



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
*Hamburg University of Applied Sciences*

## **Bachelorarbeit**

Milo Alexander Korf

# **Qualifizierung von Synthesekautschukklebmassen für die Additive Fertigung - Entwicklung und Definition eines stabilen Prozessbereiches**

*Fakultät Technik und Informatik  
Department Maschinenbau und Produktion*

*Faculty of Engineering and Computer Science  
Department of Mechanical Engineering and  
Production Management*

Milo Alexander Korf

**Qualifizierung von Synthesekautschukklebmassen für die  
Additive Fertigung - Entwicklung und Definition eines stabilen  
Prozessbereiches**



Bachelorarbeit

im Bachelorstudiengang Produktionstechnik und -management  
im Department Maschinenbau und Produktion  
der Fakultät Technik und Informatik  
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

In Zusammenarbeit mit:

Tesa SE  
Hugo-Kirchberg-Straße 1  
22848 Norderstedt

Erstprüfer: Prof. Dr. Jens Telgkamp  
Zweitprüfer: Dipl.-Ing Frank Virus

Datum der Anmeldung: 18.02.2021

# Zusammenfassung

**Autor:** Milo Alexander Korf

**Thema der Bachelorarbeit:** Qualifizierung von Synthetikautschukklebmassen für die Additive Fertigung - Entwicklung und Definition eines stabilen Prozessbereiches

**Stichworte:** Additive Fertigung, 3D-Druck, freeformer, Kleben, Tape, Qualifizierung, Synthetikautschukklebmasse, *pressure sensitive adhesive*, Hotmelt, Prozessbereich

**Kurzzusammenfassung:** In dieser Arbeit werden Synthetikautschukklebmassen für die additive Fertigung qualifiziert. Ein verarbeitungstemperaturabhängiger Prozessbereich wird definiert und durch Prüfungen validiert. Es werden drei Klebmasserezepturen miteinander und mit konventionellem Tape der gleichen Rezepturen verglichen. Des Weiteren wird eine verarbeitungstemperaturabhängige Performance der additiv gefertigten Synthetikautschukklebmassen untersucht.

**Author:** Milo Alexander Korf

**Name of the Bachelorthesis:** Qualification of synthetic rubber adhesives for additive manufacturing - development and definition of a stable process area.

**Keywords:** Additive manufacturing, 3D printing, freeformer, bonding, tape, qualification, synthetic rubber adhesive, pressure sensitive adhesive, hot melt, process area

**Abstract:** In this bachelor thesis, synthetic rubber adhesives are qualified for additive manufacturing. A processing temperature-dependent process range is defined and validated by tests. Three adhesive compound formulations are compared with each other and with conventional tape of the same formulations. Furthermore a processing temperature dependent performance of the additively manufactured synthetic rubber adhesive compounds is investigated.

# Aufgabenstellung

Synthesekautschukklebmasse ist eine Klebmassenklasse, die als Basisinhaltsstoffe Synthesekautschuk und Harz enthält. Diese Klasse lässt sich mit dem ARBURG Kunststoff-Freiformen-Verfahren (AKF-Verfahren) verarbeiten. In vergangenen Forschungsarbeiten konnten bereits grundlegende Maschinenparameter und Vorgehensweisen zur Verarbeitung von Synthesekautschukklebmassen mit dem AKF-Verfahren erarbeitet werden.

Aufbauend auf diesen grundlegenden Erkenntnissen, werden in dieser Bachelorarbeit Synthesekautschukklebmassen für das AKF-Verfahren qualifiziert. Das Ziel besteht darin, einen stabilen Prozessbereich zu finden. Dieser Prozess wird als stabil bezeichnet, wenn sich das verarbeitete Material in gewünschter Qualität reproduzierbar verarbeiten lässt. Da anzunehmen ist, dass die Verarbeitungstemperatur Einfluss auf die Klebperformance von Synthesekautschukklebmassen hat, ist ein Verarbeitungsbereich zu entwickeln. Innerhalb dieses Prozessbereichs sollten sich folgerichtig die Performance der Klebmasse durch die Variation der Verarbeitungstemperatur definiert steuern lassen.

Folgende Arbeitsschritte werden in dieser Bachelorarbeit behandelt:

- Übertragung der vorangegangenen Erkenntnisse auf die nächste Generation des verwendeten Drucksystem
- Eingrenzung eines geeigneten Prozessbereichs nach Geometrie und Verarbeitbarkeit des Materials mit dem Drucker
- Erarbeitung und Durchführung von Versuchsplänen für drei Synthesekautschuk-Rezepturen
- Anpassung von standardisierten Prüfvorschriften für die additive Fertigung von Klebmassen
- Vergleich der Klebperformance von additiv verarbeiteten Klebmassen zu dem Standardbeschichtungsverfahren der tesa SE
- Vergleich der Klebperformance der Synthesekautschuk-Rezepturen untereinander
- Definition des stabilen Prozessbereiches zur Verarbeitung von Synthesekautschukklebmassen zur Steuerung der Klebperformance
- Diskussion der Ergebnisse und Empfehlungen für den weiteren Einsatz der Technologie sowohl in der Forschung als auch in der Industrie

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2. Stand der Technik</b>	<b>3</b>
2.1. Synthetikautschukklebmassen . . . . .	3
2.2. Additive Fertigung . . . . .	4
2.2.1. Arburg freeformer 300-3X . . . . .	4
2.2.2. Additive Fertigung von Synthetikautschukklebmassen . . . . .	6
<b>3. Versuchsvorbereitung</b>	<b>8</b>
3.1. Klebmassenherstellung . . . . .	8
3.2. Einfahren der Masse auf dem neuen freeformer 300-3X . . . . .	10
3.3. 3D-Mikroskopie . . . . .	12
3.4. Push-Out-Prüfung . . . . .	13
3.4.1. Herstellung der Prüfkörper . . . . .	13
3.4.2. Prüfmethode . . . . .	15
3.4.3. Auswertung . . . . .	16
3.5. Mikroscherweg-Prüfung . . . . .	18
3.5.1. Herstellung der Prüfkörper . . . . .	18
3.5.2. Prüfmethode . . . . .	19
3.5.3. Auswertung . . . . .	20
3.6. Vorgehen . . . . .	21
3.7. Probenbezeichnung . . . . .	23
<b>4. Versuchsdurchführung</b>	<b>24</b>
4.1. Stabiler Prozessbereich . . . . .	24
4.2. Push-Out-Prüfung . . . . .	27
4.2.1. Phase 1 - Grundlagenversuche . . . . .	27
4.2.2. Phase 2 - Grundlagenversuche . . . . .	29
4.2.3. Phase 3 bis 5 - Hauptversuche . . . . .	30
4.3. Mikroscherweg-Prüfung . . . . .	35
4.3.1. Phase 6 - Hauptversuche . . . . .	35
<b>5. Diskussion und Vorgehensempfehlung</b>	<b>38</b>

<b>A. Anhang</b>	<b>43</b>
A.1. Push-Out-Prüfmethode . . . . .	43
A.2. Mikroscherweg-Prüfmethode . . . . .	50

# Symbol- und Abkürzungsverzeichnis

## Symbol

Formelzeichen	Einheit	Bezeichnung
---------------	---------	-------------

Abkürzung

A	%	Austragswert
ABS		Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymer
AKF		Arburg Kunststoff-Freiformal
F	N	Kraft
FDM		<i>fused deposition modeling</i>
ff		Formfaktor
PC		Polycarbonat
PET		Polyethylenterephthalat
PSA		<i>pressure sensitive adhesive</i>
S		Schicht
SBC		<i>styrenic block copolymers</i>
SKK		Synthesekautschukklebmasse
T1; T2; T3; T4	°C	Temperatur

# Tabellenverzeichnis

3.1. Alte und neue Prozessparameter . . . . .	11
3.2. Rezepturen . . . . .	22
4.1. Verarbeitungstemperaturprofile der Rezepturen . . . . .	25
4.2. Messungen - Push-Out Geometrie . . . . .	26
4.3. Phase 1 - Testprogramm . . . . .	27
4.4. Phase 2 - Testprogramm . . . . .	29
4.5. Phase 3 bis 5 - Testprogramm . . . . .	31
4.6. Phase 6 - Testprogramm . . . . .	35

# Abbildungsverzeichnis

2.1. Funktionsweise eines Arburg freeformers [2] . . . . .	5
3.1. Schematische Darstellung des Extrusionsprozesses [1] . . . . .	8
3.2. Schematische Darstellung des Klebmassenherstellungsprozesses [9] . . . . .	9
3.3. CT des Ausgangsprozesses . . . . .	11
3.4. CT eines aktuellen dreischichtigen Ausdrucks . . . . .	11
3.5. 3D-Aufnahme einer Verklebung . . . . .	12
3.6. Prinzip der Triangulation [10] . . . . .	13
3.7. Aufbau Push-Out Prüfkörper [9] . . . . .	14
3.8. Aufbau Push-Out Prüfkörper auf Bauplattform . . . . .	15
3.9. Aufbau Push-Out Prüfung . . . . .	16
3.10. Kraft-Weg-Verlauf für 1-, 2- und 3-schichtige Push-Out-Proben . . . . .	17
3.11. Mikroscherweg - Prüfkörper . . . . .	18
3.12. Mikroscherweg - Prüfkörper auf Bauplattform . . . . .	19
3.13. Prüfaufbau Mikroscherweg . . . . .	20
3.14. Weg-Zeit-Verlauf - Mikroscherweg-Prüfung . . . . .	21
3.15. Bezeichnung der Proben aus Phase 1 und 2 . . . . .	23
3.16. Bezeichnung der Proben aus Phase 3 bis 6 . . . . .	23
4.1. Phase 1 Ergebnisse . . . . .	28
4.2. Phase 2 Ergebnisse . . . . .	30
4.3. Phase 3 (Masse 5050) - Ergebnisse . . . . .	32
4.4. Phase 4 (Masse 5545) - Ergebnisse . . . . .	33
4.5. Phase 5 (Masse 4555) - Ergebnisse . . . . .	34
4.6. Phase 6 - Mikroscherweg Masse 4555 . . . . .	37
4.7. Phase 6 - Mikroscherweg Masse 5050 . . . . .	37
4.8. Phase 6 - Mikroscherweg Masse 5545 . . . . .	37
5.1. Nachweis eines <i>pressure sensitive adhesive</i> . . . . .	39

# 1. Einleitung

**Hintergrund** Die Branche des 3D-Drucks oder auch der Additiven Fertigung hat in den letzten zehn Jahren einen deutlichen Aufschwung erlebt. Ein Indikator dafür ist die Anzahl der Patentanmeldungen. Weltweit ist die Zahl der Patentanmeldung pro Jahr zwischen 2010 und 2018 um 840 % gestiegen [4]. Die Fertigungstechnologien die unter der Additiven Fertigung einzuordnen sind werden bereits zur Produktion von Funktionsbauteilen in vielen Branchen, wie der Luftfahrt oder der Medizintechnik, verwendet [6].

Der größte Vorteil beim Verarbeiten von Klebmassen mit Additiven Fertigungsverfahren ist die Nachhaltigkeit. Tape für Industrieanwendungen wird oft gestanzt, daraus ergibt sich, nach einer tesa-internen Studie, dass bis zu 95 % des Tapes nicht verwendet werden kann und weggeworfen wird [12]. Durch die Additive Fertigung von Klebmassen können dementsprechend Ressourcen und Kosten gespart, umweltfreundlicher gewirtschaftet und Lieferketten, durch die Einsparung von notwendigen sowohl intern als auch extern durchgeführten Zwischenschritten bei der Tapeherstellung, verkürzt werden. Diese Art der Herstellung von Verklebungen bietet noch viele weitere Vorteile, wie ein schneller Klebmassen- und Geometriewechsel der Verklebung, formstabile Verklebungen in drei Dimensionen, das In-Line Ausgleichen von Toleranzen durch die Verklebungen an Fügestellen und das direkte Fertigen von Verklebungen bei der Produktion von additiv gefertigten Bauteilen.

Damit die Vorteile genutzt werden können, muss sichergestellt werden, dass Klebmassen mit additiven Fertigungsanlagen verarbeitet werden können und die Massen auch weiterhin als Material für Verklebungen geeignet sind. Dafür sind die Klebmassen für einzelne Verfahren zu qualifizieren und anschließend auf die klebtechnischen Eigenschaften zu überprüfen.

**Forschungsziel** In dieser Bachelorarbeit sollen Synthesekautschukklebmassen (SKK) für die Verarbeitung im Arburg Kunststoff-Freiformen-Verfahren (AKF-Verfahren) auf dem freeformer 300-3X der Firma Arburg qualifiziert werden. Darüber hinaus ist ein von der Verarbeitungstemperatur abhängiger Prozessbereich zu definieren. Verfahrensspezifische Vorteile, die sich durch die additive Fertigung von Klebmassen ergeben, wie eine Abhängigkeit der klebtechnischen Eigenschaften und der Verarbeitungstemperatur, sind zu überprüfen und einzugrenzen.

## 1. Einleitung

Die Qualifizierung der SKK soll hierbei anhand der gefertigten Geometrie und mithilfe von Prüfungen der klebtechnischen Eigenschaften geschehen. Der Vergleich von additiv gefertigten SKK mit konventionell hergestelltem Tape der gleichen Rezeptur soll zeigen, in welchem Maße sich die Verfahren auf die Eigenschaften von Verklebungen auswirken.

Diese Arbeit ist wie folgt gegliedert: Das Kapitel 2 gibt den Stand der Technik der hier verwendeten Verfahren und Materialien wieder. In Kapitel 3 werden die notwendigen Versuchsvorbereitungen, wie das Einfahren des neuen freeformers, die Klebmassenherstellung, die verwendeten Prüfverfahren sowie das Vorgehen erläutert. Darauf aufbauend werden in Kapitel 4 die sechs Versuchsphasen dieser Arbeit definiert und die Ergebnisse der jeweiligen Phase ausgearbeitet. Im letzten Kapitel werden die gewonnenen Ergebnisse zusammengeführt und diskutiert. Des Weiteren wird in Kapitel 5 eine Empfehlung für das weitere Vorgehen beim Verarbeiten von Klebmassen mit dem freeformer gegeben.

## 2. Stand der Technik

In diesem Kapitel werden SKK an sich, ihre Vor- und Nachteile sowie ihre Funktionsweise erläutert. Es wird das in dieser Arbeit verwendete AKF-Verfahren in die Additive Fertigung eingeordnet und das Funktionsprinzip erklärt. Des Weiteren wird der aktuelle Forschungsstand bei der Verarbeitung von SKK in der Additiven Fertigung dargelegt.

### 2.1. Synthesekautschukklebmassen

Synthesekautschukklebmassen sind *pressure sensitive adhesives* (PSA) und werden nach Jagisch und Tancrede auch als *styrenic block copolymers* (SBC) bezeichnet [11]. PSA bilden eine Verbindung mit dem Substrat unter Ausübung von Druck. Die Stärke der Verbindung ist abhängig von der Anpresskraft. PSA sind bei Raumtemperatur anfassklebrig und lassen sich durch ihre Kohäsionsfestigkeit ohne Rückstände entfernen. Die Hauptbestandteile von SKK sind Harz und Synthesekautschuk, die erfahrungsgemäß im Bereich des eins zu eins Verhältnisses gemischt werden. Es können weitere Bestandteile wie Alterungsmittel oder Parafinöl in der Rezeptur enthalten sein. SKK können eine sehr große Bandbreite an Klebperformance abdecken, da die Klebeigenschaften sehr gut durch die Rezeptur steuerbar sind und dadurch die Schlüsselattribute von Tape erfüllen. Dazu zählen sehr starke Anfassklebrigkeit, definierte Peel Performance und hohe Kohäsionsfestigkeit. Des Weiteren sind diese Klebmassen Thermoplasten und sind folglich thermisch nicht stabil. SKK sind durch die Möglichkeit eines lösungsmittelfreien Herstellungsverfahrens und das Verwenden von Synthesekautschuk anstelle von Naturkautschuk umweltfreundlich.[11]

SBC können entweder in einem Extrusions- oder in einem Lösungsmittelverfahren hergestellt werden. Bei dem vorherrschend angewendeten Extrusionsverfahren werden der Synthesekautschuk als Granulat und das Harz in flüssiger Form in einem beheizbaren Extruder gemischt. Die Verarbeitungstemperatur liegt zwischen 130 °C und 185 °C. Es muss darauf geachtet werden, dass die Masse eine maximale Temperatur von 205 °C nicht übersteigt, da es sonst zur Degradation der Klebmasse kommen kann. Kommt es zu Degradation kann die Klebmasse nicht mehr verwendet werden. [11]

Die in dieser Arbeit verwendeten Rezepturen wurden in einem Extrusionsprozess hergestellt. Nach der eigentlichen Extrusion wurde die Klebmasse granuliert und die Anfassklebrigkeit unter Zugabe von Talkum deaktiviert. Das produzierte Granulat wird in dieser

Form im freeformer verwendet.

### 2.2. Additive Fertigung

Die Additiven Fertigungsverfahren oder auch 3D-Druckverfahren ordnen sich in der Hauptgruppe des Urformens der Fertigungsverfahren ein. Das Grundprinzip dieser Verfahren besteht darin Bauteile schichtweise aufzubauen. Dadurch kann die Geometrie der Bauteile freier gestaltet werden als bei klassischen Fertigungsverfahren, wie dem Gießen oder Fräsen. Als weitere Unterscheidung von sämtlichen Fertigungsverfahren werden für die Additive Fertigung keine verfahrensspezifische Werkzeuge benötigt. Bevor die additiven Fertigungsverfahren zur Herstellung von Funktionsbauteilen verwendet wurden, dienten sie hauptsächlich zur Herstellung von Prototypen. Aktuell sind additiv gefertigte Bauteile bereits in sämtlichen Industriezweigen zu finden und werden für Kleinserien, komplexe Geometrien, Ersatzteile und Sonderanfertigungen verwendet [6].

Der gesamte Vorgang der Additiven Fertigung lässt sich in einer vierteiligen Prozesskette abbilden. Es wird immer ein vollständiger 3D-Datensatz benötigt. Das Erstellen dieses Datensatzes ist der erste Schritt der Prozesskette. Der zweite Schritt ist das *Pre-Processing*, auch *Slicing* genannt, welches das Verarbeiten des 3D-Datensatzes beinhaltet. Bei Bedarf wird eine Supportstruktur generiert, die Teile des Bauteils stützt. Am Ende des *Slicings* steht eine für das gewählte Verfahren verarbeitbare Datei, die Schichtinformationen über Bauteile und Supportstrukturen im Bauraum enthält. Der eigentliche Bauprozess ist der dritte Schritt der Prozesskette. Das *Post-Processing* ist der vierte und letzte Schritt und beinhaltet verfahrensspezifische Nachbearbeitungsschritte, wie das Entfernen von Supportstrukturen oder Aushärten von Bauteilen. Ein weiterer Schritt, der nicht direkt der Prozesskette zugeordnet wird ist das *Finishing*, welches nicht verfahrensspezifische Nachbehandlungen, wie zum Beispiel das Lackieren der Bauteile enthält.[7]

In der Additive Fertigung wird zwischen zwei Hauptmaterialklassen unterschieden: Metalle und Kunststoffe. Die Materialklasse definiert das zu verwendende Verfahren. Das bekannteste Verfahren für Kunststoffe ist das Fused Deposition Modeling (FDM) und für Metalle das Selective Laser Sintering (SLS). [5]

#### 2.2.1. Arburg freeformer 300-3X

In dieser Arbeit wird der freeformer 300-3X von der Firma Arburg verwendet. Der freeformer 300-3X ist eine Fertigungsanlage zur Additiven Fertigung von Kunststoffen. Das Verfahren, das in dem freeformer Verwendung findet, ist das AKF-Verfahren. Dieses Verfahren zeichnet aus, dass einzelne Tropfen hintereinander auf der Bauplattform abgelegt werden. Die Tropfen verbinden sich dabei mit schon abgelegtem Material zu allen Seiten.

## 2. Stand der Technik

Dieser Ansatz sorgt nach Angaben von Arburg für ein homogenes zu allen Seiten gleich belastbares Bauteil. [2]

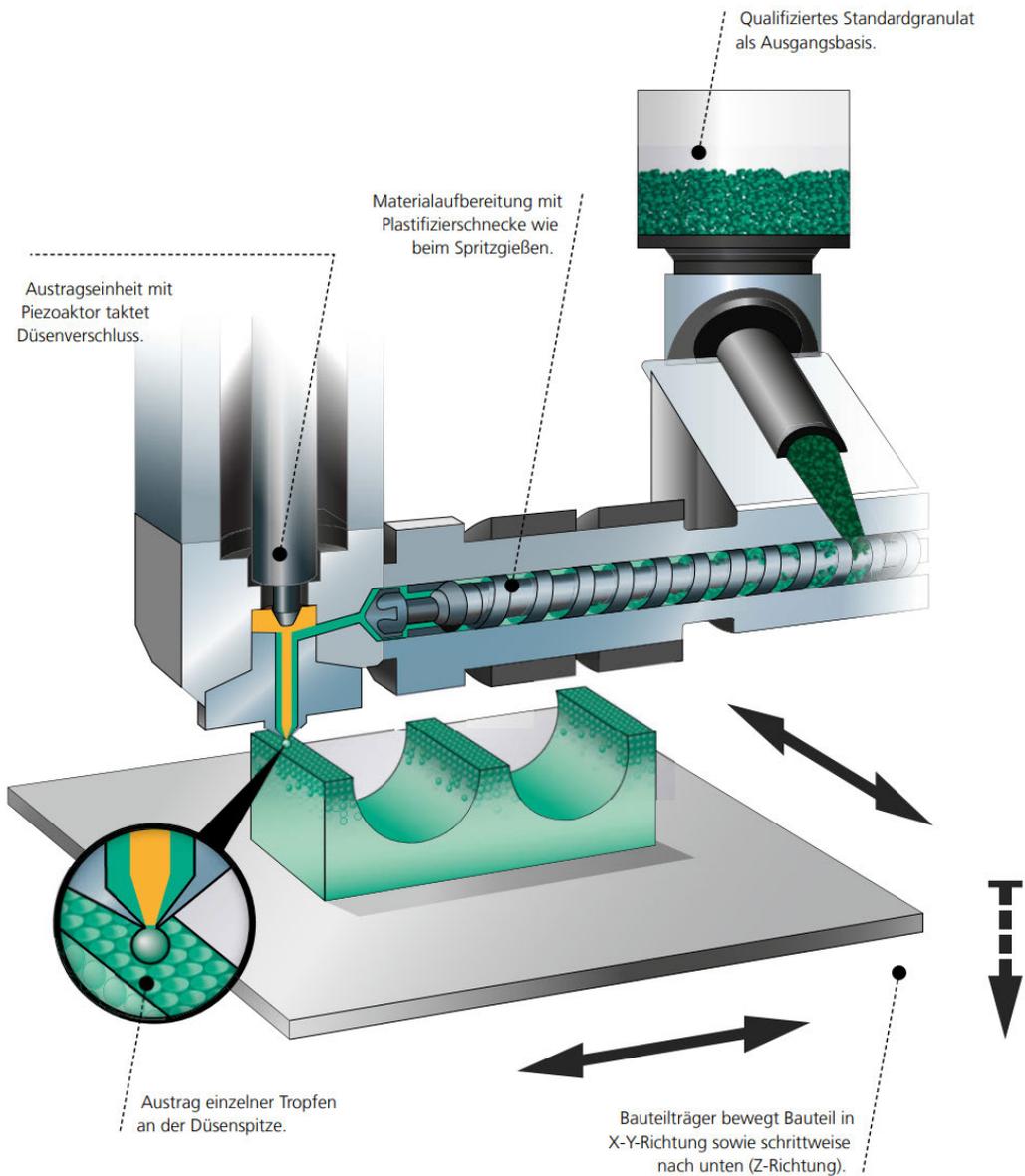


Abbildung 2.1.: Funktionsweise eines Arburg freeformers [2]

In Abb. 2.1 ist ein schematischer Aufbau einer Austrageinheit des AKF-Verfahrens abgebildet. Das granuliertem Material befindet sich im oben rechts dargestellten Behälter. Das Material gelangt aus dem Behälter über eine Schüttvorrichtung in die Plastifizierungsschnecke. In der Schnecke wird das Material auf die gewünschte Temperatur erhitzt. Das Erhitzen ist durch drei an der Schnecke und einem an der Düse platzierten, einzeln steuerbaren Temperaturelementen sehr präzise möglich. Durch horizontales vor und zurück bewegen der Plastifizierungsschnecke wird dafür gesorgt, dass immer ausreichend Material an der Düse zur Verfügung steht. Der einzelne Tropfen wird durch den Pie-

zoaktor aus der Düse ausgetragen. Der Bauteilträger verfährt horizontal und vertikal, um die gewünschte Geometrie Schicht für Schicht aufzubauen. Die unbewegliche Austragseinheit und das Austragen einzelner Materialtropfen anstatt von Materialsträngen sind die relevanten Unterscheidungsmerkmale des AKF-Verfahrens zum Fused Deposition Modeling (FDM). Als Bauplattform kann eine ABS-Platte von Arburg oder eine frei wählbare Platte, die der erforderlichen Geometrie entspricht, aus individuellem Material verwendet werden. Die Bauplattform wird durch eine Vakuumpumpe auf dem Bauteilträger fixiert und nach dem Ende des Drucks gemeinsam mit dem Bauteil aus dem Bauraum genommen. [2] [3]

Als Material können von Arburg qualifizierte Spritzgussgranulate verwendet werden. Das Verwenden von anderen Granulatmaterialien ist möglich, wenn sie mit dem freeformer förder- und plastifizierbar sind, wie die in dieser Arbeit verwendeten SKK. Der gesamte Bauraum ist beheizbar, sodass für jedes Material die optimale Bauraumtemperatur einstellbar ist. [2]

In dem freeformer 300-3X sind bis zu drei der in Abb. 2.1 abgebildeten Auftragseinheiten vorhanden. Dadurch können Bauteile mit bis zu drei unterschiedlichen Materialien gefertigt werden. Die Düse ist austauschbar, sodass die Druckqualität variiert werden kann [3]. In dieser Arbeit wird ausschließlich eine Düse mit einem Durchmesser von 200  $\mu\text{m}$  verwendet.

$$ff = \frac{\text{Tropfenbreite}}{\text{Tropfenhöhe}}$$

Der Formfaktor (ff), der Austragswert (A), die Füllichte und das Temperaturprofil sind die wesentlichen veränderbaren Parameter des freeformers. Der Auftragswert regelt die Tropfenhöhe, der Formfaktor bestimmt das Verhältnis von Tropfenbreite zu Tropfenhöhe und die Füllichte verändert die Anzahl der nebeneinander abgelegten Linien von Tropfen. In dieser Arbeit wird das Temperaturprofil als wesentlicher Hebel zur Veränderung von Masseigenschaften verwendet.

### 2.2.2. Additive Fertigung von Synthetikautschukklebmassen

Die Verarbeitung von SKK mit Additiven Fertigungsverfahren, und speziell mit dem AKF-Verfahren, wurde in vorangegangener Forschung bei tesa untersucht. Diese Untersuchungen bilden die Grundlage für das Verwenden von SKK in der Additiven Fertigung.

Die Forschung liefert als Ergebnis einen Prozess für ein altes Model des freeformers mit dem SKK gut verarbeitet werden können. Der Prozess wird durch die unter 2.2.1 be-

## 2. *Stand der Technik*

schriebenen Parameter definiert. In Tabelle 3.1 sind die Parameter des Ausgangsprozesses abgebildet. Dieser Prozess muss auf den neuen freeformer angepasst werden, da die Geometrie der Austragseinheit verändert wurde [3]. Auch die Flächenfüllung ist im Vergleich zum Ausgangsprozess zu verdichten.

Die vorangegangenen Ergebnisse deuten auf eine verarbeitungstemperaturabhängige Performance in klebtechnischen Eigenschaften der 3D-gedruckten Klebmassen hin [9]. Diese Aussicht auf Steuerung der Eigenschaften wird in dieser Bachelorarbeit untersucht.

# 3. Versuchsvorbereitung

In diesem Kapitel werden die Herstellung von SKK, das Einfahren des neuen freeformers 300-3X mit SKK, in dieser Arbeit verwendete Prüfmethode und die notwendigen Anpassungen derer, das Vorgehen im Versuch und die Bezeichnungen der gefertigten Proben erläutert.

## 3.1. Klebmassenherstellung

Die Herstellung der in dieser Arbeit verwendeten Klebmassen erfolgt im Extrusionsverfahren. In Abb. 3.1 ist das Verfahren schematisch dargestellt. Das Ausgangsmaterial, das als Granulat vorliegt, befindet sich im Trichter. Das Granulat fällt aus dem Trichter in den Hohlraum des Zylinders. Im Zylinder wird es durch die anliegende Heizung und die von der angetriebenen Schnecke eingebrachte Scherenergie aufgeschmolzen. Das aufgeschmolzene Material strömt aus dem offenen Ende des Extruders aus. An diesem Ende des Extruders können Düsen angebracht werden, die die Geometrie des ausströmenden Materials formen. An sich können mithilfe des Extrusionsverfahrens z.B. endlose Profile und Rohre hergestellt werden. [1]

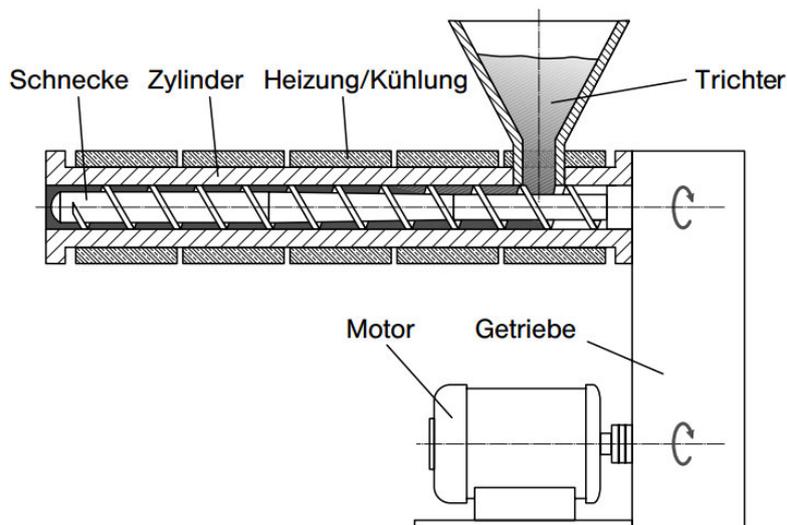


Abbildung 3.1.: Schematische Darstellung des Extrusionsprozesses [1]

### 3. Versuchsvorbereitung

Die Herstellung der in dieser Arbeit verwendeten Synthesekautschukklebmassen ist grundlegend, wie in Abb. 3.1 zu sehen, aufgebaut. Die Herstellung erfolgt in einer Forschungsproduktionsanlage auf dem Gelände der tesa SE. In Abb. 3.2 ist der Aufbau der Produktionsanlage schematisch dargestellt. Es werden zwei unterschiedliche Arten von Extrudern verwendet, ein Planetwalzenextruder (PWE) und ein Doppelschneckenextruder (DSE). In einem PWE befinden sich mehrere frei drehende Schnecken, die um eine zentral im Zylinder positionierte angetriebene Schnecke angeordnet sind. Die wesentlich kleineren frei drehenden Schnecken werden durch die Rotation der zentralen Schnecke angetrieben. In einem DSE befinden sich zwei angetriebene Schnecken, die im Zylinder nebeneinander angeordnet sind. Die Schnecken können gegenläufig oder gleichläufig bewegt werden.

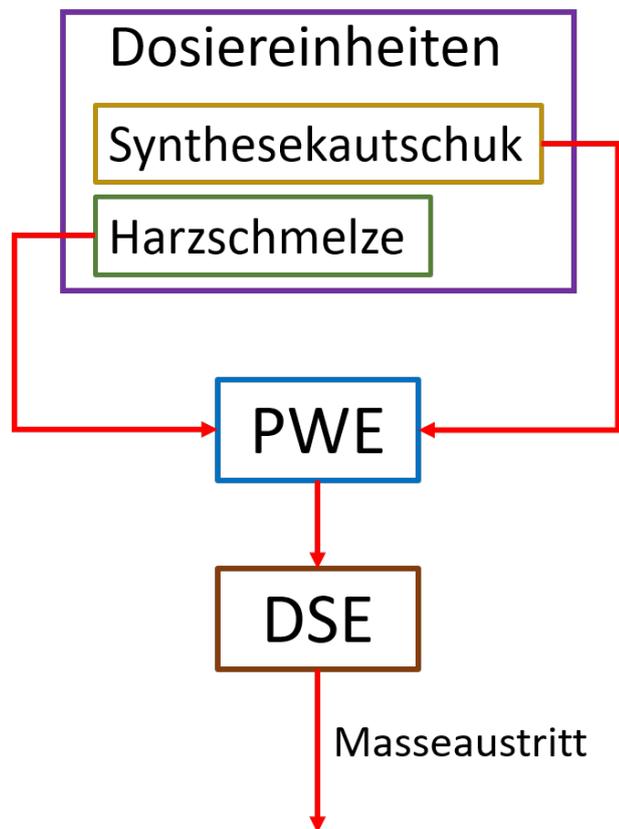


Abbildung 3.2.: Schematische Darstellung des Klebmassenherstellungsprozesses [9]

Die Bestandteile der Klebmasse werden im PWE gemischt (siehe Abb. 3.2). Der Synthesekautschuk, der als Granulat vorliegt, wird über eine Dosiervorrichtung in den PWE eingebracht. Das Harz wird in flüssiger Form durch eine Schmelzepumpe in den PWE gefördert. Der PWE sorgt durch seinen Aufbau für viel Scherung, die zu einer guten Durchmischung der Klebmasse führt. Durch die große Scherung kommt es jedoch zu einem hohen Lufteintrag in die Masse. Die Klebmasse wird aus dem PWE in den DSE gefördert (siehe Abb. 3.2). Der DSE sorgt für die Entgasung der Masse. Am Ende des

### 3. Versuchsvorbereitung

DSE befindet sich eine Schmelzempumpe, die für die Formung eines einheitlichen Massestrangs sorgt, der am Masseaustritt austritt.

In dieser Arbeit werden drei unterschiedliche Masserezepturen verwendet. Jede Klebmasse wird jeweils auf zwei unterschiedliche Weisen nach dem Extrusionsprozess weiterverarbeitet. Es wird doppelseitiges Tape und Granulat zur Verwendung im freeformer hergestellt. Das doppelseitige Tape dient dazu Prüfungsergebnisse additiv verarbeiteter Klebmassen mit denen von Tape der gleichen Rezeptur zu vergleichen. Das Tape wird durch Kalandrieren hergestellt. Hierbei wird die noch warme Klebmasse in einen Spalt zwischen zwei Walzen gefördert. Der Spalt zwischen den Walzen ist einstellbar und definiert die Dicke des Tapes. Auf Beiden Walzen werden Liner, die von der Klebmasse getrennt werden können, geführt. Über eine Konstruktion von Rollen wird das doppelseitige Tape auf einen Tape-Kern aufgerollt.

Das Problem in der Granulatherstellung und -verwendung von SKK stellt die haftende Oberfläche der Masse dar. Aus diesem Grund wird in der Herstellung Talkum zum Deaktivieren der Oberflächen von Strängen und Granulaten verwendet. Ohne Talkum würden die Granulatkörner zusammenkleben und wären im Verarbeitungsprozess nicht mehr schüttfähig. Der Granulierungsprozess kann in drei Teilschritte unterteilt werden. Der erste Schritt besteht aus dem Abkühlen der Masse. Hierfür wird der aus dem Masseaustritt des DSE austretende Massestrang in ein Wasserbad geführt. Anschließend wird der Strang mit Talkum bestäubt. Der zweite Schritt des Herstellungsprozesses ist das eigentliche Granulieren der Stränge in einem Granulator. In dem Granulator wird der Strang durch rotierende Messer zu Granulat verarbeitet. Durch das Schneiden der Stränge sind anfassklebrige Schnittkanten entstanden, weshalb das Granulat erneut mit Talkum bestäubt wird. Im letzten Schritt wird das Granulat gewaschen, um überschüssiges Talkum zu entfernen.

## 3.2. Einfahren der Masse auf dem neuen freeformer 300-3X

Die vorangegangene Forschung liefert zur Verarbeitung von SKK einen Maschinenparametersatz, der für ein Vorgängermodell des freeformers 300-3X entwickelt wurde. Der neue freeformer ist von der Funktionsweise identisch zu dem Vorgängermodell und unterscheidet sich im wesentlichen in der Geometrie der Austragseinheit, welche das Wechseln der Düse vereinfacht.

Die ersten Probedrucke von SKK haben gezeigt, dass die Flächen unterfüllt sind. Die Unterfüllung war auch beim Ausgangsprozess noch ein Problem, welches durch die Com-

### 3. Versuchsvorbereitung

putertomographie-Aufnahme (CT-Aufnahme) des Ausgangsprozesses in Abb. 3.3 deutlich wird. Dementsprechend musste der Formfaktor und der Austragswert, auf die in der Tabelle 3.1 stehenden Werte, angehoben werden. Die Maßhaltigkeit des Fertigungsergebnisses konnte sowohl in der xy-Ebene als auch in z-Richtung, mithilfe eines 3D-Mikroskops, bestätigt werden.

<b>Parameter</b>	<b>Ausgangs- prozess</b>	<b>neuer Prozess</b>
Formfaktor	1,68	1,75
Austragswert	75 %	105 %
Füllichte	100 %	100%

Tabelle 3.1.: Alte und neue Prozessparameter

In Abb. 3.4 und Abb. 3.3 sind zwei CT-Aufnahmen zu sehen. Abb. 3.4 zeigt einen dreischichtigen Ausdruck des aktuellen Prozesses und Abb. 3.3 einen sechsschichtigen des Ausgangsprozesses. Beide CT-Aufnahmen sind in der selben Auflösung dargestellt. Die lila dargestellten und gelb umrandeten Bereiche sind die verwendete Klebmasse. Die schwarzen Bereiche sind Luft bzw. Lufteinschlüsse. Vergleicht man die beiden Aufnahmen so wird deutlich, dass die Flächenfüllung durch die Parameteranpassungen verdichtet werden konnte. Nur zwischen der zweiten und der dritten Schicht sind größere Lufteinschlüsse, die vernachlässigbar klein sind, zu erkennen.

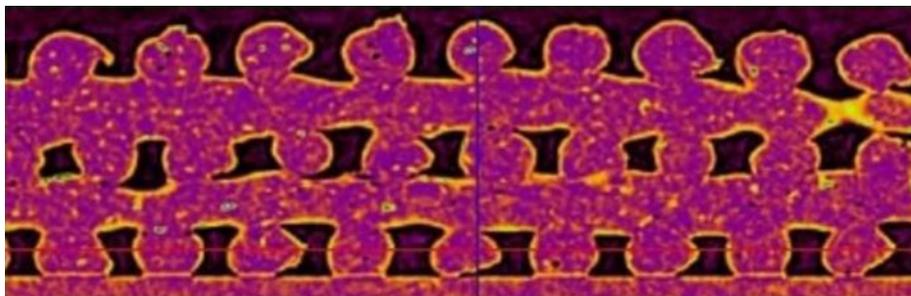


Abbildung 3.3.: CT des Ausgangsprozesses

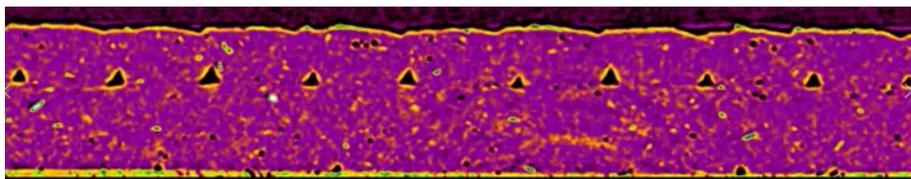


Abbildung 3.4.: CT eines aktuellen dreischichtigen Ausdrucks

### 3.3. 3D-Mikroskopie

Die 3D-Mikroskopie wird verwendet, um die gefertigten Proben hinsichtlich der Geometrie zu überprüfen. Es wird dazu das 3D-Profilometer VR-2000 der Firma Keyence verwendet. Das Messergebnis ist ein Höhenprofil, wie es in Abb. 3.5 zusehen ist. Die Farben in der 3D-Aufnahme stellen die Höhe des jeweiligen Punktes dar. Blau ist der minimale und rot der maximale ermittelte Höhenbereich. Das Rote in der Abbildung ist die Verklebung. Die Funktionsweise des Messgerätes beruht auf dem Lichtschnittverfahren, mit dem durch reflektierende Lichtstreifen Höhenunterschiede mithilfe von Triangulation ermittelt werden.

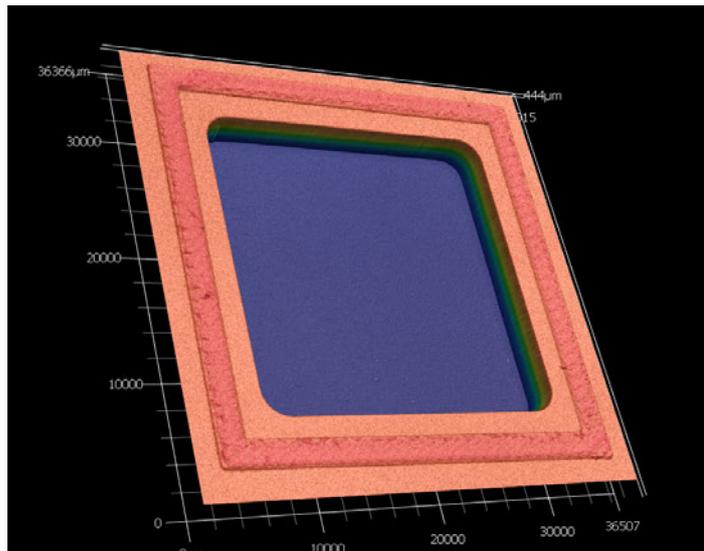


Abbildung 3.5.: 3D-Aufnahme einer Verklebung

In Abb. 3.6 ist der schematische Aufbau der Triangulation dargestellt. Beim Triangulationsverfahren projiziert ein Laser einen Punkt auf das Messobjekt. Der Laserstrahl wird reflektiert und trifft unter einem von der Entfernung zwischen Laser und Messpunkt abhängigen Winkel auf den Detektor. Die Entfernung des Messpunktes wird durch die Position des reflektierten Laserstrahls auf dem Detektor und dem Abstand zwischen Laser und Detektor ermittelt. Beim Lichtschnittverfahren werden, statt einem Lichtpunkt, mehrere Linien verwendet. Die Lichtquelle sendet ein Lichtstreifenmuster aus, welches von einem unter einem anderen Winkel positioniertem Kameraobjektiv aufgenommen wird. Aus den Verschiebungen der Lichtstreifen, die durch die Höhenunterschiede auf der Oberfläche des Messobjektes entstehen, kann die Position jedes Punktes ermittelt werden. [10]

Dieses Verfahren erfordert diffus reflektierende Oberflächen, weshalb die transparenten Klebmassen vor dem Messvorgang mit einem nanoskalierten Mattierungsspray behandelt werden.

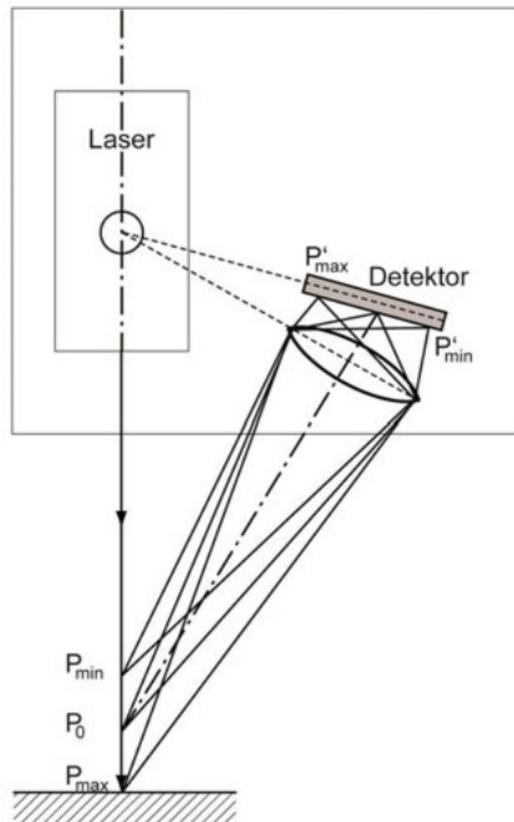


Abbildung 3.6.: Prinzip der Triangulation [10]

## 3.4. Push-Out-Prüfung

Die Push-Out-Prüfmethode ist eine Prüfung, die entwickelt wurde um die Eignung von doppelseitigen Klebebändern zur Verklebung von Displayfenstern zu bewerten. In diesem Fall, der Grundlagenforschung, ist die Prüfmethode ein Werkzeug, additiv gefertigte Klebmassen miteinander und mit konventionellen Doppelseitigen Klebebändern zu vergleichen. Die im Anhang A.1 beschriebene Variante der Prüfmethode, wurde auf die Chancen und Herausforderungen der additiven Fertigung und die für diese Arbeit relevanten Ergebnisse angepasst. Im Folgenden werden die Prüfmethode an sich, die Herstellung der Prüfkörper und die Art und Weise der Auswertung erläutert.

### 3.4.1. Herstellung der Prüfkörper

Der Prüfkörper besteht aus drei Komponenten: dem Polycarbonat(PC)-Rahmen, dem PC-Fenster und der Verklebung (siehe Abb. 3.7). Die PC-Komponenten werden vor dem Druck und vor der Fügung gründlich mit Ethanol gereinigt und anschließend im Prüfklima getrocknet.

### 3. Versuchsvorbereitung

Die Herstellung der Verklebung wurde auf die Möglichkeiten der Additiven Fertigung angepasst. Die gewünschte Geometrie der Verklebung wird nicht, wie in der Prüfvorschrift gefordert, gelasert oder gestanzt, sondern direkt auf den Rahmen gedruckt. Eine Ausnahme stellen die sogenannten 2S\*-Prüfkörper dar, da bei diesen Prüfkörpern auf beide zu verklebenden Komponenten Klebmasse aufgetragen wird. Beide Komponenten werden nach der Herstellung der Verklebung zusammengefügt.

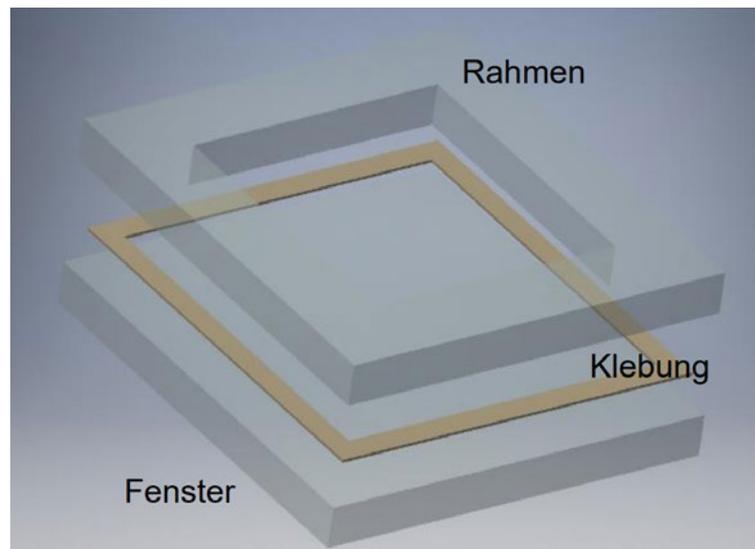


Abbildung 3.7.: Aufbau Push-Out Prüfkörper [9]

Die geprüften Geometrien unterscheiden sich nur in der Höhe. Die für das Bedrucken der PC-Substrate notwendigen Vorrichtungen zur Fixierung auf der Bauplattform, werden mittels dem in der zweiten Austrageinheit des freeformers befindlichem Baumaterial auf die Bauplattform gedruckt, wie in Abb. 3.8 zu sehen ist.

Die Applikation des Rahmens auf das Fenster ist wie in der Prüfvorschrift mithilfe der Applikationsvorrichtung durchzuführen. In dieser Arbeit wird jedoch zwischen zwei Arten der Fügung unterschieden, „kalter“ und „warmer“ Fügung. Die kalte Fügung stellt die Verklebung nach Prüfvorschrift dar und beinhaltet eine fünf sekundige Verpressung des gesamten Prüfkörpers, nach Applikation des Rahmen, mit 245 N bei einer Temperatur von 23°C. Als warme Fügung, die als Alleinstellungsmerkmal der Additiven Fertigung von Klebmassen betrachtet werden kann, wird die Verklebung des Prüfkörpers direkt nach der Fertigung bei einer Bauraumtemperatur von 70°C verstanden. Der bedruckte Rahmen wird aus dem Bauraum genommen, unmittelbar auf das Fenster appliziert und der gesamte Prüfkörper mit einer Kraft von 59 N verpresst. Bei den 2S\*-Prüfkörpern wird sowohl auf das PC-Fenster, als auch auf den PC-Rahmen gedruckt und anschließend warm gefügt. Das warme Fügen wird zusätzlich zur konventionellen Fügungsvorgehensweise untersucht.

### 3. Versuchsvorbereitung

Beim warmen Fügen ist anzunehmen, dass die Performance durch gesteigert werden kann, da durch die Temperatur im Verarbeitungsprozess die Klebmasse weniger Viskos ist und somit die Oberfläche des Substrats besser von der Klebmasse benetzt werden kann.

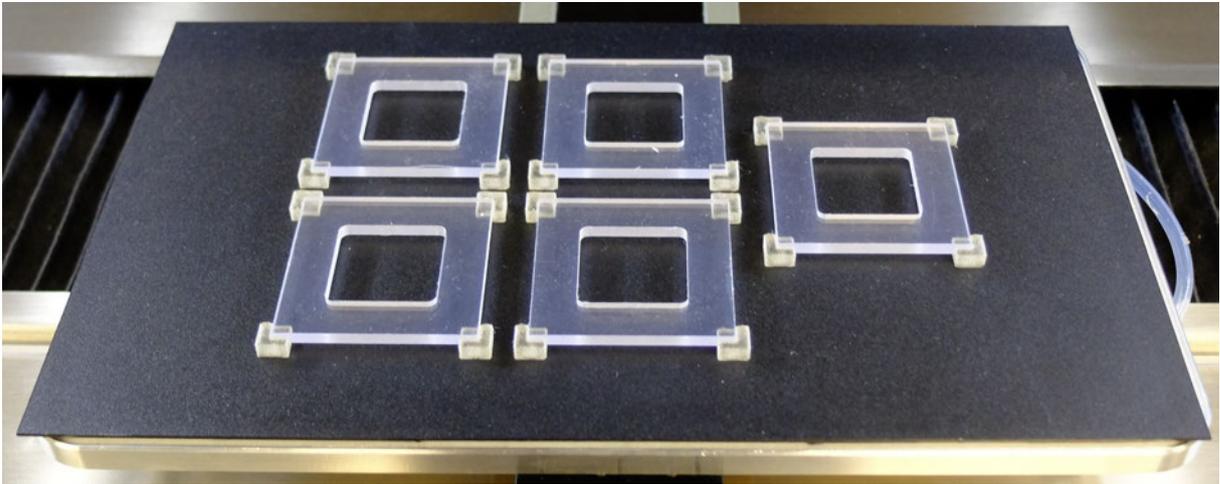


Abbildung 3.8.: Aufbau Push-Out Prüfkörper auf Bauplattform

#### 3.4.2. Prüfmethode

Bei der Push-Out-Prüfung wird die Verklebung mit einer definierten Geschwindigkeit senkrecht zur gefügten Fläche belastet. Diese Belastung der Verklebung wird nach Habenicht als exzentrische Zugbelastung bezeichnet [8]. Die Kraft in Abhängigkeit vom zurückgelegten Weg stellt die gemessene Größe der Prüfung dar. Als zu prüfende Geometrie wurde, wie in Anhang A.1 zu sehen ist, ein Quadrat mit einer äußeren Kantenlänge von 33 mm und einer inneren Kantenlänge von 29 mm gewählt. Der Prüfkörper wird auf die in Abb. 3.9 zu sehende Push-Out-Vorrichtung positioniert. Der am Kraftaufnehmer befestigte Stempel wird mit einer definierten Geschwindigkeit von 10 mm/min senkrecht zum Prüfkörper bewegt. Das Fenster wird durch diesen Vorgang vom Rahmen, der durch die Push-Out-Prüfvorrichtung in Z-Richtung fixiert ist, gedrückt. Sobald die Kraft um 20 % der unmittelbar zuvor gemessenen Kraft absinkt, wird die Prüfung beendet. Der Kraftsensor nimmt während des gesamten Vorgangs die zum beibehalten der definierten Geschwindigkeit notwendigen Kraft auf.

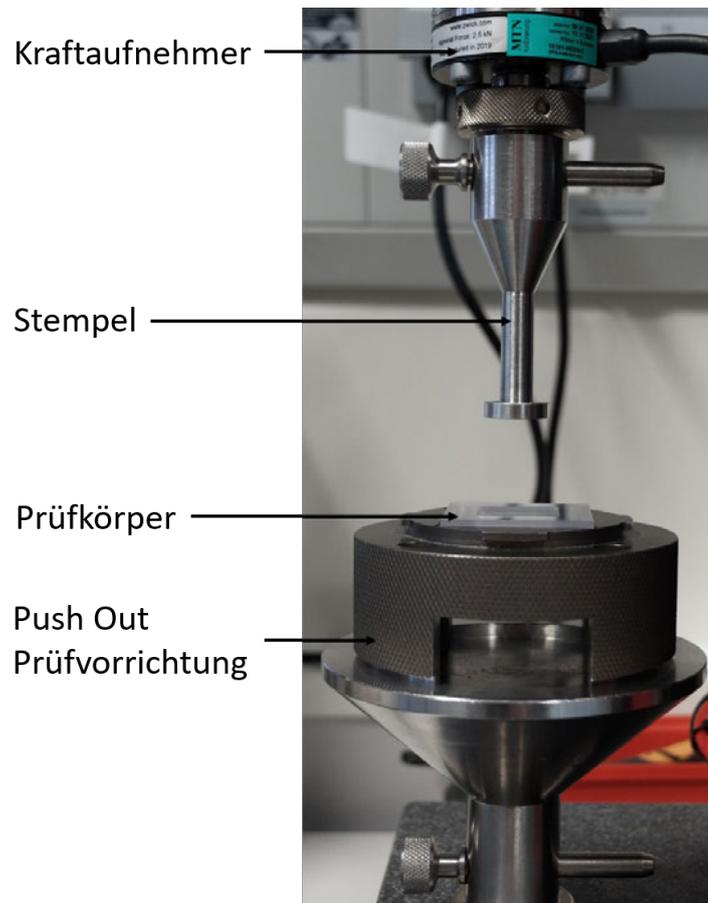


Abbildung 3.9.: Aufbau Push-Out Prüfung

#### 3.4.3. Auswertung

Die Grundlage der Auswertung bildet der aufgenommene Kraft-Weg-Verlauf des Stempels. In Abb. 3.10 sind drei Kraft-Weg-Verläufe zu sehen, wie sie bei ein-, zwei- und dreischichtigen additiv gefertigten Proben auftreten. Der Graph stellt den gesamten Kraftverlauf bis zum kompletten Versagen der Verklebung da und die Fläche unter dem Graph ist die von der Verklebung aufgenommene Energie. In Abb. 3.10 sind alle Maxima der Graphen mit einem x markiert. Nach der Prüfvorschrift wird die maximal ermittelte Kraft und die von der Verklebung aufgenommene Energie als Ergebnis gefordert. Eine Verklebung hat jedoch bereits nach dem ersten Kraftmaximum versagt. Aus diesem Grund wird in der Auswertung immer das erste Kraftmaximum betrachtet. Als Ergebnis für das erste Kraftmaximum, liegt in dieser Arbeit mindestens eine dreifach Bestimmung des entsprechenden Datenpunktes zugrunde. Das Ergebnis ist der Mittelwert aus den drei- oder mehrfach Bestimmungen.

### 3. Versuchsvorbereitung

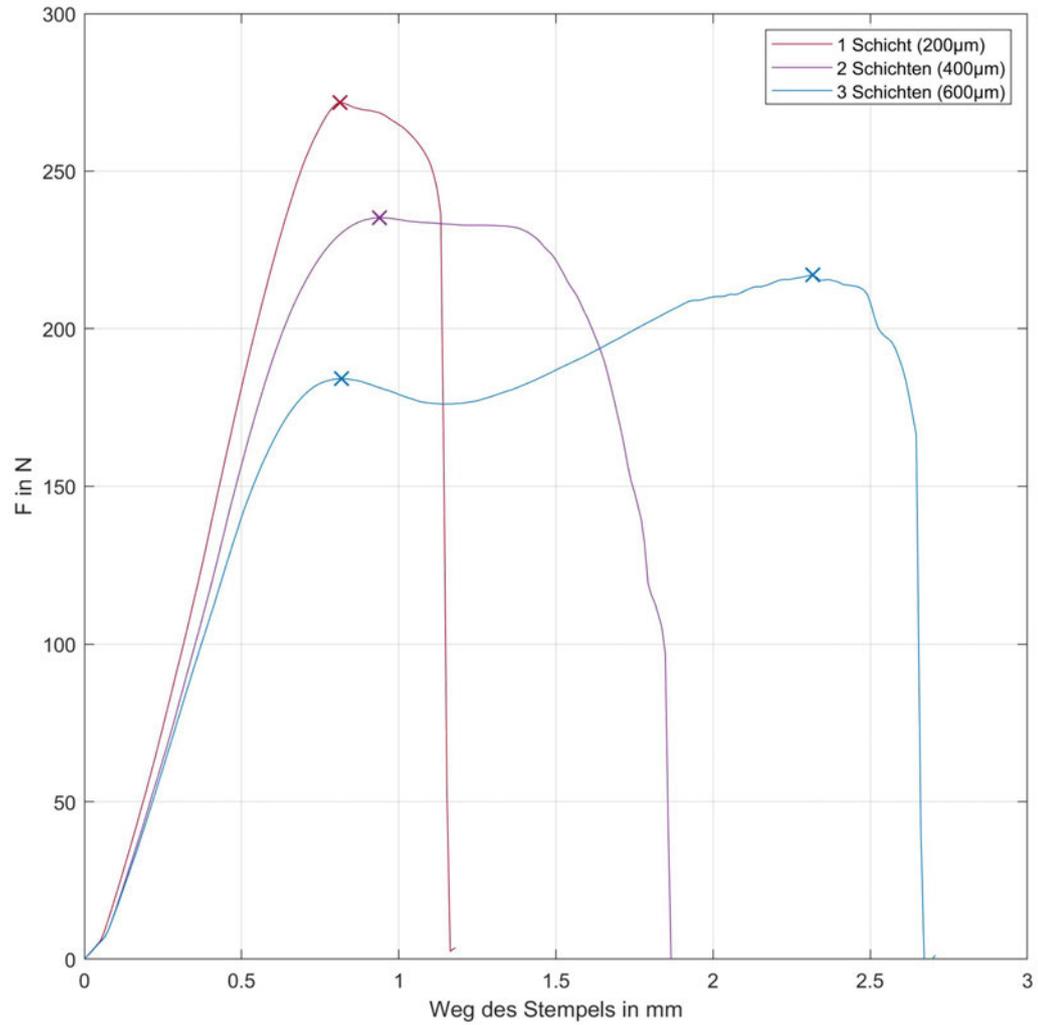


Abbildung 3.10.: Kraft-Weg-Verlauf für 1-, 2- und 3-schichtige Push-Out-Proben

### 3.5. Mikroscherweg-Prüfung

Die Mikroscherweg Prüfmethode wurde entwickelt, um die Scherfestigkeit von Klebebändern bei gleichbleibender Temperatur festzustellen. In dem Anwendungsfall dieser Arbeit wird diese Methode sowohl zum Überprüfen der Scherwege, der zu prüfenden Proben, als auch zum Vergleich verschiedener Masserezepturen und Prozessparameter eingesetzt. Dieser Prüfmethode liegt eine Prüfvorschrift, die entsprechend der Anwendung der Additiven Fertigung von Klebmassen angepasst werden muss, zugrunde (siehe Anhang A.2). Im Folgenden werden die Prüfmethode an sich, die Herstellung der Prüfkörper und die Art und Weise der Auswertung erläutert.

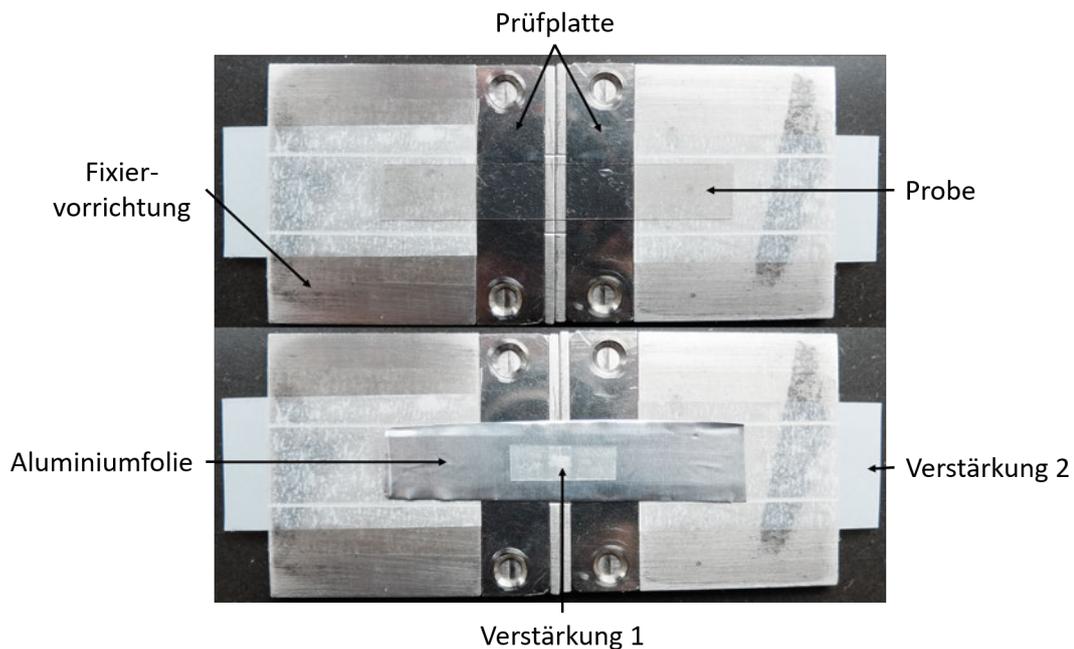


Abbildung 3.11.: Mikroscherweg - Prüfkörper

#### 3.5.1. Herstellung der Prüfkörper

Der Prüfkörper besteht aus fünf Komponenten: der Prüfplatte, der Probe (gedruckte Klebmasse), der Aluminiumfolie, der Verstärkung 1 und der Verstärkung 2 (PET Folie 40  $\mu\text{m}$  dick) (siehe Abb. 3.11). Zur Applikation der Probe auf die Prüfplatte und auf die Verstärkung 2 wird in der Prüfvorschrift (siehe Anhang A.2) eine Fixier- vorrichtung verwendet. Damit auch die additiv gefertigten Proben mit anderen Proben vergleichbar bleiben, wurde auch weiterhin die Fixier- vorrichtung verwendet. Die Probe wird anders als in der Prüfvorschrift direkt auf die Prüfplatte und die Verstärkung 2 gedruckt. Der gesamte Aufbau, die Prüfplatte und die Fixier- vorrichtung, müssen auf der Bauplatte fixiert werden. Dafür werden, wie in Abb. 3.12 zu sehen ist, mit dem in der zweiten Austrage- einheit des freeformers befindlichem Baumaterial, kleine Vorrichtungen, die eine horizontale

### 3. Versuchsvorbereitung

Verschiebung (xy-Ebene) blockieren, direkt auf die Bauplattform gedruckt. Vor dem Drucken der Probe muss die Prüfplatte mit Aceton gereinigt werden. Auf die Fixierplattform wird mit doppelseitigem Klebeband die Verstärkung 2 angebracht. Anschließend kann die Probe in der in Abb. 3.12 zu sehende Lage gefertigt und gemäß Prüfvorschrift nach dem Druck mit der Aluminiumfolie abgedeckt werden. Die Probe ist nun mit einer 2 kg schweren Stahlrolle drei Mal (hin und her) zu überrollen. Nach applizieren der Verstärkung 1 kann die Probe zwischen den zwei Fixierplatten geschnitten werden. Vor dem Einspannen der Prüfkörper in die Messmaschine ist eine Hosenträgerklammer zur Befestigung des Gewichts an den Prüfkörper anzubringen.

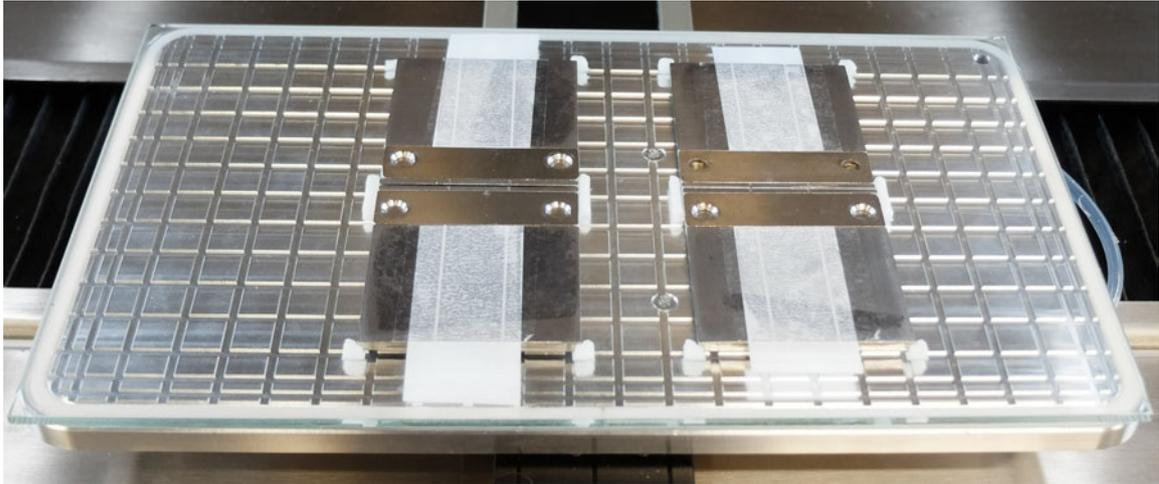


Abbildung 3.12.: Mikroscherweg - Prüfkörper auf Bauplattform

#### 3.5.2. Prüfmethode

Zuerst wird der Messraum der Messmaschine auf 43 °C aufgeheizt. Anschließend wird der Prüfkörper, so wie in Abb. 3.13 zu sehen ist, in doppelter Ausführung und mithilfe der Rändelschrauben in die Messmaschine eingespannt sowie das Gewicht, in diesem Fall 500 g, in die Hosenträgerklammern eingehängt. Das zu verwendende Gewicht hängt von der Dicke der Verklebung und der verwendeten Klebmasse ab und ist so zu wählen, das Belastbare Ergebnisse zu erwarten sind. Das Gewicht muss in Vorversuchen ermittelt werden. Nach dem Anhängen der Gewichte kann die Messung gestartet werden und der Messtaster fährt runter, bis er die Verstärkung 1 erreicht. Der Messtaster wird in dieser Position genullt. Nun fährt der hydraulische Tisch in die in Abb. 3.13 zu sehende Position. Als Ergebnis liefert diese Prüfmethode den Weg-Verlauf des Messtasters über die Zeit. Die ersten 15 min lang hängt das Gewicht am Testkörper. Nach den 15 min wird der hydraulische Tisch hochgefahren, sodass das Gewicht nicht mehr am Testkörper hängt. Der Weg-Verlauf wird während der nächsten 15 min aufgezeichnet, um den Relaxationsverlauf der Verklebung zu messen. Folglich beträgt die Prüfzeit insgesamt 30 min.

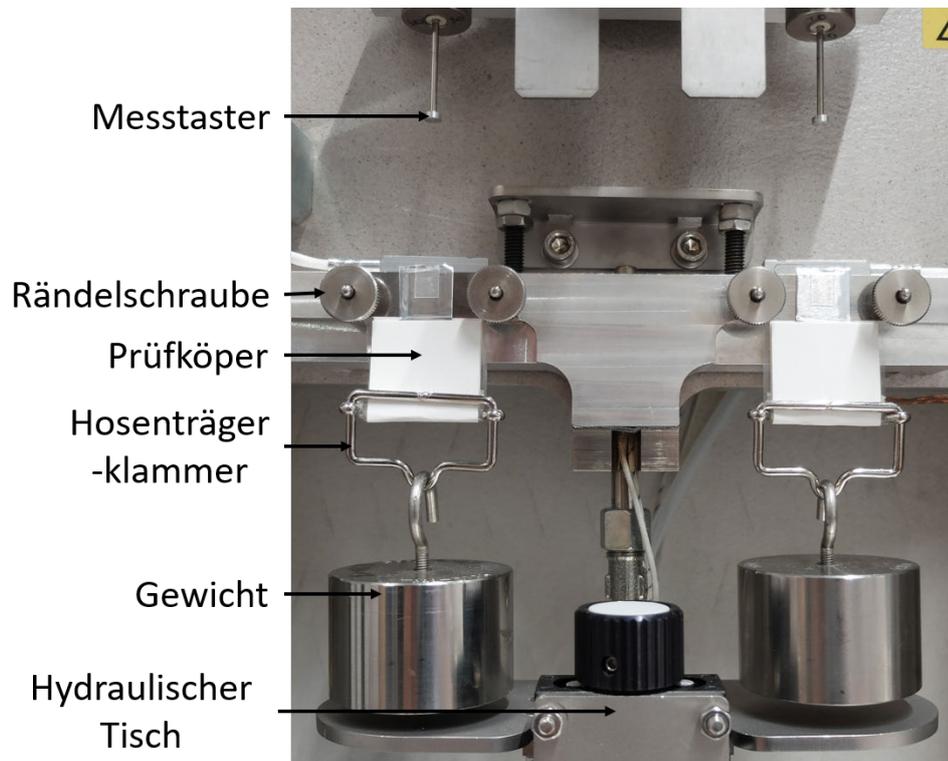


Abbildung 3.13.: Prüfaufbau Mikroscherweg

#### 3.5.3. Auswertung

In Abb. 3.14 ist der Weg-Zeit-Verlauf einer Mikroscherweg Messung und einer Messung eines Vergleichstapes aus dem selben Material mit ähnlicher dicke zu sehen. Dieser aufgenommene Graph bildet die Grundlage für die Auswertung. Interessant in dieser Arbeit sind pro Graph zwei Merkmale: die Form des Graphen und der Scherweg (Wert nach 15 min). In Abb. 3.14 kann die Form der Graphen sehr gut miteinander verglichen werden. Der rote und der lilane Graph sind beides Scherwege gedruckter Verklebungen, die wie in Abschnitt 3.5.1 beschrieben mit der selben Masse und den selben Parametern hergestellt wurden. Die beiden Scherwege der gedruckten Verklebung weichen in ihrem Verlauf gering voneinander ab. Der Graph des Vergleichstapes weicht in der Form verglichen mit den gedruckten Proben nur in der zu sehenden Wellenform und in dem Scherweg von den gedruckten Graphen ab. Die Steigung nachdem ersten Sprung aller Graphen kann als annähernd gleich betrachtet werden. Die Performance der gedruckten Verklebungen ist in diesem Fall besser als die des Vergleichstapes. Der Scherweg lässt sich durch Ablesen ermitteln, wird aber auch als Ergebnis der Messungen durch das Messprogramm angegeben (In Abb. 3.14 jeweils mit einem x nach 15 min markiert). Die Grundlage des Mikroscherwegs bildet in dieser Arbeit mindestens eine dreifach Bestimmung eines Datenpunktes. Als Wert wird immer der gemittelte Wert aus den drei- oder mehrfach Bestimmungen angegeben.

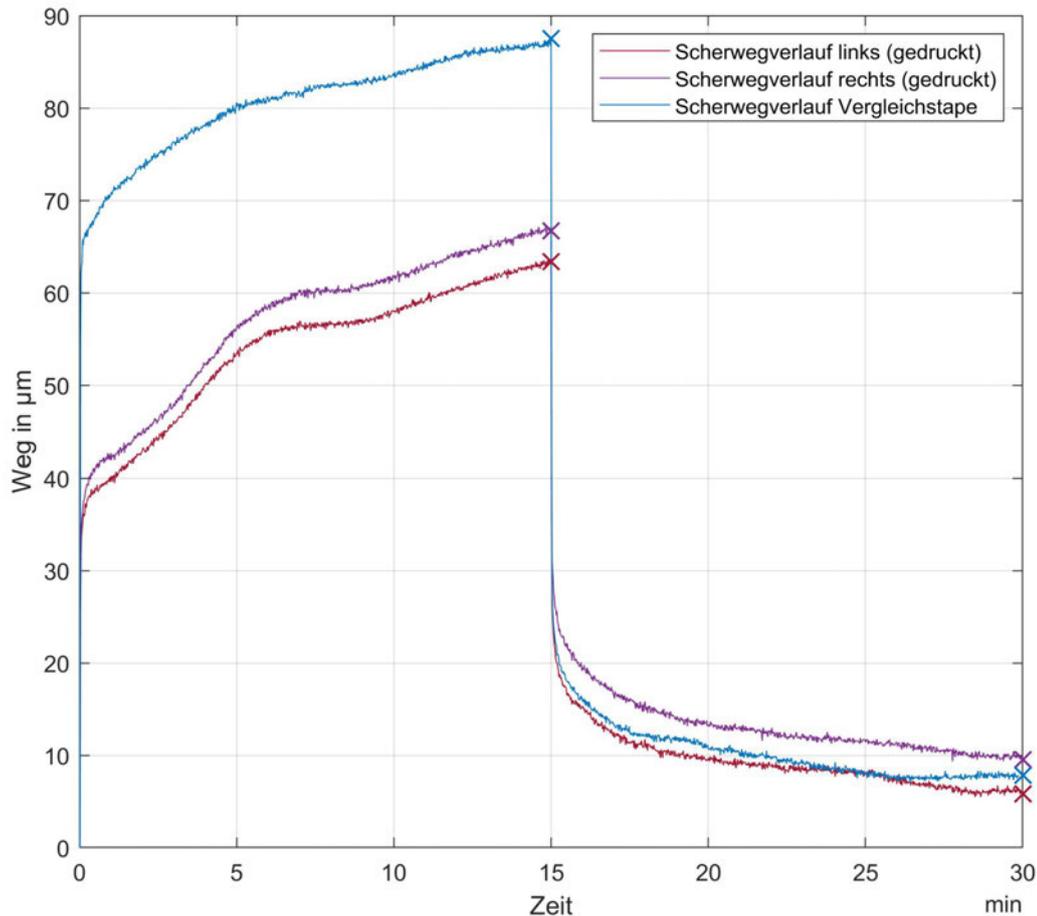


Abbildung 3.14.: Weg-Zeit-Verlauf - Mikroscherweg-Prüfung

### 3.6. Vorgehen

Wie aus der Aufgabenstellung hervorgeht wird in dieser Arbeit ein stabiler Prozessbereich für Synthesekautschukklebmassen unterschiedlicher Rezepturen gesucht. Vorangegangene Forschungsergebnisse weisen auf einen Einfluss der Verarbeitungstemperatur auf die Klebperformance von additiv verarbeiteten Synthesekautschukklebmassen hin. Folgerichtig ist ein Prozessbereich hinsichtlich der Verarbeitungstemperatur für Synthesekautschukklebmassen auszuarbeiten, um die Annahme der verarbeitungstemperaturabhängigen Performance zu überprüfen.

Wie bereits dargelegt bestehen Synthesekautschukklebmassen aus den Hauptkomponenten Harz und Synthesekautschuk. Diese Komponenten werden üblicherweise im Verhältnis 1:1 mit nur leichten Abweichungen gemischt [11]. Es wird versucht einen Prozessbereich zu definieren, der für alle Synthesekautschukklebmassen Gültigkeit besitzt. Um eine All-

### 3. Versuchsvorbereitung

gemeingültigkeitsaussage über den Prozessbereich treffen zu können, werden in dieser Arbeit die in Tabelle 3.2 zu sehenden Rezepturen verwendet. Kraton und A115 sind die Bezeichnungen für den verwendeten Synthetikautschuk bzw. das Harz. Diese Rezepturkombinationen decken einen großen Bereich der Rezepturmöglichkeiten der verwendeten Klebmassenklasse ab.

Bezeichnung	Synthetikautschuk	Harz
4555	45 % Kraton	55 % A115
5050	50 % Kraton	50 % A115
5545	55 % Kraton	45 % A115

Tabelle 3.2.: Rezepturen

Die Definition des Prozessbereichs geschieht auf Basis der Maßhaltigkeit der gefertigten Verklebungen und der Verarbeitbarkeit der Klebmasse mit dem freeformer 300-3X und wird durch die Push-Out- und Mikroscherweg-Prüfung auf ihre massespezifischen Klebeeigenschaften geprüft. Der Prozessbereich wird für die Rezeptur 5050 erarbeitet und anhand der zwei anderen Rezepturen überprüft.

Die im Kapitel 3 erläuterten Testverfahren werden in der Versuchsdurchführung zur Untersuchung der verarbeitungstemperaturabhängigen Klebperformance verwendet. Nach Eingrenzung des Prozessbereichs läuft die gesamte Versuchsdurchführung in sechs Phasen ab. Diese Phasen werden zuvor nicht starr strukturiert, um flexibel auf gewonnene Ergebnisse reagieren zu können. Im Folgenden werden die Phasen kurz erläutert. Die ersten fünf Phasen beinhalten die Push-Out-Prüfmethode und können in zwei Phasen für Grundlagenversuche und drei Phasen für Hauptversuche unterteilt werden. Die Hauptversuche unterscheiden sich nur durch die verwendete Massenrezeptur. Die sechste Phase beinhaltet die Mikroschwerweg-Prüfmethode. Die Phasen in denen die Push-Out-Prüfungen durchgeführt werden benötigen Vorversuche, da die Push Out Prüfung die Veränderung mehrerer Parameter möglich macht.

Alle Phasen machen die Untersuchung der klebtechnischen Eigenschaften von SKK, die in dem zuvor eingegrenzten Prozessbereich verarbeitet wurden, möglich. In den ersten zwei Phasen werden Push-Out-Prüfungen zur Entwicklung einer Teststrategie, die in den Phasen drei bis fünf angewendet wird, durchgeführt. Es wird eine Strategie entwickelt, die auf der einen Seite die Performance von additiv gefertigten SKK in der Push-Out-Prüfung mit Tape der selben Rezeptur vergleichbar und auf der anderen Seite eine mögliche verarbeitungstemperaturabhängige Performance erkennbar macht. Die Phasen drei bis fünf unterscheiden sich lediglich in der verwendeten Rezeptur. Die Performance der SKK in der Mikroscherweg-Prüfung erfordert keine Grundlagenversuche und wird in der sechsten

### 3. Versuchsvorbereitung

Phase durchgeführt. In dieser Arbeit besteht jeder ermittelte Datenpunkt aus mindestens drei Wiederholungsmessungen. Der Durchschnitt dieser Messungen bildet den Wert des Datenpunktes.

## 3.7. Probenbezeichnung

In Abb. 3.15 und Abb. 3.16 wird die Semantik der Probenbezeichnungen, die in der gesamten Versuchsdurchführung und Auswertung verwendet werden, erklärt. In beiden Abbildungen wird das Fügen als kontrolliertes Verkleben der Push-Out-Prüfkörper mit einer konstanten Kraft über eine vorgegebene Zeit verstanden. Die in Abb. 3.16 angegebenen Schichten sind die von dem freeformer 300-3X gefertigten Schichten. Eine Schicht entspricht 200 µm. In den Phasen 1 und 2 wird ausschließlich die eins zu eins gemischte Rezeptur (5050) verwendet. Der in der Abb. 3.15 lila markierte Kasten fällt in den Phasen 3 bis 6 weg, da sich für zwei einheitliche Fügemethoden entschieden wurde, die dem grünen Kasten in Abb. 3.16 zu entnehmen sind.

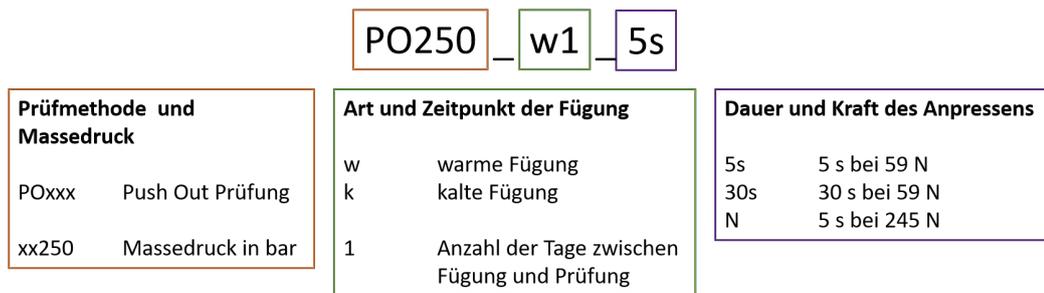


Abbildung 3.15.: Bezeichnung der Proben aus Phase 1 und 2

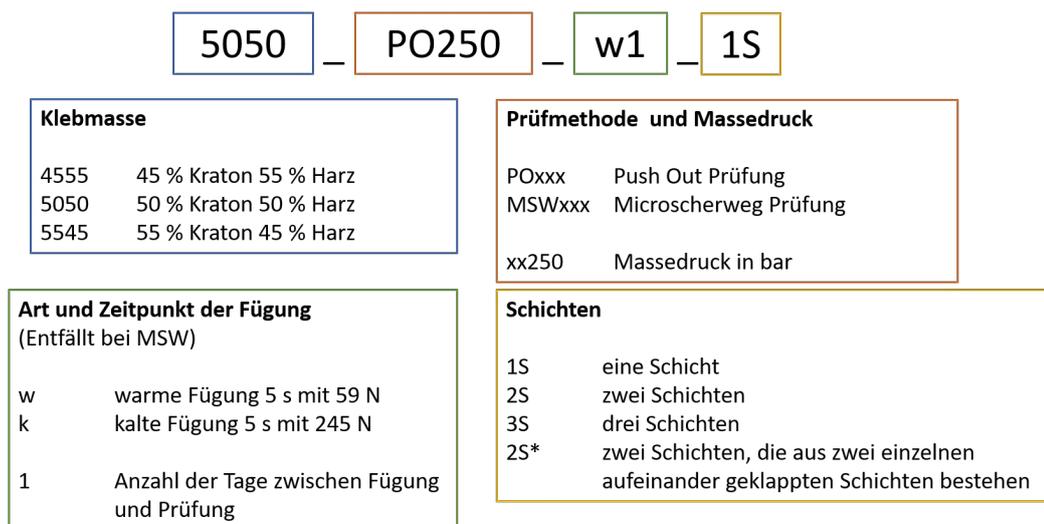


Abbildung 3.16.: Bezeichnung der Proben aus Phase 3 bis 6

## 4. Versuchsdurchführung

In diesem Kapitel wird ein stabiler Prozessbereich zur Verarbeitung von Synthesekautschukklebmassen erarbeitet und definiert. Anschließend werden sechs Versuchsphasen erläutert und die Ergebnisse analysiert. Der Aufbau der Versuchsphasen ergibt sich, wie in Kapitel 3 beschrieben, aus den Ergebnissen der vorigen Phasen.

### 4.1. Stabiler Prozessbereich

Die Parameter des freeformers wurden, wie in Abschnitt 3.2 beschrieben, verwendet und konstant gehalten. Lediglich das Temperaturprofil der Austragseinheit wurde verändert. Der Prozessbereich wird folglich durch die minimal und maximal verwendete Verarbeitungstemperatur eingegrenzt. Definiert wird der stabile Prozessbereich in dieser Arbeit durch die maschinenspezifischen Grenzen des freeformers und nach der Maßhaltigkeit sowie der Reproduzierbarkeit der gefertigten Proben. Die maschinenspezifische Grenze ist, beim Verwenden von Synthesekautschukklebmassen, nur der Massedruck. Ist das Material am Ende der Austragseinheit zu hart, tritt es unkontrolliert aus der Düse aus, da der Massedruck zu hoch ist. Ein unkontrolliertes Austreten von Masse konnte bei einem Massedruck ab 500 bar und höher beobachtet werden. Ist das Material zu weich, kann der zum Fertigen erforderliche Druck nicht aufgebracht werden, sodass das Materialreservoir nicht schnell genug aufgefüllt werden kann und der Fertigungsprozess wiederholt pausieren muss, bis das Reservoir voll ist. Dieses Verhalten tritt ab einem Massedruck von 200 bar und kleiner auf.

Die Viskosität der Masse kann durch die in das System eingebrachte Wärmeenergie gesteuert werden. Aus diesem Grund wurde sich dazu entschieden, nicht die Verarbeitungstemperatur als konstante Größe beim Vergleich der unterschiedlichen Rezepturen hinsichtlich der Verarbeitungstemperatur zu wählen, sondern den Massedruck. Dieses Vorgehen macht es möglich ähnliche Viskositäten der unterschiedlichen Massen beim Fertigungsprozess zu erreichen. In Tabelle 4.1 sind die erarbeiteten Temperaturprofile für die drei in dieser Arbeit verwendeten Massedrucke pro Masserezepturen zu sehen. T1 bezeichnet die an der Düse anliegende Temperatur und T2 bis T4 die an der Plastifizierungsschnecke anliegenden Temperaturen.

#### 4. Versuchsdurchführung

<b>Masse 4555</b>				
<b>Massedruck</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>
250 bar	152 °C	145 °C	100 °C	45 °C
350 bar	135 °C	120 °C	100 °C	45 °C
450 bar	127 °C	115 °C	100 °C	45 °C

<b>Masse 5050</b>				
<b>Massedruck</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>
250 bar	160 °C	143 °C	110 °C	45 °C
350 bar	140 °C	120 °C	110 °C	45 °C
450 bar	134 °C	120 °C	110 °C	45 °C

<b>Masse 5545</b>				
<b>Massedruck</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>
250 bar	160 °C	145 °C	110 °C	45 °C
350 bar	140 °C	120 °C	110 °C	45 °C
450 bar	135 °C	120 °C	110 °C	45 °C

Tabelle 4.1.: Verarbeitungstemperaturprofile der Rezepturen

Die Maßhaltigkeit wurde mithilfe eines 3D-Mikroskops, welches in Kapitel 3 beschrieben wurde, überprüft. In Tabelle 4.2 sind die gemessenen Geometrien zu sehen. Es wurde immer dieselbe Geometrie gefertigt: Ein quadratischer Rahmen mit einer Kantenlänge von 33 mm und einer Stegbreite von 2 mm. Diese Geometrie entspricht derjenigen, die für die Push-Out-Prüfung verwendet wird. Die Flächenfüllung der Proben wurde mit einer CT-Aufnahme überprüft und konnte, verglichen mit dem Ausgangsprozess, wesentlich verbessert werden (vgl. Abb. 3.4 und Abb. 3.3).

Betrachtet man die Geometrie der Ausdrücke der verwendeten Massen und Massedrucke so wird deutlich, dass es keine nennenswerten Abweichungen der Maßhaltigkeit in der Ebene gibt (siehe Tabelle 4.2). Die Maßhaltigkeit der Höhe weicht nur bei der Masse 4555 um bis zu 42 % vom Sollwert ab. Alle gemessenen Geometrien, auch die der 4555 Masse, konnten reproduzierbar gefertigt werden. Die Abweichungen in der Höhe des Ausdrucks können durch die in dieser Arbeit ermittelten Ergebnisse nicht erklärt werden, da nicht von einer schlagartigen Veränderung der Dichte bei einer fünf prozentigen Rezepturveränderung auszugehen ist und alle anderen Parameter konstant gehalten wurden. Die Analyse der 4555 Rezeptur wird für auf diese Arbeit folgende Forschungsvorhaben empfohlen. Werden im weiteren Verlauf der Arbeit Masserezepturen miteinander verglichen, muss darauf geachtet werden, die Abweichung bei der Masse 4555 in der Analyse zu berücksichtigen.

#### 4. Versuchsdurchführung

Masse	Massedruck [bar]	Schichten	Höhe [ $\mu\text{m}$ ]	Abweichung von Sollhöhe	Breite [mm]	Stegbreite [mm]
5050	250	1	184	8 %	32,8	2
		2	396	1 %	32,8	2
		3	606	1 %	32,9	2,1
	350	1	208	4 %	32,8	2
		2	402	1 %	32,8	2
		3	615	3 %	32,9	2
	450	1	188	6 %	33	1,9
		2	395	1 %	33	2
		3	596	1 %	32,9	2
5545	250	1	205	2 %	33	2
		2	417	4 %	33	2
		3	616	3 %	32,9	2
	350	1	208	4 %	32,9	2
		2	407	2 %	33	2,1
		3	615	2 %	33	2
	450	1	211	5 %	32,9	2
		2	407	2 %	32,9	2
		3	614	2 %	33	2
45555	250	1	150	25 %	33	2
		2	336	16 %	33	2
		3	536	11 %	32,9	2
	350	1	117	42 %	32,9	2
		2	285	29 %	33	2,1
		3	540	10 %	33	2
	450	1	150	25 %	32,9	2
		2	193	27 %	32,9	2
		3	511	15 %	33	2

Tabelle 4.2.: Messungen - Push-Out Geometrie

## 4.2. Push-Out-Prüfung

### 4.2.1. Phase 1 - Grundlagenversuche

**Aufbau** Das Testprogramm der Phase 1 ist in Tabelle 4.3 zu sehen. Alle Proben sind einschichtig und entsprechen einer Höhe von 200  $\mu\text{m}$ . Es wurde sich für das warme Fügen mit einer Kraft von 59 N für 30 s und das kalte Fügen nach Prüfvorschrift mit einer Kraft von von 245 N für 5 s entschieden. Ziel dieses Testprogramms ist es, zu überprüfen, ob die Verarbeitungstemperatur eine Auswirkung auf das erste Kraftmaximum der Push-Out-Prüfung hat. Es soll analysiert werden, ob Unterschiede zwischen der warmen und der kalten Fügung bestehen und ob sich Vorteile aus einer warmen Fügung ergeben. Außerdem ist zu überprüfen, ob das warme Fügen eine Auswirkung auf die Zeit, die nach dem Fügen vergehen muss bis die maximal Klebperformance ausgebildet ist, hat. Bei konventionell hergestelltem Tape dieser Klebmassenklasse kann davon ausgegangen werden, dass die maximale Performance 24 Stunden nach Applikation erreicht ist. [13]

Testprogramm Phase 1	
<b>Prüfung</b>	: Push-Out
<b>Klebmasse</b>	: 5050
<b>Massedruck</b>	: 250 bar, 350 bar, 450 bar
<b>Art der Fügung,</b>	
<b>Zeitpunkt der</b>	: w0_30s, w1_30s, k0_N, k1_N
<b>Messung (s. Abb. 3.15)</b>	

Tabelle 4.3.: Phase 1 - Testprogramm

**Ergebnis** In Abb. 4.1 sind die Ergebnisse der Phase 1 in vier Diagrammen zu sehen. Die Datenpunkte sind mit einem x markiert. Alle vier Diagramme zeigen ein leichtes verarbeitungstemperaturabhängiges erstes Kraftmaximum, lediglich die Punkte 350bar\_w1\_30s und 350bar\_k0\_N könnten auf einen lokale Reduktion bei einem Massedruck von 350 bar des ersten Kraftmaximus hinweisen.

Deutlich in den unteren beiden Diagrammen zu erkennen ist, dass die warme Fügung mit 59 N über 30 s, die selbe Performance im ersten Kraftmaximum erreicht, wie die Fügung nach Prüfvorschrift mit 245 N über 5 s. Daraus ergibt sich die Chance Bauteile nur durch das Ändern der Anpressezeit bei einer Kraft, die einem Viertel der nach Prüfvorschrift vorgegebenen Kraft entspricht, wesentlich schonender zu fügen.

Aus dem in Abb. 4.1 oben abgebildeten Graphen kann keine Veränderung des ersten Kraftmaximus über den Zeitpunkt der Prüfung abgeleitet werden. Außerdem haben al-

#### 4. Versuchsdurchführung

le geprüften Proben adhäsiv am Fenster versagt. Als adhäsives Versagen einer gefügten Verklebung, wird ein genau an Grenze zwischen Substrat und Verklebung verlaufender Bruch bezeichnet.

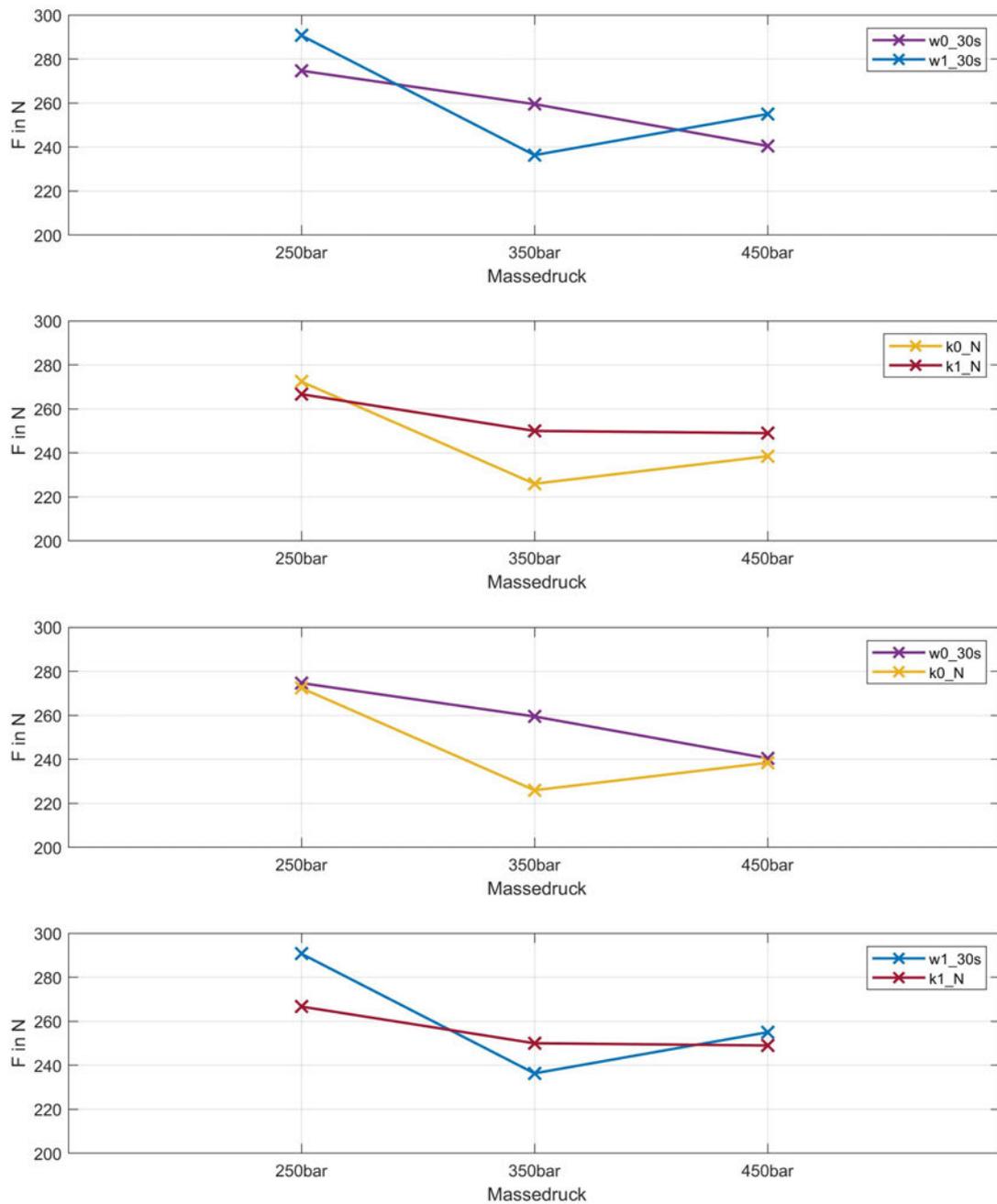


Abbildung 4.1.: Phase 1 Ergebnisse

### 4.2.2. Phase 2 - Grundlagenversuche

**Aufbau** In Phase 1 konnte bereits eine leichte verarbeitungstemperaturabhängige Performance des ersten Kraftmaximums erkannt und die Wirksamkeit der warmen Fügung bestätigt werden. Es bleibt jedoch offen, ob dieselbe Performance des warmen Fügens auch durch kaltes Fügen bei gleicher Anpresskraft und Anpresszeit erreicht werden kann. Außerdem scheint eine Zeit von 30 s im industriellen Kontext als sehr groß und muss verkürzt werden.

In Tabelle 4.4 ist das Testprogramm der Phase 2 abgebildet. Wie in Phase 1 bestehen die Proben aus einer Schicht. Alle Proben werden mit einer Kraft von 59 N gefügt und es werden der Fügezeitpunkt (warmes/ kaltes Fügen) und die Anpresszeit variiert. Auf die direkte Prüfung nach der Fügung wird in allen weiteren Phasen verzichtet, da in Phase 1 keine wesentliche Veränderung der Performance abgeleitet werden konnte und sich für den PSA üblichen Prüfzeitpunkt (nach mindestens 24 Stunden [13]) entschieden wurde.

<b>Testprogramm Phase 2</b>	
<b>Prüfung</b>	: Push-Out
<b>Klebmasse</b>	: 5050
<b>Massedruck</b>	: 250 bar, 350 bar, 450 bar
<b>Art der Fügung,</b>	
<b>Zeitpunkt der</b>	: w1_5s, w1_30s, k1_5s, k1_30s
<b>Messung (s. Abb. 3.15)</b>	

Tabelle 4.4.: Phase 2 - Testprogramm

**Ergebnis** Das in Abb. 4.2 zu sehende Diagramm zeigt die Ergebnisse aus Phase 2. Vergleicht man die Graphen für die kalte und warme Fügung (w1\_5s mit k1\_5s und w1\_30s mit k1\_30s) ist erkennbar, dass die Performance im ersten Kraftmaximum der Push-Out-Prüfung bei den kalt gefügten Proben durchschnittlich um 32 % kleiner ist, als bei den warm gefügten. Daraus folgt, dass die warme Fügung für eine Steigerung der Performance im ersten Kraftmaximum sorgt. Dieses Phänomen ist auf das Additive Fertigen von Klebmassen zurückzuführen, das eine direkte Fügung des Materials zulässt, im Gegensatz zur konventionellen Herstellung von Tape. Denn das einfache Erwärmen von konventionellem SKK-Tape vor der Fügung bringt laut tesa keine Steigerung der Performance in der Push-Out-Prüfung [14].

Vergleicht man nun jeweils die beiden warm und kalt gefügten Proben, die sich nur in der Anpresszeit voneinander unterscheiden, ist festzustellen, dass durch eine längere Anpresszeit die Kraft im ersten Maximum vergrößert werden kann. In diesem Fall, bei einer Unterscheidung von 5 s und 30 s kann bei der warmen Fügung die Performance durch-

## 4. Versuchsdurchführung

schnittlich um 14 % und bei der kalten Fügung um 20 % gesteigert werden.

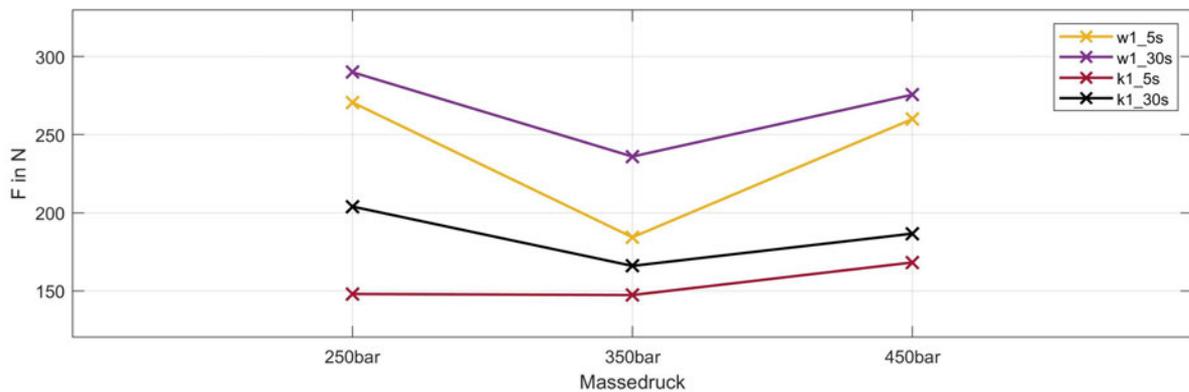


Abbildung 4.2.: Phase 2 Ergebnisse

### 4.2.3. Phase 3 bis 5 - Hauptversuche

**Aufbau** Die Phasen 3-5 können als Hauptphasen der Push-Out-Prüfung verstanden werden, da das Programm darauf ausgelegt ist eine Beurteilung über die verarbeitungstemperaturabhängige Performance in der Push-Out-Prüfung abzugeben. Das Testprogramm der Phasen ist in der Tabelle 4.5 zu sehen. Diese Phasen unterscheiden sich lediglich in der gewählten Klebmassenrezeptur. In allen drei Phasen wurde sich, aufgrund der in Phase 2 erkannten Chance, für eine warme Fügung entschieden. In Phase 2 konnte bestätigt werden, dass eine industrienähere Anpresszeit von 5 s zu einem Ergebnis in der Push-Out-Prüfung führt, welches durchschnittlich 14 % kleiner ist, als bei einer von 30 s. Diese Verkleinerung wird als hinreichend gering betrachtet, aufgrund dessen sich für die Phasen 3 bis 5 für die Business-Case nähere Vorgehensweise, einer Anpresszeit von 5 s, entschieden wurde.

Die Prüfkörper werden in drei unterschiedlichen Höhen (eine, zwei und drei Schichten) angefertigt. Jede Schicht entspricht hierbei mit Ausnahme der Masse 4555 einer Höhe von 200  $\mu\text{m}$ . Außerdem werden Prüfkörper nach dem 2S\*-Prinzip gefertigt (siehe Kapitel 3) um die Performance dieser, durch die Additive Fertigung mögliche, Art der Fügung mit den anderen Prüfkörpern zu vergleichen. Zur Vergleichbarkeit mit konventionell hergestelltem Tape werden Vergleichsproben nach der in Anhang 1 beschriebenen Fügemethode hergestellt (kalt, 245 N für 5 s). Desweiteren wird ein konventionelles Tape mit der jeweils gleichen Rezeptur, auch wie in Anhang 1 beschrieben, geprüft.

Die oben beschriebenen Phasen sollen die durch die Rezeptur gegebenen Eigenschaften bestätigen und Aufschluss über das Verhalten von additiv verarbeiteten SKK in variierenden Höhenabmessungen und Verarbeitungstemperaturen geben.

---

**Testprogramm Phase 3-5**


---

<b>Prüfung</b>	: Push-Out
<b>Klebmasse</b>	: 4555, 5050, 5545
<b>Massedruck</b>	: 250 bar, 350 bar, 350 bar
<b>Schichten</b>	: 1S, 2S, 3S
<b>Art der Fügung,</b>	
<b>Zeitpunkt der</b>	: w1
<b>Messung (s. Abb. 3.16)</b>	
<b>Sonderfälle</b>	: 4555_PO250_w1_2S*, 4555_Tape, 5050_PO250_w1_2S*, 5050_Tape, 5545_PO250_w1_2S*, 5545_Tape

Tabelle 4.5.: Phase 3 bis 5 - Testprogramm

**Phase 3 Ergebnis** In der dritten Phase wird die Masse 5050 verwendet. Die Ergebnisse dieser Phase sind in Abb. 4.3 zusehen. Die Graphen zeigen das erste in der Push-Out-Prüfung ermittelte Kraftmaximum über die Anzahl der Schichten. Als einzelne Punkte werden die 2S\*-Proben und ein Tape nach gleicher Rezeptur dargestellt. Vergleicht man die nach Prüfvorschrift gefügten Proben (Graph PO250\_k1 und Tape\_k1) ist zu erkennen, dass die additiv gefertigten Proben ein größeres erstes Kraftmaximum erreichen als das Tape. Nach tesa Expertise nimmt die Performance von Synthesekautschukklebmassen annähernd linear mit der Dicke des Tapes ab [13]. Dieses Verhalten kann auch bei additiv produzierten und nach Prüfvorschrift gefügten Proben (siehe Graphen PO250\_k1 Abb. 4.3) festgestellt werden. Auch die warm gefügten Proben weisen ein annähernd lineares Verhalten auf.

In Phase 1 war ein verarbeitungstemperatur abhängiges Verhalten sichtbar, dieses Verhalten kann durch diese Phase nicht bestätigt werden, da die Graphen 250, 350 und 450 bar sich lediglich innerhalb der zu erwartenden Toleranz voneinander unterscheiden. Das nicht von der Toleranz abweichende Verhalten dieser Rezeptur, trotz erheblicher Veränderungen in der Verarbeitungstemperatur, weist einen sehr großen Prozessbereich nach.

Die 2S\*-Proben weisen eine sehr gute Performance in der Push-Out-Prüfung auf, die von keiner anderen geprüften Probe mit einer Dicke von 400 µm erreicht werden konnte. Alle Proben haben adhäsiv am Fenster versagt.

#### 4. Versuchsdurchführung

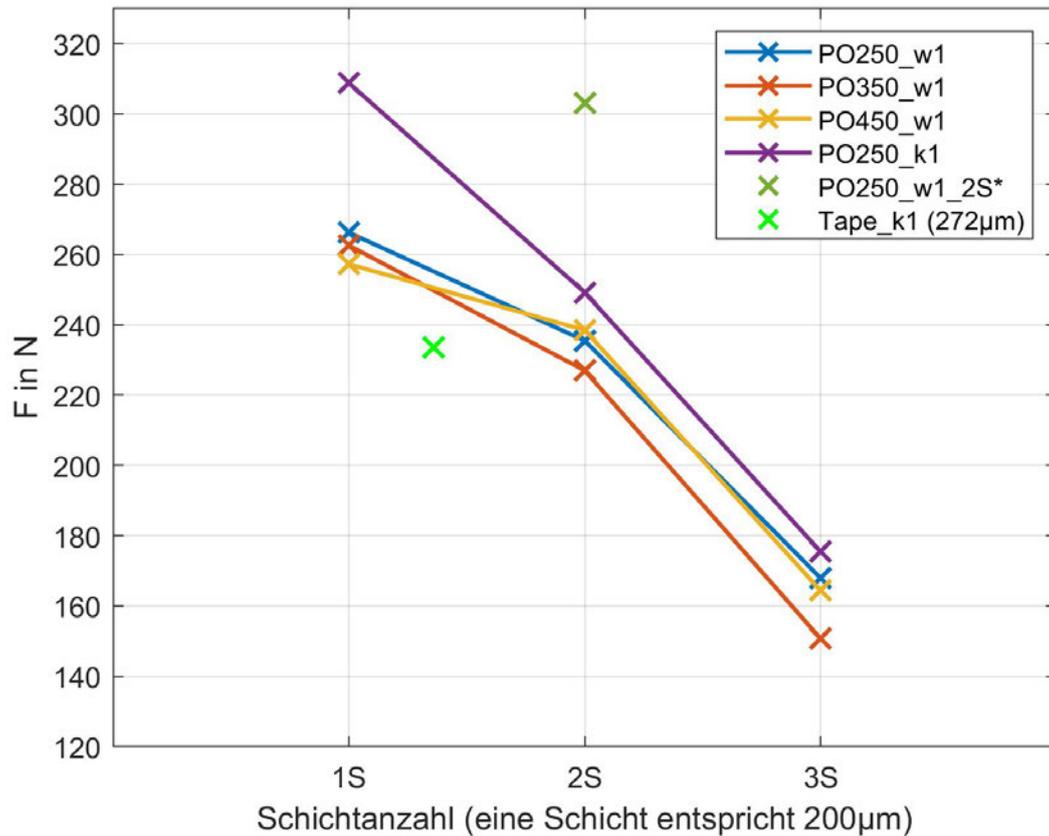


Abbildung 4.3.: Phase 3 (Masse 5050) - Ergebnisse

**Phase 4 Ergebnis** In der Phase 4 wird die Masse 5545 verwendet. Abb. 4.4 stellt die Ergebnisse dieser Phase dar. Die Darstellung der Graphen ist dieselbe wie in Phase 3. Betrachtet man auch hier die nach Prüfvorschrift gefügten Proben (PO250\_k1 und Tape\_k1) erreichen die additiv gefertigten eine etwas geringere Performance als das Tape. Vergleichbar mit Phase 3 bleibt der lineare Verlauf der PO250\_k1 Proben. Die PO250\_w1\_2S\* Proben liegen in ihrem Ergebnis mindestens 13 % oberhalb der anderen zweischichtigen Datenpunkte.

Eine verarbeitungstemperaturabhängige Performance in der Push-Out-Prüfung kann bei dieser Rezeptur nur bei einschichtigen Proben festgestellt werden. Sobald zwei oder drei Schichten gefertigt werden, liegt die Performance im ersten Kraftmaximum im Bereich der zu erwartenden Toleranz. Wie auch bei Phase 3 kann ein sehr breiter Prozessbereich durch die Stabilität der Ergebnisse, nachgewiesen werden.

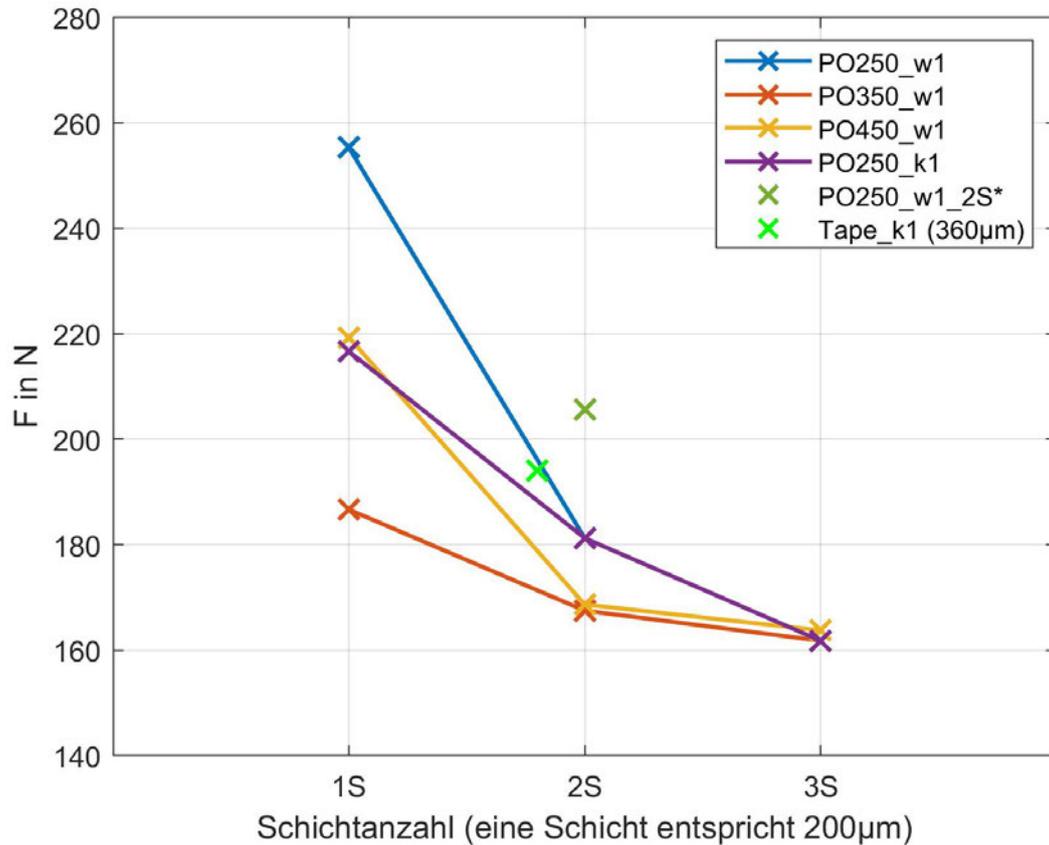


Abbildung 4.4.: Phase 4 (Masse 5545) - Ergebnisse

**Phase 5 Ergebnis** In der fünften Phase wird die Masse 5050 verwendet. Abb. 4.5 stellt die Ergebnisse dieser Phase dar. Die Abbildung ist wie in den beiden vorigen Phasen aufgebaut. Auch bei der dritten Rezeptur wird deutlich, dass additiv gefertigte Synthekautschukklebmassen mit Tape der gleichen Rezeptur vergleichbar sind. Es kann, wie in Phase 3, ein größeres erstes Kraftmaximum bei der selben Art der Fügung erreicht werden (siehe Abb. 4.5 PO250\_k1 und Tape\_k1). In dieser Phase weisen alle Graphen einen annähernd linearen Verlauf über die Dicke auf und entsprechen damit der von tesa, für als Tape verarbeitete SKK, erarbeiteten Theorie [13].

Die PO250\_w1\_2S\*-Proben liegen in der Performance im ersten Kraftmaximum auf dem PO250\_w1\_2S Datenpunkt und stellen somit bei dieser Rezeptur lediglich eine andere Art der Produktion einer zweischichtigen Verklebung, ohne Veränderung der Performance in der Push-Out-Prüfung, dar.

Eine verarbeitungstemperaturabhängige Performance kann auch bei dieser Rezeptur nicht nachgewiesen werden. Es ist nur eine Abnahme der Kraft im ersten Maximum bei der niedrigsten Verarbeitungstemperatur (PO\_450\_w1) zu erkennen. Es konnte auch bei die-

#### 4. Versuchsdurchführung

ser Rezeptur ein breiter, stabiler Prozessbereich nachgewiesen werden. Auch in dieser Phase haben alle Proben adhäsiv am Fenster versagt.

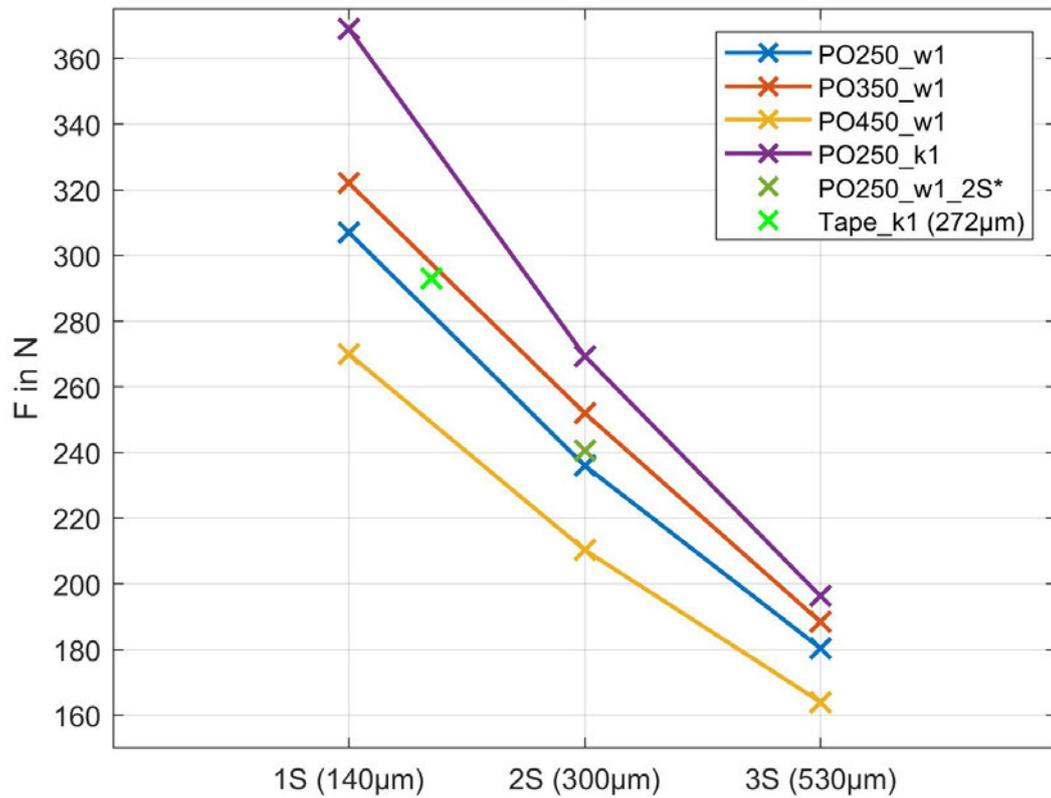


Abbildung 4.5.: Phase 5 (Masse 4555) - Ergebnisse

### 4.3. Mikroscherweg-Prüfung

#### 4.3.1. Phase 6 - Hauptversuche

**Aufbau** In Phase 6 sind alle Mikroscherweg-Prüfungen enthalten. In Tabelle 4.6 ist der Aufbau der sechsten Phase dargestellt. Es werden alle drei Rezepturen verwendet. Für jeden Massedruck werden jeweils ein, zwei und dreischichtige Proben geprüft. Zum Vergleich wird von jeder Masserezeptur ein konventionell hergestelltes Tape geprüft. Dieses Testprogramm bildet für alle drei verwendeten Massen den Mikroscherweg über ein bis drei Schichten ab.

Durch das Verwenden unterschiedlicher Massedrucke soll auch in dieser Phase die Möglichkeit bestehen eine verarbeitungstemperaturabhängige Performance der Rezepturen in der Mikroscherweg-Prüfung sichtbar zu machen. Auch beim Vergleich der Performance der Massen untereinander soll durch das gleiche Testprogramm das rezepturabhängige Verhalten erkennbar sein.

<b>Testprogramm Phase 6</b>	
<b>Prüfung</b>	: Mikroscherweg
<b>Klebmasse</b>	: 4555, 5050, 5455
<b>Massedruck</b>	: 250 bar, 350 bar, 450 bar
<b>Schichten oder Tape</b>	: 1S, 2S, 3S, Tape

Tabelle 4.6.: Phase 6 - Testprogramm

**Ergebnis** In den Abb. 4.6 bis Abb. 4.8 sind die Ergebnisse der Phase 6 nach Rezeptur graphisch abgebildet. Im Folgenden werden die Ergebnisse für jede Masse erläutert und anschließend miteinander verglichen. Alle Diagramme zeigen eine Vergrößerung des Scherweges mit steigender Dicke bzw. je mehr Schichten gefertigt wurden. Dieses Verhalten ist eine Kombination aus dem Abscheren der Klebmasse von der Prüfplatte und einer durch die Elastizität der Klebmasse ausgebildeten Trapezform, dessen Einfluss bei steigender Dicke größer wird.

In Abb. 4.6 sind die Scherwege der drei Massedrucke der Masse 4555 über die Schichten aufgetragen zu sehen. Klar erkennbar ist eine Parallelverschiebung des Scherweges nach oben bei steigendem Massedruck. Daraus folgt: Je kleiner die Verarbeitungstemperatur desto größer ist der Mikroscherweg. Folgerichtig kann für diese Masserezeptur eine verarbeitungstemperaturabhängige Performance in der Mikroscherweg-Prüfung festgestellt werden, das sich auf die größere benetzte Fläche bei geringerer Viskosität der additiv ge-

#### 4. Versuchsdurchführung

fertigten Masse zurückführen lässt. Der Mikroscherweg des Vergleichstapes befindet sich im Bereich der Ergebnisse des 250 bar Massedruckes.

Abb. 4.7 zeigt die Ergebnisse in der Mikroscherweg-Prüfung, der eins zu eins Mischung der beiden Rezepturbestandteile. Auch hier ist eine Parallelverschiebung der Mikroscherwege zu erkennen. Jedoch sind die Mikroscherwege der beiden hohen Massedrucke auf dem selben Niveau und weichen nicht, über die Toleranz hinaus, voneinander ab. Das lässt auf eine bessere Performance bei höherer Verarbeitungstemperatur schließen. Bleibt man unterhalb einer Verarbeitungstemperatur von 160 und 140 °C, sind keine Auswirkungen der Verarbeitungstemperatur auf die Performance im Mikroscherweg zu erkennen (vgl. Tabelle 4.1). Das Vergleichstape liegt auch hier innerhalb des Ergebnisfensters und es kann bestätigt werden, dass additiv gefertigte Klebmasse mit Tape vergleichbar ist.

Die Ergebnisse der Masse 5545 sind in Abb. 4.8 zu sehen. Aus diesen Graphen kann keine verarbeitungstemperaturabhängige Performance abgeleitet werden. Jedoch ist in der dritten Schicht eine Verschiebung der Datenpunkte zu erkennen. Diese Verschiebung könnte auf ein verarbeitungstemperaturabhängige Performance hinweisen, die abhängig von der Höhe ist. Auch die Performance des Vergleichstapes dieser Masse liegt im selben Bereich wie die additiv gefertigten Proben.

#### 4. Versuchsdurchführung

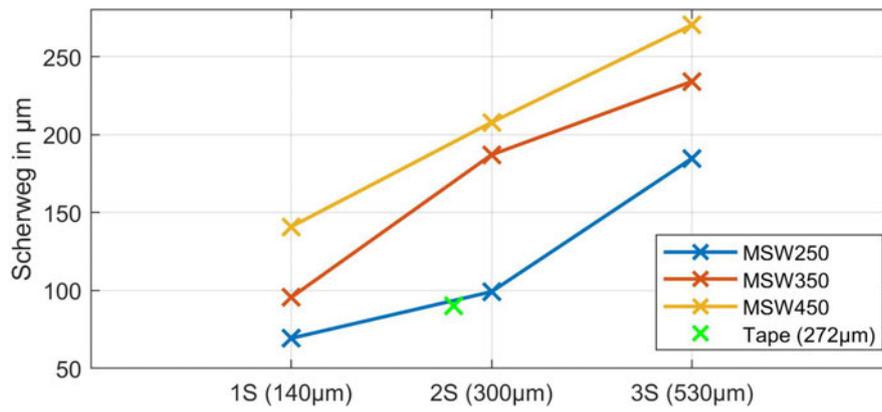


Abbildung 4.6.: Phase 6 - Mikroscherweg Masse 4555

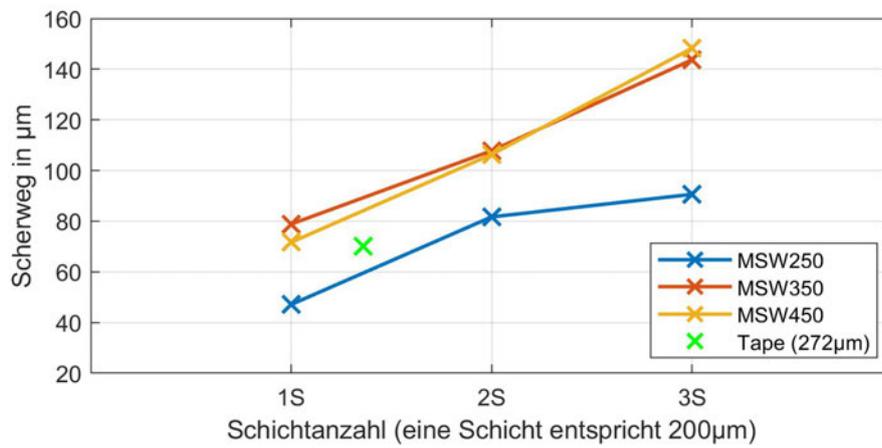


Abbildung 4.7.: Phase 6 - Mikroscherweg Masse 5050

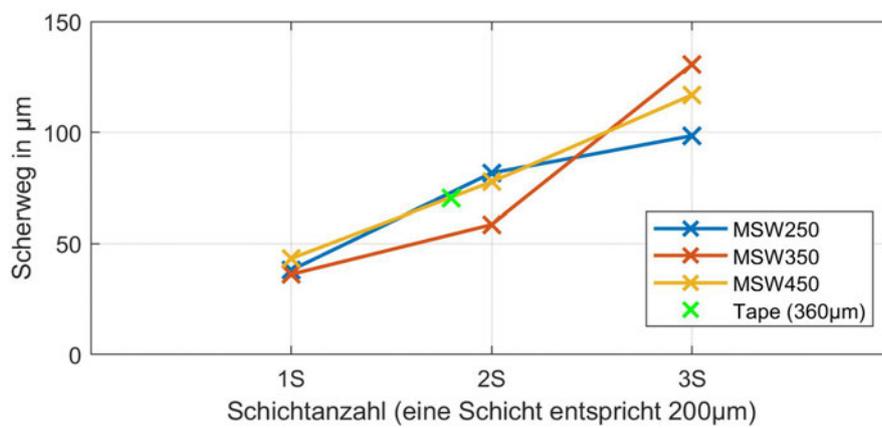


Abbildung 4.8.: Phase 6 - Mikroscherweg Masse 5545

## 5. Diskussion und Vorgehensempfehlung

Es könnte ein stabiler Prozessbereich, der sowohl nach oben als auch nach unten von der Viskosität der Masse abhängt (Massetruck: 250-450 bar), definiert werden. Dieser Prozessbereich ist verarbeitungstemperaturabhängig. Synthetikautschukklebmassen, die innerhalb dieses Prozessbereiches verarbeitet werden, können alle als stabil hinsichtlich ihrer Klebperformance bezeichnet werden.

Durch alle Versuchsphasen konnte bestätigt werden, dass additiv gefertigte SKK mit konventionell hergestelltem Tape des gleichen Materials hinsichtlich der Klebperformance vergleichbar sind. In manchen Situationen können additiv gefertigte Klebmassen eine bessere Performance aufweisen als Tape mit der selben Rezeptur (siehe Abb. 4.3, Abb. 4.5, Abb. 4.7 und Abb. 4.8).

Innerhalb der Push-Out-Prüfungen konnte eine neue Methode zur Fügung von additiv gefertigten Klebmassen entwickelt werden: die warme Fügung. Die in Kapitel 4 gezeigten Ergebnisse weisen nach, dass warm gefügte SKK in ihrer Performance bei der Push-Out-Prüfung, bei einer vier Mal kleineren Anpresskraft, einer Kraft standhalten, die maximal 14 % kleiner ist als nach herkömmlicher Fügung. Dadurch ist es möglich Bauteile wesentlich schonender zu fügen. Einfaches Erwärmen von SKK-Tape bringt nach tesa-internen Versuchen keine Erhöhung der Performance in der Push-Out-Prüfung [14], somit ist diese Art und Weise der Fügung ein Alleinstellungsmerkmal additiv gefertigter SKK.

Eine weitere Art der Fügung, die durch additives Fertigen von Klebmassen ermöglicht wird, ist die 2S\*- Methode. Bei dieser Methode wird auf beide zu verklebenden Komponenten Klebmasse aufgetragen und anschließend werden die Komponenten warm gefügt. Allgemein kann diese Methode als eine weitere Möglichkeit zur Fügung betrachtet werden. Es konnten jedoch zwei wesentliche Vorteile dieser Methode gezeigt werden. Die Fertigungszeit kann durch paralleles Fertigen zweier Verklebungshälften halbiert werden. Außerdem konnte bei zwei von drei Rezepturen eine Steigerung der Performance in der Push-Out-Prüfung um mindestens 14 % beobachtet werden.

In Abb. 5.1 sind zwei Graphen zu sehen. Beide Graphen zeigen Ergebnisse der Push-

## 5. Diskussion und Vorgehensempfehlung

Out-Prüfung von Proben, die mit den gleichen Parametern additiv gefertigt wurden. Der Unterschied liegt im Anpressdruck. Der gelbe Graph wurde kalt mit 245 N und der rote kalt mit 59 N gefügt. Diese beiden Graphen weisen nach, dass auch additiv gefertigte SKK *pressure sensitive adhesives* sind, da bei einem höheren Anpressdruck auch einer größeren Kraft senkrecht zur Verklebung standgehalten werden kann. Ein weiterer Nachweis das es sich um ein PSA handelt, kann durch das adhesive Versagen, das Versagen der Verklebung ohne Rückstände der Masse auf der Fügeteiloberfläche zu hinterlassen, erbracht werden [11].

Es konnte keine eindeutige Abhängigkeit zwischen der Verarbeitungstemperatur und den Ergebnissen in der Push-Out-Prüfung für die Klebmassenklasse der SKK festgestellt werden.

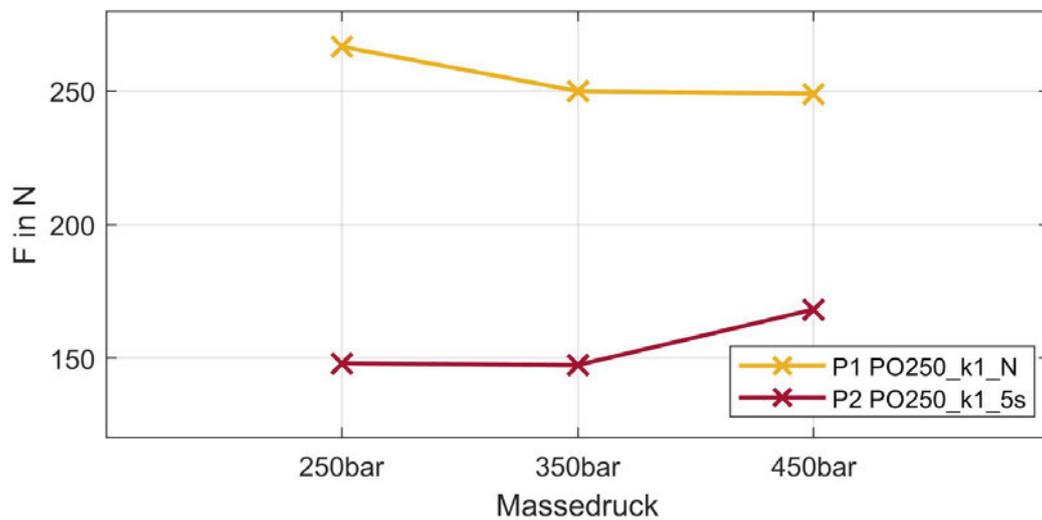


Abbildung 5.1.: Nachweis eines *pressure sensitive adhesive*

Betrachtet man alle Mikroscherweg-Graphen (siehe Abb. 4.6 bis Abb. 4.8) wird die rezepturabhängige Performance in der Mikroscherweg-Prüfung deutlich. Je größer der Harzanteil in der Masse desto größer ist der Mikroscherweg. Außerdem wird der Mikroscherweg größer mit der Dicke der Verklebung.

Es wird durch diese Arbeit gezeigt, dass additiv gefertigte Klebmassen mit Tape der gleichen Rezeptur in der Performance dieser Prüfungen vergleichbar sind. Betrachtet man jedes Vergleichstape, liegt die Performance immer im selben Ergebnisbereich wie die additiv gefertigten Proben. Eine verarbeitungstemperaturabhängige Performance kann nicht eindeutig nachgewiesen werden. Lediglich bei der 4555 Masse ist dies festzustellen, durch die Parallelverschiebung der Massedruck-Graphen (siehe Abb. 4.6).

## 5. Diskussion und Vorgehensempfehlung

In dieser Arbeit konnte ein großer temperaturabhängiger Prozessbereich, für auf dem freeformer 300-3x verarbeitete SKK, erarbeitet und durch klebtechnische Prüfungen und dem Vergleich mit Tape validiert werden. Wenn ein konkreter Anwendungsfall von additiv gefertigten Klebmassen erarbeitet wird, sind die neuen Möglichkeiten der Fügung in Betracht zu ziehen, um den additiven Fertigungsprozess zu beschleunigen und schonender zu fügen. Die in der Aufgabenstellung geäußerte Annahme, dass die Performance von additiv verarbeiteten SKK von der Verarbeitungstemperatur abhängt, konnte nicht bestätigt werden. Die Rezepturänderungen sind in der Performance hingegen klar zu erkennen.

Die in dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse bilden ein gutes Fundament für weitere Forschungsansätze oder reale Einsätze von additiv gefertigten SKK.

Tesa sollte seinen Kunden, wenn die gewünschte Verklebung eine Synthesekautschukverklebung ist, die Möglichkeit der Additiven Fertigung der Verklebung erläutern. Es ergeben sich viele Vorteile: Es wird weniger Müll produziert, die Lieferketten werden kürzer, da das Tape nicht mehr gestanzt werden muss, das System kann immer *Just in Time* produzieren, es sind schnelle Änderungen in der Verklebungsgeometrie möglich und es können in der Fertigung parallel Kunststoffe additiv gefertigt werden. Es muss jedoch darauf geachtet werden, ob diese Art der Fertigung zeitlich in den gesamten Fertigungsablauf implementierbar ist.

Für weitere Forschungsvorhaben im Bereich der Verarbeitung von Klebmassen mit dem freeformer 300-3X empfehle ich, zuerst die in dieser Arbeit verwendete Masse 4555 näher auf ihre Eigenschaften zu untersuchen, um die in Kapitel 4 erläuterte abweichende Höhe erklären zu können. Darüber hinaus können weitere Prüfungen der Eigenschaften der additiv gefertigten Klebmasse, ein noch spezifischeres Bild über die Auswirkung des Verfahrens auf genau diese Eigenschaften geben. Ein fundierteres Wissen über das Verhalten von additiv gefertigten Klebmassen eröffnet die Möglichkeit, die Chancen, die aus dieser Verarbeitungsmethode entstehen, besser nutzen zu können.

Die Qualifizierung weiterer Klebmasserezepturen ist zu empfehlen. Wenn mehr Massen auf dem freeformer 300-3X verarbeitet werden können, wird der Einsatz von additiv gefertigten Klebmassen interessanter, da mit einer Maschine unterschiedliche Verklebungen mit variierenden Klebeigenschaften gefertigt werden können. Die Masse 4555 hat in der Mikroscherweg-Prüfung ein verarbeitungstemperaturabhängiges Verhalten gezeigt. Daraus kann abgeleitet werden, dass einige Masserezepturen ein solches Verhalten zeigen. Das Verwenden der Testprogramme der Phasen drei bis fünf und sechs könnte für jede neue Masse ein verarbeitungstemperaturabhängiges Verhalten überprüfen. Wenn nämlich eine Rezeptur ein solches Verhalten aufweist, kann die Performance ohne Veränderung der Rezeptur gesteuert werden.

## *5. Diskussion und Vorgehensempfehlung*

Die Additive Fertigung im Allgemeinen hat den großen Vorteil, dass innere Strukturen von Bauteilen individuell gestaltbar sind. Auf diesen Aspekt wurde in der Erforschung von additiv gefertigten Klebmassen noch kein Fokus gelegt. Folgende Chancen könnten sich aus der Untersuchung der inneren Struktur der Verklebung ergeben: Materialersparnis, dämpfende Eigenschaften, Implementierung eines zweiten Materials in die Verklebung und Veränderung der Klebperformance durch Infill-Geometrien.

# Literaturverzeichnis

- [1] *Abts, G.*, Kunststoff-Wissen für Einsteiger, Hanser, München, S. 153-137, 2010
- [2] *ARBURG GmbH + Co KG*, FREEFORMER Additive Fertigung – frei gedacht, ”[https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/Mediathek/Prospekte/ARBURG\\_freeformer\\_680835\\_de.pdf](https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/Mediathek/Prospekte/ARBURG_freeformer_680835_de.pdf)”, Abruf am 11.05.2021
- [3] *ARBURG GmbH + Co KG*, freeformer 300-3X Manual, Lossburg, 2021
- [4] *Breitkopf, A.*: Anzahl der 3D-Druck-Patente weltweit bis 2019, ”<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/989479/umfrage/anzahl-der-3d-druck-patente-weltweit/>”, Abruf am 10.05.2021
- [5] *Breitkopf, A.*: Meistgenutzte 3D-Druck-Technologien im Jahr 2018, ”<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/760408/umfrage/meistgenutzte-3d-druck-technologie/>”, Abruf am 10.05.2021
- [6] *Fritz, A. H.*, Fertigungstechnik, 12. Aufl. Springer Vieweg, Berlin, S. 116-118, 2018
- [7] *Gebhardt, A.*, 3D-Drucken: Grundlagen und Anwendungen des Additive Manufacturing, 2. Aufl. Carl Hanser Verlag, München, S.75-85,2016
- [8] *Habenicht, G.* Kleben, 6. Aufl. Springer-Verlag, Berlin, S. 409-4012, 2009
- [9] *Jahnke, J.*, Masterarbeit Parameterentwicklung für Hotmelt-Klebmassen im freeform 3D-Druckverfahren, Hamburg, 2020
- [10] *Löffler-Mang, Martin*, Optische Sensorik, Vieweg+Teubner, Wiesbaden, S. 172-177, 2012
- [11] *Jagisch, F., Trancrede, J.*, Styrenic Block Copolymers. In: Handbook of Pressure Sensitive Adhesive Technology, hrsg. von D. Satas, 3. Aufl, Satas & Associates, Warwick Rhode Island, S. 346-394, 1999
- [12] *Tesa SE*, Task Force Adhesive Forming, 2019
- [13] *Virus, F.*, Persönliches Gespräch 19.04.2021.
- [14] *Zipple, S.*, Persönliches Gespräch, 19.04.2021.

# **A. Anhang**

## **A.1. Push-Out-Prüfmethode**



<b>Test Method</b>	Ident. No.: J0PM0213
<b>Push Out Test modified</b>	Version: 001
	Valid since: Okt. 2016
	Doc-ID: NP00074123

## Content

1. Purpose and Scope of Testing.....	1
2. Principle of the Method.....	1
3. Test Equipment and Conditions.....	2
4. Materials.....	2
5. Test Specimens.....	2
6. Procedure.....	3
6.1. Sample preparation.....	3
6.2. Measurement.....	4
7. Calculation.....	5
8. Reporting Results.....	5
9. Notes.....	5
10. History.....	6

## 1. Purpose and Scope of Testing

Quantify the de-bonding maximal force and energy of d/s tapes in z-direction under static stress mainly for lens mounting application in BU Electronics.

A very similar tesa test method is the older Push Out Test J0PM0153, where different test piece dimensions are used and only force, not energy is measured.

## 2. Principle of the Method

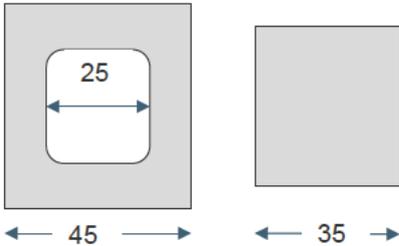
Die cuts of the d/s tapes are used to create five test pieces by adhering a PC frame with a PC lens together. If required additional substrate materials for frame and lens can be used.

After 24 hrs storage in a climate room ( $23 \pm 1^\circ\text{C}$ ,  $50 \pm 5\%$  rel. humidity) the maximal force and energy required to push the window off the frame by a punch is determined with a tensile tester. The maximal force in N and energy in mJ are measured and stated as the results "push out force" and "push out energy".

<b>Test Method</b>	Ident. No.: J0PM0213
<b>Push Out Test modified</b>	Version: 001
	Valid since: Okt. 2016
	Doc-ID: NP00074123

### 3. Test Equipment and Conditions

- Sample preparation template
- Versa Laser
- Automatic Press
- Pressing device
- Stopwatch
- Tensile tester with push out tool (punch and sample-piece holder)

<b>Frame and lens</b>	
Size in mm	
Thickness of frame and lens: 3mm	
	
Orientation of die-cuts	Open side to frame, covered side to lens
Assembly force and time	248 N for 5s
Dwell time	24 h
punch for push-out	Round, 20 mm diameter, w/o foam
push out velocity	10 mm/min

Climate conditions: 23 ± 1°C, 50 ± 5 % rel. humidity

### 4. Materials

- Cellulose paper and ethanol for cleaning of the PC lens and frames
- Ethanol for cleaning of plastics lens and frames
- Liner 21150 or 20233 for covering the open side while preparing the die-cuts

### 5. Test Specimens

d/s PSA tapes, one side covered with liner

<b>Test Method</b>	Ident. No.:	J0PM0213
	Version:	001
<b>Push Out Test modified</b>	Valid since:	Okt. 2016
	Doc-ID:	NP00074123

## 6. Procedure

### 6.1. Sample preparation

For each tape five test pieces are prepared and tested.

#### Summary of Sample preparation

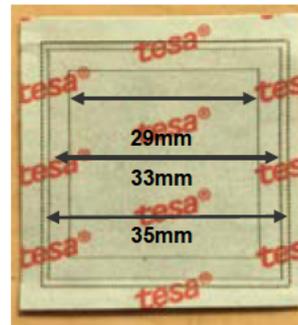
- Samples are prepared with a laser cutter (20233 or 21150 tight are used)
- PC substrates are cleaned with Ethanol
- Substrates are dried in a fume hood for at least 2 hrs
- Substrates are cleaned from dust with a clean room cloth
- Test pieces are prepared with the template
- Test pieces are assembled with a heat press (248 N for 5 s)
- Test pieces are stored at 23 +/- 1°C, 50 +/- 5 r.h for 24 hrs before measurement

#### Die-cut making

The d/s tape is laminated onto the liner (21150, tight side or 20233). With the Versa Laser the die-cut samples are prepared as seen in the right picture.

The outer diameter is 33 mm and the inner diameter is 29 mm (die-cut area is 248 mm<sup>2</sup>). The outer and inner squares are cut with a kiss cut.

A perforation square with a length of 35 mm should be included to position the sample better into the template.



#### Cleaning of the substrates

PC frames and lenses are cleaned with Ethanol und dried in a fume hood for at least two hours.

#### Preparation of test pieces



Template and die cut

lens attaching

flipped lens

attaching frame

<b>Test Method</b>	Ident. No.: J0PM0213
<b>Push Out Test modified</b>	Version: 001
	Valid since: Okt. 2016
	Doc-ID: NP00074123

1. Remove product liner and place tape sample into template adhesive side facing upwards
2. Attach lens onto die-cut. To minimize air inclusion, let contact at first one side of the lens the adhesive, then flap down the lens
3. Flip the lens and remove backside liner
4. Attach frame in the same manner as the lens
5. Press test piece with 248 N for 5 s in automatic press
6. Let test pieces dwell 24 hours at room temperature before testing

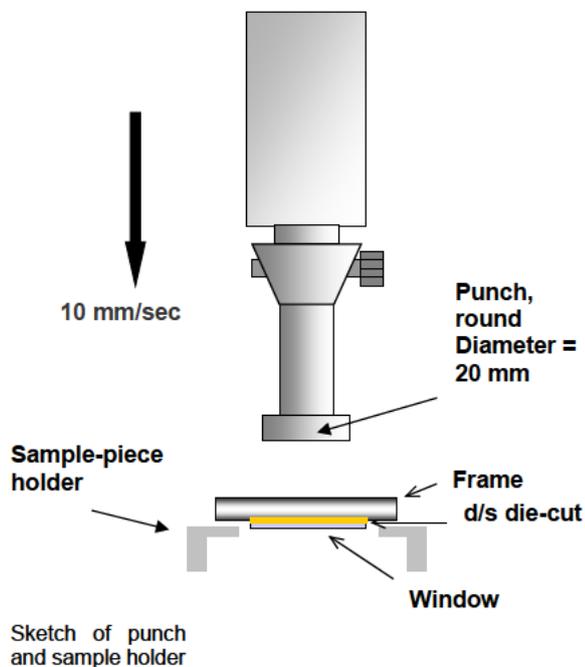
Open adhesive should not be touched with finger and should be applied w/o wrinkles

## 6.2. Measurement

Test after 22-26 hours dwell time in test climate ( $23 \pm 1^\circ\text{C}$ ,  $50 \pm 5$  r.h.).

Put the sample piece into the sample holder. Start the Zwick machine program "push out modified.zs2" and start the measurement.

Result of a single measurement is the maximal force, energy and detachment displayed by the tensile tester software.



Picture of punch and sample holder



<b>Test Method</b>	Ident. No.: J0PM0213
<b>Push Out Test modified</b>	Version: 001
	Valid since: Okt. 2016
	Doc-ID: NP00074123

## 7. Calculation

Final result is the average of the five single results for maximal force and de-bonding energy displayed in the tensile tester software.

State details of the failure mode (e.g. adhesive residue on window) and the standard deviation of the 5 single results.

The result file (.sz2) should be saved and the graphs can be exported by clicking "Datei/Exportschnittstellen/Excel Graph Export"

## 8. Reporting Results

The tape name, the average maximal force in Newton, the average de-bonding energy in mJ, the substrate combination of lens and frame, the dwell time and the standard deviation  $s$  of the five single measurements is reported.

If required failure modes are stated with the results.

**Example:** Tape A on PC/PC (24 h dwell time):  
Push Out max. force:  $F_{max} = 105 \text{ N}$ ,  $s = 3 \text{ N}$   
Push Out de-bonding energy:  $E = 150 \text{ mJ}$ ,  $s = 5 \text{ mJ}$

## 9. Notes

Folder of the Zwick tensile tester measurement procedure in R&D Hamburg:

Q:\Daten\alleUser\zwick\7610 Prüfmethoden\Tim W\PushOut modified.zp2

Contact information for purchasing PC frames and lenses.

**Rocholl GmbH**  
**www.rocholl.eu**  
Schwarzacher Straße 15  
D-74858 Aglasterhausen  
Tel.: + 49/6262/91678 -0  
Fax.: + 49/6262/91678 -10  
e-mail: post@rocholl.eu



<b>Test Method</b>	Ident. No.: J0PM0213
<b>Push Out Test modified</b>	Version: 001
	Valid since: Okt. 2016
	Doc-ID: NP00074123

## 10. History

Ver. 1: 10.2016

## **A.2. Mikroscherweg-Prüfmethode**

<b>Prüfmethode</b>	Ident. Nr.: J0PMA013
<b>Mikroscherweg und SAFT-Test</b>	Version: 004
	Gültig seit: Mai 2018
	Doc-ID: TP25674702

## Inhalt

1.	Zweck und Anwendungsbereich.....	1
2.	Prinzip der Methode .....	1
3.	Geräte und Prüfklima .....	2
4.	Materialien .....	2
5.	Prüfmuster .....	3
6.	Versuchsurchführung .....	3
6.1.	Vorbereitung des Messgeräts .....	3
6.2.	Vorbereitung der Prüfkörper .....	3
6.3.	Messung.....	4
7.	Auswertung und Beurteilung .....	5
7.1.	Mikroscherweg .....	5
7.2.	Relaxationstest.....	5
7.3.	SAFT-Test.....	6
8.	Darstellung der Ergebnisse .....	7
9.	Historie.....	7
10.	Hinweise .....	8

## 1. Zweck und Anwendungsbereich

**Mikroschertest:** Schnellprüfung der Scherfestigkeit von Klebebändern bei konstanter Temperatur.

**SAFT-Test (Shear Adhesion Failure Temperature):** Schnellprüfung der Kurzzeit-Temperaturbeständigkeit von Klebebändern bei ansteigender Temperatur.

## 2. Prinzip der Methode

Ein Klebeband wird auf eine temperierbare Stahlplatte geklebt und mit einem vorgegebenen Gewicht (bei SAFT 50 g) auf Scherung belastet. Während des Tests werden Scherstrecke und Temperatur aufgezeichnet. Es gibt drei Testarten.

<b>Prüfmethode</b>	Ident. Nr.: J0PMA013
<b>Mikroscherweg und SAFT-Test</b>	Version: 004
	Gültig seit: Mai 2018
	Doc-ID: TP25674702

1. Mikroschertest: Die Scherstrecke nach der vorgegebenen Testdauer bei konstanter Temperatur wird als Ergebnis in  $\mu\text{m}$  angegeben.
2. Relaxationstest: Wie Mikroschertest bei konstanter Temperatur, jedoch nimmt man nach Erreichen der vorgegebenen Zeit das Gewicht ab und lässt die Probe für den gleichen Zeitraum relaxieren (die Probe bewegt sich dabei aufwärts). Als zusätzliches Ergebnis wird die Scherstrecke nach Relaxation angegeben.
3. SAFT-Test: Die Verklebungsfläche wird, beginnend bei  $30^{\circ}\text{C}$ , mit einer Rate von  $9^{\circ}\text{C}/\text{Min}$  auf  $200^{\circ}\text{C}$  aufgeheizt. Je nach Produkteigenschaft erhält man als Ergebnis die Kurzzeit-Temperaturbeständigkeit (KZTB) und/oder den SAFT-Scherweg.

### 3. Geräte und Prüfklima

- Mikroscherweg Prüfgerät, für SAFT-Test in temperaturbeständiger Ausführung mit Zubehör (s. Foto in 10. Hinweise).
- Stahlrolle 2 kg zum Anrollen der Muster
- Hosenträgerklammern zum Anbringen der Gewichte. Gewicht  $6,4 \pm 0,3 \text{ g}$ .

Prüfplättchen: Werkstoff Nr. 1.4301, DIN EN 10088-2, Oberfläche 2R, mit Schutzfolie. Die Platten werden nicht geschliffen. Die Oberflächenrauigkeit beträgt ca.  $R_a=30-60 \text{ nm}$ . Abmessungen:  $50 \times 13 \times 1,5 \text{ mm}$ . Lieferskizze unter 10. Hinweise.

Ersatzplättchen sind ausschließlich vom F&E Messlabor zu beziehen.

**Prüfklima:** Raumtemperatur

### 4. Materialien

Für doppelseitige Klebebänder: (zum Abdecken der Bandrückseite) Aluminium-Folie  $50\mu\text{m}$

Als Verstärkung zur Auflage des Messfühlers in 5 mm Breite: Vormaterial Ventilbasis Prod.Nr. 7339 PV 9, Prägeband Prod.Nr. 5571 oder Pack 4289.



<b>Prüfmethode</b>	Ident. Nr.:	JOPMA013
	Version:	004
<b>Mikroscherweg und SAFT-Test</b>	Gültig seit:	Mai 2018
	Doc-ID:	TP25674702

## 5. Prüfmuster

Prüfung der abgedeckten Seite von Fix: die offene Seite wird direkt auf die Alu-Folie geklebt.

Prüfung der offenen Seite von Fix: die offene Seite wird auf TP 80 geklebt, das Original-TP entfernt und die abgedeckte Seite mit Alu-Folie kaschiert.

Die so mit Alu-Folie präparierten Streifen werden auf 10 mm Breite geschnitten, Länge ca. 50 mm.

Einseitige Tapes werden zum Zuschneiden auf die Bandrückseite geklebt.

Für eine Messung sind zwei Prüfstreifen erforderlich.

## 6. Versuchsurchführung

### 6.1. Vorbereitung des Messgeräts

Zwischen SAFT-Tests muss das Gerät auf 30 °C abgekühlt werden. Beim neuen Gerätetyp geschieht das per Druckluft automatisch.

#### Altes Gerät:

##### Gerät auf 30°C abkühlen

Abkühlen des Messgerätes mittels Kühlwasser auf Raumtemperatur bis die Starttemperatur von 30°C für mind. 5 min (wichtig!) gehalten wird.

Kühlwasserstrom gegen Ende der Kühlphase auf nur geringen Durchfluss einstellen. Sonst besteht die Gefahr, dass die Regelung überreagiert und die Platte nach beenden der Kühlung wieder zu warm wird.

##### Wasser ausblasen

Wasserhahn und Absperrventil-Wasserzulauf am Gerät schließen. Absperrventil-Pressluft öffnen, Kühlwasserrückstände vor Beginn der Messung vollständig ausblasen. Danach Pressluftventil schließen. (s. Foto in 10. Hinweise)

### 6.2. Vorbereitung der Prüfkörper

Prüfplatten mit Aceton reinigen. Die Prüfplatte wird in die Fixiervorrichtung gelegt (Ausrichtung der Löcher beachten, wie Skizze 1), und die vorbereitete Probe mittig auf die Prüfplatte und die Fixiervorrichtung geklebt.

Doku-ID: TP25674702

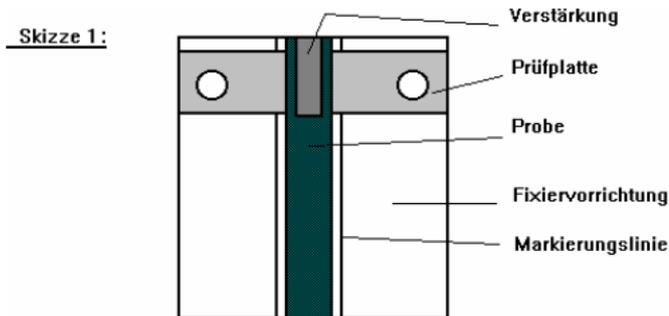
<http://archiv.tesagroup.net:8080/d.web/download?AI=1&Q4=TP25674702&IF=.PDF>

9110 Corporate Quality Management

This document is controlled via tesa Document Management System – online document takes precedence

Seite 3 von 10

<b>Prüfmethode</b>	Ident. Nr.: JOPMA013
<b>Mikroscherweg und SAFT-Test</b>	Version: 004
	Gültig seit: Mai 2018
	Doc-ID: TP25674702



Anschließend wird die aufgeklebte Probe mit der 2 kg Stahlrolle mit einer Geschwindigkeit von ca. 10 m/min (16 cm / Sek.) 3x hin und her überrollt.

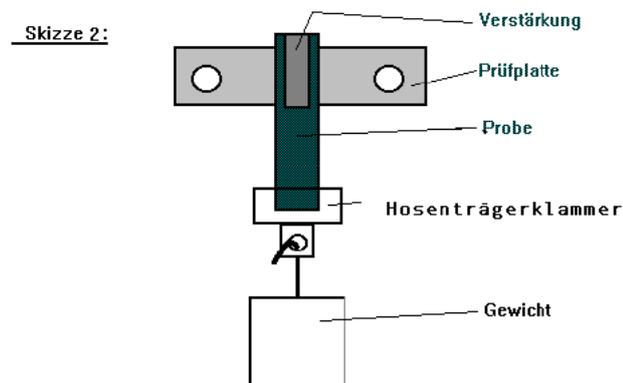
Danach wird die aufgeklebte Probe im oberen Bereich mit dem Verstärkungsmaterial mittig auf der Rückseite überklebt. Probe und Verstärkung werden an der Oberkante auf gleiche Länge geschnitten.

Achtung: Die Verstärkung nur leicht anwischen!

Jetzt wird die Probe mit der anhaftenden Prüfplatte aus der Fixiervorrichtung entnommen. Dabei ist sorgfältig darauf zu achten, nicht die Verklebung zwischen Probe und Prüfplatte zu lösen.

Die untere Probenhälfte wird mit einem Kartenblattabschnitt beklebt, umgeknickt und mit einer Hosenträgerklammer versehen.

### 6.3. Messung



Doku-ID: TP25674702

<http://archiv.tesagroup.net:8080/d.web/download?AI=1&Q4=TP25674702&IF=.PDF>

9110 Corporate Quality Management

This document is controlled via tesa Document Management System – online document takes precedence

<b>Prüfmethode</b>	Ident. Nr.: JOPMA013
<b>Mikroscherweg und SAFT-Test</b>	Version: 004
	Gültig seit: Mai 2018
	Doc-ID: TP25674702

1. Das Programm bzw. der Datenschreiber wird gestartet.
2. Die vorgegebenen Gewichte, beim SAFT-Test 50 g, werden gleichzeitig ruckfrei angehängt. Hierbei ist wichtig, dass die Gewichte genau in der Mitte des Prüfstreifens hängen.

**Hinweis:** Das Gewicht der Hosenträgerklammer (7-9 g) wird bei der Gewichtangabe nicht berücksichtigt. Ist als Gewicht zum Bsp. 50 g vorgegeben, so liegt die tatsächliche Belastung bei ca. 56,4 g.

#### Ende der Messung

**SAFT-Test:** Die Messung ist bei Erreichen der vorgegebenen Endtemperatur beendet, der bei Erreichen einer Rutschstrecke  $> 1000 \mu\text{m}$ .

**Mikroschertest:** Die Messung ist nach der vorgegebenen Testdauer  $t$  beendet.

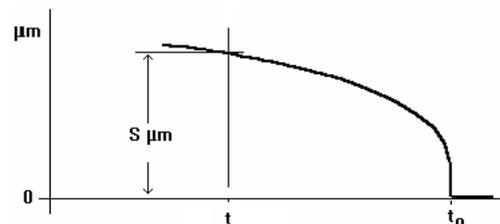
**Mikroschertest mit Relaxation:** Nach der vorgegebenen Testdauer  $t$  werden die Gewichte abgenommen und den Prüflingen noch einmal die gleiche Zeit zum Relaxieren gegeben. Dabei erfolgt eine Aufwärtsbewegung.

## 7. Auswertung und Beurteilung

### 7.1. Mikroscherweg

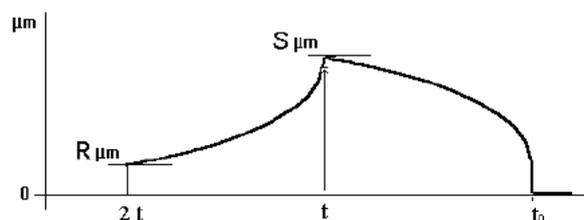
Ausgewertet wird im Diagramm für jede der beiden Proben die Rutschstrecke  $S$  in  $\mu\text{m}$ , die sich nach der vorgegebenen Messdauer  $t$  eingestellt hat.

Proben, die sich vor Ablauf der Messzeit teilweise oder gänzlich lösen, sind zu verwerfen.



### 7.2. Relaxationstest

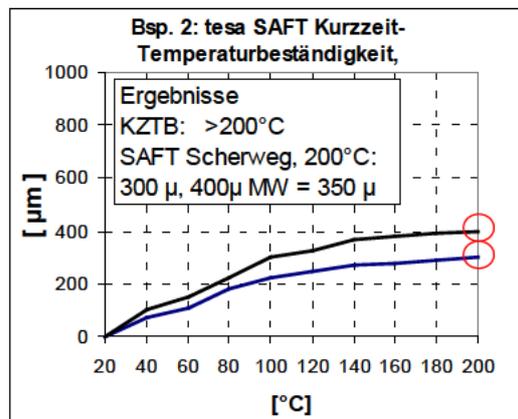
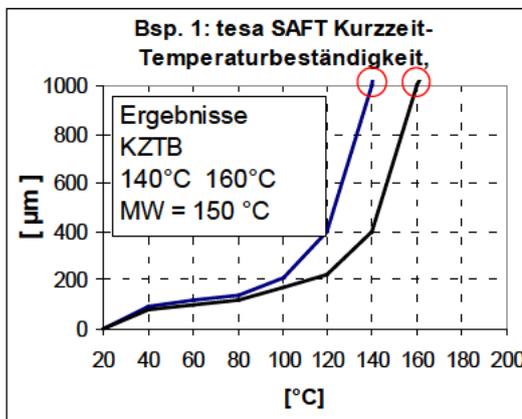
Auswertung wie Mikroscherweg, jedoch wird zusätzlich zur maximalen Rutschstrecke  $S$  bei der vorgegebenen Messdauer  $t$  für jede der beiden Proben auch die Rutschstrecke nach Relaxation  $R$  angegeben.



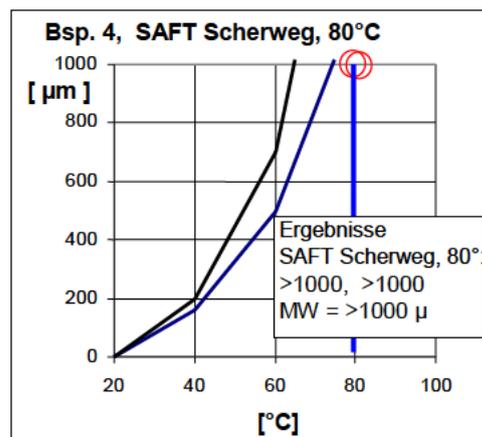
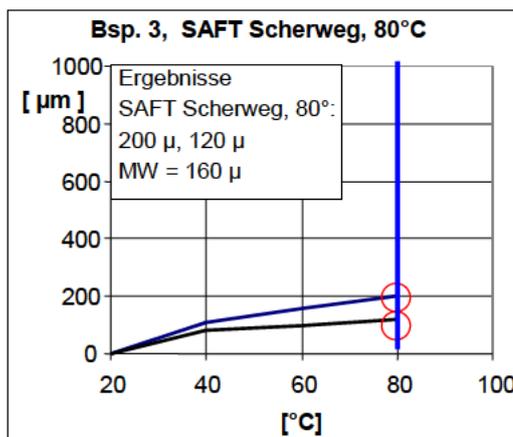
<b>Prüfmethode</b>	Ident. Nr.:	J0PMA013
	Mikroscherweg und SAFT-Test	Version:
	Gültig seit:	Mai 2018
	Doc-ID:	TP25674702

### 7.3. SAFT-Test

Der SAFT-Test kann zwei Prüfmerkmale liefern: SAFT-Scherweg und SAFT-Kurzzeit-Temperaturbeständigkeit (SAFT-KZTB).



- SAFT-Kurzzeit-Temperaturbeständigkeit (KZTB)
  - Die Temperatur, bei der eine Rutschstrecke von 1000 µm erreicht wird (Bsp. 1).
  - Beträgt die Rutschstrecke bei Erreichen der vorgegebenen Endtemperatur weniger als 1000 µm, so lautet das Ergebnis „> Endtemperatur“, und zusätzlich wird das Prüfmerkmal, hier „SAFT-Scherweg, 200 °C“, angegeben (Bsp. 2).
- SAFT-Scherweg
  - Ergebnis ist die Rutschstrecke in µm bei Endtemperatur (Bsp.3).
  - Ist diese > 1000 µm so wird als Ergebnis > 1000 µm angegeben (Bsp. 4).



<b>Prüfmethode</b>	Ident. Nr.: JOPMA013
<b>Mikroscherweg und SAFT-Test</b>	Version: 004
	Gültig seit: Mai 2018
	Doc-ID: TP25674702

Bei allen Merkmalen wird aus den Einzelwerten der beiden Proben der arithmetische Mittelwert gebildet.

## 8. Darstellung der Ergebnisse

### Mikroscherweg

Ergebnis ist die Scherstrecke **S** gem. Punkt 7. Mit dem Ergebnis werden angegeben: Prüftemperatur, Prüfdauer und Prüfungsgewicht

Beispiel 1: Mikroscherweg, 40°C, 15 Min, 100 g: 83 µm

### MSW mit Relaxation

Ergebnis sind die Scherstrecken **S** und **R** gem. Punkt 7. Mit dem Ergebnis werden angegeben: Prüftemperatur, Prüfdauer und Prüfungsgewicht

Beispiel 2: MSW mit Relaxation, 40°C, 15 Min, 100 g: S= 83 µm R= 20 µm

### SAFT-Test

Der SAFT-Test kann gemäß Punkt 7 zwei Prüfmerkmale liefern: SAFT- Scherweg, und Kurzzeit-Temperaturbeständigkeit.

Bei Angabe des SAFT-Scherwegs muss die Endtemperatur mit angegeben werden.

Beispiel 3: SAFT-KZTB: 150°C

Beispiel 4: SAFT-KZTB: > 200°C  
SAFT-Scherweg, 200°C: 350 µ

Beispiel 5: SAFT-Scherweg, 80°C: 160 µ

## 9. Historie

### Ver. 4 Mai 2018

Foto des neuen Gerätetyps hinzugefügt. Lieferspezifikationen der Prüfplatten aktualisiert

### Ver. 3 Mai 2005

Die wesentlichen Änderungen sind

- Relaxationstest neu aufgenommen
- Prüfplättchen werden nicht mehr geschliffen
- Starttemperatur beim SAFT von 20 auf 30°C erhöht

Doku-ID: TP25674702

<http://archiv.tesagroup.net:8080/d.web/download?AI=1&Q4=TP25674702&IF=.PDF>

9110 Corporate Quality Management

This document is controlled via tesa Document Management System – online document takes precedence

<b>Prüfmethode</b>	Ident. Nr.: J0PMA013
<b>Mikroscherweg und SAFT-Test</b>	Version: 004
	Gültig seit: Mai 2018
	Doc-ID: TP25674702

Ver. 2 Mai 2003

Methode umbenannt von „Mikroscherweg“ in „Mikroscherweg und SAFT-Test“.

- Die Vorgehensweise für den SAFT Test wurde zusätzlich beschrieben.
- andere Änderungen:

Punkt 5: Zum Abkleben der Rückseite von Fix wird immer Aluminiumfolie verwendet. Das Zuschneiden der Prüflinge erfolgt nach dem Bekleben mit Aluminiumfolie.

Punkt 6.2: Prüfplatten werden mit Aceton gereinigt.

## 10. Hinweise

Lieferspezifikation tesa Mikroscherweg-Platten seit 2013:

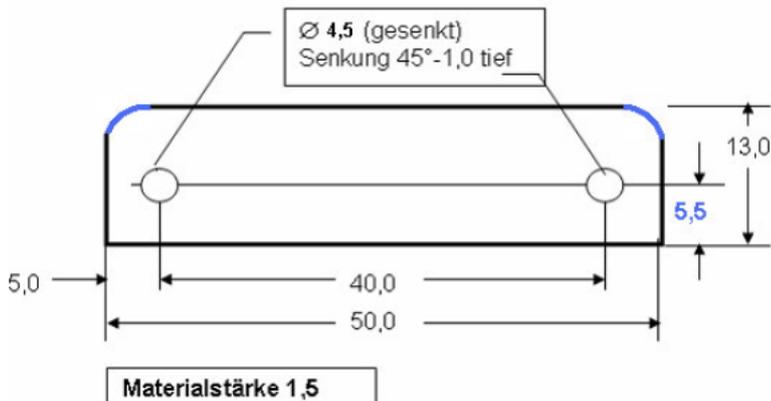
Werkstoff Nr. 1.4301, DIN EN 10088-2, Oberfläche 2R, mit Schutzfolie, lasergeschnitten, verwindungsfrei.

Maße: 50 x 13 x 1,5 mm

Zwei gesenkte Löcher mit 4,5 mm Durchmesser im Abstand von 40 mm.

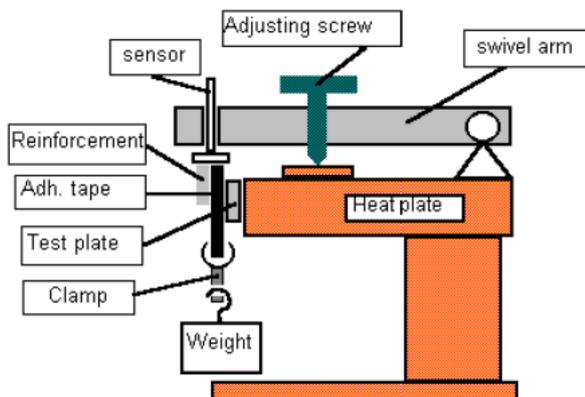
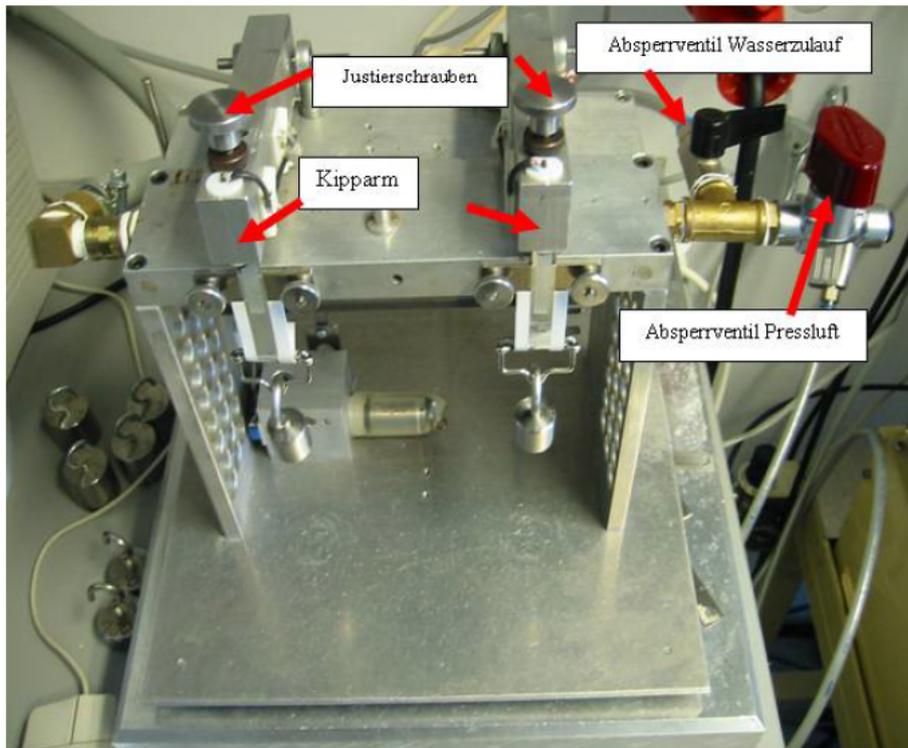
**Neu in 2013, in der Skizze in blau:**

1. 2 Ecken der Oberkante gerundet (zum Kenntlichmachen der längeren Seite)
2. Abstand Loch zu Unterkante 5,5 mm



<b>Prüfmethode</b> <b>Mikroscherweg und SAFT-Test</b>	Ident. Nr.:	J0PMA013
	Version:	004
	Gültig seit:	Mai 2018
	Doc-ID:	TP25674702

### Altes Gerät



Doku-ID: TP25674702

<http://archiv.tesagroup.net:8080/d.web/download?AI=1&Q4=TP25674702&IF=.PDF>

9110 Corporate Quality Management

This document is controlled via tesa Document Management System – online document takes precedence

<b>Prüfmethode</b> <b>Mikroscherweg und SAFT-Test</b>	Ident. Nr.: J0PMA013
	Version: 004
	Gültig seit: Mai 2018
	Doc-ID: TP25674702

Neues Gerät



