲), 9(▼) ↔ 8(▲)

Die Einflüsse der Verarbeitungsparameter zeigten vergleichbare Verläufe wie beim 4 mm-Zugstab. Eine Reduktion der Verzögerungszeit führte zu einem signifikanten Anstieg bis zu 115 % der Haftung. Dies gilt sowohl bei niedriger als auch bei hoher Massetemperatur der zweiten Komponente. Aus der Auswertung der Zugprüfungsergebnisse geht hervor, dass eine verkürzte Verzögerungszeit für diese Materialpaarung und Probekörpergeometrie einen mittleren Anstieg von 91 Prozent bewirkt.

## 4. Ergebnisse

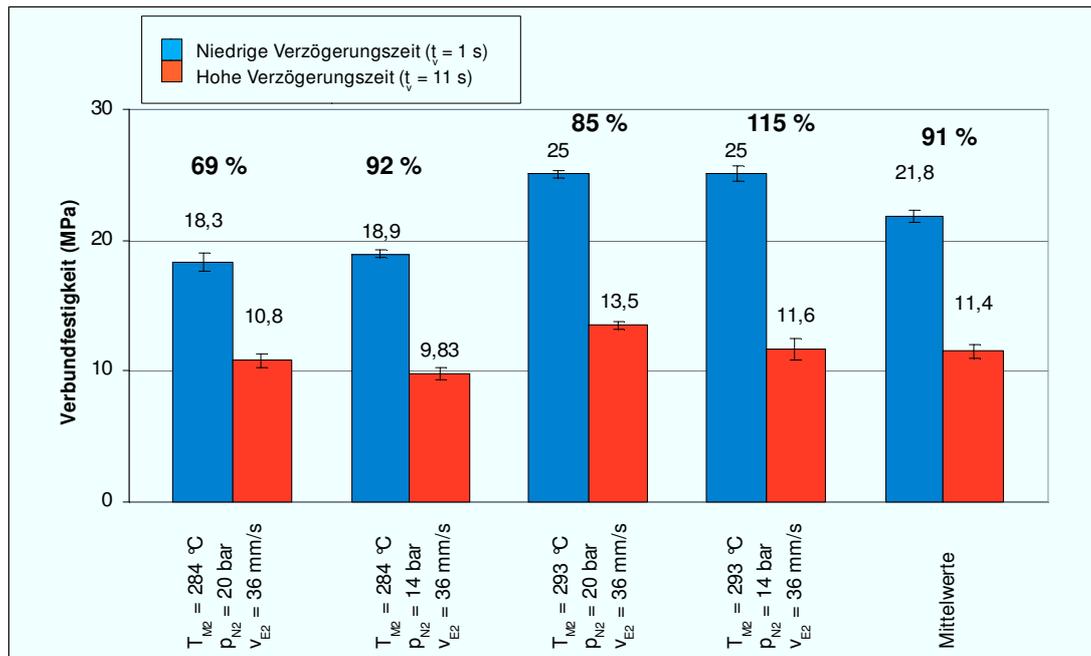


Abbildung 76: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Bergamid 700 GF 35H – Radilon A natur in Abhängigkeit der Verzögerungszeit (Scherprüfkörper;  $T_{M1} = 296$  °C;  $t_K = 10$  s;  $T_{WZ} = 80$  °C) Prüfgeschwindigkeit = 50 mm/min

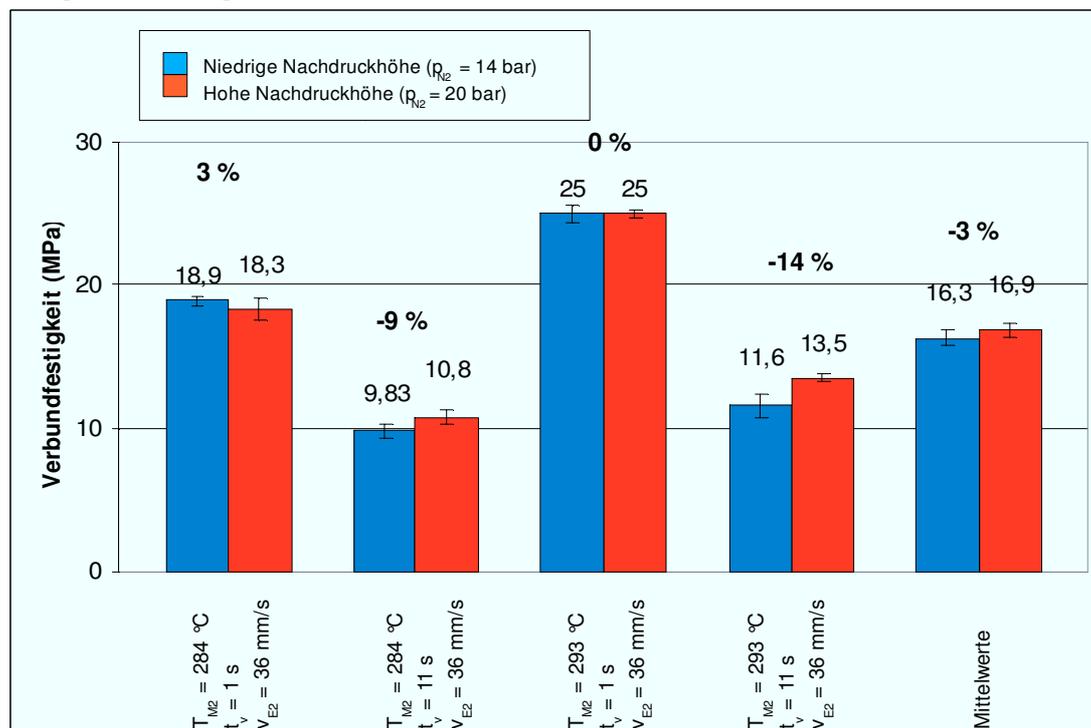


Abbildung 77: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Bergamid 700 GF 35H – Radilon A natur in Abhängigkeit der Nachdruckhöhe (Scherprüfkörper;  $T_{M1} = 296$  °C;  $t_K = 10$  s;  $T_{WZ} = 80$  °C) Prüfgeschwindigkeit = 50 mm/min

### Einfluss der Nachdruckhöhe der zweiten Komponente

4(▼) ↔ 1(▲), 3(▼) ↔ 2(▲), 9(▼) ↔ 6(▲), 8(▼) ↔ 7(▲)

Ein Einfluss der Nachdruckhöhe auf die Verbundhaftung lässt sich bei dieser Materialkombination nicht erkennen, da sich die Messergebnisse innerhalb der Standardabweichung der einzelnen Einstellungen befinden. Dies geht aus der Betrachtung der Abbildung 77 hervor.

### Einfluss der Einspritzgeschwindigkeit der zweiten Komponente

1(▼) ↔ 5(▲), 6(▼) ↔ 10(▲)

Eine Erhöhung der Einspritzgeschwindigkeit der zweiten Komponente zeigte lediglich bei niedriger Massetemperatur einen positiven Einfluss (Anstieg um 23 %). Dies lässt sich durch die erhöhte Schererwärmung bei hoher Einspritzgeschwindigkeit erklären. Dies führt zu einem Anstieg der Massetemperatur der zweiten Komponente. Bei hoher Massetemperatur hatte die Schererwärmung eine untergeordnete Rolle.

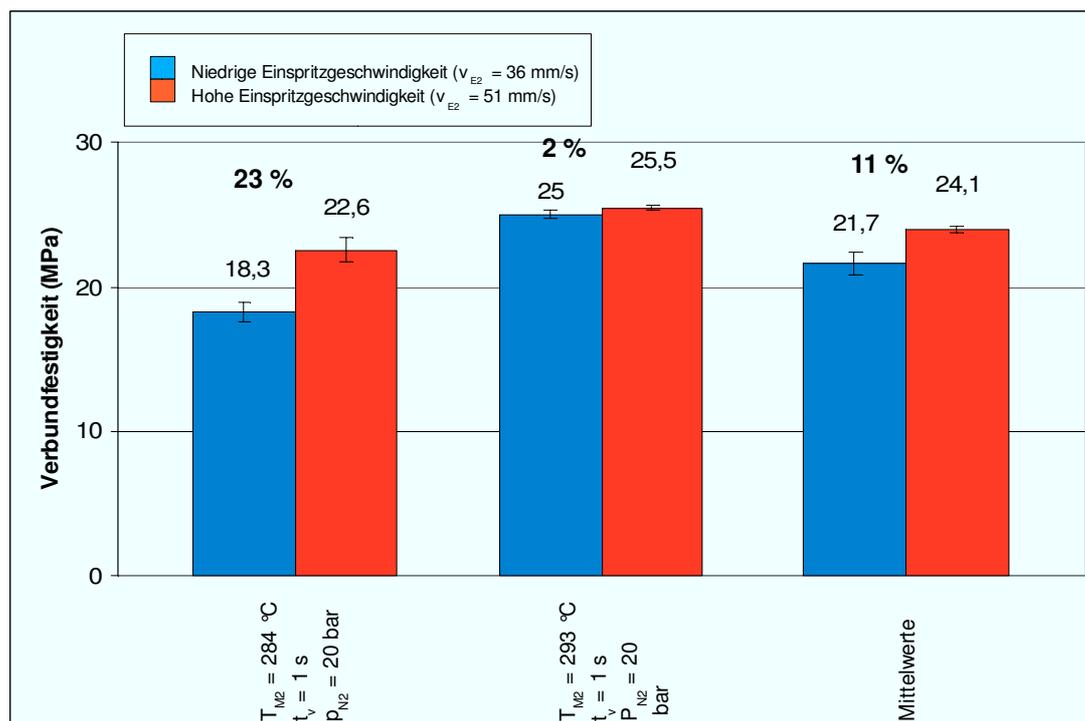


Abbildung 78: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Bergamid 700 GF 35H – Radilon A natur in Abhängigkeit der Einspritzgeschwindigkeit (Scherprüfkörper;  $T_{M1} = 296$  °C;  $t_K = 10$  s;  $T_{WZ} = 80$  °C) Prüfgeschwindigkeit = 50 mm/min

#### 4. Ergebnisse

---

Die Herstellung eines Schälprüfkörpers für eine Hart/Hart Materialkombination ist nicht sinnvoll, da ein Abschälen aufgrund der hohen Steifigkeit des Werkstoffes nicht möglich ist.

## 4.5 Radilon A natur – Radilon A blau

(Materialdatenblätter im Anhang)

Eine weitere Hart/Hart Materialpaarung stellt eine Kombination aus den jeweils gleichen Werkstoffen dar. Dafür wurde ein Radilon A natur (PA 6,6) der Fa. Radici Plastics ausgewählt. Um eine klare optische Abgrenzung der einzelnen Komponenten zu erzielen, wurde die erste Komponente mit einem blauen Masterbatch (Fa. Clariant, RAL 5012) eingefärbt. Der Einfluss des Masterbatch auf die Verbundfestigkeit wurde im Zuge dieser Arbeit nicht untersucht. Die Ergebnisse der Verbundfestigkeitsmessung werden im Folgenden veranschaulicht.

### 4.5.1 2mm Zugstab

Alle Probekörper wurden nach dem in Tabelle 19 dargestellten Versuchsplan bemustert. Die Werkzeugtemperatur betrug 80 °C.

*Tabelle 19: Versuchsplan Radilon A natur – Radilon A blau*

*(2 mm-Zugstab;  $T_{M1} = 277$  °C;  $t_K = 10$  s;  $T_{WZ} = 80$  °C)*

Einstellungsnr.:	$T_{M2}$ (°C)	$t_v$ (s)	$p_{N2}$ (bar)	$v_{E2}$ (mm/s)
1	278	1	20	31
2	278	11	20	31
3	278	11	15	31
4	278	1	15	31
5	278	1	20	51
6	302	1	20	31
7	302	11	20	31
8	302	11	15	31
9	302	1	15	31
10	302	1	20	51

### Einfluss der Massetemperatur der zweiten Komponente

1(▼) ↔ 6(▲), 2(▼) ↔ 7(▲), 3(▼) ↔ 8(▲), 4(▼) ↔ 9(▲), 5(▼) ↔ 10(▲)

Eine Erhöhung der Massetemperatur der zweiten Komponente weist für diesen Probekörpertyp und diese Materialpaarung keinen eindeutigen Trend auf. Die Mittelwerte der Verbundfestigkeitsmessungen sind in Abbildung 79 dargestellt.

## 4. Ergebnisse

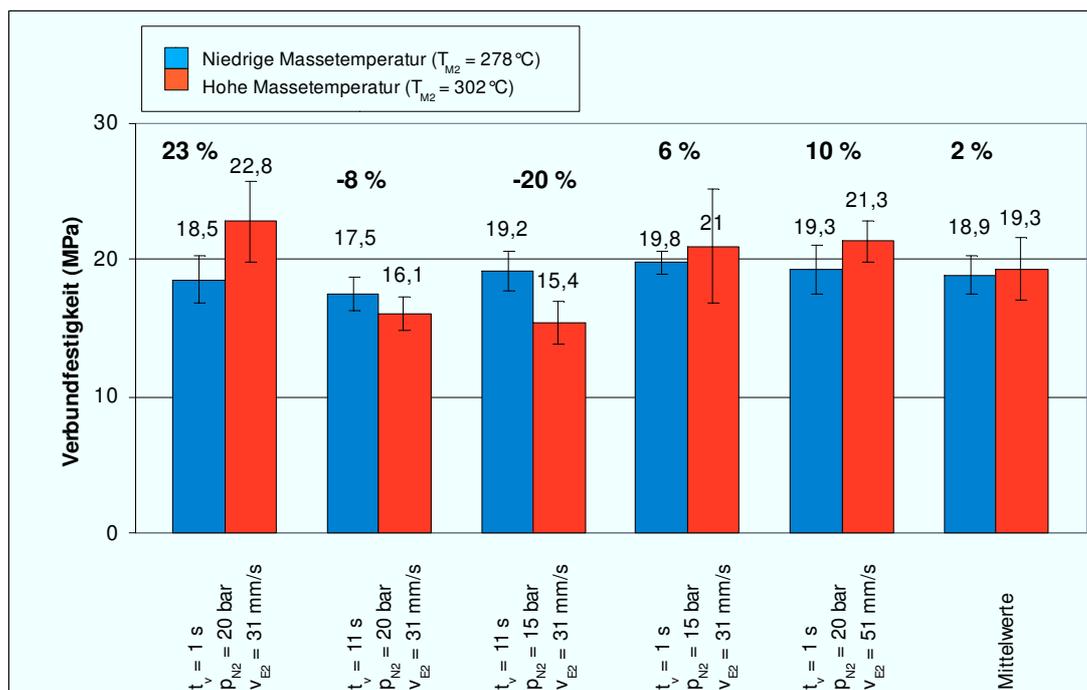


Abbildung 79: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Radilon A natur – Radilon A blau in Abhängigkeit der Massetemperatur der zweiten Komponente (2 mm-Zugstab;  $T_{M_1} = 277 \text{ °C}$ ;  $t_K = 10 \text{ s}$ ;  $T_{WZ} = 80 \text{ °C}$ )  
Prüfgeschwindigkeit = 50 mm/min

### Einfluss der Verzögerungszeit auf die Verbundhaftung

1(▼) ↔ 2(▲), 4(▼) ↔ 3(▲), 6(▼) ↔ 7(▲), 9(▼) ↔ 8(▲)

Aus den ermittelten Verbundfestigkeitswerten (Abbildung 80) wird ersichtlich, dass der Einfluss der Verzögerungszeit bei niedriger Massetemperatur der zweiten Komponente zu vernachlässigen ist, da die Werte innerhalb der Standardabweichung der einzelnen Einstellungsnummern liegen. Es lässt sich jedoch erkennen, dass eine kürzere Verzögerungszeit zu einem Anstieg der Verbundhaftung führte. Bei hoher Massetemperatur wirkte sich eine kürzere Verzögerungszeit sehr positiv (Anstieg um 42 % bzw. 36 %) auf die Mittelwerte der Verbundfestigkeiten aus.

Erklären lässt sich dieser Effekt durch eine thermisch weniger stark abgekühlte Grenzfläche der ersten Komponente, sodass die hohe Massetemperatur der zweiten Komponente zu einem Anschmelzen der Kontaktfläche der ersten Komponente führt und somit die Grundvoraussetzung für eine Diffusion gegeben ist.

#### 4. Ergebnisse

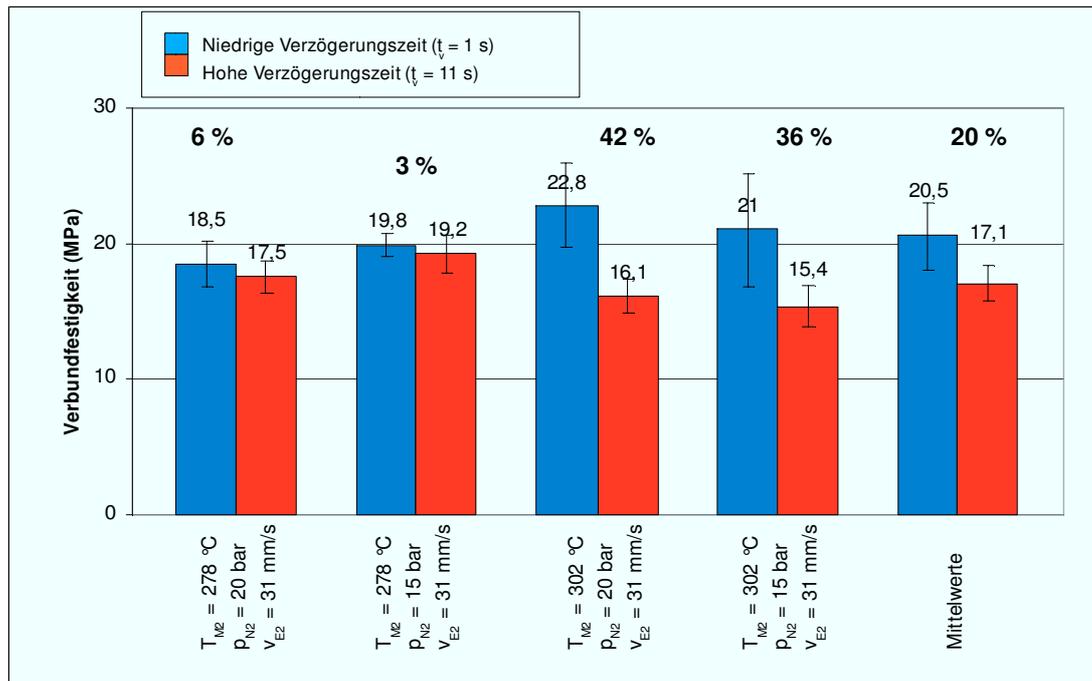


Abbildung 80: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Radilon A natur – Radilon A blau in Abhängigkeit der Verzögerungszeit (2 mm-Zugstab;  $T_{M1} = 277$  °C;  $t_K = 10$  s;  $T_{WZ} = 80$  °C) Prüfgeschwindigkeit = 50 mm/min

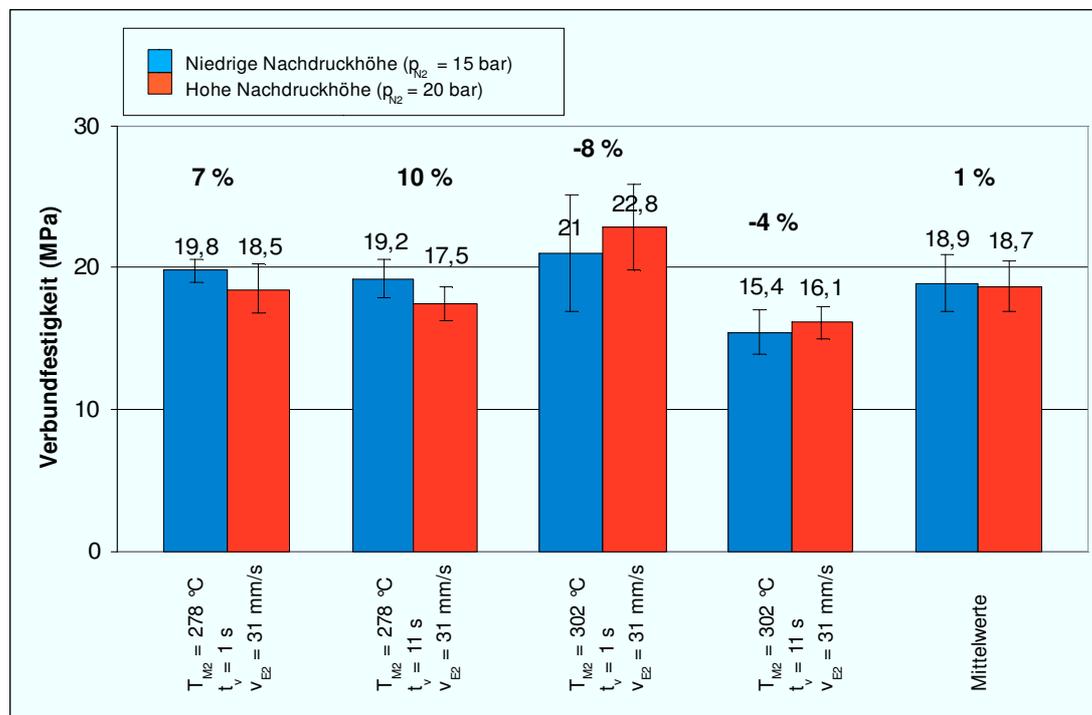


Abbildung 81: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Radilon A natur – Radilon A blau in Abhängigkeit der Nachdruckhöhe (2 mm-Zugstab;  $T_{M1} = 277$  °C;  $t_K = 10$  s;  $T_{WZ} = 80$  °C) Prüfgeschwindigkeit = 50 mm/min

### Einfluss der Nachdruckhöhe der zweiten Komponente

4(▼) ↔ 1(▲), 3(▼) ↔ 2(▲), 9(▼) ↔ 6(▲), 8(▼) ↔ 7(▲)

Eine Modifikation der Nachdruckhöhe der zweiten Komponente führte zu keiner erkennbaren Verbesserung der Verbundfestigkeit (siehe Abbildung 81).

### Einfluss der Einspritzgeschwindigkeit der zweiten Komponente

1(▼) ↔ 5(▲), 6(▼) ↔ 10(▲)

Eine Modifikation der Nachdruckhöhe der zweiten Komponente führte zu keiner erkennbaren Verbesserung der Verbundfestigkeit (siehe Abbildung 82).

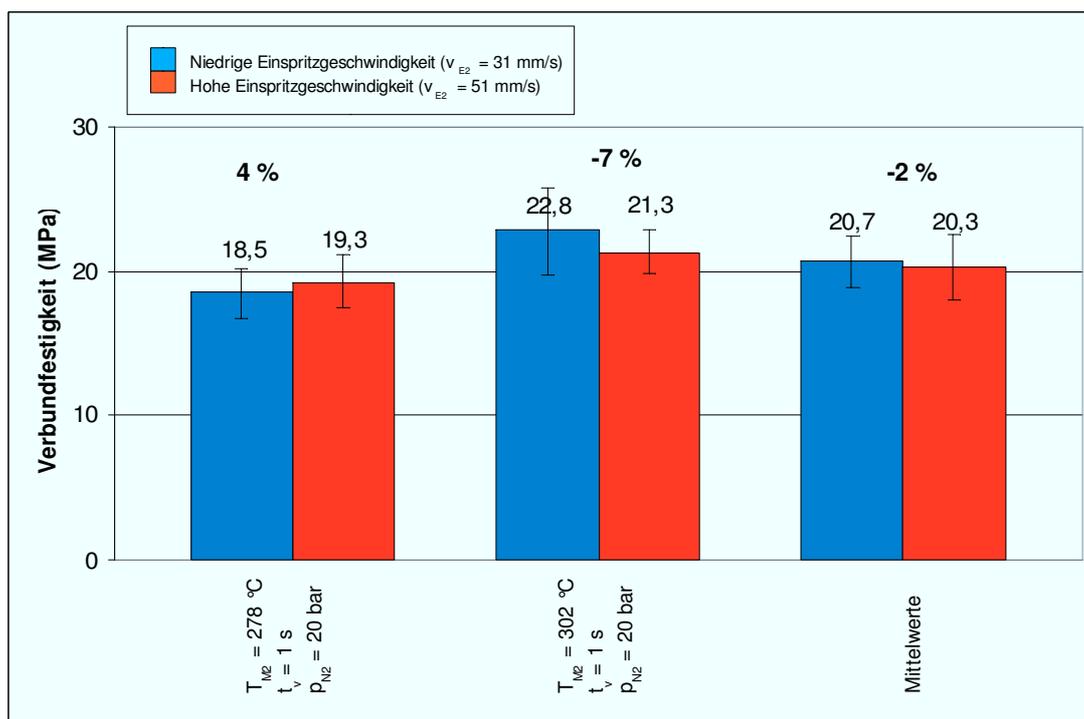


Abbildung 82: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Radilon A natur – Radilon A blau in Abhängigkeit der Einspritzgeschwindigkeit (2 mm-Zugstab;  $T_{M1} = 277$  °C;  $t_k = 10$  s;  $T_{WZ} = 80$  °C) Prüfgeschwindigkeit = 50 mm/min

#### 4.5.2 mm Zugstab

In Tabelle 20 ist der Versuchsplan der Materialpaarung Radilon A natur – Radilon A blau, nach dem der 4 mm-Zugprüfkörper bemustert wurde, dargestellt. Die Werkzeugtemperatur betrug 80 °C.

## 4. Ergebnisse

Tabelle 20: Versuchsplan Radilon A natur – Radilon A blau

(4 mm-Zugstab;  $T_{M1} = 278 \text{ °C}$ ;  $t_K = 10 \text{ s}$ ;  $T_{WZ}=80 \text{ °C}$ )

Einstellungsnr.:	$T_{M2}(\text{°C})$	$t_v \text{ (s)}$	$p_{N2} \text{ (bar)}$	$v_{E2} \text{ (mm/s)}$
1	271	1	40	36
2	271	11	40	36
3	271	11	30	36
4	271	1	30	36
5	271	1	40	51
6	300	1	40	36
7	300	11	40	36
8	300	11	30	36
9	300	1	30	36
10	300	1	40	51

### Einfluss der Massetemperatur der zweiten Komponente

1(▼) ↔ 6(▲), 2(▼) ↔ 7(▲), 3(▼) ↔ 8(▲), 4(▼) ↔ 9(▲), 5(▼) ↔ 10(▲)

Abbildung 83 zeigt die Mittelwerte der Verbundfestigkeitsmessungen in Abhängigkeit der Massetemperatur der zweiten Komponente. Es geht hervor, dass eine hohe Massetemperatur vor allem bei kurzen Verzögerungszeiten einen signifikanten Einfluss auf die Verbundfestigkeit hatte. Der Anstieg der Verbundhaftung betrug dabei 85 und 94 Prozent.

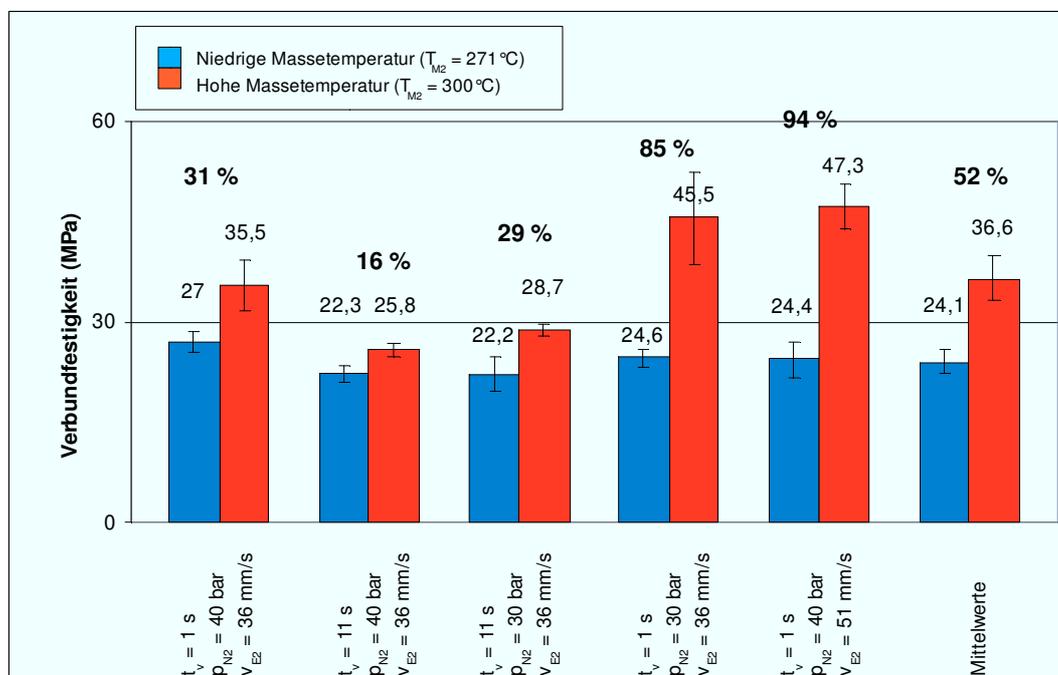


Abbildung 83: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Radilon A natur – Radilon A blau in Abhängigkeit der Massetemperatur der zweiten Komponente (4 mm-Zugstab;  $T_{M1} = 278 \text{ °C}$ ;  $t_K = 10 \text{ s}$ ;  $T_{WZ}=80 \text{ °C}$ )

Prüfgeschwindigkeit = 50 mm/min

### Einfluss der Verzögerungszeit auf die Verbundhaftung

1(▼) ↔ 2(▲), 4(▼) ↔ 3(▲), 6(▼) ↔ 7(▲), 9(▼) ↔ 8(▲)

Die nachfolgende Abbildung 84 zeigt die Mittelwerte aus den Verbundfestigkeitsmessungen. Die ermittelten Werte lassen sich mit denen des 2 mm-Zugstabes vergleichen. Es zeigte sich wiederum eine Verbesserung der Haftung mit kürzerer Verzögerungszeit (im Mittel 34 %), wobei der Effekt bei hoher Massetemperatur der zweiten Komponente stärker ausgeprägt war (38 % bzw. 59 %). Der positive Effekt fiel dabei etwas deutlicher als beim 2 mm-Zugprüfkörper aus, was auf die größere Grenzfläche zurückzuführen ist. Der 2 mm-Zugprüfkörper zeigte eine mittlere Erhöhung der Verbundfestigkeit in Abhängigkeit der Verzögerungszeit von 20 Prozent.

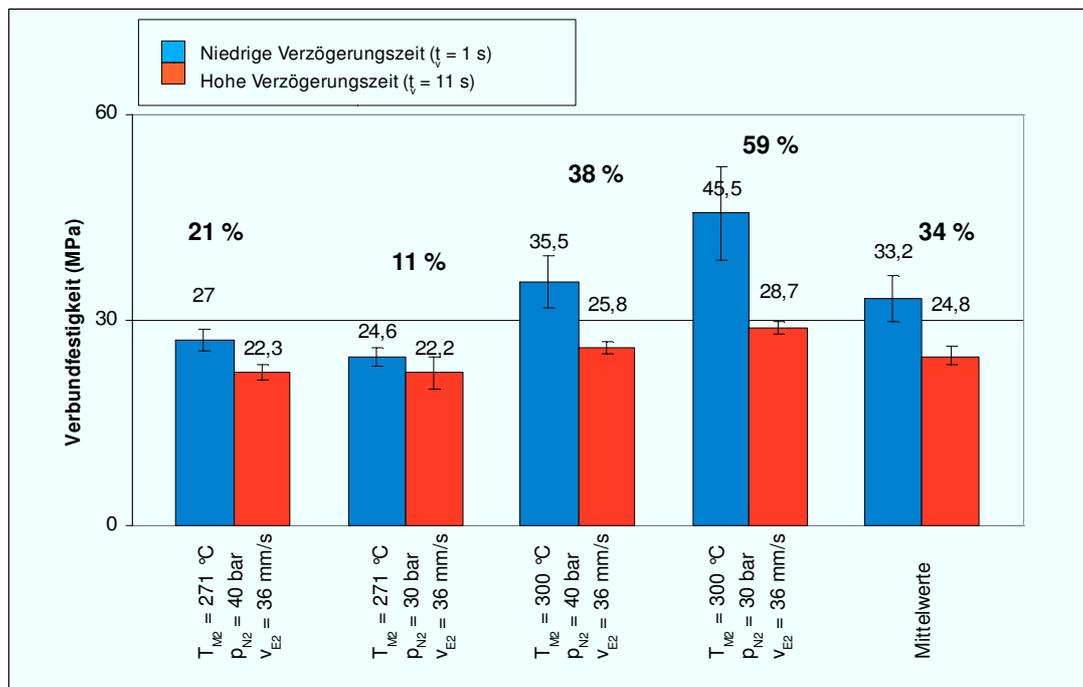


Abbildung 84: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Radilon A natur – Radilon A blau in Abhängigkeit der Verzögerungszeit (4 mm-Zugstab;  $T_{M1} = 278$  °C;  $t_K = 10$  s;  $T_{WZ} = 80$  °C) Prüfgeschwindigkeit = 50 mm/min

**Einfluss der Nachdruckhöhe der zweiten Komponente**

4(▼) ↔ 1(▲), 3(▼) ↔ 2(▲), 9(▼) ↔ 6(▲), 8(▼) ↔ 7(▲)

Für eine niedrige Massetemperatur der zweiten Komponente zeigte der Einfluss der Nachdruckhöhe keine signifikante Änderung (siehe Abbildung 85). Bei hoher Massetemperatur führte eine niedrige Nachdruckhöhe zu einem Anstieg der Verbundhaftung (28 % bzw. 11 %). Eine Erklärung für diesen Effekt liegt nicht vor.

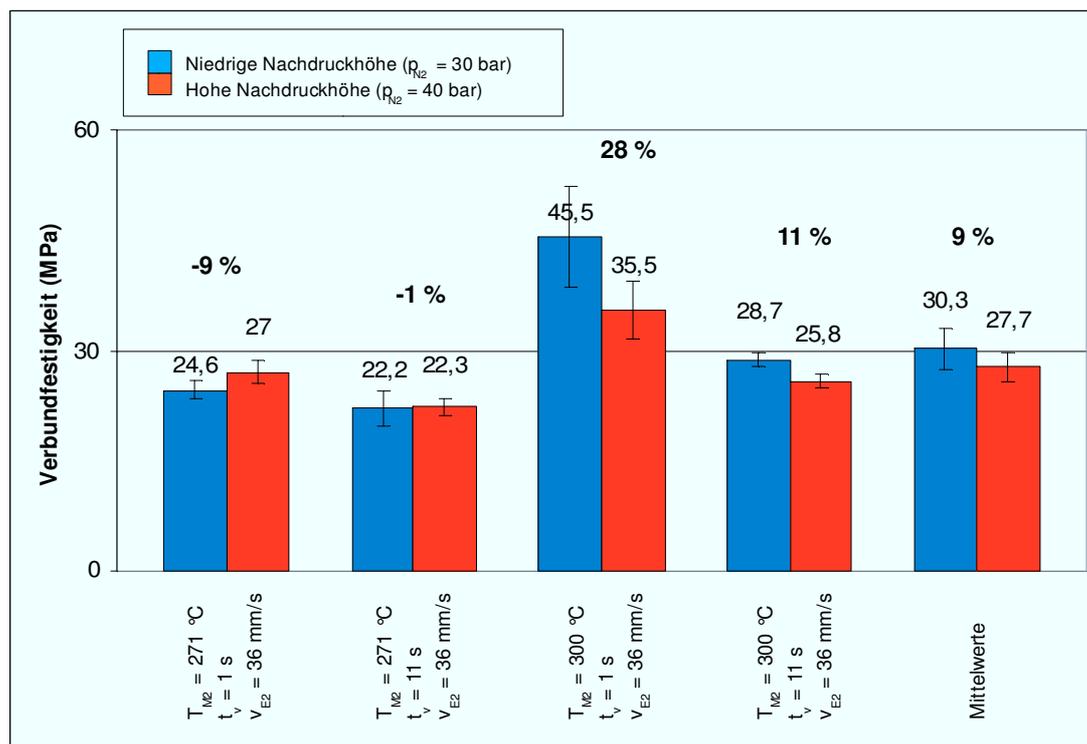


Abbildung 85: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Radilon A natur – Radilon A blau in Abhängigkeit der Nachdruckhöhe (4 mm-Zugstab;  $T_{M1} = 278$  °C;  $t_K = 10$  s;  $T_{WZ} = 80$  °C) Prüfgeschwindigkeit = 50 mm/min

**Einfluss der Einspritzgeschwindigkeit der zweiten Komponente**

1(▼) ↔ 5(▲), 6(▼) ↔ 10(▲)

Wie schon beim 2 mm-Zugstab hatte die Einspritzgeschwindigkeit der zweiten Komponente keinen erkennbaren Einfluss auf die Verbundhaftung. Die in Abbildung 86 dargestellten Mittelwerte der Verbundfestigkeit zeigen, dass bei niedriger Massetemperatur der zweiten Komponente die Verbundhaftung mit kürzerer Einspritzgeschwindigkeit zunimmt und bei hoher Massetemperatur

## 4. Ergebnisse

abnimmt. Aufgrund dieser gegenläufigen Ergebnisse kann keine eindeutige Schlussfolgerung, den Einfluss betreffend, getroffen werden.

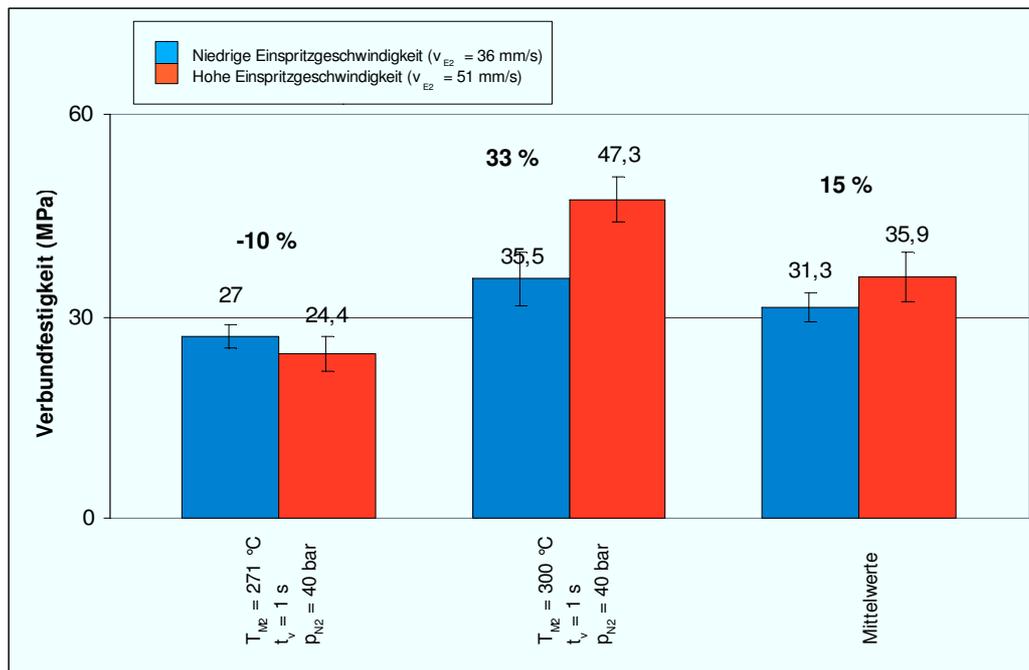


Abbildung 86: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Radilon A natur – Radilon A blau in Abhängigkeit der Einspritzgeschwindigkeit (4 mm-Zugstab; T<sub>M1</sub> = 278 °C; t<sub>K</sub> = 10 s; T<sub>WZ</sub> = 80 °C) Prüfgeschwindigkeit = 50 mm/min

### 4.5.3 Scherprüfkörper

Alle Scherprüfkörper wurden nach dem in Tabelle 21 dargestellten Versuchsplan bemustert. Die Werkzeugtemperatur betrug 80 °C.

Tabelle 21: Versuchsplan Radilon A natur – Radilon A blau (Scherprüfkörper; T<sub>M1</sub> = 280 °C; t<sub>K</sub> = 10 s; T<sub>WZ</sub> = 80 °C)

Einstellungsnr.:	T <sub>M2</sub> (°C)	t <sub>v</sub> (s)	p <sub>N2</sub> (bar)	v <sub>E2</sub> (mm/s)
1	284	1	20	36
2	284	11	20	36
3	284	11	14	36
4	284	1	14	36
5	284	1	20	51
6	293	1	20	36
7	293	11	20	36
8	293	11	14	36
9	293	1	14	36
10	293	1	20	51

### Einfluss der Massetemperatur der zweiten Komponente

1(▼) ↔ 6(▲), 2(▼) ↔ 7(▲), 3(▼) ↔ 8(▲), 4(▼) ↔ 9(▲), 5(▼) ↔ 10(▲)

Eine hohe Massetemperatur der zweiten Komponente zu einer Verbesserung der Haftung (siehe Abbildung 87). Der mittlere Anstieg der Verbundfestigkeit beträgt 19 Prozent.

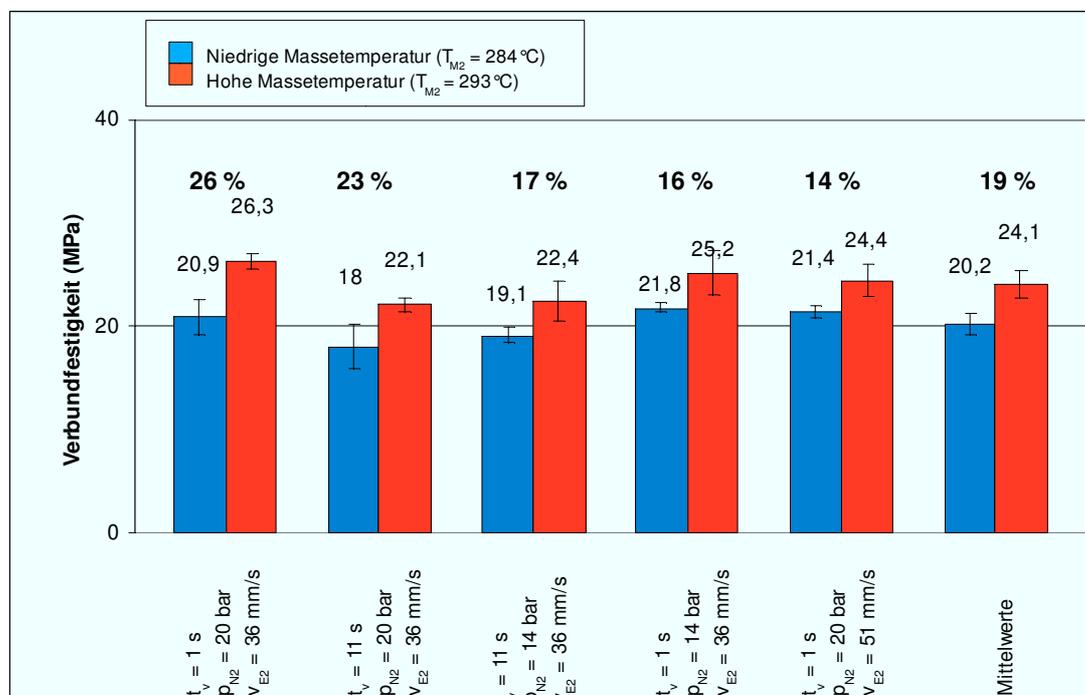


Abbildung 87: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Radilon A natur – Radilon A blau in Abhängigkeit der Massetemperatur der zweiten Komponente (Scherprüfkörper; T<sub>M1</sub> = 284 °C; t<sub>K</sub> = 10 s; T<sub>WZ</sub> = 80 °C) Prüfgeschwindigkeit = 50 mm/min

### Einfluss der Verzögerungszeit auf die Verbundhaftung

1(▼) ↔ 2(▲), 4(▼) ↔ 3(▲), 6(▼) ↔ 7(▲), 9(▼) ↔ 8(▲)

Für eine Modifikation der Verzögerungszeit zeigte sich, dass eine kurze Verzögerungszeit einen positiven Effekt (zwischen 13 % und 19 %) auf die Haftung besitzt. Eine Erklärung dafür wurde bereits in Kapitel 4.1.1 gegeben. In der folgenden Abbildung 88 sind die Mittelwerte der Verbundfestigkeitsmessung in Abhängigkeit der Verzögerungszeit dargestellt.

## 4. Ergebnisse

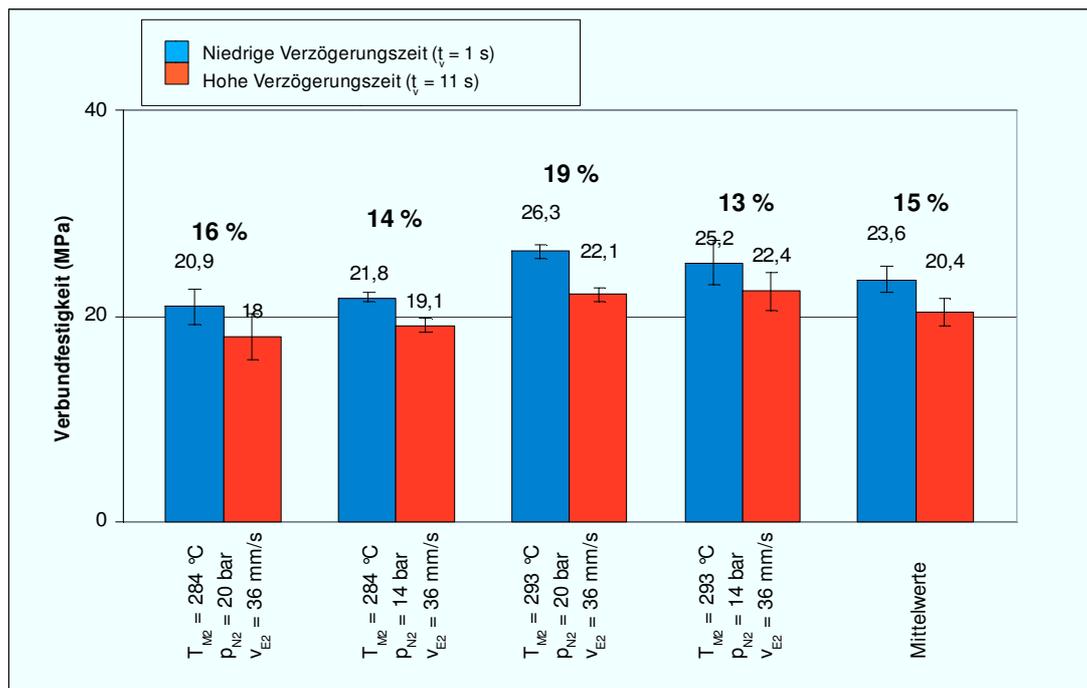


Abbildung 88: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Radilon A natur – Radilon A blau in Abhängigkeit der Verzögerungszeit (Scherprüfkörper;  $T_{M1} = 284 \text{ °C}$ ;  $t_K = 10 \text{ s}$ ;  $T_{WZ} = 80 \text{ °C}$ )  
Prüfgeschwindigkeit = 50 mm/min

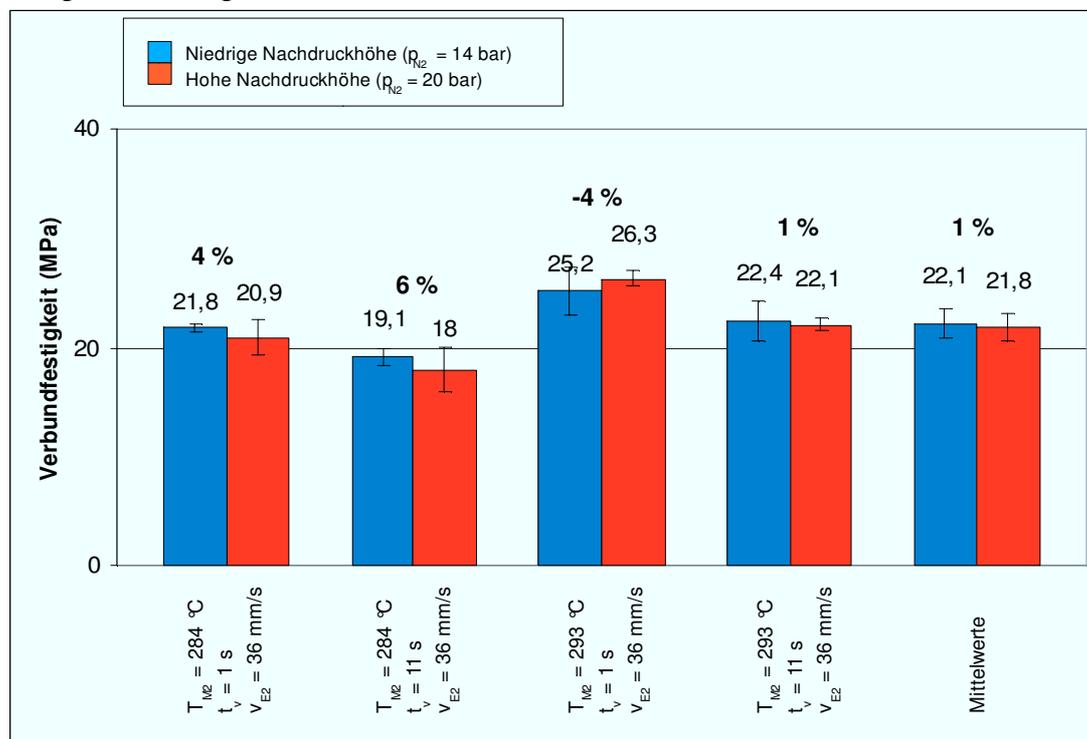


Abbildung 89: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Radilon A natur – Radilon A blau in Abhängigkeit der Nachdruckhöhe (Scherprüfkörper;  $T_{M1} = 284 \text{ °C}$ ;  $t_K = 10 \text{ s}$ ;  $T_{WZ} = 80 \text{ °C}$ )  
Prüfgeschwindigkeit = 50 mm/min

### Einfluss der Nachdruckhöhe der zweiten Komponente

4(▼) ↔ 1(▲), 3(▼) ↔ 2(▲), 9(▼) ↔ 6(▲), 8(▼) ↔ 7(▲)

Die Nachdruckhöhe zeigte, wie schon beim 2 mm- beziehungsweise 4 mm-Zugprüfstab, keinen signifikanten Einfluss auf die Verbundfestigkeit. Die Ergebnisse sind im Folgenden in Abbildung 89 dargestellt.

### Einfluss der Einspritzgeschwindigkeit der zweiten Komponente

1(▼) ↔ 5(▲), 6(▼) ↔ 10(▲)

Aus Abbildung 90 geht hervor, dass die Einspritzgeschwindigkeit bei dieser Materialpaarung und Probekörpergeometrie keinen signifikanten Einfluss auf die Verbundhaftung hat.

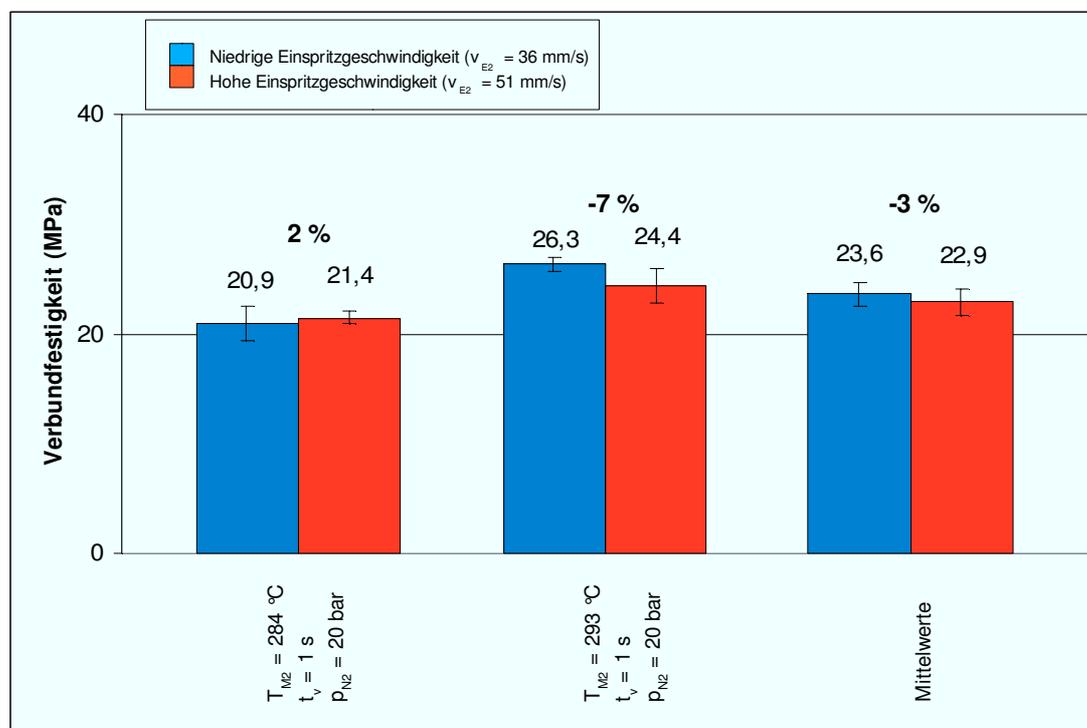


Abbildung 90: Mittelwerte der Verbundfestigkeit Radilon A natur – Radilon A blau in Abhängigkeit der Einspritzgeschwindigkeit (Scherprüfkörper;  $T_{M1} = 284 \text{ °C}$ ;  $t_K = 10 \text{ s}$ ;  $T_{WZ} = 80 \text{ °C}$ )  
 Prüfgeschwindigkeit = 50 mm/min

## 5 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Diese Forschungsarbeit beschäftigte sich mit der Untersuchung der Einflüsse von Verarbeitungsparametern auf die Haftungseigenschaften von Mehrkomponentenspritzgussteilen.

Es wurden vier unterschiedliche Probekörpergeometrien (2 mm-, 4 mm-Zugstab, Scherprüfkörper und Schälprüfkörper), sowie diverse Materialpaarungen (Hart/Weich und Hart/Hart) auf deren Verbundfestigkeit untersucht. Dabei wurden die Massetemperatur der zweiten Komponente, die Verzögerungszeit bis zum Einspritzen der zweiten Komponente, die Nachdruckhöhe der zweiten Komponente, sowie die Einspritzgeschwindigkeit der zweiten Komponente als veränderbare Verarbeitungsparameter herangezogen.

Die Probekörper wurden bei der Fa. Camo Formen- und Werkzeugbau GmbH mit Sitz in Schwanenstadt hergestellt und in weiterer Folge an der Montanuniversität Leoben einer Zugprüfung unterzogen. Die Haftung wurde über die sich ergebende Verbundfestigkeit ermittelt.

Aus den Ergebnissen der Verbundfestigkeitsmessung für die einzelnen Materialpaarungen wurde eine Tabelle (Tabelle 22) erstellt, welche den Einfluss der einzelnen Verarbeitungsparameter auf die Verbundfestigkeit ( $\sigma_v$ ) darstellt. Die Farben in der Tabelle stehen für den Einfluss, den eine Parametermodifikation eines bestimmten Probekörpers hat. Wenn mehr als 66 Prozent der gesamten Probekörper einen Anstieg der Verbundhaftung bei einer Parametermodifikation zeigen, gilt eine deutliche Abhängigkeit (Grüner-Bereich). Eine mäßige Abhängigkeit vom Verarbeitungsparameter ergibt sich, wenn der Anstieg der Verbundfestigkeit zwischen 33 und 66 Prozent der Probekörper liegt (Gelber-Bereich). Keine eindeutig feststellbare Abhängigkeit liegt vor, wenn weniger als 33 Prozent aller geprüften Probekörper einen Anstieg der Verbundfestigkeit aufweisen (Roter-Bereich).

Tabelle 22: Zusammenfassung der Verbundfestigkeitsergebnisse

$\sigma_v \blacktriangle$	Zugstab 2mm	Zugstab 4mm	Scherprüfkörper	Schälprüfkörper
$T_{M2} \blacktriangle$	94 %	100 %	75 %	Kein abschälen
$T_{M2} \blacktriangledown$	0 %	0 %	25 %	Kein abschälen
$t_v \blacktriangle$	19 %	20 %	25 %	Kein abschälen
$t_v \blacktriangledown$	56 %	60 %	75 %	Kein abschälen
$p_{N2} \blacktriangle$	25 %	40 %	0 %	Kein abschälen
$p_{N2} \blacktriangledown$	6 %	40 %	25 %	Kein abschälen
$v_{E2} \blacktriangle$	50 %	20 %	25 %	Kein abschälen
$v_{E2} \blacktriangledown$	19 %	0 %	0 %	Kein abschälen

Grün = deutliche Abhängigkeit, Gelb = mäßige Abhängigkeit,  
 Rot = keine Abhängigkeit

Die Tabelle 22 verdeutlicht die Einflussgröße der einzelnen Einstellungsparameter für alle geprüften Probekörper und Materialpaarungen. Die Prozentangaben in Tabelle 20 zeigen den Einfluss der jeweiligen Parametermodifikation und Probekörper auf die Verbundhaftung. Beispielsweise bringt eine Erhöhung der Massetemperatur der zweiten Komponente für den 2 mm-Zugstab in 94 Prozent aller gemessenen Versuche einen Anstieg der Verbundhaftung mit sich. Dagegen lässt sich für den 2 mm-Zugstab nur in 25 Prozent aller untersuchten Proben eine Verbesserung der Haftung aufgrund eines erhöhten Nachdruckes feststellen.

## 5. Zusammenfassung und Schlussfolgerung

*Tabelle 23: Gemittelten prozentualen Einflüsse einzelner Verarbeitungsparameter bei unterschiedlichen Materialpaarungen und Probekörpergeometrien*

		$T_{M2} \blacktriangle$	$t_v \blacktriangledown$	$\rho_{N2} \blacktriangledown$	$V_{E2} \blacktriangle$	
Grilamid LV5H	Kraiburg TC6PCN	2 mm-Zugstab	31%	12%	5%	26%
		4 mm-Zugstab	11%	27%	-2%	0%
		Scherprüfkörper	30%	12%	4%	3%
Grilon BG30HM	Santoprene 8291-55PA	2 mm-Zugstab	11%	-5%	-1%	-6%
		4 mm-Zugstab	4%	0%	9%	-1%
		Scherprüfkörper	-5%	0%	5%	2%
Cryolen 801/94/01	Kraiburg TC6PCN	2 mm-Zugstab	-1%	-3%	7%	2%
		4 mm-Zugstab	2%	0%	-2%	1%
		Scherprüfkörper	nicht gemessen			
Grilamid FE 7503 natural	Kraiburg TC6PCN	2 mm-Zugstab	13%	7%	-7%	9%
		4 mm-Zugstab	44%	9%	5%	-4%
		Scherprüfkörper	nicht gemessen			
Bergamid 700 GF 35H	Radilon A natur	2 mm-Zugstab	86%	3%	4%	17%
		4 mm-Zugstab	31%	29%	-3%	7%
		Scherprüfkörper	25%	91%	-3%	11%
Radilon A natur	Radilon A blau	2 mm-Zugstab	2%	20%	1%	-2%
		4 mm-Zugstab	52%	34%	9%	15%
		Scherprüfkörper	19%	15%	1%	-3%

Tabelle 23 zeigt eine Betrachtung der mittleren Einflüsse einzelner Parametermodifikationen. Es wird ersichtlich, dass ein Anstieg der Massetemperatur ( $T_{M2} \uparrow$ ) eine deutliche Verbesserung in der Verbundfestigkeit und somit der Haftung mit sich bringt. Dies gilt sowohl für unterschiedliche Probekörpergeometrien als auch für unterschiedliche Materialpaarungen. Die Auswertung der Messergebnisse zeigte, dass die Erhöhung der Massetemperatur der zweiten Komponente zu einer mittleren Verbesserung der Verbundhaftung im Bereich von -5 Prozent bis 86 Prozent führte. Eine verkürzte Verzögerungszeit resultierte in einem mittleren Anstieg der Haftung im Bereich von -5 Prozent bis 91 Prozent.

Aus diesem Grund sollte bei der Herstellung von Mehrkomponentenspritzgussteilen, welche eine gute Haftung der einzelnen Komponenten aufweisen sollen, stets die höchst mögliche Massetemperatur verwendet werden. Ebenfalls führt eine Verkürzung der Verzögerungszeit (Zeit bis zum Einspritzen der zweiten Komponente) zu einem Anstieg der Verbundfestigkeit. Der quantitative Einfluss fällt dabei nicht so hoch aus wie bei der Massetemperatur der zweiten Komponente. Eine Variation der Nachdruckhöhe der zweiten Komponente hat sowohl positive als auch negative Einflüsse (Kapitel 4.1.1). Aus diesem Grund lässt sich keine schlüssige Aussage darüber treffen, ob sich z.B. ein hoher Nachdruck positiv oder negativ auf die Verbundhaftung auswirkt. Aus den Ergebnissen für den Einfluss der Einspritzgeschwindigkeit der zweiten Komponente lässt sich zwar ableiten, dass eine höhere Geschwindigkeit mit höheren Verbundfestigkeiten einhergeht, jedoch war der Einfluss so gering, dass er vernachlässigt werden kann.

Aus den Untersuchungen die dieser Arbeit zugrunde liegen, lässt sich schließen, dass die Verbundhaftung zwischen Mehrkomponentenspritzgussteilen stark materialabhängig ist. Sollte zwischen den Materialien eine grundsätzliche Kompatibilität bestehen, so kann die Verbundhaftung durch Modifikation der Massetemperatur der zweiten Komponente sowie der Verzögerungszeit signifikant beeinflusst werden. Beide Parametermodifikationen nehmen Einfluss auf das Temperaturniveau in der Grenzfläche.

Wird die Verzögerungszeit erniedrigt bzw. die Massetemperatur der zweiten Komponente erhöht, entsteht ein höheres Temperaturniveau in der Kontaktfläche. Dieses führt zu einer erhöhten Molekülbeweglichkeit und erleichtert somit die Interdiffusion der Komponenten. Das somit stärker ausgeprägte Verschlaufen der Molekülketten hat eine deutliche Erhöhung der Verbundfestigkeit zur Folge. Neben der Diffusionstheorie gibt es noch weitere Theorien, welche die Ausbildung von Verbundhaftung bei Mehrkomponentenspritzgussteilen erklären. Die sich ergebende Verbundfestigkeit beruht auf einem Zusammenwirken all dieser Theorien.

### 6 Abkürzungen

$\gamma_{lv}$	Oberflächenspannung zwischen flüssiger und gasförmiger Phase
$\gamma_{sv}$	Oberflächenspannung zwischen fester und gasförmiger Phase
$\gamma_{sl}$	Oberflächenspannung zwischen fester und flüssiger Phase
$\sigma_H$	Haltfestigkeit
$\sigma_V$	Verbundfestigkeit
$\tau_m$	Schubspannung
$\Theta$	Kontaktwinkel
$A_N$	Nominelle Querschnittfläche
$A_W$	Wahre Querschnittfläche
$b$	Breite
$c$	Konzentration
$D$	Diffusionskoeffizient
$F$	Kraft
$F_B$	Bruchkraft
$F_i$	innere Kraft
$l_{\ddot{u}}$	Überlappungslänge
$p_{N2}$	Nachdruckhöhe der zweiten Komponente
$T_{M1}$	Massetemperatur der ersten Komponente
$T_{M2}$	Massetemperatur der zweiten Komponente
$t$	Zeit
$t_E$	Einspritzzeit
$t_N$	Nachdruckzeit
$t_K$	Kühlzeit der zweiten Komponente
$t_V$	Verzögerungszeit bis zum Einspritzen der zweiten Komponente
$v_{E2}$	Einspritzgeschwindigkeit der zweiten Komponente

## 7 Literaturverzeichnis

- [1] *Schmidt, U.*: Plastverarbeiter 56; 2005; Nr.2, Gaudlitz GmbH,
- [2] *Klein, G.*:Kunststoffe 6/2003; Carl Hauser Verlag
- [3] *Johannaber, F., Michaeli, W.*: Handbuch Spritzgießen, 2. Auflage, Hanser Verlag, 2004
- [4] *N.N.*: Plastverarbeiter 52; 2001; Nr. 8
- [5] *Amesöder, S., Agnieszka, K.*: Kuntstoffe 9/2003; Carl Hauser Verlag
- [6] *Ehrenstein, G.W., Kuhmann K.*: Mehrkomponentenspritzgießen, Springer Verlag, 1996
- [7] *Ehrenstein, G.W., Kuhmann, K.*: Verbundfestigkeit beim Mehrkomponentenspritzgießen von flächigen Hart-Weich und Hart-Hart-Verbindungen, Springer Verlag, 1997
- [8] *Kühnert, I.*: Grenzflächen beim Mehrkunststoffspritzgießen, Dissertation an der Fakultät für Maschinenbau der Technischen Universität Chemnitz, 2005
- [9] *Ohlendorf, F.*: Spritzgießen von Kunststoffen, HAW Hamburg, [http://www.mp.haw-hamburg.de/fachberg/prod/vorlesungen\\_ptm\\_FTT/P\\_Spritzgiessen.pdf](http://www.mp.haw-hamburg.de/fachberg/prod/vorlesungen_ptm_FTT/P_Spritzgiessen.pdf), 03.11.2008
- [10] *N.N.*; Wissenschaftlicher Arbeitskreis Kunststofftechnik (WAK) <http://132.180.184.15/wak/daten/vorlesungen/hab-verarbeitung-folien.pdf>, 12.12.2008
- [11] *Grieshofer, H.*: FEM Simulation der thermischen und mechanischen Verhältnisse in der Kontaktfläche von Mehrkomponentenspritzgussteilen, Leoben, 2009
- [12] *Breuer, H., Jerz, A.*: Erweiterung der Anwendungsbereiche des Kunststoffpulver-Flammspritzens, Diplomarbeit Fachhochschule Niederrhein, Krefeld, 1997
- [13] *Röthemeyer, F., Sommer, F.*: Kautschuk Technologie, 2. Auflage, Hanser Verlag, 2006

- [14] *Holden, G., Kircheldorf, H.R., Quirk, R.P.:* Thermoplastic Elastomers, 3.Edition, Hanser Verlag, 2004
- [15] *Ehrenstien, G.W., Pongratz, S.:* Beständigkeit von Kunststoffen, Band 1, Hanser Verlag, 2007
- [16] *Buderus, J.:* Grundlagen der Organischen Chemie, 3. Auflage, de Gruyter Verlag, 2003
- [17] *L.Bottenbruch, L., Binsack, R.:* Polyamide, Becker, Braun Kunststoffhandbuch 3/4; Hanser Verlag, 1998
- [18] *Kopczynska, A., Ehrenstein, G.W.:* Sonderdrucke, Oberflächenspannung von Kunststoffen; Lehrstuhl für Kunststofftechnik, Friedrich-Alexander Universität, Erlangen-Nürnberg
- [19] *Habenicht, G.:* Kleben – erfolgreich und fehlerfrei, 5.Auflage; Vieweg + Teubner Verlag, 2008
- [20] *Brockmann, W.:* Klebtechnik: Klebstoffe, Anwendungen und Verfahren, Wiley-Vch Verlag, 2005
- [21] *Michaeli, W.:* Technologie der Kunststoffe: Lern- und Arbeitsbuch, 3.Auflage; Hanser Verlag, 1997
- [22] *Habenich, G.:* Kleben: Grundlagen, Technologien, Anwendungen; 6.Auflage; Springer Verlag, 2008
- [23] *Derjaguin, B.V., Smilga, S.V.:* Electronic Theory of Adhesion Journal of applied Physics, Volume 38, Issue 12, 1967
- [24] *Geisler, M.:* Diplomarbeit: Benetzung der Metalloberfläche von Stents durch Medikamente und Polymere, TU München, 2005
- [25] *Crimmann, P.:* Grenzflächenmodifizierung und -analyse im Polypropylen-Kupfer-Verbund, Universität Halle-Wittenberg, 2003
- [26] *Metten, M.:* Veränderung der Verbundfestigkeit von Hart/Weich-Verbunden und die mechanischen Eigenschaften von thermoplastischen Elastomeren durch eine Elektronenbestrahlung, TU Darmstadt, 2002
- [27] *Menges, G., Haberstroh, E., Michaeli, W., Schmachtenberg, E.:* Werkstoffkunde Kunststoffe, 5.Auflage, Hanser Verlag, 2002
- [28] *Domininghaus, H.:* Die Kunststoffe und ihre Eigenschaften, Springer Verlag, 2004

- [29] *Jeromin, G.:* Organische Chemie: Ein praxisbezogenes Lehrbuch, Harri Deutsch Verlag, 2006
- [30] *Habenicht, G.:* Kleben: Grundlagen, Technologien, Anwendungen, Springer Verlag, 2008
- [31] *Meyer-Piening, H.R.:* Flugzeugstatik und Leichtbau III, Vorlesungsskript ETH Zürich, 1992
- [32] *N.N.:* Loctite: World Wide Design Handbook; 2.Auflage; Erasmusdruck GmbH Mainz, 1998
- [33] *Becker, G.W., Braun, D.:* Polystyrol – Kunststoff Handbuch 4; Hanser Verlag, 1996
- [34] *A. V. Pocius.:* Adhesion and adhesives technology: an introduction, 2<sup>nd</sup> Edition, Hanser Verlag, 2002

## 8 Anhang

## 8.1 Radilon A natur



Mod. TDS 012

RADICINOVA CIPS s.p.a.

TECHNICAL DATA SHEET				
MATERIALE MATERIAL	RAD. A NAT			
CARATTERISTICA PROPERTY	NORMATIVA STANDARD	UNITA' UNIT	VALORE VALUE	CONDIZIONE TEST CONDITION
<b>Proprietà Meccaniche - Mechanical properties</b>				
MODULO ELASTICO A TRAZIONE TENSILE MODULUS	ASTM D 838	N/mm <sup>2</sup>	3100	DAM Test Speed 5 mm/m
CARICO DI SNERVAMENTO TENSILE YELD STRENGHT	ASTM D 838	N/mm <sup>2</sup>	75	DAM Test Speed 5 mm/m
ALLUNGAMENTO A ROTTURA ULIMATE ELONGATION	ASTM D 638	%	25	DAM Test Speed 5 mm/m
MODULO ELASTICO A FLESSIONE FLEXURAL MODULUS	ASTM D 790	N/mm <sup>2</sup>	2500	DAM Test Speed 2,72 mn
RESISTENZA A FLESSIONE FLEXURAL STRENGHT	ASTM D 790	N/mm <sup>2</sup>	85	DAM Test Speed 2,72 mn
URTO IZOD SENZA INTAGLIO UNNOTCHED IZOD IMPACT STRENGHT	INTERNAL METHOD	KJ/m <sup>2</sup>		DAM
RESISTENZA URTO IZOD CON INTAGLIO NOTCHED IZOD IMPACT STRENGHT	ASTM D 256	J/m	55	DAM
<b>Proprietà Termiche - Thermal Properties</b>				
TEMPERATURA DI FUSIONE MELTING TEMPERATURE	ISO 3146/C2	°C	260	Scanning rate 10°C
TEMPERATURA DI DISTORSIONE HEAT DISTORSION TEMPERATURE	ASTM D 648	°C	80	Max. Surf. Stress 1,
TEMPERATURA DI DISTORSIONE HEAT DISTORSION TEMPERATURE	ASTM D 648	°C	225	Max. Surf. Stress 0,
TEMPERATURA DI RAMMOLLIMENTO VICAT A SOFTENING POINT VICAT A	ASTM D 1525	°C	235	Load 50 N Heating Rate 50°C,
MELT FLOW INDEX	275 °C / 0,325Kg	g/10'		DAM
<b>Altre Proprietà - Other Properties</b>				
DENSITA' DENSITY	ASTM D 792	Kg/dm <sup>3</sup>	1.13	
RITIRO ALLO STAMPAGGIO (mm 12.7x127x6.4) MOULD SHRINKAGE (mm 12.7x127x6.4)	ASTM D 955	%	2.5	
<p>I dati tecnici menzionati sono solo indicativi e non possono essere considerati come specifiche di prodotto. Qualsiasi modifica/additivazione del materiale, dopo la fornitura, può comportare variazioni dei valori o delle caratteristiche tecniche. I valori sono elaborati stampando dai provini standard.</p> <p>The above-mentioned technical data are simply indicative for users and they are given without any guarantee. They are not to be considered as specifications. Any modification/additivazione of the material, after the supplying involve variation of the values or the technical characteristics. The values are calculated on injection moulded samples.</p>				
Scheda tecnica emessa il : 6.3.01				
RRN009C	Em.da: LASV	Aprr.: QAS	Rev.: 4	Del: 1.12.

## 8.2 Grilamid LV 5H

### TECHNISCHES MERKBLATT

#### GRILAMID LV-5H

##### Produktbeschreibung

Grilamid LV-5H ist ein mit 50% Glasfasern verstärktes, hitzestabilisiertes Polyamid 12. Besondere Merkmale dieses Spritzgusstyps sind:

- Gute Chemikalienbeständigkeit
- Gute UV Beständigkeit
- Hohe Schlagfestigkeit
- Erfüllt UK WRAS Trinkwasser Norm
- Dimensionsstabil
- Sehr geringer Schwund

Grilamid LV-5H eignet sich für technische Teile vor allem in den Bereichen:

- Elektro / Elektronik
- Automobil
- Maschinenbau
- Sicherheitstechnik
- Haushaltsmaschinen
- Sanitär

**Grilamid<sup>®</sup>**  
**EMS**

### EIGENSCHAFTEN

#### Mechanische Eigenschaften

		Norm	Einheit	Zustand	Grilamid LV-5H natur
Zug-E-Modul	1 mm/min	ISO 527	MPa	kond.	11500
Bruchspannung	5 mm/min	ISO 527	MPa	kond.	135
Bruchdehnung	5 mm/min	ISO 527	%	kond.	6
Schlagzähigkeit	Charpy, 23°C	ISO 179/2-1eU	kJ/m <sup>2</sup>	kond.	80
Schlagzähigkeit	Charpy, -30°C	ISO 179/2-1eU	kJ/m <sup>2</sup>	kond.	80
Kerbschlagzähigkeit	Charpy, 23°C	ISO 179/2-1eA	kJ/m <sup>2</sup>	kond.	20
Kerbschlagzähigkeit	Charpy, -30°C	ISO 179/2-1eA	kJ/m <sup>2</sup>	kond.	15
Shore Härte D		ISO 868	-	kond.	82
Kugeldruckhärte		ISO 20391	MPa	kond.	155

#### Thermische Eigenschaften

Schmelztemperatur	DSC	ISO 11357	°C	trocken	178
Formbeständigkeit HDT/A	1.80 MPa	ISO 75	°C	trocken	165
Formbeständigkeit HDT/C	8.00 MPa	ISO 75	°C	trocken	125
Therm. Längenausdehnung längs	23-55°C	ISO 11359	10 <sup>-4</sup> /K	trocken	0.15
Therm. Längenausdehnung quer	23-55°C	ISO 11359	10 <sup>-4</sup> /K	trocken	1.20
Maximale Gebrauchstemperatur	dauernd	ISO 2578	°C	trocken	90 - 120
Maximale Gebrauchstemperatur	kurzzeitig	ISO 2578	°C	trocken	150

#### Elektrische Eigenschaften

Durchschlagfestigkeit		IEC 60243-1	kV/mm	kond.	35
Vergleichende Kriechwegbildung	CTI	IEC 60112	-	kond.	600
Spez. Durchgangswiderstand		IEC 60093	Ω · m	kond.	10 <sup>11</sup>
Spez. Oberflächenwiderstand		IEC 60093	Ω	kond.	10 <sup>12</sup>

#### Allgemeine Eigenschaften

Dichte		ISO 1183	g/cm <sup>3</sup>	trocken	1.47
Brennbarkeit (UL94)	0.8 mm	ISO 1210	Stufe	-	HB
Wasseraufnahme	23°C/gesätt.	ISO 62	%	-	0.8
Feuchtigkeitsaufnahme	23°C/50% r.F.	ISO 62	%	-	0.4
Verarbeitungsschwindung	längs	ISO 294	%	trocken	0.10
Verarbeitungsschwindung	quer	ISO 294	%	trocken	0.50

Produkt-Bezeichnung nach ISO 1874: PA12, MHR, 18-120, GF50
--

### 8.3 Bergamid A 700 G35H

Allgemein:

Handelsname	Bergamid A700 G35H, Trocken	
▶	Herstellerkürzel	POLYONE -1
▶	Besondere Merkmale	UL-Registrierung
▶	Bevorzugte Anwendung	Kfz-Industrie; Elektroindustrie; Elektronikindustrie; Haushaltsgeraeteindustrie; Freizeitindustrie
▶	Bevorzugte Verarbeitung	Spritzgiessen
▶	Produktklasse	Polyamid 66
▶	Produktkurzzeichen	PA 66
▶	Chemische Kennzeichnung	Polyhexamethylenadipinamid
▶	Hersteller	PolyOne/Theodor Bergmann GmbH
▶	Verstärkung; Füllstoff	Glasfaser 35%
▶	Zusatzstoff	Waermestabilisator
▶	Lieferform	Granulat
▶	Quelle	Druckschrift 'Bergamid' der M.A. Hanna Engineering Materials

## 8. Anhang

### Mechanisch:

Handelsname	Bergamid A700 G35H, Trocken		
▶	Herstellerkürzel	POLYONE -1	
▶	Zug-E-Modul	11500	(MPa)
▶	Bruchspannung (Reißfestigkeit)	200	(MPa)
▶	Bruchdehnung 50 mm/min	3	(%)
▶	Bruchdehnung 5 mm/min	3	(%)
▶	Charpy Schlagzähigkeit 23 C	90	(kJ/m <sup>2</sup> )
▶	Charpy Schlagzähigkeit -30 C	75	(kJ/m <sup>2</sup> )
▶	Charpy Kerbschlagzähigkeit 23 C	14	(kJ/m <sup>2</sup> )
▶	Charpy Kerbschlagzähigkeit -30 C	12	(kJ/m <sup>2</sup> )
▶	Izod-Schlagzähigkeit (ISO) 23 C	14	(kJ/m <sup>2</sup> )
▶	Izod-Schlagzähigkeit (ISO) -30 C	11	(kJ/m <sup>2</sup> )
▶	Biegefestigkeit	280	(MPa)

### Thermisch:

Handelsname	Bergamid A700 G35H, Trocken		
▶	Herstellerkürzel	POLYONE -1	
▶	Formbeständigkeitstemp. HDT/A (1.8)	250	(C)
▶	Formbeständigkeitstemp. HDT/B (0.45)	250	(C)
▶	Temperaturanwendungsbereich Hoch, kurzz	220	(C)
▶	Temperaturanwendungsbereich, hoch	130	(C)
▶	Temperaturanwend. dauernd, Belastungsart	Dauernd	(-)
▶	Längenausdehnungskoeffizient, längs	0.17	(E-4/K)
▶	Längenausdehnungskoeffizient, quer	0.60	(E-4/K)
▶	Brennbarkeit UL 94 (1)	HB	(-)
▶	UL (1) Probekörperdicke	1.6	(mm)

## 8. Anhang

### Elektrisch:

Handelsname	Bergamid A700 G35H, Trocken		
▶	Herstellerkürzel	POLYONE -1	
▶	Dielektrizitätszahl 1 MHz	3.7	(-)
▶	Dielektrischer Verlustfaktor 1 MHz	150	(E-4)
▶	Spezifischer Durchgangswiderstand	1E15	(Ohm.cm)
▶	Spezifischer Oberflächenwiderstand	1E13	(Ohm)
▶	Elektrische Durchschlagfestigkeit	90	(kV/mm)
▶	Vergleichszahl Kriechwegbildung, CTI	500	(V)

### Verarbeitung:

Handelsname	Bergamid A700 G35H, Trocken		
▶	Schmelztemperatur	261	(C)
▶	Massetemperatur	280-300	(C)
▶	Werkzeugtemperatur	80-90	

### Hersteller:

Handelsname	Bergamid A700 G35H, Trocken		
▶	Herstellerkürzel	POLYONE -1	
▶	Hersteller	PolyOne/Theodor Bergmann GmbH	
▶	Telefon	07225/6802-0	
▶	Telefax	07225/6802-10	
▶	Internet	<a href="http://www.polyone-bergmann.de">www.polyone-bergmann.de</a>	
▶	Strasse	Adolf-Dambach-Str. 2-4	
▶	Plz	76571	
▶	Ort	Gaggenau	

## 8.4 Kraiburg TC 6 PNC



THERMOLAST® K

**CO/PA/CS Reihe – Haftung zu PA,  
optimierter Druckverformungsrest**

## MATERIALVORTEILE:

- Sehr gute Haftung im 2K-Spritzgussverfahren (abhängig von Geometrie und Verarbeitungsprozess)
- Guter Druckverformungsrest auch bei 120°C und -25°C
- Integrierte Dichtungen auch für höhere Temperaturen
- Geeignet für dynamische und statische Dichtungen
- 2 K-Spritzguss im Einlegeverfahren ist möglich
- Naturfarbene Compounds sind leicht einzufärben
- Angenehme Haptik (Soft-Touch)
- Gellstet nach UL 94 HB

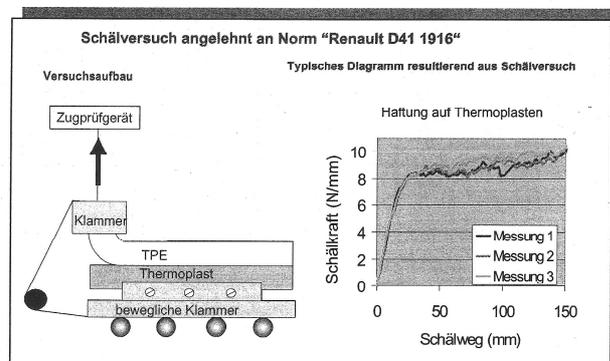
## VERARBEITUNG:

- Verarbeitung auf 2K Spritzgussmaschine
- Werkzeugtemperatur: 40° C bis 60° C
- Geringer Nachdruck
- Hohe Scherkräfte (z.B. kleiner Anspritzpunkt, hohe Einspritzgeschwindigkeit, etc.) haben einen positiven Einfluss auf die Fließfähigkeit
- Vortrocknen für 2 – 4 Std. bei 60° C – 80° C ist für eine optimale Haftung notwendig
- Verarbeitungstemperatur:  
Haftung zu PA: 240° C bis 270° C (max. 280° C)  
Haftung zu PA 6.6 und Polyarylamide 255° C bis 280° C (max. 290° C)
- Einspritzgeschwindigkeit (-druck) möglichst hoch

**Beschreibung Schälversuch (angelehnt an Norm "Renault D41 1916")**

Mit der Zugprüfmaschine im unten dargestellten Versuchsaufbau wird die Schälkraft in N/mm in Abhängigkeit des Weges, den die obere Klammer des Zugprüfgerätes zurücklegt, gemessen. Dieser Weg wird als Schälweg bezeichnet. Darin ist der Anteil, um den sich das TPE dehnt, enthalten.

Probekörperabmessung: Thermoplastteil: 130 x 22 x 2 mm, TPE-Teil: 130 x 20 x 2 mm.



Diese Datenblätter zeigen nur einen kleinen Auszug aus dem gesamten THERMOLAST® Programm. Bei der Auswahl des für Sie passenden Compounds ist Ihnen KRAIBURG TPE gerne behilflich.

**Anmerkung:** Die in diesem Dokument zur Verfügung gestellten Informationen entsprechen unserem Kenntnisstand am Tag der Veröffentlichung. Im Falle neuer Erkenntnisse und Erfahrungen können sich die vorliegenden Informationen ändern. Unsere Prüfberichte beruhen auf Messungen an Stichproben und stellen nur eine technische Beschreibung unserer Produkte dar. Sie eignen sich nicht für Spezifikationen und entbinden nicht von der Prüfung der Ware für Ihre Zwecke und Verfahren. Somit übernimmt KRAIBURG TPE keine Gewähr und keine Haftung in Verbindung mit der Nutzung dieser Informationen.

CUSTOM-ENGINEERED TPE AND MORE

KRAIBURG TPE GmbH & Co. KG Friedrich-Schmidt-Strasse 2 D-84478 Waldkraiburg GERMANY  
01/07 Änderung u. Irrtum vorbehalten  
neueste Version unter [www.kraiburg-tpe.com](http://www.kraiburg-tpe.com)



THERMOLAST® K

### CO/PA/CS Reihe – Haftung zu PA, optimierter Druckverformungsrest

## MÖGLICHE EINSATZGEBIETE:

- Komponenten mit dynamischen und statischen Belastungen
- Dichtungen
- Gehäuseumspritzungen

für 2K Teile ohne Patentverletzung<sup>1</sup>  
 sehr guter Druckverformungsrest  
 sehr gute Haftung auf PA  
 ausgezeichnete Haftung  
 auch bei weichen Compounds  
 gute Bewitterungsbeständigkeit  
 bei schwarzen Compounds<sup>3</sup>  
 gelistet nach UL 94 HB

### CO/PA/CS Reihe – Haftung zu PA, optimierter Druckverformungsrest

	Farbe	Härte DIN EN ISO 1183-1:2004 Sh A	Dichte DIN 53479 g/cm <sup>3</sup>	Reißfestigkeit DIN 53504 / ISO 37 N/mm <sup>2</sup>	Reißdehnung DIN 53504 / ISO 37 %	Weiterreißfestigkeit ISO 34-1 Methode B (b) (Graves) N/mm	Haftung zu PA 6 <sup>2</sup> Analog Renault-Test D41 1916 - N/mm	Haftung zu PA 6.6 <sup>2</sup> Analog Renault-Test D41 1916 - N/mm	Compression Set ISO 815 %		
									72h/23°C	22h/70°C	22h/100°C
TC 4 P C N	natur	40	1.1	3.3	490	9	Die Werte variieren zwischen 7,5 und 24 N/mm je nach Härtegrad.	Die Werte variieren zwischen 4 und 15 N/mm je nach Härtegrad.	14	27	51
TC 5 P C N	natur	50	1.1	4.2	500	11			14	30	48
TC 6 P C N	natur	60	1.1	5.9	500	14			16	33	46
TC 7 P C N	natur	70	1.1	7.3	490	18			18	29	56
TC 8 P C N	natur	80	1.1	9.7	490	24			21	37	58
TC 4 P C Z	schwarz	40	1.1	3.6	460	10			17	28	55
TC 5 P C Z	schwarz	50	1.1	4.3	470	12			17	31	52
TC 6 P C Z	schwarz	60	1.1	6.6	470	16			19	34	53
TC 7 P C Z	schwarz	70	1.1	7.7	470	20	20	31	59		
TC 8 P C Z	schwarz	80	1.1	11.1	480	25.5	24	38	57		

1) Taisei Patent US 5149589 und JP 2888305

2) Die Haftungsqualität ist stark abhängig von Werkzeugdesign, Produktgeometrie sowie den Verarbeitungsbedingungen. KRAIBURG TPE berät Sie gern

3) Gemessen unter künstlicher Bewitterung nach DIN EN ISO 4892-2. Die schwarzen Compounds sind bewitterungsbeständig bis zu 3000 MJ/mm<sup>2</sup>. Das entspricht 1,5 Jahr Bewitterung in Zentraleuropa

Diese Datenblätter zeigen nur einen kleinen Auszug aus dem gesamten THERMOLAST® Programm. Bei der Auswahl des für Sie passenden Compounds ist Ihnen KRAIBURG TPE gerne behilflich.

Anmerkung: Die in diesem Dokument zur Verfügung gestellten Informationen entsprechen unserem Kenntnisstand am Tag der Veröffentlichung. Im Falle neuer Erkenntnisse und Erfahrungen können sich die vorliegenden Informationen ändern. Unsere Prüfberichte beruhen auf Messungen an Stichproben und stellen nur eine technische Beschreibung unserer Produkte dar. Sie eignen sich nicht für Spezifikationen und entbinden nicht von der Prüfung der Ware für Ihre Zwecke und Verfahren. Somit übernimmt KRAIBURG TPE keine Gewähr und keine Haftung in Verbindung mit der Nutzung dieser Informationen.

CUSTOM-ENGINEERED TPE AND MORE

KRAIBURG TPE GmbH & Co. KG Friedrich-Schmidt-Strasse 2 D-84478 Waldkraiburg GERMANY  
 01/07 Änderung u. Irrtum vorbehalten  
 neueste Version unter [www.kraiburg-tpe.com](http://www.kraiburg-tpe.com)

## 8.5 Grilamid FE7503 natural

### PROVISIONAL DATA SHEET

#### DEVELOPMENT PRODUCT

#### GRILAMID FE7503 natural

##### Product description:

Grilamid FE7503 natural is a glass fiber reinforced Polyamide 12 injection moulding grade especially for water contact applications.  
Grilamid FE7503 natural is equal to Grilamid LV-65H WA natural approved for the use in direct contact to drinking water in several countries.

FE 7503 has the following main attributes:

- High strength and stiffness
- High impact strength, notched and unnotched
- Good dimensional stability
- Low water absorption

##### Processing:

Injection moulding conditions

For processing of Grilamid FE7503 natural on injection moulding machines suitable for polyamides the following parameters are recommended:

Melt temperature:	280 - 320 °C
Mould temperature:	80 - 120 °C
Injection speed:	medium - high
Hold-on pressure (spec.):	300 - 800 bar
Dynamic pressure (hydr.):	5 - 15 bar
Screw revolutions:	50 - 100 1/min

Grilamid FE7503 natural is supplied dry, ready for processing.  
If for any reason the material has absorbed water it should be dried (e.g. desiccant type driers max. 100 °C, 4-12 hours)

## 8.6 Grilon BG-30HM

### TECHNICAL DATA SHEET

#### GRILON BG-30 HM

Grilon BG-30 HM is a heat stabilised, normal viscosity, and adhesion modified PA6 injection moulding grade with 30% glass fibres.

Grilon BG-30 HM has the following important properties:

- Excellent adhesion with thermoplastic elastomers
- High stiffness
- Good impact strength

Application examples are automotive plugs and seals, counter wheel sensors, housings with integrated switch membranes, housings (hard soft combinations), grip handles, and plug housings.

## PROPERTIES

## Mechanical Properties

		Standard	Unit	State	Grilon BG-30 HM
Tensile E-Modulus	1 mm/min	ISO 527	MPa	dry cond.	8700 6500
Tensile strength at break	5 mm/min	ISO 527	MPa	dry cond.	140 95
Elongation at break	5 mm/min	ISO 527	%	dry cond.	3 5
Impact strength	Charpy, 23°C	ISO 179/2-1eU	kJ/m <sup>2</sup>	dry cond.	60 60
Impact strength	Charpy, -30°C	ISO 179/2-1eU	kJ/m <sup>2</sup>	dry cond.	50 45
Notched impact strength	Charpy, 23°C	ISO 179/2-1eA	kJ/m <sup>2</sup>	dry cond.	12 14
Notched impact strength	Charpy, -30°C	ISO 179/2-1eA	kJ/m <sup>2</sup>	dry cond.	9 9
Ball indentation hardness		ISO 2039-1	MPa	dry cond.	180 120

## Thermal Properties

Melting point	DSC	ISO 11357	°C	dry	222
Heat deflection temperature HDT/A	1.8 MPa	ISO 75	°C	dry	170
Heat deflection temperature HDT/C	8.0 MPa	ISO 75	°C	dry	95
Thermal expansion coefficient long.	23-55°C	ISO 11359	10 <sup>-4</sup> /K	dry	0.3
Thermal expansion coefficient trans.	23-55°C	ISO 11359	10 <sup>-4</sup> /K	dry	1.1
Maximum usage temperature	long term	ISO 2578	°C	dry	90 - 110
Maximum usage temperature	short term	ISO 2578	°C	dry	180

## Electrical Properties

Dielectric strength		IEC 60243-1	kV/mm	dry cond.	40 38
Comparative tracking index	CTI	IEC 60112	-	cond.	600
Specific volume resistivity		IEC 60093	Ω · m	dry cond.	10 <sup>12</sup> 10 <sup>11</sup>
Specific surface resistivity		IEC 60093	Ω	cond.	10 <sup>12</sup>

## General Properties

Density		ISO 1183	g/cm <sup>3</sup>	dry	1.26
Flammability (UL94)	0.8 mm	ISO 1210	rating	-	HB
Water absorption	23°C/sat.	ISO 62	%	-	5
Moisture absorption	23°C/50% r.h.	ISO 62	%	-	1
Linear mould shrinkage	long.	ISO 294	%	dry	0.1
Linear mould shrinkage	trans.	ISO 294	%	dry	0.3

Product-nomenclature acc. ISO 1874: PA 6-HI, MH, 18-090, GF30
---

## 8.7 Santoprene 8291-55PA


**Santoprene™ 8291-55PA**  
**Thermoplastic Vulcanizate**

Product Description		Key Features		
<p>A soft, colorable, specialty thermoplastic vulcanizate (TPV) in the thermoplastic elastomer (TPE) family. It is especially formulated to bond to PA-6 and blends thereof for applications where hard/soft combinations are required. This grade of Santoprene TPV is shear-dependent and can be processed on conventional thermoplastics equipment for injection molding or extrusion. It is polyolefin based and completely recyclable.</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Designed for soft touch applications.</li> <li>• Designed for excellent adhesion onto nylon-6 (Insert or 2K [two-shot] molding) and nylon 6,6 (2K [two-shot] molding).</li> <li>• Adhesion values can vary according to type of nylon used, tool design and processing conditions.</li> <li>• UL listed: file #QMFZ2.E80017, Plastics - Component; file #QMFZ8.E80017, Plastics Certified For Canada - Component.</li> <li>• EU Directive 2002/95/EC (RoHS) compliant.</li> </ul>		
General				
Availability <sup>1</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Africa &amp; Middle East</li> <li>• Asia Pacific</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Europe</li> <li>• Latin America</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• North America</li> <li>• South America</li> </ul>	
Applications	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Automotive - Interior</li> <li>• Automotive - Plugs, Bumpers, Grommets, Clips</li> <li>• Automotive - Seals and Gaskets</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumer - Electronics</li> <li>• Consumer - Kitchen Tools</li> <li>• Consumer - Power Tools</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumer Applications</li> <li>• Seals and Gaskets</li> <li>• Soft Touch Grips</li> </ul>	
Uses	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Appliance Components</li> <li>• Appliances</li> <li>• Automotive Applications</li> <li>• Automotive Under the Hood</li> <li>• Bonding</li> <li>• Cell Phones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumer Applications</li> <li>• Cookware Handles</li> <li>• Eyeglass Frames</li> <li>• Flexible Grips</li> <li>• Kitchenware</li> <li>• Living Hinges</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seals</li> <li>• Sporting Goods</li> <li>• Strain Reliefs</li> <li>• Tie-Layer</li> <li>• White Goods &amp; Small Appliances</li> </ul>	
Agency Ratings	<ul style="list-style-type: none"> <li>• EU 2003/11/EC</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• UL QMFZ2</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• UL QMFZ8</li> </ul>	
RoHS Compliance	<ul style="list-style-type: none"> <li>• RoHS Compliant</li> </ul>			
Color	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Natural Color</li> </ul>			
Form(s)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pellets</li> </ul>			
Processing Method	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coextrusion</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Injection Molding</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Multi Injection Molding</li> </ul>	
Revision Date	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 12/10/2008</li> </ul>			
Physical		Typical Value (English)	Typical Value (SI)	Test Based On
Specific Gravity		0.930	0.930	ASTM D792
Density		0.930 g/cm <sup>3</sup>	0.930 g/cm <sup>3</sup>	ISO 1183
Hardness		Typical Value (English)	Typical Value (SI)	Test Based On
Shore Hardness				ISO 868
Shore A, 15 sec, 73°F (23°C), 0.0787 in (2.00 mm)		55	55	

## 8. Anhang

### ExxonMobil Chemical Santoprene™ 8291-55PA Thermoplastic Vulcanizate

Elastomers	Typical Value (English)	Typical Value (SI)	Test Based On
Tensile Stress at 100% - Across Flow (73°F (23°C))	276 psi	1.90 MPa	ASTM D412
Tensile Stress at 100% - Across Flow (73°F (23°C))	276 psi	1.90 MPa	ISO 37
Tensile Strength at Break - Across Flow (73°F (23°C))	450 psi	3.10 MPa	ASTM D412
Tensile Strength at Break - Across Flow (73°F (23°C))	450 psi	3.10 MPa	ISO 37
Elongation at Break - Across Flow (73°F (23°C))	360 %	360 %	ASTM D412
Tensile Strain at Break - Across Flow (73°F (23°C))	360 %	360 %	ISO 37
Tear Strength - Across Flow (73°F (23°C), Die C)	62.8 lbf/in	11.0 kN/m	ASTM D624
Tear Strength - Across Flow (73°F (23°C), Method Bb, Angle (Nicked))	63 lbf/in	11 kN/m	ISO 34-1

#### Injection Notes

Santoprene TPV is incompatible with acetal and PVC. For more information regarding processing and mold design, please consult our Injection Molding Guide and Technical Literature (TL) on "Injection Molding of Santoprene TPV PA".

#### Extrusion Notes

Santoprene TPV is incompatible with acetal and PVC. For more information regarding processing and mold design, please consult our Extrusion Guide.

Aging	Typical Value (English)	Typical Value (SI)	Test Based On
Change in Tensile Strength in Air			ASTM D573
158°F (70°C), 168 hr	5.0 %	5.0 %	
257°F (125°C), 168 hr	-13 %	-13 %	
Change in Tensile Strength in Air			ISO 188
158°F (70°C), 168 hr	5.0 %	5.0 %	
257°F (125°C), 168 hr	-13 %	-13 %	
Change in Ultimate Elongation in Air			ASTM D573
158°F (70°C), 168 hr	12 %	12 %	
257°F (125°C), 168 hr	-8.0 %	-8.0 %	
Change in Tensile Strain at Break in Air			ISO 188
158°F (70°C), 168 hr	12 %	12 %	
257°F (125°C), 168 hr	-8.0 %	-8.0 %	
Change in Durometer Hardness in Air			ASTM D573
Shore A, 158°F (70°C), 168 hr	-1.0	-1.0	
Shore A, 257°F (125°C), 168 hr	0.0	0.0	
Change in Shore Hardness in Air			ISO 188
Shore A, 158°F (70°C), 168 hr	-1.0	-1.0	
Shore A, 257°F (125°C), 168 hr	0.0	0.0	

#### Additional Information

Values are for injection molded plaques, fan-gated, 102.0 mm x 152.0 mm x 2.0 mm (4.000" x 6.000" x 0.080"). Tensile strength, elongation and tensile stress are measured across the flow direction - ISO type 1, ASTM die C.

## 8.8 Ketrax Cryolen 801-94-01

Datenblatt Cryolen 801-94-01

Hochmolekulares Blend aus PP und PE mit hoher Steifheit und guter Schlagzähigkeit bei Minustemperaturen.

### Einsatzgebiet:

Druckrohre mit Einsatztemperaturen bei + 30° C

Medien: Luft, Wasser, Kühlwasser, Sole

Eignung für Trinkwasser gemäß ONB 5014

### Physikalische Eigenschaften:

Spez. Gewicht 900 kg/m<sup>3</sup>

MFR (230/2,16) 0,3 g/10 min

E-Modul 1500 N/mm<sup>2</sup>

Dehnung 500 %

Charpy -25° C 4-5 kJ/m<sup>2</sup>

### Verarbeitungsparameter

Extrusion Zylinder 200 - 220° C

Kopf 210 - 220° C

Schmelze 210 - 230° C

Düse 210 - 220° C

Spritzguss Zylinder 210 - 230° C

Form 50 - 70° C

Diese Parameter sind Richtwerte und orientieren sich im Detail an den mechanischen Gegebenheiten der Produktionseinheit.

### Lagerung:

UV-geschützt bei Temperaturen unter 50° C

## 8.9 Maschinendaten

<b>ENGEL</b> SCHWERTBERG AUSTRIA	<b>TECHNISCHE DATEN</b>		1998-07-01 TB-KM/Mitterl/ml
	SPRITZGIESSMASCHINE ES 330H/80V/90HL-2F		

Internationale Größenbezeichnung <sup>1</sup>	330H/80V/90HL-2F		
Maschinenbezeichnung			
<b>Spritzeinheit</b>			Agg330H      Agg80V
Schneckendurchmesser	mm	35	18
Schneckenlänge Standard	L/D	20	22,5
Plastifizierleistung Standard <sup>2,3,4</sup>	g/sec	21	3,5
Schneckenlänge Barriere	L/D	-	-
Plastifizierleistung Barriere <sup>4,5</sup>	g/sec	-	-
Dosierweg	mm	160	100
Schneckenrehzahl	r/min	20-400	20-450
Einspritzstrom <sup>6</sup>	cm <sup>3</sup> /sec	152	52
Max. Hubvolumen	cm <sup>3</sup>	154	25
Spez. Spritzdruck	bar	1600	2200
Spez. Spritzdruck erhöht	bar	2180	2200
Düsenweg	mm	250	330
Düsenanpreßkraft	kN	47	28
Heizleistung <sup>7</sup>	kW	9,2	5,3
Anzahl der Heizzonen inkl. Düse <sup>7</sup>		4	4
<b>Schließeinheit</b>			
Schließkraft	kN	1100	
Öffnungsweg	mm	500	
Auswerferkraft	kN	40	
Auswerferweg	mm	130	
Werkzeugeinbauhöhe min.	mm	400	
Plattenabstand max.	mm	900	
Werkzeugaufspannplatten			
- vergrößerte Aufspannplatten	mm	730 x 600	
Ausfallschachtbreite	mm	460	
Trockenlauf (Euromap 6) ∞ Hub	sec ∞ mm	1,6 ∞ 200	
<b>Antrieb</b>			
Pumpenantriebsleistung	kW	22	
Ölfüllung	l	260	
<b>Gewicht</b>			
Netto gesamt (ohne Öl)	kg	6800	

1 Arbeitsvermögen Spritzeinheit-Schließkraft in MP
2 Werte für Polystyrol (MVR 200/5=10cm <sup>3</sup> /10min) bis Spritzeinheit 2550 nach EWN
3 Werte für HDPE (MVR190/5=13cm <sup>3</sup> /10min) mit PE-Schnecke ab Spritzeinheit 3550 nach EWN
4 Werte für PP (MVR230/2,16=12cm <sup>3</sup> /10min) bei TM-Maschinen
5 Werte für HDPE (MVR190/5=13cm <sup>3</sup> /10min) nach EWN
6 Theoretische Werte
7 für Standardschneckenlänge

Z.Nr. 8792 022 02 034 098  
A.Nr. 10568/046