

Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends

Bachelorarbeit von Patrick Heinemann

Matrikelnummer: 478212

Angefertigt am

Institut für Polymerwerkstoffe und Kunststofftechnik

der Technischen Universität Clausthal

im Sommersemester 2023

Betreuer: Dr. sc. nat. Leif Steuernagel

Gutachter: Dr. sc. nat. Leif Steuernagel

Zweitgutachter: Prof. Dr.-Ing. Gerhard Ziegmann

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	III
Symbolverzeichnis	IV
Abbildungen und Tabellen	V
Zusammenfassung	VII
Abstract	VII
1 Einleitung	1
2 Theorie	1
2.1 Herstellung des PP/PA-Blends	1
2.2 DSC-Messung mit vorgeschalteter TGA	2
2.3 Zugversuch	5
2.4 Biegeversuch	6
2.5 Charpy-Untersuchung	8
3 Durchführung	9
3.1 Herstellung des PP/PA-Blends	9
3.2 DSC-Messung mit vorgeschalteter TGA	13
3.3 Zugversuch	14
3.4 Biegeversuch	15
3.5 Charpy-Untersuchung	15
4 Ergebnisse	16
4.1 Herstellung des PP/PA-Blends	16
4.2 DSC-Messung mit vorgeschalteter TGA	18
4.3 Zugversuch	21
4.4 Biegeversuch	28
4.5 Charpy-Untersuchung	33
5 Auswertung	35
6 Ausblick	38
7 Literaturverzeichnis	39
8 Anhang	41
Massefluss	41
TGA	42
DSC	55
Biegeversuch	69

Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends
Inhaltsverzeichnis

Zugversuch	72
Charpy-Versuch	75

Abkürzungsverzeichnis

T_m – Schmelztemperatur

T_g - Glasübergangstemperatur

T_z - Zersetzungstemperatur

DSC- Dynamischen Differenzkalorimetrie

TGA – Thermogravimetrische Analyse

PA6GF35 – Polyamid 6 mit einem Glasfasergehalt von 35 %

PA - Polyamid

PP – Polypropylen

MAPP - Polypropylen-Pfropf-maleinsäureanhydrid

Symbolverzeichnis

<u>Symbol</u>	<u>Bedeutung</u>	<u>Einheit</u>
H_m	Schmelzenthalpie	J/mol
H_k	Kristallisationsenthalpie	J/mol
M_w	Gewichtsmittel	g/mol
M_n	Zahlenmittel	g/mol
T_m	Schmelztemperatur	°C
T_k	Kristallisationstemperatur	°C
T_g	Glasübergangstemperatur	°C
W_C	Schlagarbeit	kJ/m ²
A_{cU}	Schlagzähigkeit	kJ/m ²
h	Probenhöhe	mm
b	Probenbreite	mm
s_C	Konventionelle Durchbiegung	mm
E_f	Biegemodul	MPa
ε_f	Biegedehnung	%
ε_{fB}	Biegedehnung bei Bruch	%
σ_{fM}	Biegefestigkeit	MPa
σ_f	Biegespannung	MPa
l	Probenlänge	mm
A	Probenfläche	mm ²
σ_y	Streckgrenze	MPa
σ_m	Zugfestigkeit	MPa
ε_B	Bruchdehnung	%

Abbildungen und Tabellen

Abbildung 1: Struktur von Polypropylen	1
Abbildung 2: Struktur von Polyamid 6	1
Abbildung 3: Struktur von Polypropylen-Pfropf-maleinsäureanhydrid.....	2
Abbildung 4: Aufbau einer TGA-Messung.....	3
Abbildung 5: Beispiel eines Thermogramms einer TGA-Messung.....	3
Abbildung 6: Aufbau einer DSC	4
Abbildung 7: Beispiel eines Thermogramms einer DSC-Messung	5
Abbildung 8: Aufbau eines Zugversuchs	5
Abbildung 9: Beispiele für Spannungs-Dehnungsdiagramme	6
Abbildung 10: Aufbau einer Dreipunktbiegung	7
Abbildung 11: Beispiele für Biegespannungs-Biegedehnungs-Diagramme.....	8
Abbildung 12: Aufbau eines Charpy-Schlagzähigkeitsversuchs	9
Abbildung 13: Verwendeter Extruder und Granulierer zur Erstellung des Blends.....	11
Abbildung 14: Verwendete Spritzgussmaschine.....	12
Abbildung 15: Spritzgussmaschine zur Erstellung der Mittelteilproben	13
Abbildung 16: Verwendete Universalprüfmaschine	14
Abbildung 17: Verwendete Charpy-Schlagzähigkeitsprüfmaschine	15
Abbildung 18: Verlauf des Massefluss über die Blendzusammensetzung	17
Abbildung 19: Verlauf des Massefluss bei hinzufügen von MAPP.....	18
Abbildung 20: Verlauf des E-Moduls	22
Abbildung 21: Verlauf der Streckgrenzen	23
Abbildung 22: Verlauf der Streckdehnung	24
Abbildung 23: Verlauf der Zugfestigkeit	25
Abbildung 24: Verlauf der Dehnung bei Zugfestigkeit	25
Abbildung 25: Verlauf der Bruchspannung	26
Abbildung 26: Verlauf der Bruchdehnung und der nominellen Bruchdehnung	27
Abbildung 27: Verlauf der Biegefestigkeit	30
Abbildung 28: Verlauf der Biegedehnung bei Biegefestigkeit	31
Abbildung 29: Verlauf der Biegespannung bei Bruch.....	32
Abbildung 30: Verlauf der Biegedehnung bei Bruch.....	32
Abbildung 31: Verlauf der Charpy-Schlagzähigkeit.....	34
Abbildung 32: Verlauf der Charpy-Schlagzähigkeit unter Zugabe von MAPP.....	35
Tabelle 1: Mischungsverhältnisse des Blends.....	10
Tabelle 2: Temperaturprofil des Extruders	10
Tabelle 3: Mischungsverhältnisse des Blends mit Haftvermittler.....	12
Tabelle 4: Massefluss über die Blendzusammensetzung	16
Tabelle 5: Massefluss unter Zugabe von MAPP	17
Tabelle 6: Ermittelte Zersetzungstemperaturen	18
Tabelle 7: Ermittelte Schmelztemperaturen beim Aufheizvorgang	19
Tabelle 8: Ermittelte Kristallisationstemperaturen beim Abkühlvorgang	19
Tabelle 9: Ermittelte Zersetzungstemperaturen bei MAPP-Zugabe	20

Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends
Abbildungen und Tabellen

Tabelle 10: Ermittelte Schmelztemperaturen beim Aufheizvorgang nach MAPP-Zugabe	20
Tabelle 11: Ermittelte Schmelztemperaturen beim Abkühlvorgang nach MAPP-Zugabe	21
Tabelle 12: Gemessene E-Moduln	21
Tabelle 13: Gemessene Streckgrenzen und Streckdehnung	23
Tabelle 14: Gemessene Zugfestigkeit und Dehnung bei Zugfestigkeit	24
Tabelle 15: Gemessene Bruchspannung, Bruchdehnung und nominelle Bruchdehnung	26
Tabelle 16: Gemessene Biegefestigkeit und Biegedehnung bei Biegefestigkeit	30
Tabelle 17: Gemessene Biegespannung und Biegedehnung bei Bruch	31
Tabelle 18: Gemessene Charpy-Schlagzähigkeit	33
Tabelle 20: Gemessene Charpy-Schlagzähigkeit unter Zugabe von MAPP	34

Zusammenfassung

Da Polypropylen (PP) und Polyamid 6 (PA) aufgrund ihrer vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten als grundlegende Polymere der heutigen Zeit gelten, zielt diese Bachelorarbeit darauf ab, das Materialverhalten einer Mischung aus den beiden Polymeren (PP/PA-Blend) zu untersuchen. Hierzu wurden die Polymere vermischt, zu Messproben verarbeitet und sowohl mechanischen als auch thermischen Untersuchungen unterzogen. Zusätzlich wurde der Haftvermittler Polypropylen-Pfropf-maleinsäureanhydrid (MAPP) hinzugeben, um eine Reaktion der beiden Polymere zu unterstützen.

Bei der mechanischen und thermischen Analyse fällt auf, dass die beiden Polymere nicht miteinander reagieren. Durch die erschwerte Verarbeitbarkeit mit zunehmenden Polyamid-Anteil kommt es bei den mechanischen Analysen zu Unregelmäßigkeiten. Nach Zugabe des Haftvermittlers kommt es zu einer Festigkeitssteigerung und zu einer leichten Verschiebung der Schmelz- und Kristallisationstemperaturen.

Polypropylen, Polyamid 6, Polypropylen-Pfropf-maleinsäureanhydrid, Polymerblend, Materialverhalten, thermische Analyse, mechanische Analyse

Abstract

Since polypropylene (PP) and polyamide 6 (PA) are considered fundamental polymers of today due to their wide range of applications, this bachelor thesis aims to investigate the material behavior of a blend of the two polymers (PP/PA blend). For this purpose, the polymers were blended, processed into test specimens and subjected to both mechanical and thermal tests. In addition, the adhesion promoter polypropylene graft maleic anhydride (MAPP) was added to support a reaction of the two polymers.

From the mechanical and thermal analysis, it is noticed that the two polymers do not react with each other. Due to the more difficult processability with increasing polyamide content, irregularities occur in the mechanical analyses. After addition of the adhesion promoter, there is an increase in strength and a slight shift in the melting and crystallization temperatures.

Polypropylene, polyamide 6, polypropylene graft maleic anhydride, polymer blend, material behavior, thermal analysis, mechanical analysis

1 Einleitung

Auf Grund der vielfältigen Einsatzmöglichkeiten gelten Polypropylen und Polyamid 6 als elementare Polymere der heutigen Zeit. In dieser Bachelorarbeit soll das Materialverhalten einer Mischung aus den beiden Polymeren (PP/PA-Blend) untersucht werden. Hierzu werden die mechanischen und thermischen Eigenschaften an verschiedenen Zusammensetzungen getestet. Mit den erhaltenen Daten können Aussagen über die Mischbarkeit der beiden Materialien bei den jeweiligen Zusammensetzungen getroffen werden. Weiterhin wird der Blend mit einem Haftvermittler compoundingiert und die Auswirkung auf die Materialeigenschaften untersucht.

2 Theorie

Im folgenden Abschnitt werden zunächst die theoretischen Grundlagen erläutert. Dazu werden eingangs die verwendeten Materialien vorgestellt. Im Anschluss werden die benutzten Messmethoden zur Ermittlung der thermischen und mechanischen Eigenschaften der Blend-Zusammensetzungen erläutert.

2.1 Herstellung des PP/PA-Blends

Bei der Erstellung des PP/PA-Blends werden die beiden Rohstoffe compoundingiert, erneut granuliert und im Spritzgussverfahren zu DIN EN ISO 527 Typ 1A Proben verarbeitet.

Das verwendete Polypropylen ist dabei das Polypropylen H734-52RNA der Firma Braskem. Es besitzt eine Dichte von $0,900 \text{ g/cm}^3$ [Bra 19].

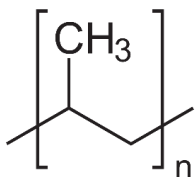


Abbildung 1: Struktur von Polypropylen [Wik 08]

Als Polyamid wird das Ultramid® B3EG7 von BASF benutzt. Hierbei handelt es sich um ein Polyamid 6 (Polycaprolactam) mit einem Glasfaseranteil von 35 %. Es besitzt eine Schmelztemperatur T_m von 220 °C und eine Dichte von $1,40 \text{ g/cm}^3$ [BAS 23].

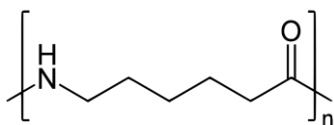


Abbildung 2: Struktur von Polyamid 6 [Wik 10]

Weiterhin wird ein Mischungsverhältnis erneut mit drei verschiedenen Anteilen des Haftvermittlers MAPP extrudiert. Bei dem MAPP handelt es sich um Polypropylen-Pfropf-maleinsäureanhydrid mit der Produktnummer 427845 der Firma Sigma-Aldrich. Es besitzt ein Gewichtsmittel M_w von ~ 9100 g/mol und ein Zahlenmittel M_n von ~ 3900 g/mol [Sig].

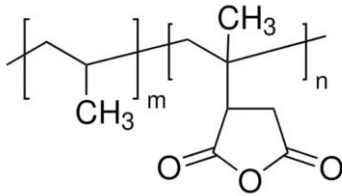


Abbildung 3: Struktur von Polypropylen-Pfropf-maleinsäureanhydrid [Sig]

Für die Erstellung des PP/PA-Blends werden die Rohstoffe abgewogen, vermengt und in einem Extruder compoundingiert. Die Bestandteile schmelzen durch die Temperatur und die Scherkräfte auf und vermischen sich. Der daraus entstandene Blend wird dann weiterverarbeitet.

Im Verlauf des Extrusionsprozesses erfolgt die Bestimmung des Masseflusses für die jeweiligen Zusammensetzungen. Der Massefluss liefert Informationen zur Verarbeitbarkeit des Blends, wobei ein erhöhter Massefluss auf verbesserte Verarbeitbarkeit durch eine geringere Viskosität und einen niedrigeren Schmelzpunkt hinweist.

2.2 DSC-Messung mit vorgeschalteter TGA

Die Thermogravimetrische Analyse (TGA) ist eine thermische Analysemethode in der Materialwissenschaft. Mit Hilfe der TGA wird die thermische Stabilität von Materialien untersucht. Die Messung basiert auf dem Gewichtsverlauf einer Probe in Abhängigkeit von der Temperatur unter kontrollierten atmosphärischen Bedingungen. Sie untersucht die thermischen Zersetzungs- und Abbauvorgänge im Material.

Das TGA-Instrument besteht im Wesentlichen aus einer Probenkammer, einer Probenwaage und der Temperiereinheit (vgl. Abb. 4). Die Probe wird in einem kleinen Behälter in der Probenkammer platziert. Daraufhin wird die Probenkammer erhitzt, während die Waage kontinuierlich das Gewicht der Probe misst. Die Messung wird meist in einer inerten Atmosphäre (bspw. Stickstoff) durchgeführt, um unerwünschte Reaktionen der Probe mit der Umgebungsluft auszuschließen. Während der Erhitzung der Probe kommt es zu thermischen Veränderungen, welche zum Abbau oder der Zersetzung des Materials führen. Diese Veränderungen führen zu einer Gewichtsänderung. Diese Änderungen werden mittels Waage detektiert. Die Daten werden in einem TGA-Thermogramm dargestellt (vgl. Abb 5.), welches die Gewichtsänderung gegen die Temperatur oder die Zeit aufträgt. Das Thermogramm gibt Aufschluss über thermische Eigenschaften des Materials wie Zersetzungstemperatur, Masseverlustrate oder Art des thermischen Zersetzungsprozesses.

Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends

2 Theorie

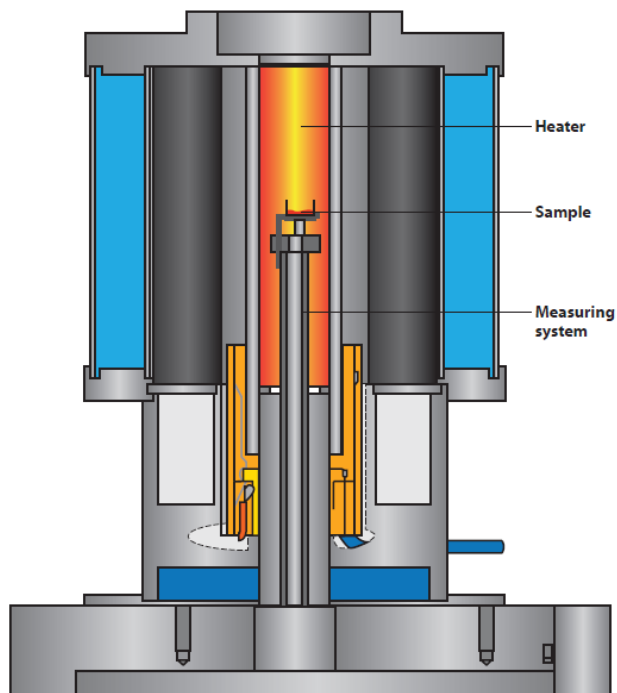


Abbildung 4: Aufbau einer TGA-Messung [Lin 23]

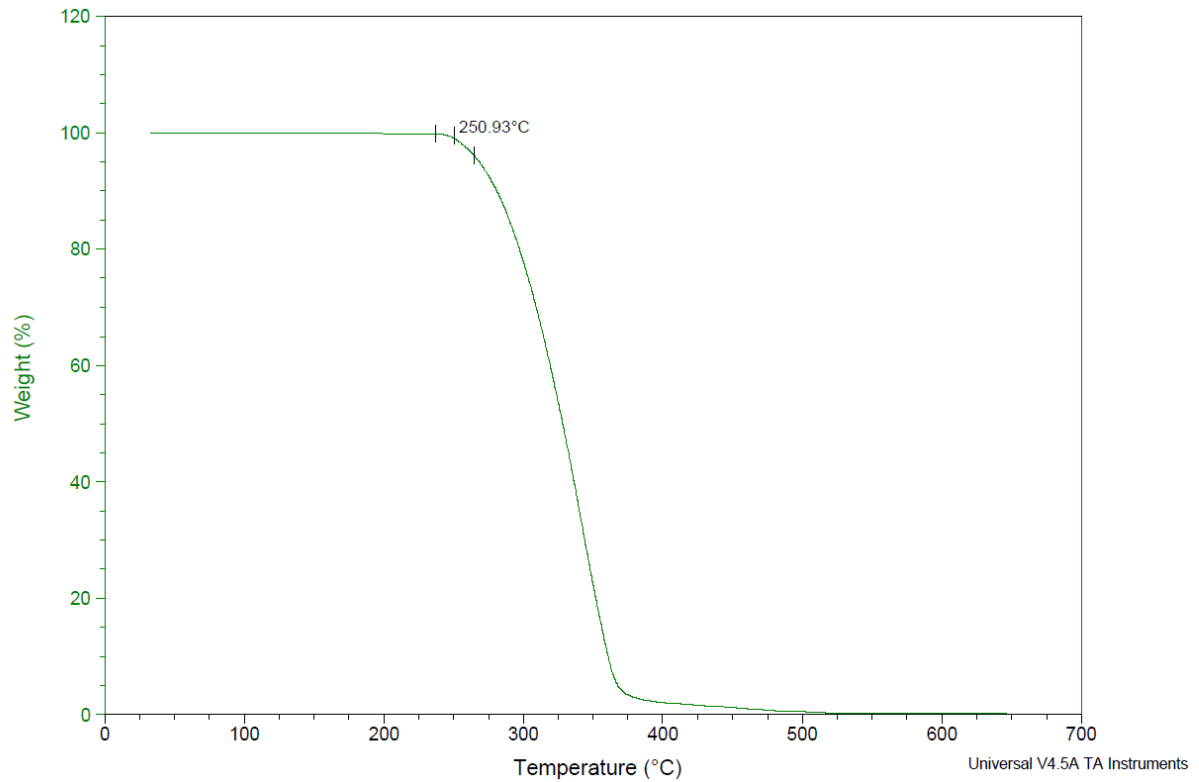


Abbildung 5: Beispiel eines Thermogramms einer TGA-Messung

Bei der Dynamischen Differenzkalorimetrie (DSC) handelt es sich ebenfalls um eine Messung zur Untersuchung der thermischen Eigenschaften von Werkstoffen. Sie ermöglicht das Messen von Wärmeänderungen im Material in Abhängigkeit von Temperatur und Zeit. Durch die Wärmeänderungen können diverse thermische Eigenschaften einer Probe gemessen werden.

Das DSC-Instrument besteht aus zwei identischen Temperaturzellen für die Probe und die Referenz. Beide Zellen werden gleichzeitig aufgeheizt oder abgekühlt. Dabei wird die aufgenommene oder abgegebene Wärmeenergie gemessen. Bei einem thermischen Übergang wird zusätzliche Wärmeenergie benötigt oder freigesetzt. Die Änderung im Wärmefluss wird als Signal ausgewertet. Abhängig von Form und Stärke des Ausschlags können Informationen über die Art des Übergangs und dessen Energie gewonnen werden. Um Oxidation oder andere unerwünschte Reaktionen zu vermeiden, herrscht meist eine Inertgasatmosphäre im Ofen.

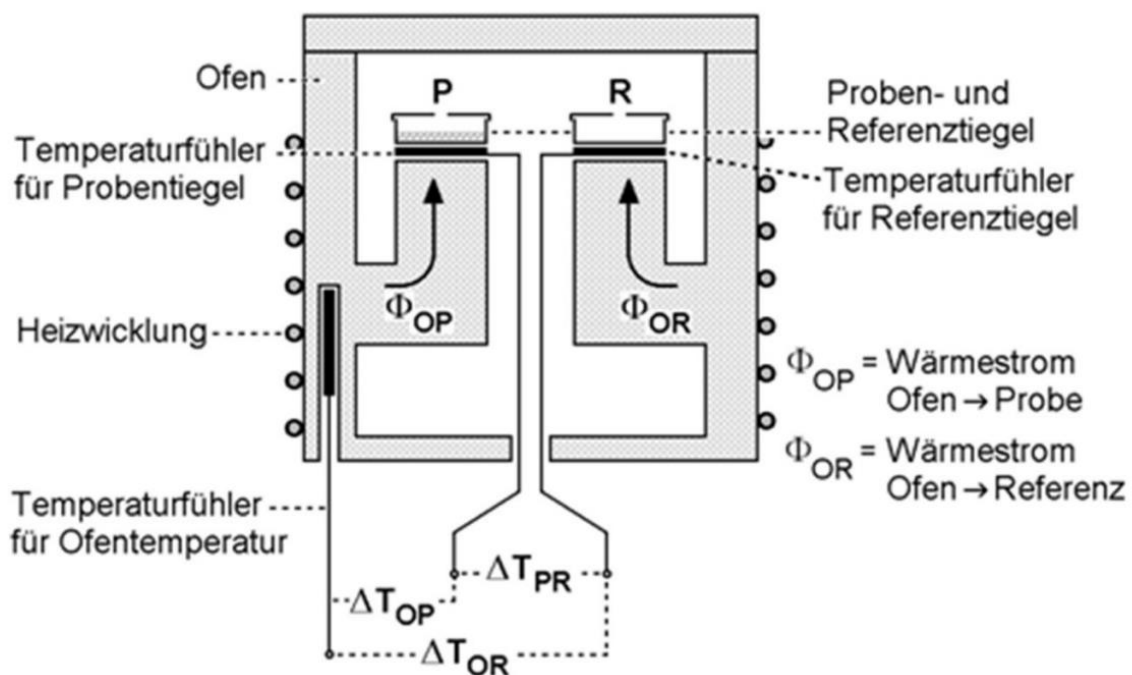


Abbildung 6: Aufbau einer DSC [Lot 09]

Die DSC basiert auf dem Prinzip, dass die Energie, welche benötigt wird, um die Temperatur in der Probe zu ändern, von den thermischen Übergängen im Material abhängig ist. Diese Übergänge umfassen beispielsweise Glasübergangstemperaturen, Schmelz- und Kristallisationsvorgänge sowie chemische Reaktionen.

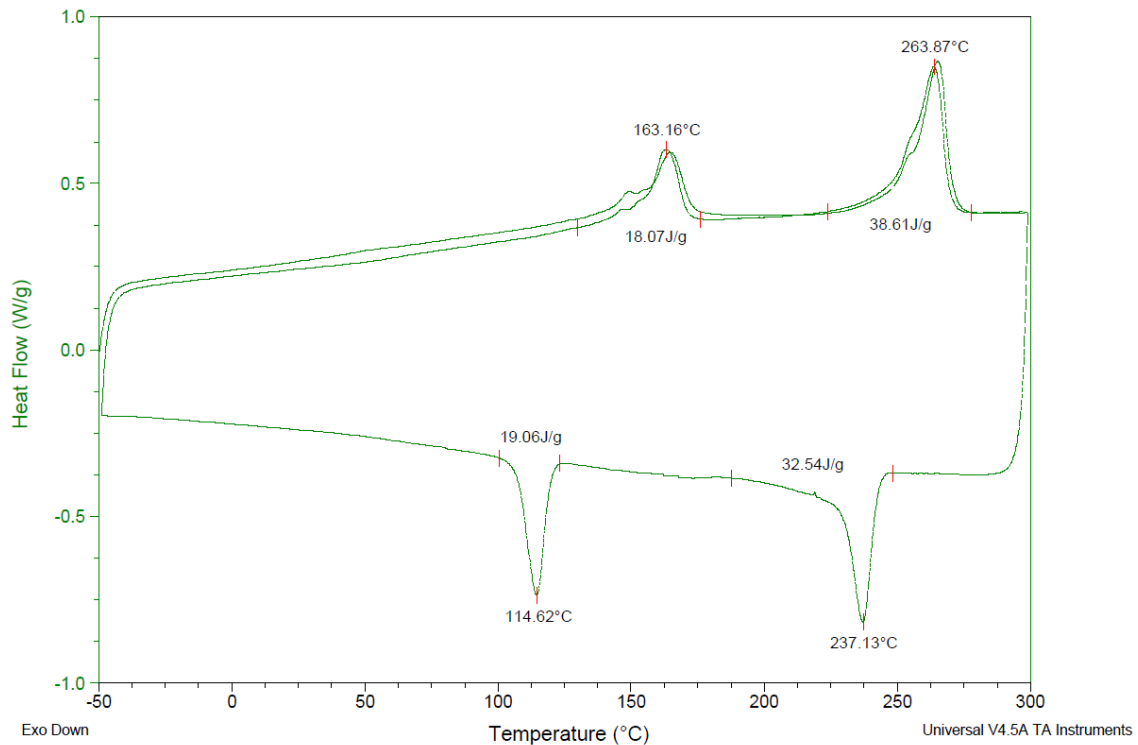


Abbildung 7: Beispiel eines Thermogramms einer DSC-Messung

2.3 Zugversuch

Der Zugversuch ist eine zerstörende mechanische Prüfung unter Zugbelastung. Der Probenkörper wird in eine Universalprüfmaschine eingespannt und einer axialen Zugkraft ausgesetzt. Während der Prüfung wird die verwendete Kraft und resultierende Dehnung gemessen.

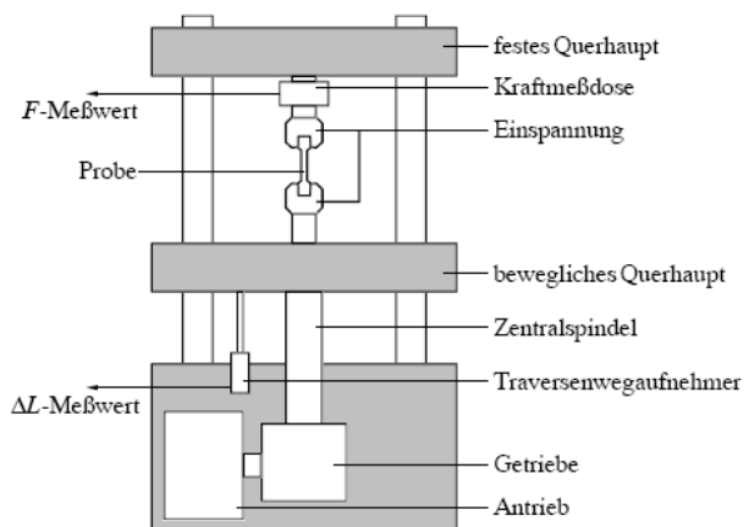


Abbildung 8: Aufbau eines Zugversuchs [A. 17]

Die Spannung σ wird als Verhältnis der aufgetragenen Kraft F und der Querschnittsfläche A der Probe gemessen. Die Dehnung resultiert aus dem Verhältnis der Längenänderung Δl der Probe zu der ursprünglichen Länge l_0 .

Während des Versuchs wird eine Spannungs-Dehnungs-Kurve aufgezeichnet. An dieser Kurve lassen sich mechanische Werte an wichtigen Punkten ablesen. Die Streckgrenze σ_y ist der erste Punkt, an dem ein Zuwachs der Dehnung ohne eine Steigerung der Spannung auftritt. Die Zugfestigkeit σ_m ist die Spannung beim ersten Spannungsmaximum im Verlauf des Zugversuchs. Die Bruchdehnung ε_b ist die Dehnung bei Bruch des Probenkörpers. Das Elastizitätsmodul unter Zugbeanspruchung (E-Modul) E_t lässt sich aus der Steigung der Spannungs-Dehnungskurve während der elastischen Verformung ablesen und charakterisiert den Widerstand, welchen das Material gegen seine elastische Verformung anbringt.

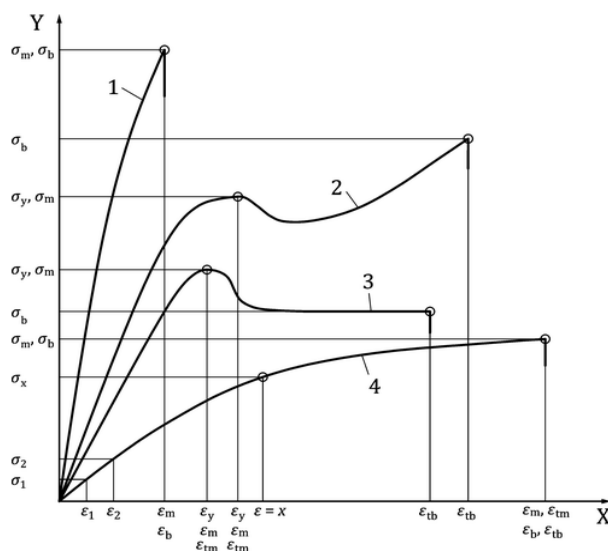


Abbildung 9: Beispiele für Spannungs-Dehnungsdiagramme [DIN 19 a]

2.4 Biegeversuch

Bei den durchgeführten Versuchen wurde als Biegeversuch die Dreipunktbiegung durchgeführt. Hierbei handelt es sich um eine Messmethode zur Bestimmung der Biegeeigenschaften eines Materials. Der Prüfkörper wird so in die Universalprüfmaschine eingespannt, sodass es zu einer Biegebelastung kommt (vgl. Abb. 9).

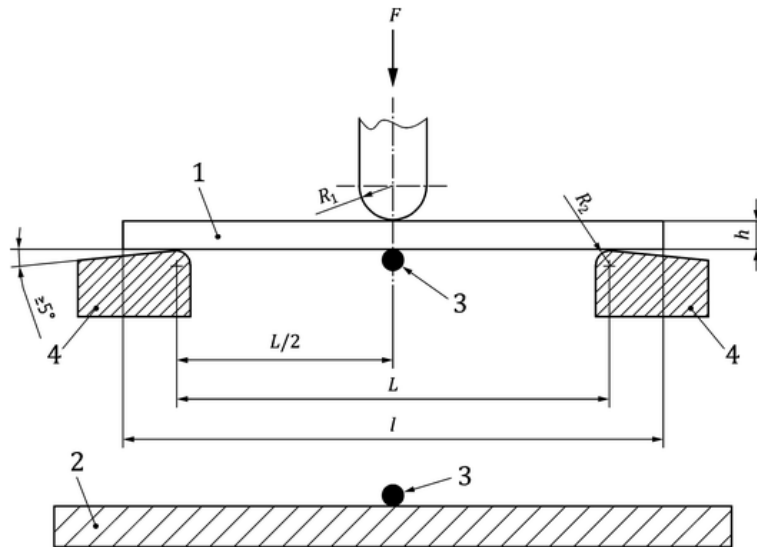


Abbildung 10: Aufbau einer Dreipunktbiegung [DIN 19 b]

Analog zum Zugversuch werden die gemessenen Biegespannungs- und Biegedehnungswerte während des Versuchs aufgezeichnet und in einer Kurve dargestellt. Die Spannung σ_f wird aus dem Verhältnis der aufgebrachten Kraft F zu der Querschnittsfläche A der Probe ermittelt. Die Biegeverformung ε_f gibt den Grad der Biegung an und wird aus dem zurückgelegten Weg der Druckfinne ermittelt.

Die Biegefestigkeit σ_{fM} ist die maximale Biegespannung, die während der Biegeprüfung von Probekörper ertragen wird. Die Biegedehnung beim Bruch ε_{fB} ist die Biegedehnung, bei der der Probekörper bricht. Das Biege-Elastizitätsmodul (Biegemodul) E_f ist das Verhältnis der Biegespannungsdifferenz zu der dazugehörigen Dehnungsdifferenz im Bereich von 0,05 % bis 0,25 % Verformung. Da die vereinfachte Form der Differentialgleichungen der Biegung theoretisch nur für kleine Deformationen gilt, wird die konventionelle Durchbiegung s_c benutzt. Sie markiert eine Verformung des 1,5-Fachen der Probendicke. Bei größeren Verformungen kann die Probe anfangen auf den Widerlagern zu rutschen und führt auf diese Weise zu einer Verfälschung der Ergebnisse [Pol 23b].

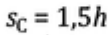


Abbildung 11: Beispiele für Biegespannungs-Biegedehnungs-Diagramme [DIN 19 b]

2.5 Charpy-Untersuchung

Die Charpy-Schlagzähigkeitsprüfung ist eine zerstörende Messmethode zur Bewertung der Zähigkeit eines Materials gegenüber stoßartigen Krafteinwirkung. Sie wird verwendet, um das Verhalten von Kunststoffen unter Schlagbelastung zu beurteilen.

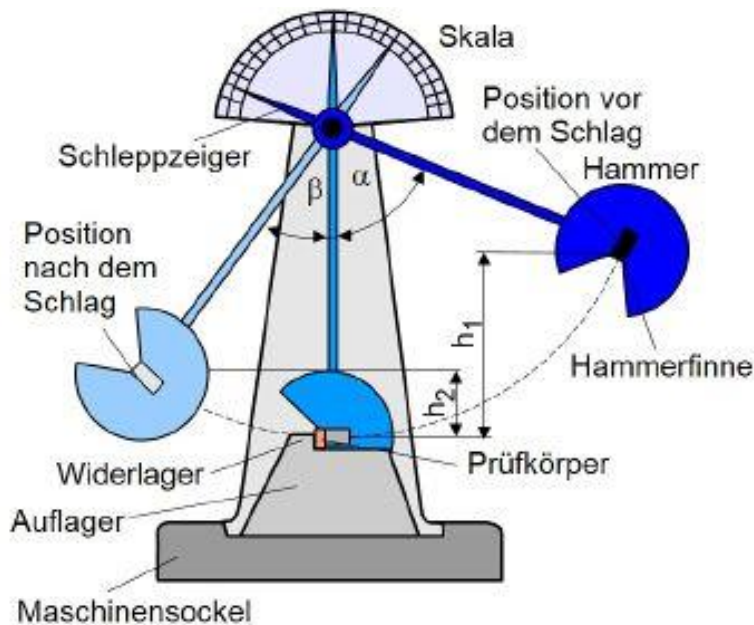


Abbildung 12: Aufbau eines Charpy-Schlagzähigkeitsversuchs [Pol 23a]

Die Probe wird in die Prüfvorrichtung eingespannt und der Schlaghammer angehoben. Nach Freigabe des Hammers schwingt dieser gegen die Probe und überträgt eine definierte kinetische Energie auf das Material. Während des Versuchs wird die Energie gemessen, welche benötigt wird, um die Probe zu brechen. Die benötigte Arbeit W_c wird in das Verhältnis zur Querschnittsfläche der Probe gesetzt und als Charpy-Schlagzähigkeit a_{cU} bezeichnet (vgl. Formel 1 für ungekerbte Probekörper).

$$a_{cU} = \frac{W_c}{h \cdot b} \cdot 10^3 \quad (1)$$

3 Durchführung

3.1 Herstellung des PP/PA-Blends

Für die Beschreibung des Materialverhaltens und der Mischbarkeit werden die beiden Polymere in verschiedenen Verhältnissen abgewogen und händisch in einem Behälter vermengt. Der Anteil an Glasfasern im verwendeten Polyamid wird herausgerechnet. Die vorgesehenen Mischungsverhältnisse sind Tabelle 1 zu entnehmen.

Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends

3 Durchführung

Tabelle 1: Mischungsverhältnisse des Blends

Anteil PP in Ma%	Anteil PAGF35 in Ma%	Anteil PA in Ma%
0,0	100,0	65,0
10,0	90,0	58,5
20,0	80,0	52,0
30,0	70,0	45,5
40,0	60,0	39,0
50,0	50,0	32,5
60,0	40,0	26,0
70,0	30,0	19,5
80,0	20,0	13,0
90,0	10,0	6,5
100,0	0,0	0,0

Das abgewogene Gemenge wird daraufhin jeweils über einen Feeder in einem PRISM TSE 16 TC-Extruder bei 100 RPM compounding und zu einem Blend verarbeitet. Durch die unterschiedlichen thermischen Eigenschaften der beiden Rohstoffe wird ein Temperaturprofil für jede Zusammensetzung im Extruder eingestellt (vgl. Tabelle 2).

Tabelle 2: Temperaturprofil des Extruders

Anteil PP in Ma%	Zone 1 in °C	Zone 2 in °C	Zone 3 in °C	Zone 4 in °C	Zone 5 in °C
0	280	270	220	200	190
10	281	272	227	209	190
20	282	274	234	218	190
30	283	275	238	222	190
40	284	276	244	230	190
50	285	278	250	237	190
60	286	279	256	245	190
70	287	281	262	252	190
80	288	282	268	260	190
90	289	284	274	267	190
100	290	285	280	275	190

Während des Extrusionsprozesses zur Herstellung des Blends wird dreimalig die Masse des entstandenen Extrudats, jeweils nach einer einminütigen Extrusionszeit, gemessen. Das Extrudat wird daraufhin in einem Granulierer der Firma Dreher zur besseren Weiterverarbeitung zerkleinert.

Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends

3 Durchführung



Abbildung 13: Verwendeter Extruder und Granulierer zur Erstellung des Blends

Aus dem dabei entstandenen Granulat werden im Spritzgussverfahren Typ 1A-Proben nach DIN EN ISO 527 erstellt. Hierfür werden die Granulate der einzelnen Zusammensetzungen mit Hilfe einer Arburg 320 C Allrounder-Spritzgussmaschine verarbeitet. Als Verarbeitungstemperatur für die Zusammensetzungen von 100 % bis 40 % PP-Anteil wird dabei ein Temperaturverlauf von 230 °C bis 205 °C, bei einem Schneckenstaudruck von 160 Bar und einer Werkzeugtemperatur von 40 °C benutzt. Angesichts des hohen Anteils von glasfaserverstärktem Polyamid 6 im Blend gestaltet sich die Verarbeitung ab einem Polypropylen PP-Anteil von 30 % als herausfordernd. Aus diesem Grund wurden die Spritzgussparameter entsprechend modifiziert. Die Verarbeitungstemperatur wird auf ein Temperaturprofil von 285 °C bis 260 °C erhöht und der Schneckenstaudruck auf 60 Bar verringert. Die entstandenen Typ 1A-Proben werden dann vom Anguss entfernt und von Maschinenöl gesäubert.

Durch die erschwerte Verarbeitbarkeit der Zusammensetzung mit 10% PP-Anteil, konnten mit dem vorgehaltenen Material nur zwölf statt der geplanten 24 Probenkörper erstellt werden. Die Erstellung der Probenkörper für reines PAGF35 wurde aus diesem Grund nicht durchgeführt.

Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends

3 Durchführung



Abbildung 14: Verwendete Spritzgussmaschine

Für die genauere Betrachtung des Blends in Verbindung mit dem Haftvermittler MAPP, wird die Probenherstellung mit folgenden Zusammensetzungen wiederholt:

Tabelle 3: Mischungsverhältnisse des Blends mit Haftvermittler

Anteil PP in Ma%	Anteil PAGF35 in Ma%	Anteil MAPP in Ma%	Anteil Polyamid in Ma%
60	40	0	26
58	40	2	26
56	40	4	26
52	40	8	26

Da die zuvor verwendete Arburg 320 C-Spritzgussmaschine zu dem Zeitpunkt abgebaut war, wurden an einer Arburg 221 K-Spritzgussmaschine Mittelteilproben der Typ 1A-Probe hergestellt. Als Verarbeitungstemperatur wird ein Temperaturprofil von 250 °C bis 235 °C mit einer Werkzeugtemperatur von 40 °C und einem Schneckenstaudruck von 60 Bar eingestellt. Die Proben werden ebenfalls von ihrem Anguss entfernt und gesäubert.



Abbildung 15: Spritzgussmaschine zur Erstellung der Mittelteilproben

3.2 DSC-Messung mit vorgeschalteter TGA

Zuerst werden die verschiedenen PP/PA-Blends einer thermogravimetrischen Analyse unterzogen. Hierbei werden die verschiedenen Blends in einer Q5000 IR der Firma TA Instruments, Inc. unter N₂-Atmosphäre bei einer Heizgeschwindigkeit von 10 K/min von Raumtemperatur bis auf 600 °C erhitzt und die Massenveränderung über die Zeit und die Temperatur bestimmt. Untersucht wird dabei die Zersetzungstemperatur des Kunststoff-Blends. Da es zu keiner Zersetzungsreaktion während der DSC-Messung kommen soll, wird jeder Messung eine TGA-Analyse vorgeschaltet. Auf diese Weise wird die Maximaltemperatur für eine DSC-Messung ermittelt.

Anschließend an die TGA-Messung folgt eine thermische Analyse der Blends mit einer DSC-Messung. Verwendet wird hierfür eine Q2000, ebenfalls hergestellt von der Firma TA Instruments, Inc. Hierbei werden die Proben in der DSC zunächst bei einer Heizrate von 10 K/min von -50 °C auf 300 °C erhitzt. Zur Trennung der reversiblen und irreversiblen Materialveränderungen und der Eliminierung der thermischen Vorgeschichte erfolgt eine heat/cool/heat-Analyse. Hierfür wird die Probe nach dem ersten Aufheizvorgang mit 10 K/min auf -50 °C abgekühlt und erneut auf 300 °C erhitzt.

Die entstandenen Thermogramme werden mit Hilfe der Software „TA Analysis“ ausgewertet und liefern Aufschluss über die Zusammensetzung des Blends, die einzelnen Glasübergangs- und Schmelztemperaturen sowie der Schmelzenthalpien.

3.3 Zugversuch

Zur Bestimmung der mechanischen Eigenschaften der Proben wie z.B. Zugfestigkeit, Dehngrenze und E-Modul wird eine Zugprobe nach DIN EN ISO 527 durchgeführt. Bei dem Zugversuch wird der Einsatzbereich und die Belastbarkeit des Blends untersucht.

Die Zugprüfung erfolgte an einer Universal-Materialprüfmaschine ZWICK 144503 von Zwick GmbH & Co. KG. Die Prüfgeschwindigkeit liegt gemäß DIN EN ISO 527 bei 1 mm/min. Ausgewertet wird die mechanische Analyse mit Hilfe des angeschlossenen Rechners und der installierten „testXpert II“-Software.



Abbildung 16: Verwendete Universalprüfmaschine

Vor der Prüfung werden die Probekörper vermessen, in die Prüfmaschine eingespannt und die Messung gestartet. Während der Prüfung werden die Kraft- und Dehnungswerte von einem Computer aufgezeichnet. Um eine ausreichende statistische Basis zu erhalten, wird die Zugprüfung sieben Mal für jedes Mischungsverhältnis durchgeführt.

Durch die verringerte Anzahl der Proben bei 10 % PP-Anteil konnten nur drei Proben analysiert werden. Die Messung von reinem PAGF35 konnte, auf Grund der fehlenden Probekörper, nicht durchgeführt werden. Weiterhin konnten keine weiteren Typ 1A-Proben mit MAPP hergestellt werden, weswegen kein Zugversuch mit dieser Messreihe durchgeführt werden konnte.

3.4 Biegeversuch

Zur genaueren Untersuchung der Biegeeigenschaften wie Biegefestigkeit, dem Biegemodul und der Biegespannung beim Bruch wird weiterhin ein Dreipunkt-Biegeversuch durchgeführt. Hierfür wird ebenfalls die Universal-Materialprüfmaschine ZWICK 144503 verwendet. Zunächst wird das passende Werkzeug eingesetzt und fixiert. Die Probe wird vermessen und auf die beiden äußeren Stützen aufgelegt, während der Prüfkopf in der Mitte positioniert ist. Mit Beginn der Messung bringt der Prüfkopf eine Last auf die Probe, welche zur Biegung führt. Dabei werden die gemessenen Biegespannungs- und Biegedehnungswerte aufgezeichnet und vom Computer berechnet.

Auch die Biegeprüfung wird sieben Mal für jedes Mischungsverhältnis durchgeführt. Bei den Proben mit 10 % PP-Anteil werden nur drei Proben gemessen und bei reinem PAGF35 konnten keine Messungen durchgeführt werden. Durch die fehlende Möglichkeit Typ 1A-Proben mit MAPP als Haftvermittler herzustellen, konnte keine Biegeprüfung mit der Versuchsreihe durchgeführt werden.

3.5 Charpy-Untersuchung

Zur Prüfung der Schlagzähigkeit der Blends wird eine Charpy-Schlagzähigkeitsprüfung nach DIN EN ISO 179-1 mit Hilfe des Pendelschlagwerks RM2265 von Zwick GmbH & Co. KG durchgeführt. Es handelt sich hierbei um einen schmalseitigen Schlag mit einem 5J-Hammer bei einer Stützweite von 62 mm.



Abbildung 17: Verwendete Charpy-Schlagzähigkeitsprüfmaschine

Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends

4 Ergebnisse

Da die erstellten Typ 1A-Proben nicht auf den Widerlagern auflagen und somit nicht mittig von dem Schlaghammer getroffen würden, müssen sie zugesägt werden. Hierfür werden die breiteren Enden der Proben mit Hilfe einer Bandsäge entfernt.

Nach der Kalibrierung der Prüfmaschine werden die Proben jeweils ausgemessen, auf den Widerlagern positioniert und der Schlaghammer ausgerichtet. Nach dem Schließen der Sicherheitsvorrichtung wird der Schlaghammer freigegeben, trifft auf die Probe und die Schlagarbeit wird angezeigt.

Die Charpy-Schlagzähigkeitsprüfung wird je Zusammensetzung zehn Mal durchgeführt. Bei den Proben mit 10 % PP-Anteil konnte die Prüfung nur sechs Mal durchgeführt werden, bei reinem PAGF35 gar nicht. Für die Messung der Versuchsreihe mit MAPP-Haftvermittler werden die erstellten Mittelteilproben der Typ 1A-Probe benutzt, welche nicht zugesägt werden müssen.

4 Ergebnisse

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse der Messungen dargestellt und ausgewertet. Dafür werden die Messungen zunächst einzeln ausgewertet und nachfolgend diskutiert.

4.1 Herstellung des PP/PA-Blends

Die Ergebnisse der Masseflussmessungen bezüglich des PP-Anteils sind in Tabelle 4 und Abbildung 18 präsentiert.

Tabelle 4: Massefluss über die Blendzusammensetzung

Anteil PA in Ma%	Massefluss in g/min
0	$18,8 \pm 0,12$
10	$20,4 \pm 0,78$
20	$21,7 \pm 0,42$
30	$21,2 \pm 0,73$
40	$21,9 \pm 0,38$
50	$21,8 \pm 0,25$
60	$22,0 \pm 0,33$
70	$22,2 \pm 0,26$
80	$23,5 \pm 0,64$
90	$23,6 \pm 0,61$
100	$23,6 \pm 0,33$

Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends

4 Ergebnisse

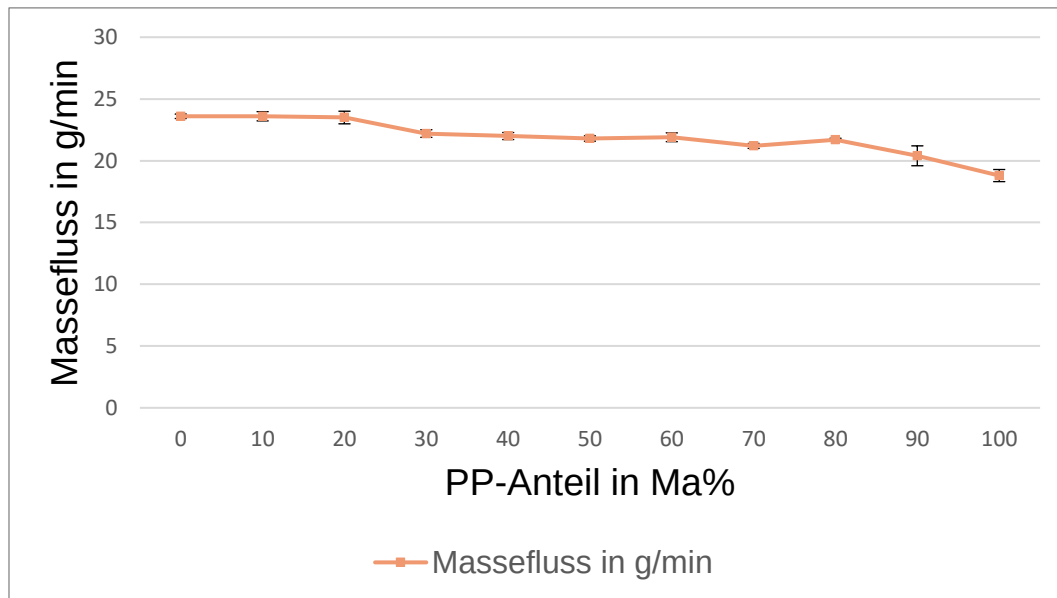


Abbildung 18: Verlauf des Masseflusses über die Blendzusammensetzung

Es ist ersichtlich, dass der Massefluss mit zunehmendem PP-Anteil im Blend leicht abnimmt. Dieser Effekt kann hauptsächlich auf die steigenden Verarbeitungstemperaturen im Extruder mit zunehmenden PA-Anteil zurückgeführt werden. Höhere Temperaturen führen zu einer Viskositätsabnahme im Blend und damit zu einer verbesserten Verarbeitbarkeit. Im Fall des Spritzgussverfahrens bei konstanter Temperatur wurde eine Abnahme der Verarbeitbarkeit des Blends festgestellt. Dies deutet darauf hin, dass der Einfluss der zunehmenden Verarbeitungstemperaturen die verschlechterte Verarbeitbarkeit des Blends mit steigendem PA-Anteil überwiegt. Unter der Annahme eines konstanten Temperaturprofils über die verschiedenen Blendzusammensetzungen hinweg, wäre aufgrund des höheren PA-Anteils ein Abfall des Masseflusses zu erwarten gewesen. Dies resultiert aus dem höheren Anteil von Polyamid, welches eine deutlich höhere Schmelztemperatur als Polypropylen aufweist.

Tabelle 5: Massefluss unter Zugabe von MAPP

Anteil MAPP in Ma%	Massefluss in g/min
0	21,9 ± 0,38
2	19,2 ± 0,76
4	19,8 ± 0,33
8	19,3 ± 0,14

Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends

4 Ergebnisse

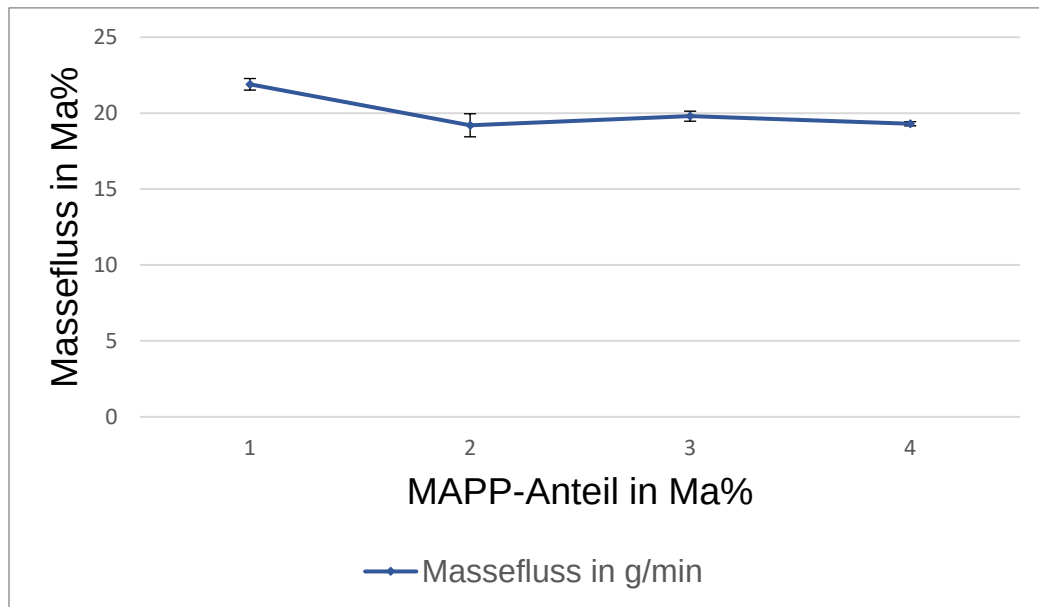


Abbildung 19: Verlauf des Masseflusses bei hinzufügen von MAPP

Durch die Zugabe von MAPP als Haftvermittler zeigt sich ein leichter Rückgang des Masseflusses mit zunehmendem MAPP-Anteil. Da das gleiche Temperaturprofil beibehalten wurde, ist dieser Rückgang nicht auf eine Temperaturänderung zurückzuführen. Die Zugabe des Haftvermittlers führt zu einer Verringerung der Verarbeitbarkeit des Blends. Dies kann auf eine erhöhte Viskosität des Blends oder auf die Erhöhung der Schmelztemperaturen zurückzuführen sein.

4.2 DSC-Messung mit vorgeschalteter TGA

Die Thermogravimetrische Analyse ermöglicht die Charakterisierung von drei Zersetzungspunkten, welche in Tabelle 6 dargestellt werden.

Tabelle 6: Ermittelte Zersetzungstemperaturen

Zusammensetzung in Ma% PA	Zersetzungstemperatur $T_{z, PP}$ in °C	Zersetzungstemperatur $T_{z, PA1}$ in °C	Zersetzungstemperatur $T_{z, PA2}$ in °C
0	250,93	/	/
10	239,95	365,110	/
20	238,80	364,860	468,110
30	234,10	363,925	460,630
40	227,68	389,860	470,390
50	260,68	374,750	474,680
60	250,65	390,900	479,950
70	240,23	380,690	479,750
80	236,38	398,770	485,800
90	236,80	391,780	484,450
100	/	398,81	479,97

Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends

4 Ergebnisse

Die Thermogravimetrische Analyse ermöglicht die Charakterisierung von drei Zersetzungspunkten. Der erste Zersetzungsvorgang tritt bei etwa 240°C auf und ist eindeutig dem Polypropylen im Blend zuzuordnen. Der Masseverlust ab dem Zeitpunkt des ersten Zersetzungsprozesses zeigt eine verstärkte Ausprägung, wenn der PP-Anteil im Blend erhöht ist. Zusätzlich lässt sich dieser Zersetzungspunkt bei reinem PAGF35 nicht nachweisen.

Bei ~ 380 °C kommt es zu einem weiteren Zersetzungsvorgang. Dieser Zersetzungspunkt lässt sich nicht bei reinem Polypropylen charakterisieren. Weiterhin steigt der Masseverlust ab dieser Temperatur mit steigendem PA-Anteil des Blends an. Ein weiterer Zersetzungspunkt tritt bei ~ 475 °C auf. Diese Zersetzungsreaktion tritt ebenfalls ausschließlich bei enthaltenem Polyamid im Blend auf und der Masseverlust steigt mit wachsendem PA-Anteil des Blends an.

Tabelle 7: Ermittelte Schmelztemperaturen beim Aufheizvorgang

Zusammensetzung in Ma% PA	T _{m, PP} in °C	H _{m, PP} in J/g	T _{m, PA} in °C	H _{m, PA} in J/g
0	164,95	97,84	/	/
10	161,53	93,02	260,35	3,17
20	162,38	81,51	260,59	5,70
30	162,09	75,44	261,12	11,99
40	160,47	64,47	260,93	15,99
50	162,40	43,97	262,17	24,65
60	161,58	41,69	262,43	27,86
70	161,04	34,22	262,62	30,14
80	163,16	18,07	263,87	38,61
90	161,64	6,505	262,43	45,32
100	/	/	263,30	50,30

Tabelle 8: Ermittelte Kristallisationstemperaturen beim Abkühlvorgang

Zusammensetzung in Ma% PA	T _{k, PP} in °C	H _{k, PP} in J/g	T _{k, PA} in °C	H _{k, PA} in J/g
0	122,71	108,90	/	/
10	120,66	92,98	235,41	2,50
20	113,73	86,53	236,35	3,66
30	120,69	74,86	237,73	6,75
40	117,91	64,33	238,01	12,94
50	117,27	46,82	237,95	18,25
60	118,97	39,73	237,98	23,90
70	117,66	36,36	238,07	24,16
80	114,62	19,06	237,13	32,54
90	113,77	9,306	237,59	37,23
100	/	/	236,33	43,92

Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends

4 Ergebnisse

Auch bei der DSC-Analyse sind die einzelnen Schmelztemperaturen den Bestandteilen zuzuordnen. Sobald Polypropylen im Blend vorhanden ist, zeigt sich ein Schmelzpeak bei etwa 162°C. Die Schmelzenthalpie, die diesem Peak zugeordnet ist, nimmt mit steigendem PP-Anteil zu. Beim Abkühlen der Probe ist ein weiterer Punkt bei ungefähr 117°C als Kristallisationspeak erkennbar. Die erwartete Glasübergangstemperatur im Bereich von -10 °C bis 0 °C [Kai 07] ist im Thermogramm nicht deutlich erkennbar. Es liegen jedoch auch keine Herstellerdaten über die Glasübergangstemperatur des verwendeten Polypropylen vor.

Analog verhält es sich bei dem Schmelzpeak des Polyamid. Beim Aufheizvorgang lässt sich der Schmelzpeak bei ~ 261 °C charakterisieren. Mit zunehmendem Anteil von Polyamid im Blend steigt auch hier die Schmelzenthalpie an. Im Verlauf des Abkühlvorgangs ist ein Kristallisationspeak bei ungefähr 237 °C zu erkennen, der ebenfalls proportional zum PA-Anteil verläuft. Die vermuteten Glasübergangstemperaturen des Polyamid, die sich im Bereich von 45°C bis 75°C [Han 12] bewegen, konnten jedoch nicht eindeutig charakterisiert werden.

Tabelle 9: Ermittelte Zersetzungstemperaturen bei MAPP-Zugabe

MAPP-Anteil in Ma% MAPP	Zersetzungstemperatur $T_{z, PP}$ in °C	Zersetzungstemperatur $T_{z, PA1}$ in °C	Zersetzungstemperatur $T_{z, PA2}$ in °C
0	227,68	353,65	426,07
2	262,27	361,97	467,77
4	263,02	369,05	470,89
8	264,99	371,29	454,53

Bei Zugabe des Haftvermittlers MAPP zeigt sich in der TGA-Analyse eine geringfügige Veränderung der Zersetzungstemperaturen. Die Zersetzungstemperatur des Polypropylen steigt mit wachsendem MAPP-Anteil an. Ähnlich verhält es sich bei den Zersetzungstemperaturen des Polyamid. Besonders signifikant ist dabei der Zuwachs der Temperaturen bei der Zugabe von schon 2 Ma% MAPP.

Tabelle 10: Ermittelte Schmelztemperaturen beim Aufheizvorgang nach MAPP-Zugabe

MAPP-Anteil in Ma% MAPP	T_m, PP in °C	H_m, PP in J/g	T_m, PA in °C	H_m, PA in J/g
0	160,47	64,47	260,93	15,99
2	166,32	59,13	263,66	11,50
4	163,80	68,67	263,04	12,85
8	162,53	56,45	261,83	13,68

Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends

4 Ergebnisse

Tabelle 11: Ermittelte Schmelztemperaturen beim Abkühlvorgang nach MAPP-Zugabe

MAPP-Anteil in Ma% MAPP	T _{k, PP} in °C	H _{k, PP} in J/g	T _{k, PA} in °C	H _{k, PA} in J/g
0	117,91	64,33	238,01	12,94
2	123,19	58,91	233,22	10,08
4	123,70	67,72	234,81	12,38
8	123,06	58,44	233,03	13,65

In der DSC-Analyse der Blends fällt nach Zugabe des Haftvermittlers auf, dass die Schmelztemperaturen beider Blend-Bestandteile leicht ansteigen. Lediglich die Kristallisationstemperatur des Polyamid sinkt bei Zugabe des MAPP. In diesem Zusammenhang bildet sich auch ein Doppel-Peak aus. Mit steigendem Gehalt an Haftvermittler entsteht ein Peak mit einer leicht niedrigeren Kristallisationstemperatur, der teilweise von dem Kristallisationspeak des Polyamid überlagert wird. Dieser neue Peak könnte als Ergebnis einer Reaktion zwischen Polyamid und MAPP entstehen.

4.3 Zugversuch

Die beim Zugversuch ermittelten mechanischen Eigenschaften werden im Folgenden dargestellt und diskutiert.

Tabelle 12: Gemessene E-Moduln

Zusammensetzung in Ma% PA	Elastizitätsmodul in Mpa
0	1446 ± 44,7
10	1599 ± 22,3
20	1813 ± 21,9
30	2066 ± 42,4
40	2207 ± 110,5
50	2191 ± 115,8
60	1776 ± 206,2
70	1559 ± 389,5
80	1843 ± 487,3
90	4100 ± 303,4
100	11000

Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends

4 Ergebnisse

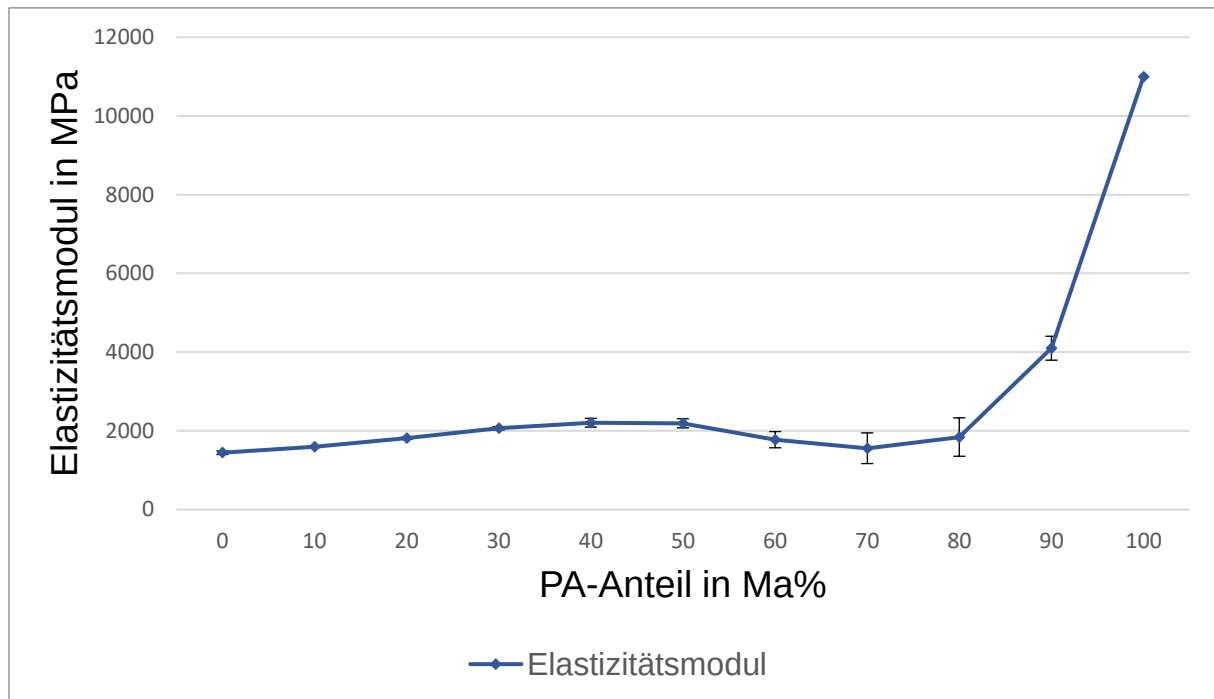


Abbildung 20: Verlauf des E-Moduls

In der Analyse des Elastizitätsmoduls (E-Modul) fällt zunächst auf, dass bei der Zugabe von Polypropylen zu dem Polyamid eine rapide Abnahme des E-Moduls festzustellen ist. Im Allgemeinen zeigt das E-Modul bei höherem Polyamid-Anteil eine leichte Zunahme, erreicht jedoch ein Minimum im Bereich von 60 % bis 80 %. Nach diesem Minimum steigt das E-Modul rasch an.

Es ist anzumerken, dass die Spritzgussparameter während der Probenherstellung erst ab einem PA-Anteil von 70 % angepasst wurden. Daher könnte der Rückgang des E-Moduls im Bereich von 50 % bis 60 % auf die erschwerte Verarbeitbarkeit des Blends zurückzuführen sein. In diesem Bereich traten Probleme während des Spritzgussverfahrens auf, die sich möglicherweise auf die Qualität der Proben und somit auf die Genauigkeit der Ergebnisse ausgewirkt haben könnten. Aufgrund dieser Verarbeitungsprobleme mussten die mechanischen Werte von reinem Polyamid aus dem Produktdatenblatt [BAS 23] [M-B 23] zur Ergänzung herangezogen werden.

Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends 4 Ergebnisse

Tabelle 13: Gemessene Streckgrenzen und Streckdehnung

Zusammensetzung in Ma% PA	Streckgrenze in MPa	Streckdehnung in %
0	35,2	8,3
10	/	/
20	25,3	3,6
30	23,1	2,4
40	20,7	1,7
50	/	/
60	/	/
70	/	/
80	/	/
90	/	/
100	/	/

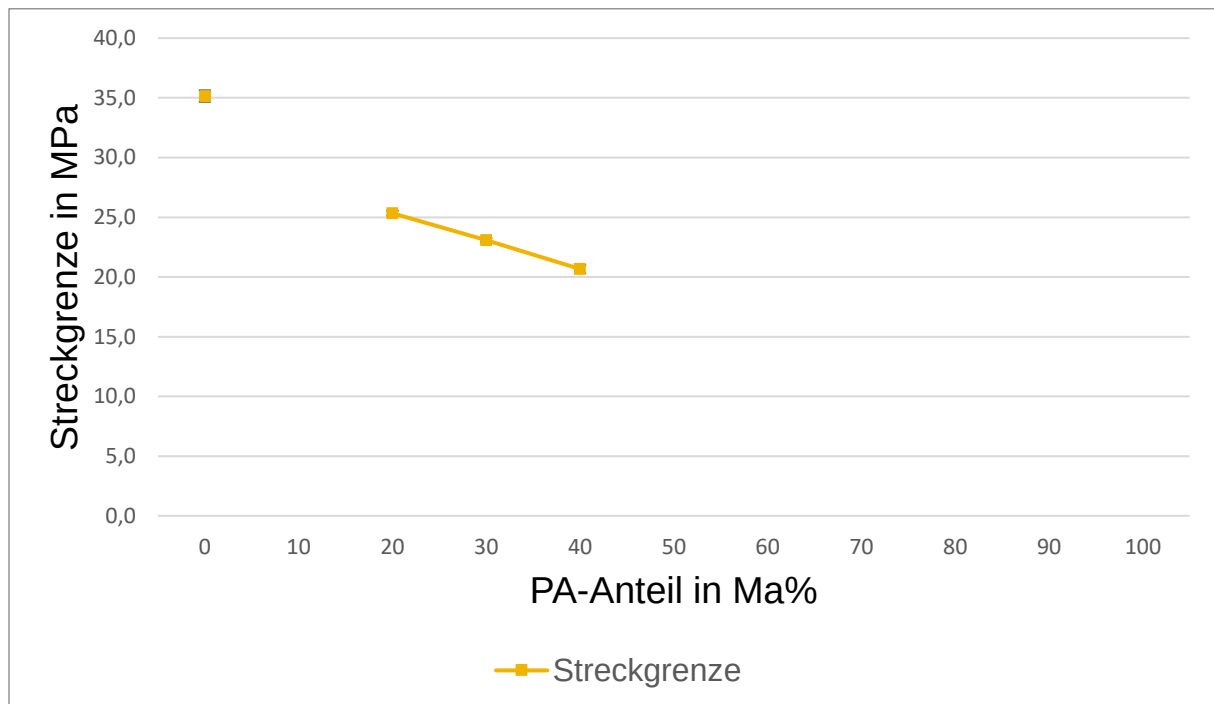


Abbildung 21: Verlauf der Streckgrenzen

Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends

4 Ergebnisse

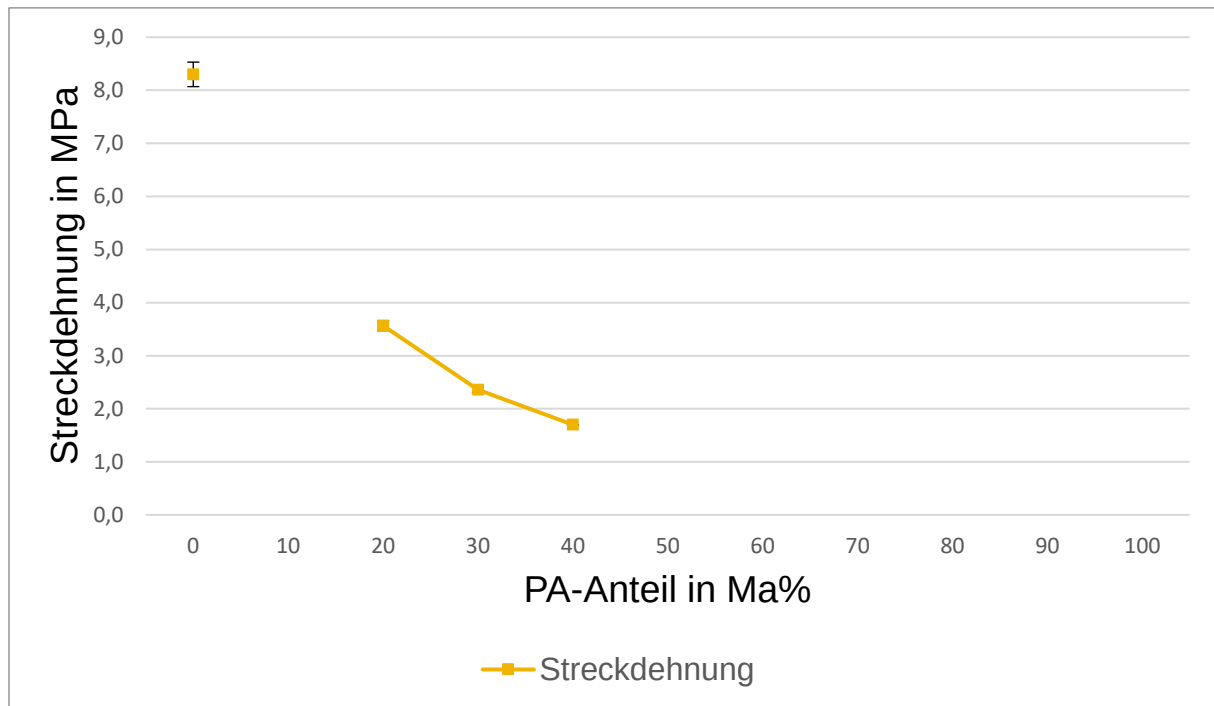


Abbildung 22: Verlauf der Streckdehnung

In Bezug auf die verschiedenen Zusammensetzungen des Blends wurde beobachtet, dass nur in einigen Fällen eine Streckgrenze ausgebildet wurde. Dies war insbesondere bei reinem Polypropylen sowie teilweise im Bereich von 80 % bis 60 % PA-Anteil der Fall. In diesen Zusammensetzungen wurde anstelle eines spröden Bruchs ein duktiles Materialverhalten beobachtet.

Tabelle 14: Gemessene Zugfestigkeit und Dehnung bei Zugfestigkeit

Zusammensetzung in Ma% PA	Zugfestigkeit in MPa	Dehnung bei Zugfestigkeit in %
0	$35,1 \pm 0,47$	$8,3 \pm 0,24$
10	$27,9 \pm 0,73$	$4,3 \pm 0,38$
20	$25 \pm 0,37$	$3,2 \pm 0,37$
30	$23,1 \pm 0,2$	$2,4 \pm 0,07$
40	$20,7 \pm 0,29$	$1,8 \pm 0,1$
50	$17,4 \pm 0,31$	$1,5 \pm 0,08$
60	$12,5 \pm 0,81$	$1,3 \pm 0,32$
70	$53,9 \pm 6,55$	$4,1 \pm 0,51$
80	$89,4 \pm 3,53$	$4,7 \pm 0,34$
90	$112,7 \pm 2,87$	$4,5 \pm 0,21$

Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends 4 Ergebnisse

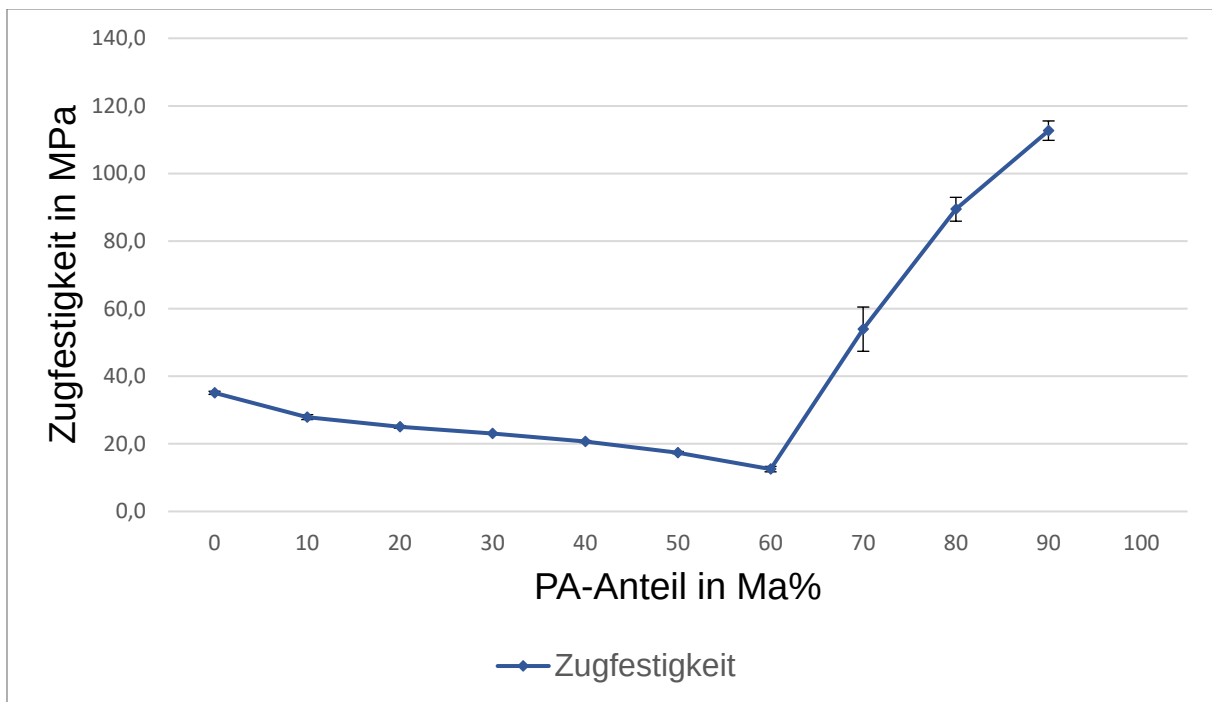


Abbildung 23: Verlauf der Zugfestigkeit

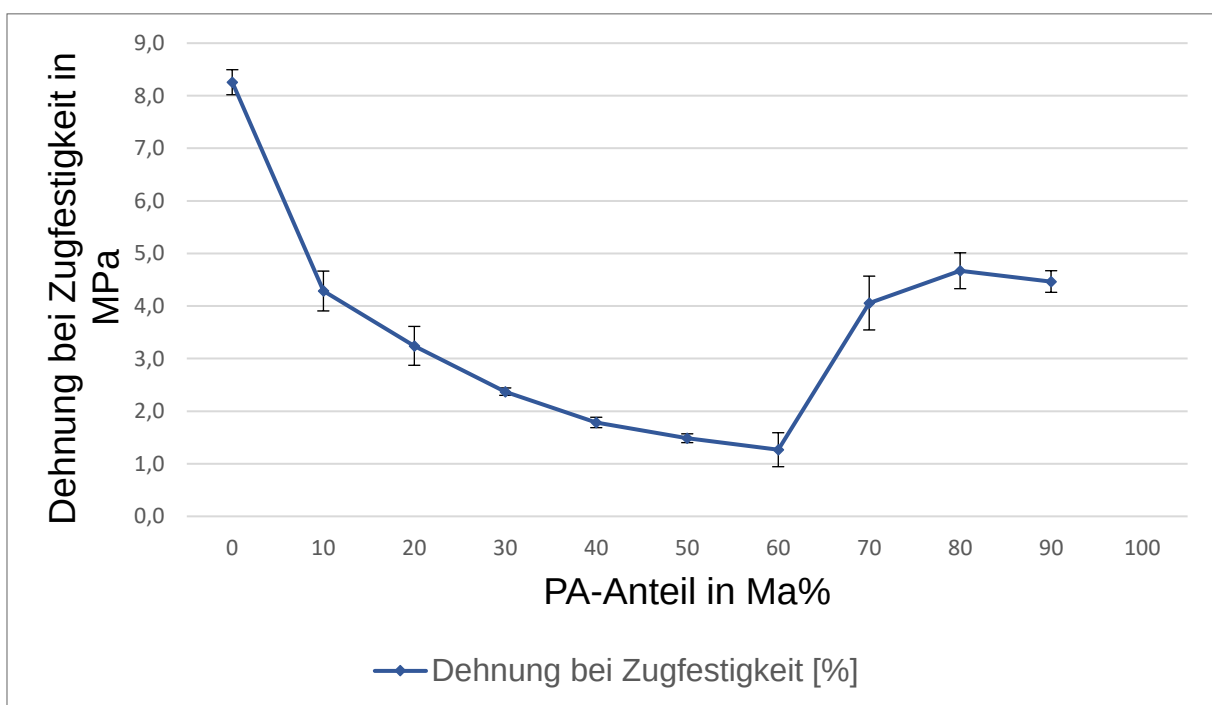


Abbildung 24: Verlauf der Dehnung bei Zugfestigkeit

Bei der Untersuchung der Zugfestigkeit fällt auf, dass diese zunächst kontinuierlich bis zu einem PA-Anteil von 60 % abnimmt. Ab einem PA-Anteil von 70 % steigt die Zugfestigkeit jedoch deutlich an und erreicht ihren Höchstwert bei reinem PA. Bei Erreichen der

Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends

4 Ergebnisse

Zugfestigkeit zeigt die Dehnung einen abnehmenden Trend mit sinkendem PP-Anteil, bis sie ab einem Anteil von 30 % wieder ansteigt. Dieser Verlauf kann ebenfalls durch die gesteigerte Herausforderung in der Verarbeitung und möglicherweise eine verringerte Qualität der Proben mit zunehmendem PA-Anteil erklärt werden. Für das reine Polyamid liegen keine Daten für die Zugfestigkeit oder die Dehnung bei Zugfestigkeit vor.

Tabelle 15: Gemessene Bruchspannung, Bruchdehnung und nominelle Bruchdehnung

Zusammensetzung in Ma% PA	Bruchspannung in MPa	Bruchdehnung in %	nominelle Bruchdehnung in %
0	$31,7 \pm 1,72$	8 ± 0	$14,5 \pm 1,89$
10	$27,9 \pm 0,73$	$4,3 \pm 0,38$	/
20	$24,6 \pm 0,45$	$3 \pm 0,31$	$4,6 \pm 0,16$
30	$22,5 \pm 0,43$	$2,4 \pm 0,1$	$3,3 \pm 0,11$
40	$20,3 \pm 0,52$	$1,9 \pm 0,09$	$2,4 \pm 0,12$
50	$17,4 \pm 0,31$	$1,5 \pm 0,08$	/
60	$12,5 \pm 0,81$	$1,3 \pm 0,32$	/
70	$53,9 \pm 6,55$	$4,1 \pm 0,51$	/
80	$89,4 \pm 3,53$	$4,7 \pm 0,34$	/
90	$112,7 \pm 2,87$	$4,5 \pm 0,21$	/

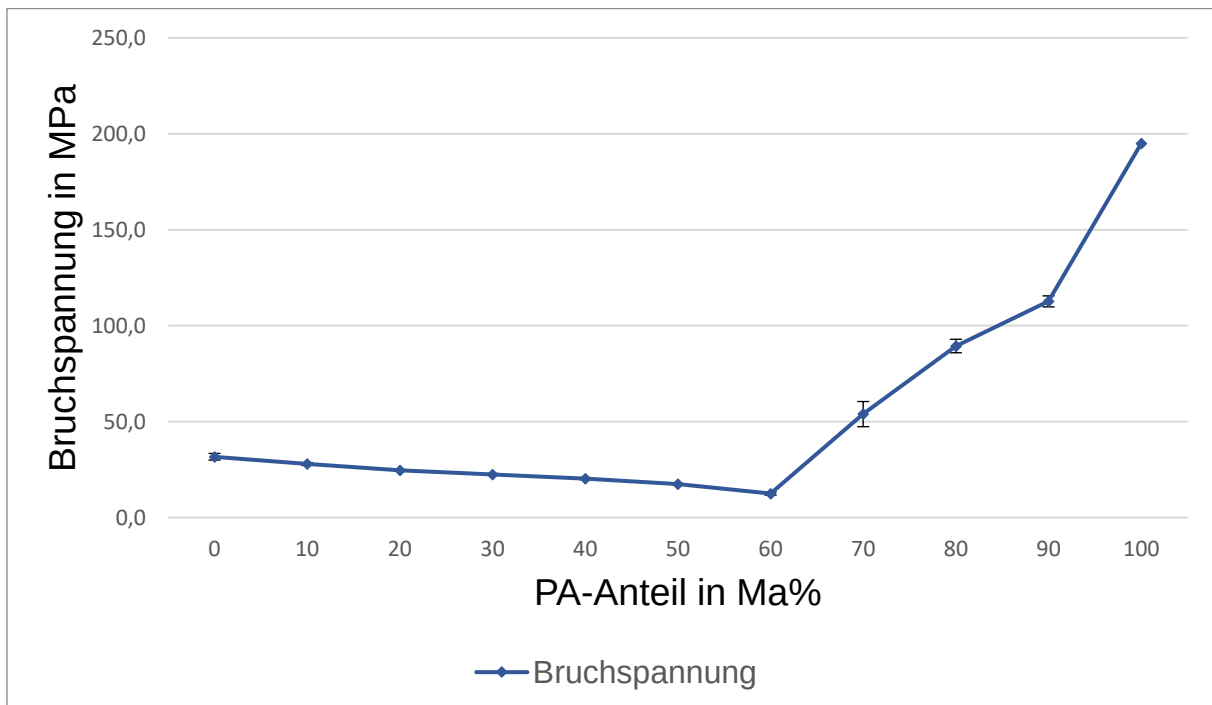


Abbildung 25: Verlauf der Bruchspannung

Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends

4 Ergebnisse

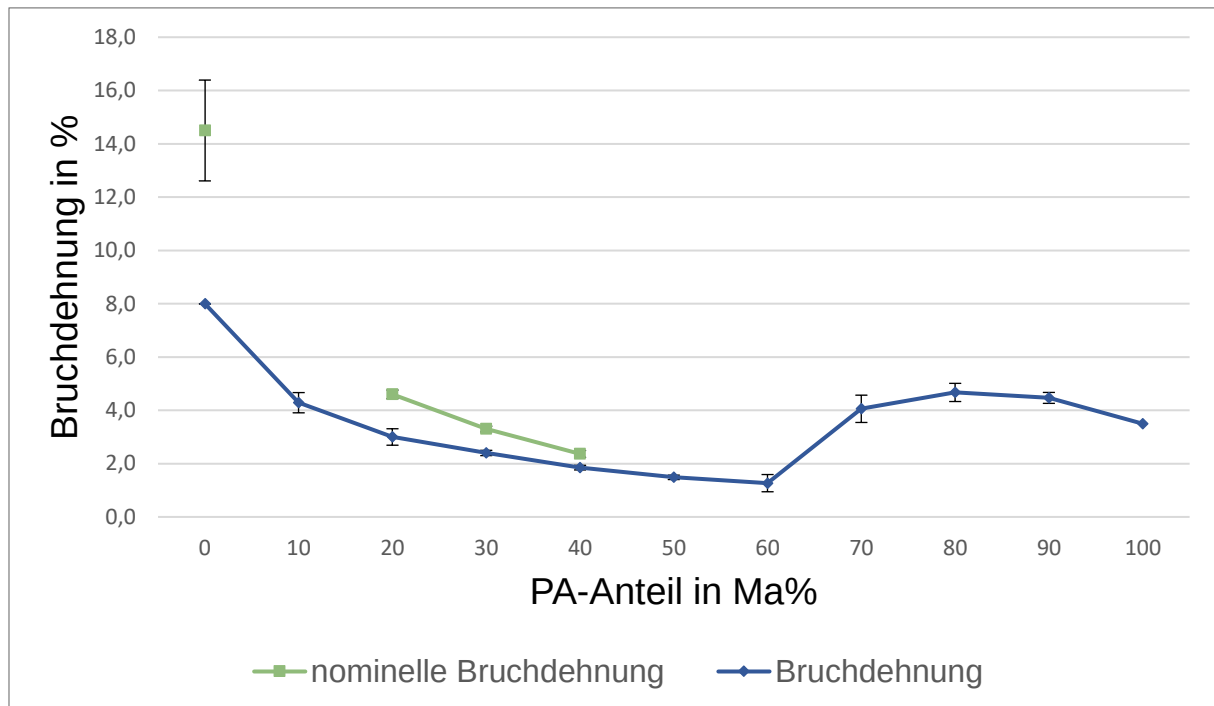


Abbildung 26: Verlauf der Bruchdehnung und der nominellen Bruchdehnung

Die Entwicklung der Bruchspannung zeigt zunächst eine kontinuierliche Abnahme mit steigendem PA-Anteil im Blend bis zu einem Anteil von 60 %. Ab einem PA-Anteil von 70 % steigt die Bruchspannung jedoch signifikant an und erreicht ihren Höchstwert bei reinem Polyamid. Dieser Verlauf weist erneut auf verringerte mechanische Materialeigenschaften aufgrund der erschwerten Verarbeitbarkeit bei steigendem PA-Anteil hin.

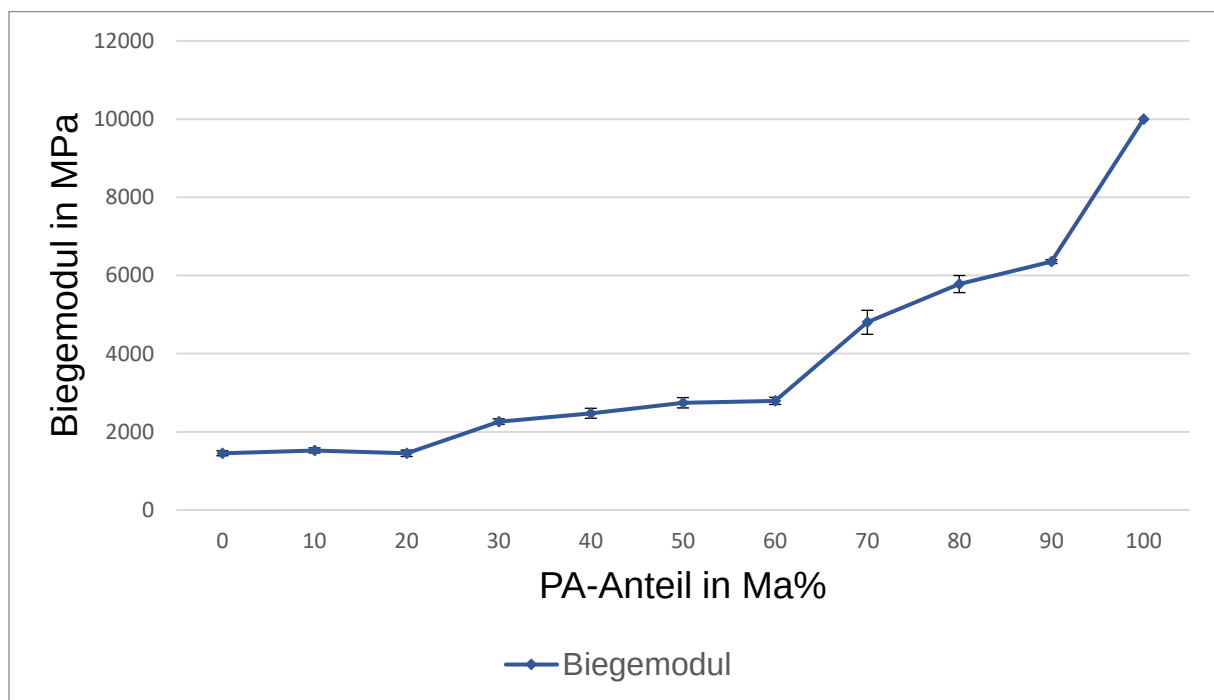
Ein ähnliches Verhalten zeigt sich bei der Bruchdehnung. Sie erreicht ihr Maximum bei reinem Polypropylen und nimmt mit steigendem PA-Anteil bis zum Minimum bei 60 % ab. Ab einem PA-Anteil von 70 % steigt die Bruchdehnung jedoch wieder an.

Wenn eine Streckgrenze ausgebildet wird, wird die Bruchdehnung als nominelle Bruchdehnung bezeichnet. Dies ist bei reinem Polypropylen sowie teilweise bei einem PP-Anteil von 80 % bis 60 % der Fall. Die nominelle Bruchdehnung ist höher als die Bruchdehnung.

Es ist anzumerken, dass die Werte für Bruchspannung und Bruchdehnung von reinem Polyamid experimentell nicht ermittelt werden konnten und daher aus dem Produktdatenblatt [BAS 23] [M-B 23] entnommen wurden.

4.4 Biegeversuch

Zusammensetzung in Ma% PA	Biegemodul in Mpa
0	1450 ± 63
10	1523 ± 63,6
20	1910 ± 81,8
30	2261 ± 68,7
40	2474 ± 127,2
50	2743 ± 132,5
60	2791 ± 91,9
70	4801 ± 307,4
80	5780 ± 218,7
90	6353 ± 49,2
100	10000

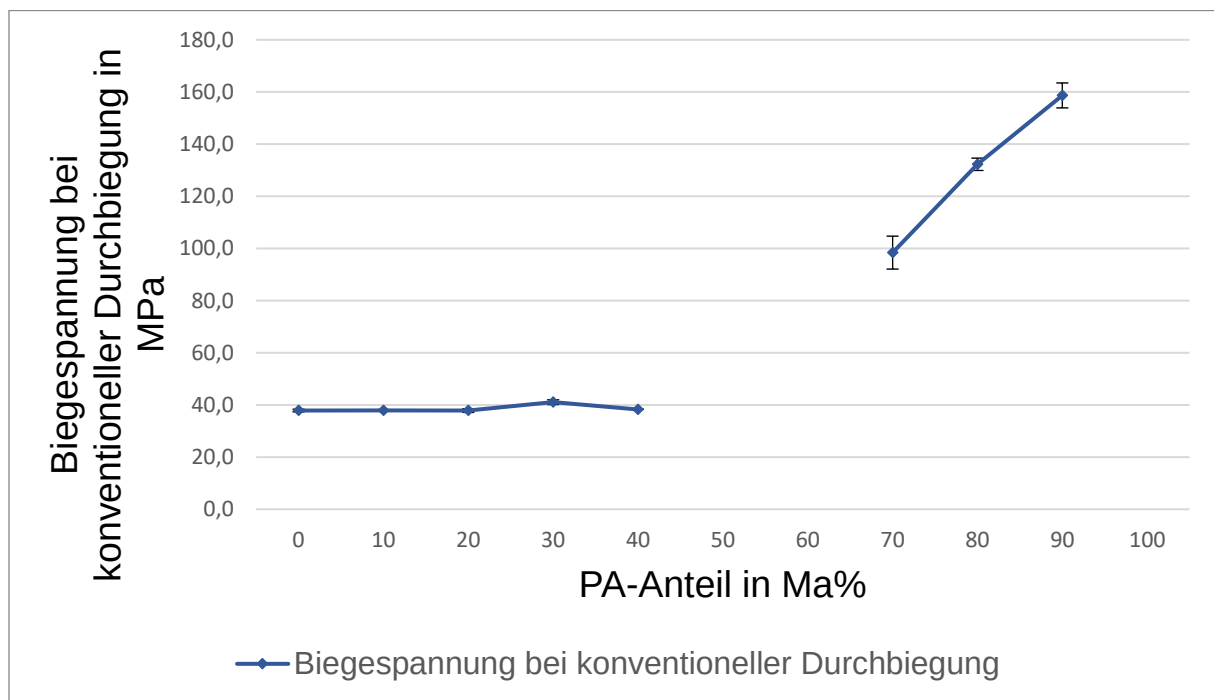


Das Biegemodul des Blends zeigt eine kontinuierliche Steigerung mit steigendem Anteil von Polyamid bis zu einem Anteil von 60 % Polyamid. Ab einem PA-Anteil von 70 % erfährt der Blend eine deutliche Erhöhung des Biegemoduls. Diese Zunahme des Biegemoduls kann auf eine verringerte Qualität der Proben bis 60 % Polyamid zurückgeführt werden, die aufgrund der erschwerten Verarbeitbarkeit des Blends bei hohem PA-Anteil auftritt. Da bei einem PA-Anteil von 70 % Anpassungen der Spritzgussparameter vorgenommen wurden, ist es plausibel, dass höhere mechanische Eigenschaften ab dieser Zusammensetzung zu erwarten sind. Der Verlauf des Biegemoduls erreicht bei dem theoretischen Wert von reinem Polyamid aus dem Produktdatenblatt [BAS 23] sein Maximum.

Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends

4 Ergebnisse

Zusammensetzung in Ma% PA	Biegespannung bei konventioneller Durchbiegung in Mpa
0	$37,9 \pm 0,52$
10	$37,9 \pm 0,33$
20	$40,6 \pm 0,73$
30	$41,1 \pm 0,9$
40	$38,3 \pm 0$
50	/
60	/
70	$98,4 \pm 6,31$
80	$132,3 \pm 2,37$
90	$158,7 \pm 4,78$
100	/



Bei geringen PA-Anteilen im Bereich von 0% bis 40% bleibt die Biegespannung nahezu konstant und bewegt sich im Bereich von etwa 40 MPa. Dieser Bereich zeigt nur eine geringfügige Abweichung in den gemessenen Werten. Ab einem PA-Anteil von 70% steigt die Biegespannung jedoch signifikant an, was einen markanten Anstieg im Vergleich zu den vorherigen Zusammensetzungen darstellt und auf eine erhebliche Steigerung der Festigkeit hinweist.

Dieser Anstieg kann als mögliche Konsequenz der Verarbeitungsproblematik im Bereich von 50% bis 60% Polyamid interpretiert werden. In diesem Bereich kommt es zu einem Bruch, bevor die konventionelle Durchbiegung erreicht wird, weshalb keine Daten für diesen Bereich vorliegen. Ebenso sind keine Daten für reines Polyamid verfügbar.

Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends 4 Ergebnisse

Tabelle 16: Gemessene Biegefestigkeit und Biegedehnung bei Biegefestigkeit

Zusammensetzung in Ma% PA	Biegefestigkeit in MPa	Biegedehnung bei Biegefestigkeit in %
0	47,1 ± 1,03	7,1 ± 0,11
10	44,5 ± 0,66	6,4 ± 0,09
20	43,9 ± 0,86	5,6 ± 0,06
30	42,2 ± 1,1	4,6 ± 0,19
40	38,1 ± 1,05	2,9 ± 0,16
50	34,1 ± 1,45	2 ± 0,1
60	31,4 ± 1,26	2 ± 0,33
70	93,3 ± 9,09	3,2 ± 0,16
80	137,1 ± 2,7	3,8 ± 0,07
90	174,3 ± 3,77	4,2 ± 0,05
100	280,0	/

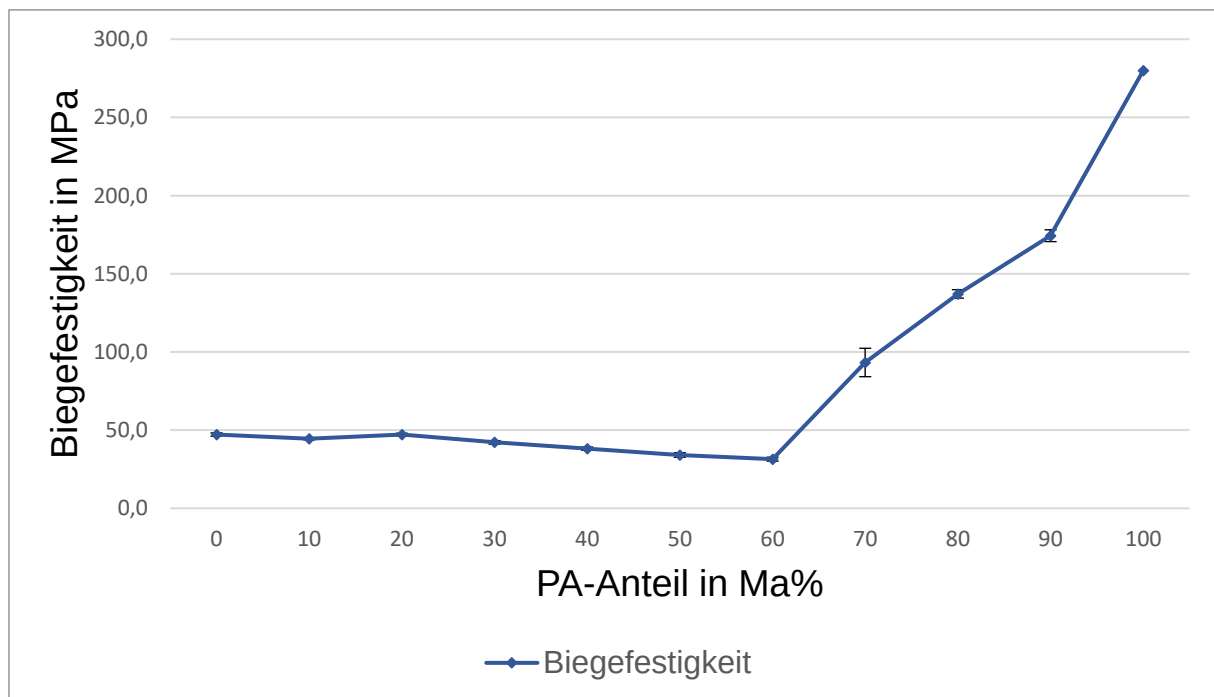


Abbildung 27: Verlauf der Biegefestigkeit

Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends 4 Ergebnisse

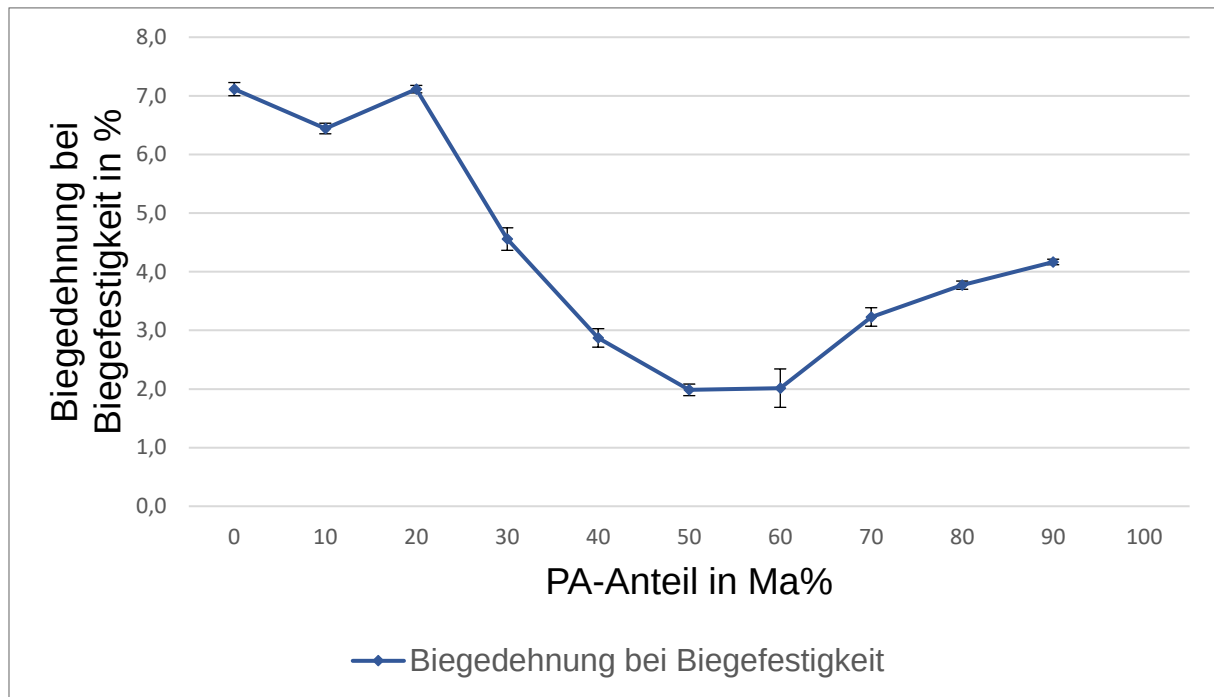


Abbildung 28: Verlauf der Biegedehnung bei Biegefestigkeit

Bei niedrigen PA-Anteilen von 0 % - 40 % zeigt die Biegefestigkeit einen leichten Abwärtstrend. Ab der Zusammensetzung von 70 % steigt die Biegefestigkeit analog zu den anderen mechanischen Eigenschaften stark an. Sie endet in ihrem Maximum bei reinem Polyamid [BAS 23].

Die Biegedehnung erreicht ihr Maximum bei Erreichen der Biegefestigkeit bei niedrigen PA-Anteilen im Bereich von 0% bis 20%. Die Dehnungswerte nehmen ab einem PA-Anteil von 30% ab und erreichen ihr Minimum bei 50% PA-Anteil. Ab einem PA-Anteil von 70% zeigt sich eine leichte Zunahme der Biegedehnung und dieser Trend setzt sich mit steigendem PA-Anteil fort.

Tabelle 17: Gemessen Biegespannung und Biegedehnung bei Bruch

Zusammensetzung in Ma% PA	Biegespannung bei Bruch in MPa	Biegedehnung bei Bruch in %
0	/	/
10	$31,7 \pm 3,4$	$10,7 \pm 1,57$
20	$28,8 \pm 4,96$	$7,8 \pm 0,69$
30	$28 \pm 11,27$	$5,7 \pm 0,27$
40	$35,2 \pm 4,58$	$3 \pm 0,31$
50	$30,3 \pm 9,74$	$2,1 \pm 0,21$
60	$20,8 \pm 12,72$	$2,3 \pm 0,39$
70	$93,3 \pm 9,09$	$3,2 \pm 0,16$
80	$137,1 \pm 2,7$	$3,8 \pm 0,07$
90	$174,3 \pm 3,77$	$4,2 \pm 0,05$

Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends 4 Ergebnisse

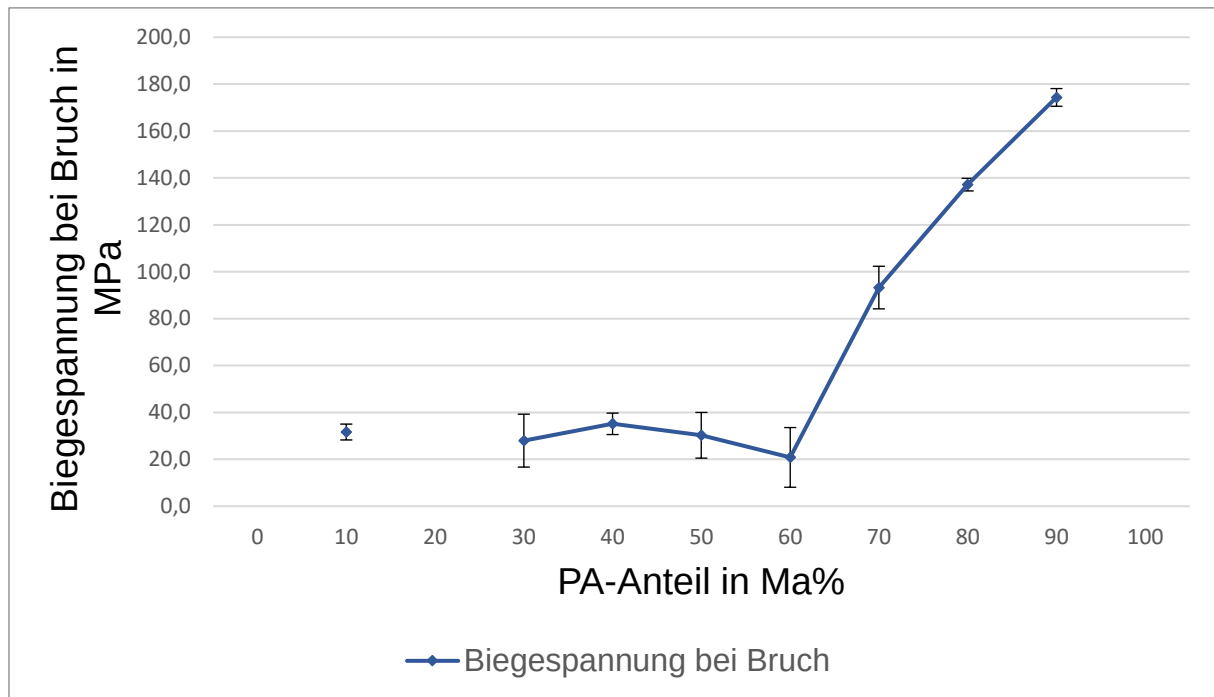


Abbildung 29: Verlauf der Biegespannung bei Bruch

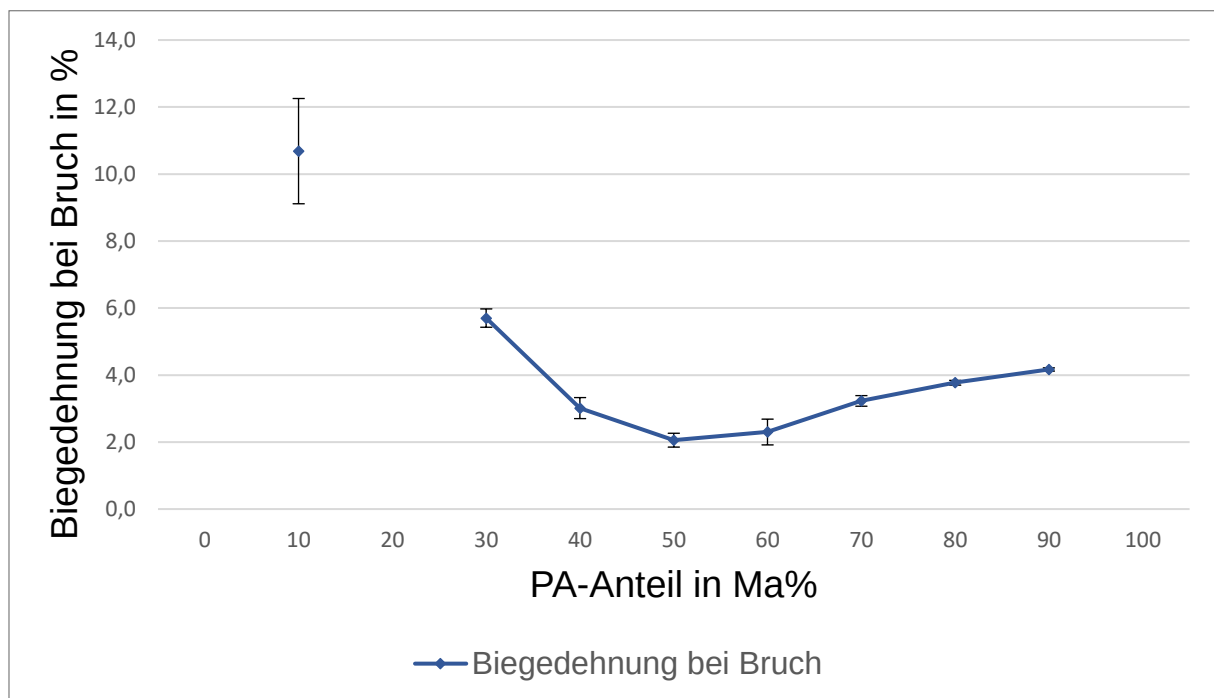


Abbildung 30: Verlauf der Biegedehnung bei Bruch

Für reines Polypropylen und einen PP-Anteil von 80 % gibt es keine verfügbaren Werte, da es zu einer Überschreitung der maximal eingestellten Biegung kam, ohne dass ein Bruch auftrat. Für reines Polyamid liegen keine Werte vor.

Bei geringen PA-Anteilen im Bereich von 10 % bis 40 % zeigt die Biegespannung nur geringfügige Variationen, während sie im Bereich von 40 % bis 60 % auf ihr Minimum absinkt.

Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends

4 Ergebnisse

Nach Anpassung der Spritzgussparameter bei einem PA-Anteil von 70% steigt die Biegespannung signifikant an und erreicht ihr Maximum bei einem PA-Anteil von 90%.

Die Biegedehnung bei Bruch nimmt zuerst nach ihrem Maximum bei einem PA-Anteil von 10% ab und sinkt stark bis zu einem PA-Anteil von 50%. Anschließend steigen die Biegedehnungswerte wieder leicht an.

4.5 Charpy-Untersuchung

Tabelle 18: Gemessene Charpy-Schlagzähigkeit

Zusammensetzung in Ma% PA	Charpy-Schlagzähigkeit a_{cU} in J/cm ³
0	$5,433 \pm 0,607$
10	$1,47 \pm 0,219$
20	$1,234 \pm 0,16$
30	$0,979 \pm 0,153$
40	$0,592 \pm 0,084$
50	$0,501 \pm 0,057$
60	$0,401 \pm 0,062$
70	$2,447 \pm 0,435$
80	$3,965 \pm 0,218$
90	$5,324 \pm 0,158$
100	10,000

Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends

4 Ergebnisse

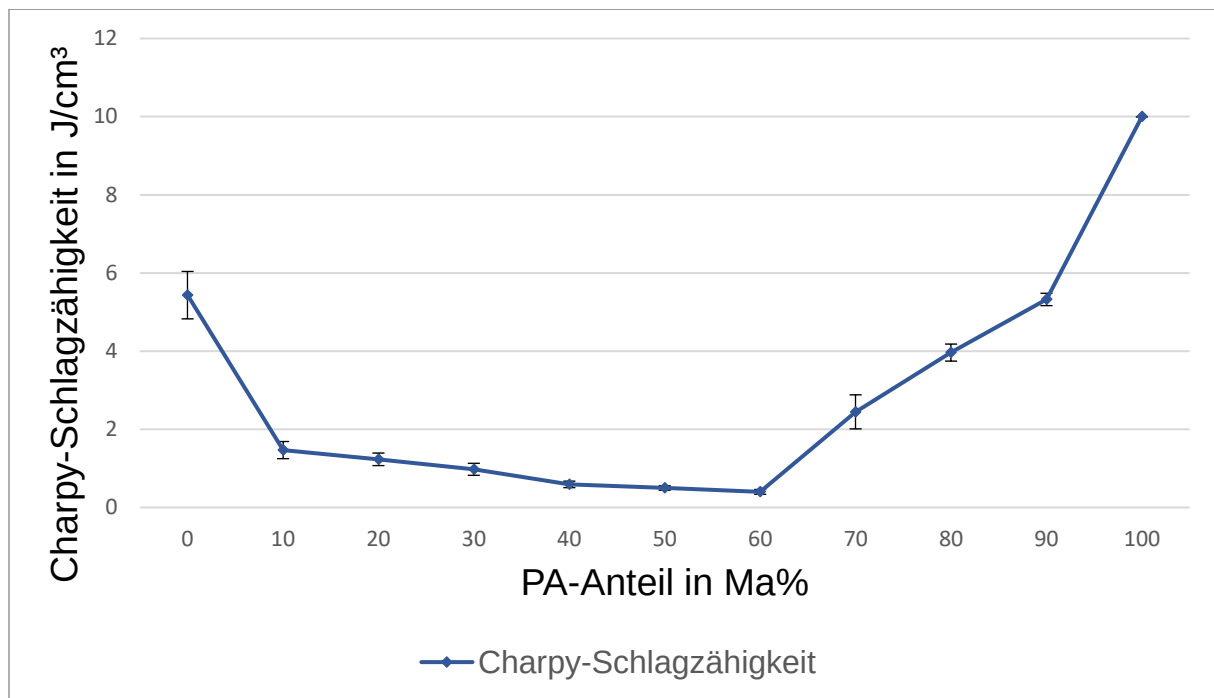


Abbildung 31: Verlauf der Charpy-Schlagzähigkeit

Die Charpy-Schlagzähigkeit des Blends zeigt eine konstante Abnahme von reinem Polypropylen bis zu einem PA-Anteil von 60%. Bei dieser Zusammensetzung erreicht die Schlagzähigkeit ihr Minimum. Nach der Anpassung der Spritzgussparameter bei einem PA-Anteil von 70% steigt die Schlagzähigkeit deutlich an und erreicht ihr Maximum bei reinem Polyamid.

Tabelle 19: Gemessene Charpy-Schlagzähigkeit unter Zugabe von MAPP

Zusammensetzung in Ma% MAPP	Charpy-Schlagzähigkeit a_{cU} in J/cm³
0	$0,827 \pm 0,07$
2	$1,439 \pm 0,157$
4	$1,779 \pm 0,191$
8	$2,173 \pm 0,2$

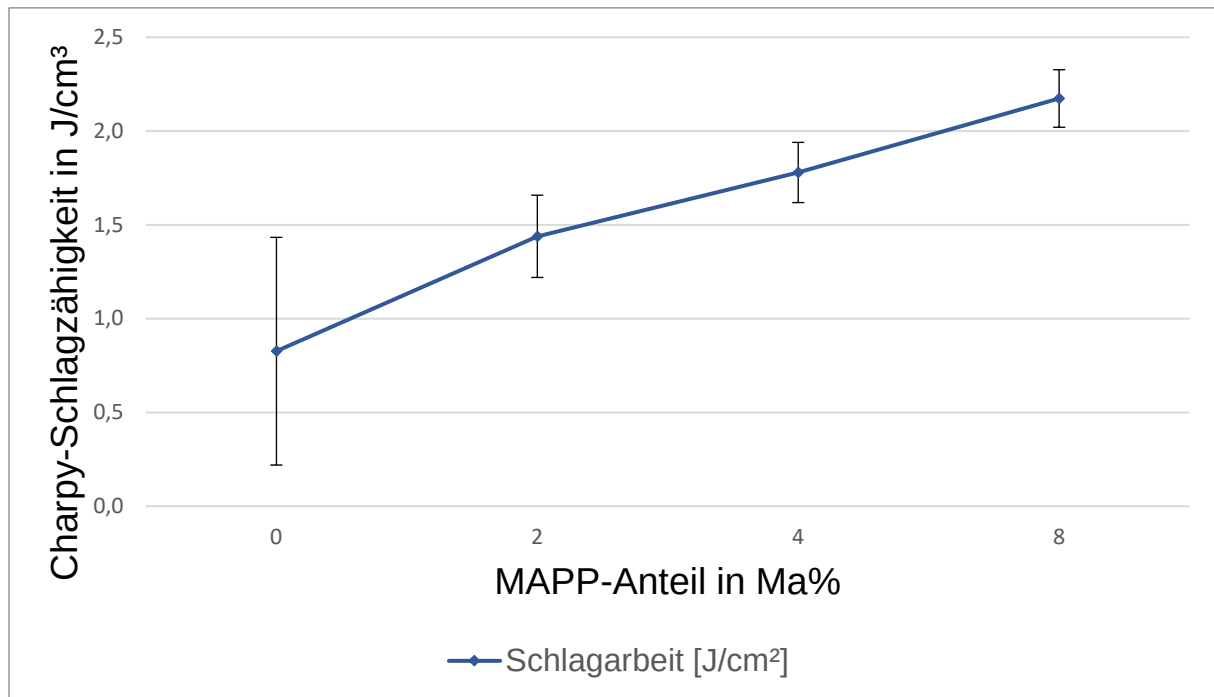


Abbildung 32: Verlauf der Charpy-Schlagzähigkeit unter Zugabe von MAPP

Die Charpy-Schlagzähigkeit des Blends nimmt unter Zugabe des Haftvermittlers MAPP konstant zu. Es ist somit eine signifikante Verfestigung des Blends mit einem steigenden Anteil von MAPP zu erkennen. Dies deutet darauf hin, dass die Zugabe des Haftvermittlers MAPP die Schlagfestigkeit des Materials verbessert.

5 Auswertung

Durch die Analyse des Masseflusses des Extruders während der Blenderstellung kann bereits eine erste Einschätzung zur Verarbeitbarkeit der Mischung gewonnen werden. Der Massefluss steigt leicht mit zunehmendem PA-Anteil aufgrund der höheren Verarbeitungstemperaturen an. Höhere Temperaturen führen zu einer Viskositätsabnahme im Blend, was zu einer besseren Verarbeitbarkeit führt. Bei konstanter Temperatur wäre eine Abnahme des Masseflusses aufgrund des höheren PA-Anteils zu erwarten, da Polyamid eine deutlich höhere Schmelztemperatur hat. Die Herausforderungen bei der Verarbeitung des Blends im Spritzgussprozess treten besonders bei höherem PA-Anteil auf, wo es vermehrt zu Problemen bei der Herstellung der Proben kommt. Bei einem PA-Anteil von 70 % mussten die Spritzgussparameter angepasst werden. Bei 90 % Polyamid konnte die Spritzgussmaschine aufgrund der Schwierigkeiten nur eine begrenzte Anzahl von Proben herstellen. Für reines Polyamid konnten keine Proben hergestellt werden.

Die thermische Analyse des Blends mittels einer DSC-Messung mit vorgeschalteter TGA ermöglicht eine klare Zuordnung der beobachteten Phänomene zu den einzelnen Bestandteilen des Blends. Während der TGA-Analyse konnten drei deutliche Zersetzungstemperaturen

identifiziert werden. Bei etwa 240 °C erfolgt die Zersetzung des Polypropylen. Bei Temperaturen von ungefähr 380 °C und 475 °C treten Zersetzungs Vorgänge des Polyamids auf.

In der darauffolgenden DSC-Messung konnten getrennte Schmelz- und Kristallisationstemperaturen für die einzelnen Bestandteile des Blends ermittelt werden. Anhand des Verlaufs der Schmelz- und Kristallisationsenthalpien in Abhängigkeit von der Blendzusammensetzung und den Temperaturen konnten diese deutlich den jeweiligen Bestandteilen zugeordnet werden. Es war nicht möglich, die Glasübergangstemperaturen der einzelnen Bestandteile zu charakterisieren.

Bei der mechanischen Messung der verschiedenen Blends fällt auf, dass es sowohl bei der Zugprüfung als auch bei der Dreipunktbiegung zu einem Minimum der Spannungswerte im Bereich von 50 % und 60 % PA-Anteil kommt. Dieses Minimum kann auf die erschwerte Verarbeitbarkeit des Blends im Spritzgussverfahren zurückgeführt werden, da hier vermehrt Probleme bei der Herstellung von Probenkörpern auftraten. Meist steigen die mechanischen Werte ab 70 % PA-Anteil stark an, was den Punkt markiert, an dem die Spritzgussparameter angepasst wurden. Außerdem fällt auf, dass die Dehnungswerte im Bereich der PP-dominanten Zusammensetzungen höher sind, während die Spannungswerte in der Regel ab einem PA-Anteil von 70 % stark ansteigen.

Bei dem Zugversuch fällt außerdem auf, dass es bei reinem Polypropylen und bei 20 % - 40 % PA-Anteil zur Ausbildung einer Streckgrenze kommt. Bei dem Biegeversuch kommt es bei reinem Polypropylen und bei 20 % PA-Anteil nicht zu einem Bruch innerhalb der vorgegeben Verformung. Bei 50 % und 60 % PA-Anteil kommt es zu einem Bruch vor Erreichen der konventionellen Durchbiegung. Dies ist auf die suboptimalen Spritzgussparameter zurückzuführen.

Bei der Untersuchung der Charpy-Schlagzähigkeit des Blends kommt es zu einer konstanten Abnahme von reinem Polypropylen bis zu 60% Polyamid. Nach dem Anpassen der Spritzgussparameter erfolgt ein starker Anstieg der Charpy-Schlagzähigkeit mit steigendem PA-Anteil.

Für die Untersuchung des Blends mit dem Haftvermittler MAPP wurden erneut verschiedene Zusammensetzungen im Extruder verarbeitet. Die Verarbeitungstemperatur wurde dabei konstant gehalten, sodass der Rückgang des Masseflusses mit Zugabe des Haftvermittlers beobachtet werden konnte. Der niedrigere Massefluss weist auf eine schlechtere Verarbeitbarkeit des Materials hin, was durch eine erhöhte Viskosität oder eine Erhöhung der Schmelztemperatur bedingt wird.

Bei der thermischen Analyse des Blends unter Zugabe des Haftvermittlers zeigte sich eine geringfügige Veränderung der Zersetzungstemperaturen. Hier kommt es zu starken Zuwachs der Temperaturen bei der initialen Zugabe von MAPP.

In der DSC-Analyse zeigt sich, dass die Schmelztemperaturen beider Bestandteile leicht ansteigen. Zudem beobachten wir eine Aufspaltung des Kristallisationspeaks von Polyamid. Mit steigendem Gehalt an Haftvermittler MAPP bildet sich ein Peak mit leicht niedrigerer Kristallisationstemperatur aus, der teilweise von dem Kristallisationspeak des Polyamid überlagert wird. Dies deutet auf eine Reaktion zwischen MAPP und Polyamid hin.

In der mechanischen Analyse der Charpy-Schlagzähigkeit zeigt sich ein kontinuierlicher Anstieg der Schlagzähigkeit des Blends unter Zugabe des Haftvermittlers. Dies weist auf eine Stärkung des Blends durch die Zugabe von MAPP hin.

6 Ausblick

Durch die erschwerte Verarbeitung des Blends im Spritzguss, existieren bei den mechanischen Analysen Unregelmäßigkeiten. Hier wäre eine erneute Compoundierung der Blends mit einem Polyamid 6 ohne Glasfaseranteil interessant. Weiterhin ist eine Optimierung der Spritzgussparameter hilfreich, um einen Einbruch der mechanischen Eigenschaften im Bereich von 50 – 60 % PA-Anteil zu verhindern. Hierzu bietet sich an ein Temperaturprofil mit steigenden Temperaturen über den PA-Anteil zu fahren, um die schlechte Verarbeitbarkeit auszugleichen. Da die Spritzgussmaschine Arburg 320 C fast an ihrer Temperaturgrenze war, ist die Verwendung einer anderen Spritzgussmaschine ratsam.

Durch die Abwesenheit der Spritzgussmaschine während der zweiten Versuchsreihe, konnten keine Typ 1A-Proben mit dem Haftvermittler erstellt werden. Der Vergleich der mechanischen Eigenschaften im Zug- und Dreipunktbiegeversuch sind eine wichtige Ergänzung zu den Schlagzähigkeitsdaten der Charpy-Analyse.

7 Literatur

[A. 17]

A. Pfennig; *Praktikum Werkstofftechnik: Versuch: Zugversuch*, 2017,
<https://silo.tips/download/dozentin-a-pfennig-datum-hochschule-fhtw-fachhochschule-fr-technik-und-wirtschaft>.
Abgerufen am 28.09.2023.

[BAS 23]

BASF; *Ultramid® B3EG7 - Product Datasheet*, 2023.

[Bra 19]

Braskem; *Data Sheet - H734-52RNA*, 2019,
https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwis-efD1L6BAxVas6QKHclD0IQFnoECAoQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.braskem.com.br%2Fcms%2Furope%2FModuloProduto%2FDownload%3Fid%3D3kNxZD5UfPI%3D%26idioma%3D&usg=AOvVaw3gxrY1SZF_4ES7Lq87-EGL&opi=89978449.
Abgerufen am 22.09.2023.

[DIN 19 a]

DIN Deutsches Institut für Normung; *Bestimmung der Zugeigenschaften: Teil 1: Allgemeine Grundsätze*, 12.2019, <https://nautos.de/V1F/search/item-detail/DE30081822>.
Abgerufen am 22.09.2023.

[DIN 19 b]

DIN Deutsches Institut für Normung; *Bestimmung der Biegeeigenschaften: Teil 1: Allgemeine Grundsätze*, 08.2019, <https://nautos.de/V1F/search/item-detail/DE30080440>.
Abgerufen am 22.09.2023.

[Han 12]

Hans Domininghaus, Peter Elsner, Peter Eyerer, Thomas Hirth; *Kunststoffe. Eigenschaften und Anwendungen*, 2012.

[Kai 07]

Kaiser, Wolfgang; *Kunststoffchemie für Ingenieure: Von der Synthese bis zur Anwendung*, 2. Auflage, München, Bern, Bonn. Hanser Verlag; eibis, 2007.

[Lin 23]

Linseis; *Thermogravimetrie / Thermogravimetrische Analyse (TGA)*, 2023,
<https://www.linseis.com/methoden/thermogravimetrie/>.
Abgerufen am 25.09.2023.

[Lot 09]

Lothar Schwabe; *Thermoanalyse: Kapitel 3.5.*, Berlin, 2009, Berlin.

[M-B 23]

M-Base Engineering + Software GmbH; *Material Data Center | Datenblatt Ultramid® B3EG7*, 04.09.2023,
<https://www.materialdatacenter.com/ms/de/Ultramid%20B/BASF/Ultramid%C2%AE+B3EG7/c2490e61/4337>.
Abgerufen am 04.09.2023.

[Pol 23a]

Polymerservice Merseburg; *Schlagbeanspruchung Pendelschlagwerk – Lexikon der Kunststoffprüfung*, 04.08.2023, https://wiki.polymerservice-merseburg.de/index.php/Schlagbeanspruchung_Pendelschlagwerk.
Abgerufen am 28.09.2023.

[Pol 23b]

Polymer Service GmbH Merseburg; *Biegeversuch Einflüsse – Lexikon der Kunststoffprüfung*, 23.03.2023, https://wiki.polymerservice-merseburg.de/index.php/Biegeversuch_Einfl%C3%BCsse.
Abgerufen am 27.09.2023.

[Sig]

Sigma-Aldrich; *Polypropylene-graft-maleic anhydride: Product Specification*, Saint Louis, USA, <https://www.sigmaaldrich.com/DE/de/product/aldrich/427845>.
Abgerufen am 27.09.2023.

[Wik 08]

Wikipedia.org; *Strukturformel Polypropylen*, 27.03.2008,
<https://de.wikipedia.org/wiki/Polypropylen#/media/Datei:Polypropylen.svg>.
Abgerufen am 27.09.2023.

[Wik 10]

Wikipedia.org; *Datei:Polycaprolactam*, 15.11.2010,
<https://de.wikipedia.org/wiki/Polycaprolactam#/media/Datei:Polycaprolactam.svg>.
Abgerufen am 22.09.2023.

8 Anhang

Massefluss

Anteil PP in Massen%	Massefluss in g/min
100	18,6
100	18,9
100	18,8
90	21,4
90	19,5
90	20,4
80	21,1
80	22,1
80	21,8
70	21,5
70	21,9
70	20,2
60	22,4
60	21,6
60	21,6
50	21,5
50	21,9
50	22,1
40	22,4
40	21,6
40	22
30	22,3
30	22,4
30	21,8
20	22,6
20	24
20	23,9
10	22,7
10	24
10	24
0	24,1
0	23,4
0	23,4

Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends

8 Anhang

Anteil MAPP in Massen%	Massefluss in g/min
0	22,4
0	21,6
0	21,6
2	18,6
2	20,3
2	18,8
4	19,8
4	20,2
4	19,4
8	19,4
8	19,4
8	19,1

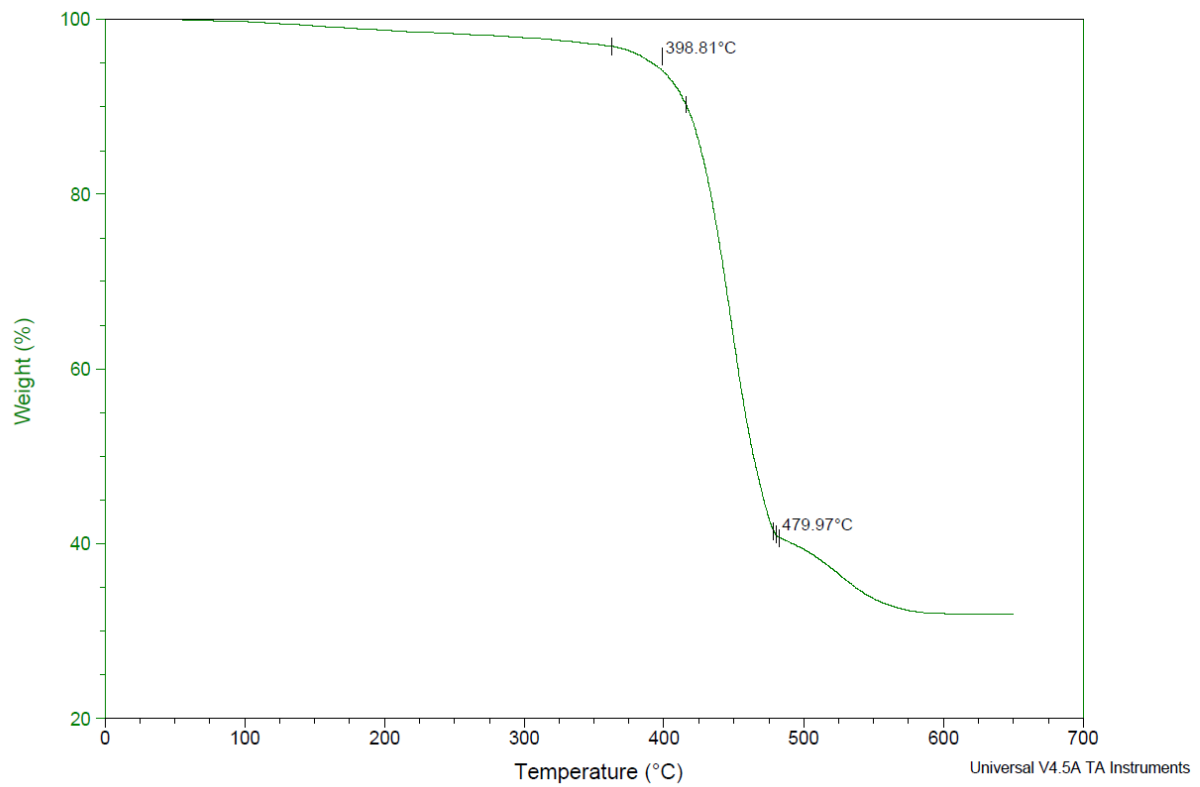
TGA

Sample: PA GF
Size: 7.8810 mg

TGA

File: E:\Bachelorarbeit\BA_TGA\0PP.002

Run Date: 06-Sep-2023 13:36
Instrument: TGA Q5000 V3.17 Build 265



Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends

8 Anhang

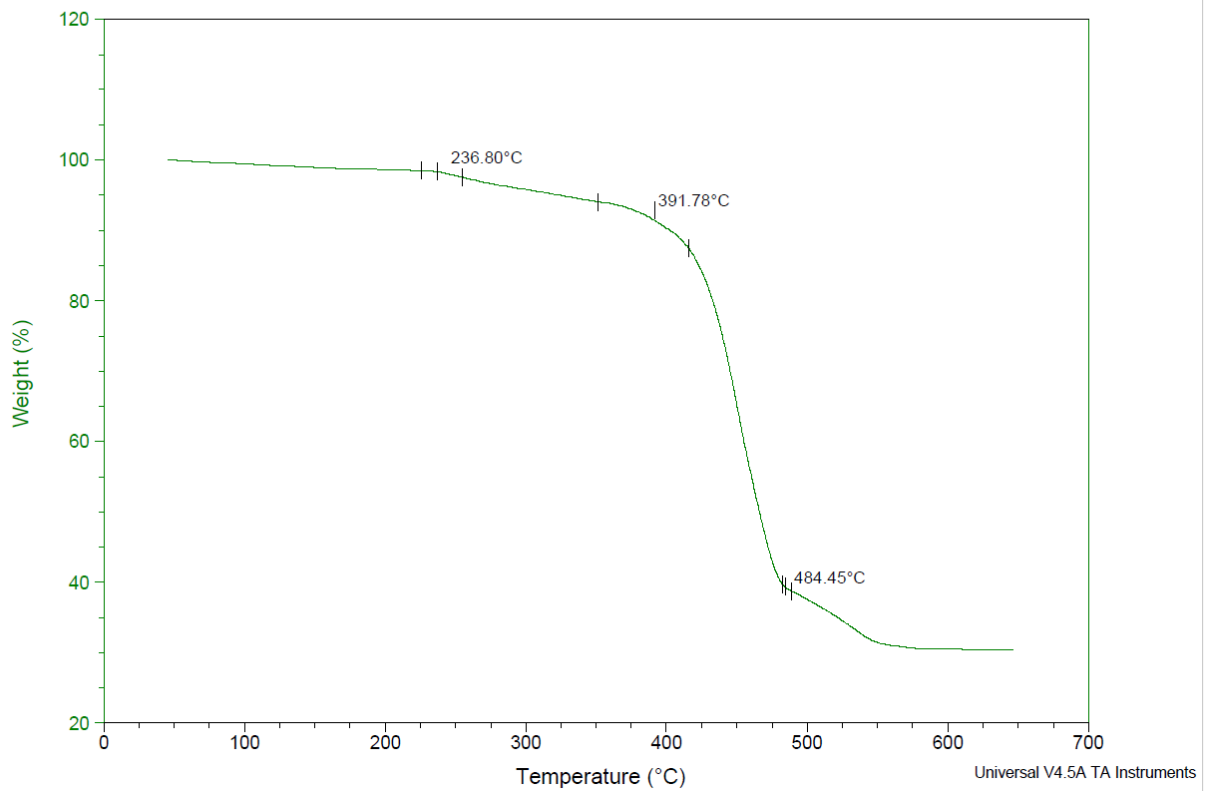
Sample: PP/PA 10/90
Size: 4.7090 mg

TGA

File: E:\Bachelorarbeit\BA_TGA\10PP.001

Run Date: 04-Sep-2023 13:55

Instrument: TGA Q5000 V3.17 Build 265



Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends

8 Anhang

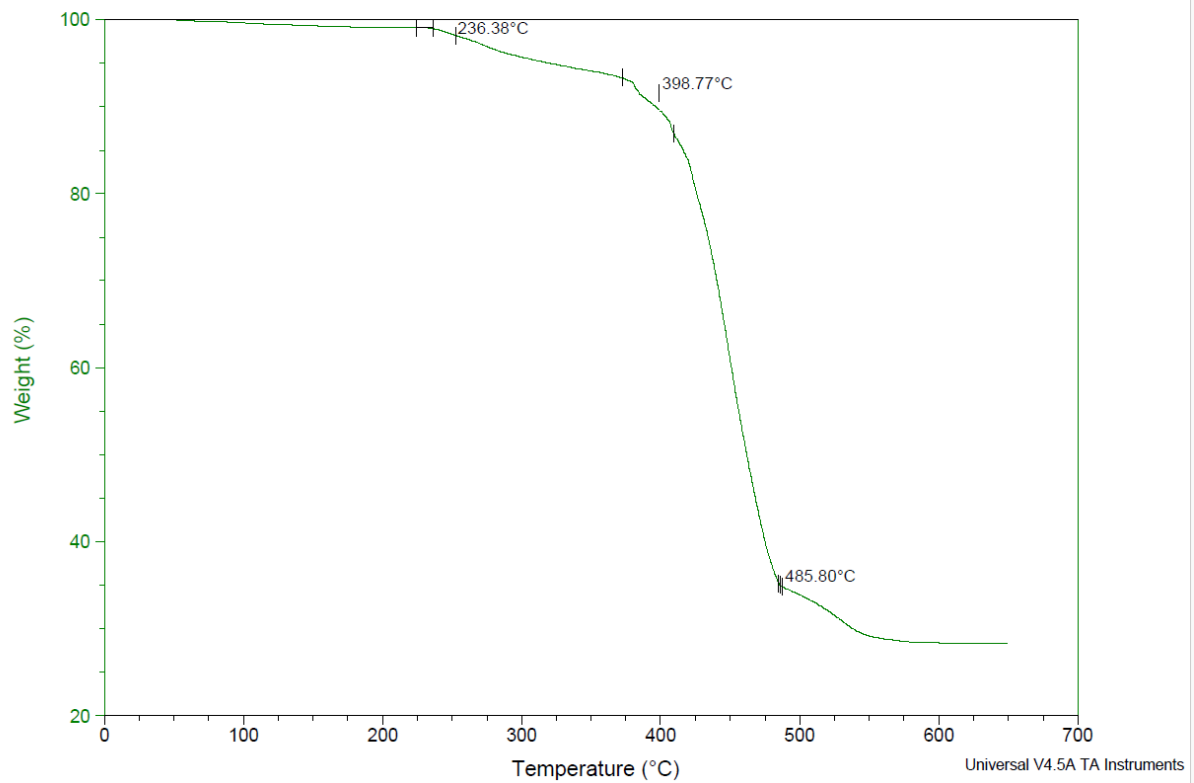
Sample: PP/PA 20/80
Size: 6.8030 mg

TGA

File: E:\Bachelorarbeit\BA_TGA\20PP.002

Run Date: 05-Sep-2023 08:44

Instrument: TGA Q5000 V3.17 Build 265



Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends

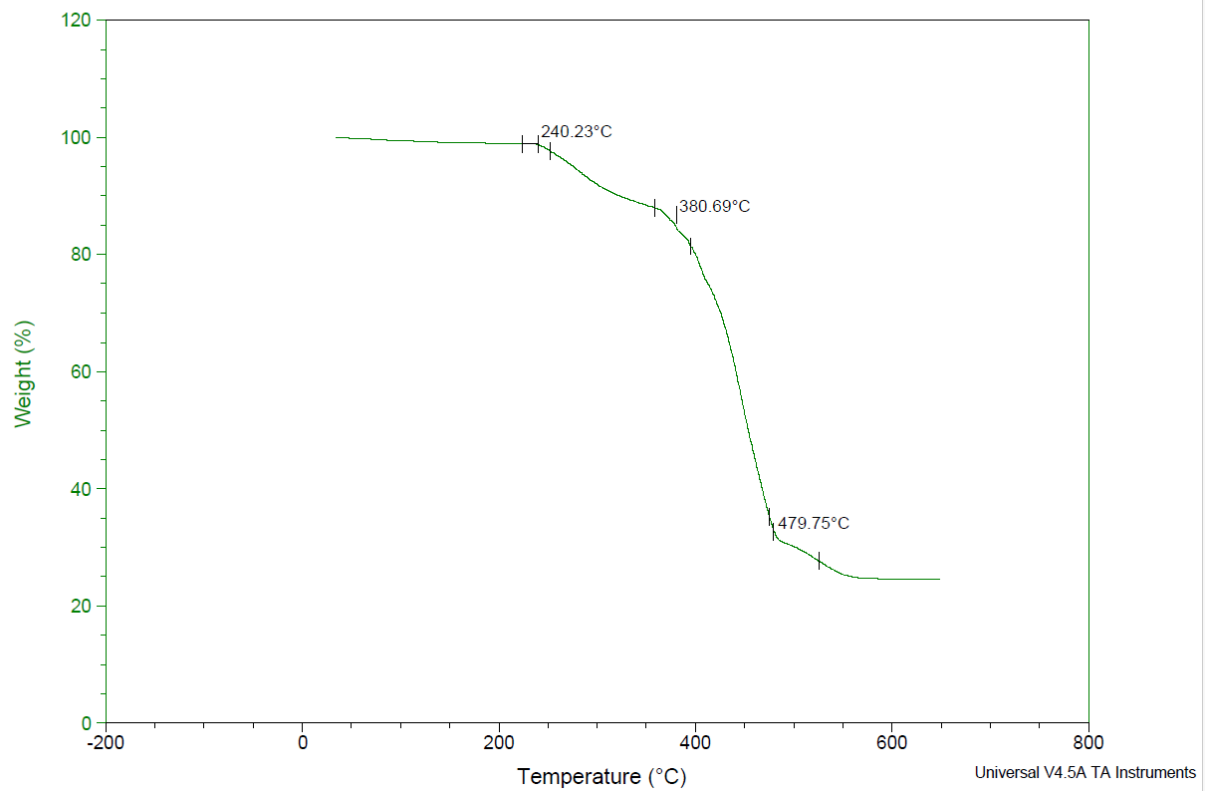
8 Anhang

Sample: PP/PA 30/70
Size: 8.2950 mg

TGA

File: E:\Bachelorarbeit\BA_TGA\30PP.001

Run Date: 05-Sep-2023 10:26
Instrument: TGA Q5000 V3.17 Build 265



Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends

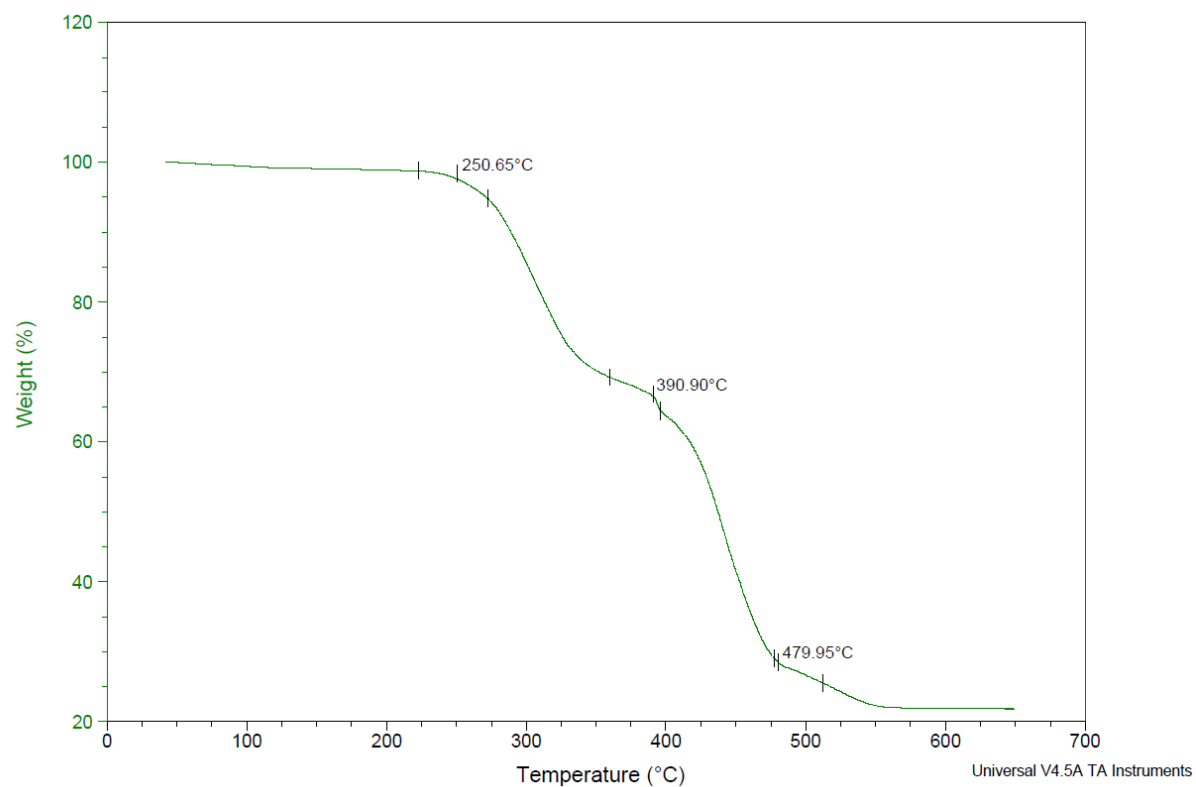
8 Anhang

Sample: PP/PA 40/60
Size: 4.7740 mg

TGA

File: E:\Bachelorarbeit\BA_TGA\40PP.001

Run Date: 05-Sep-2023 12:43
Instrument: TGA Q5000 V3.17 Build 265



Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends

8 Anhang

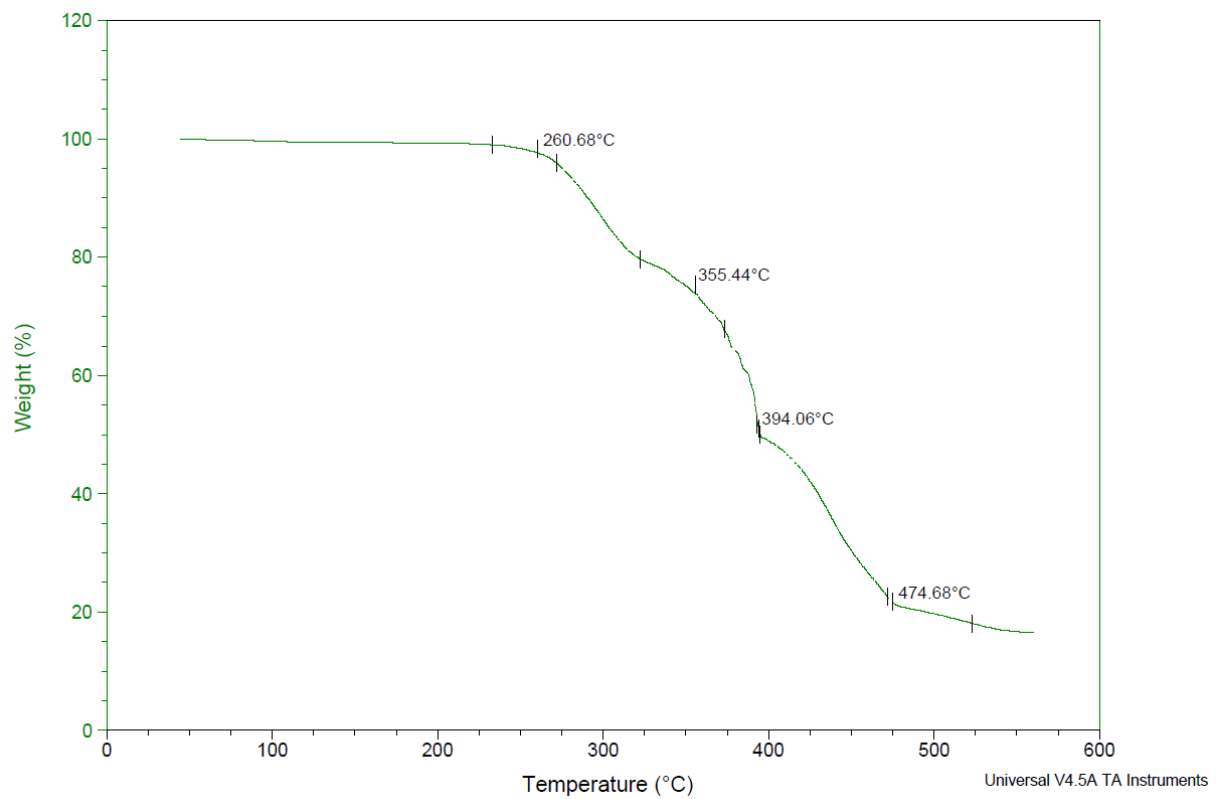
Sample: PP/PA 50/50
Size: 10.4820 mg

TGA

File: E:\Bachelorarbeit\BA_TGA\50PP.003

Run Date: 04-Sep-2023 09:31

Instrument: TGA Q5000 V3.17 Build 265



Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends

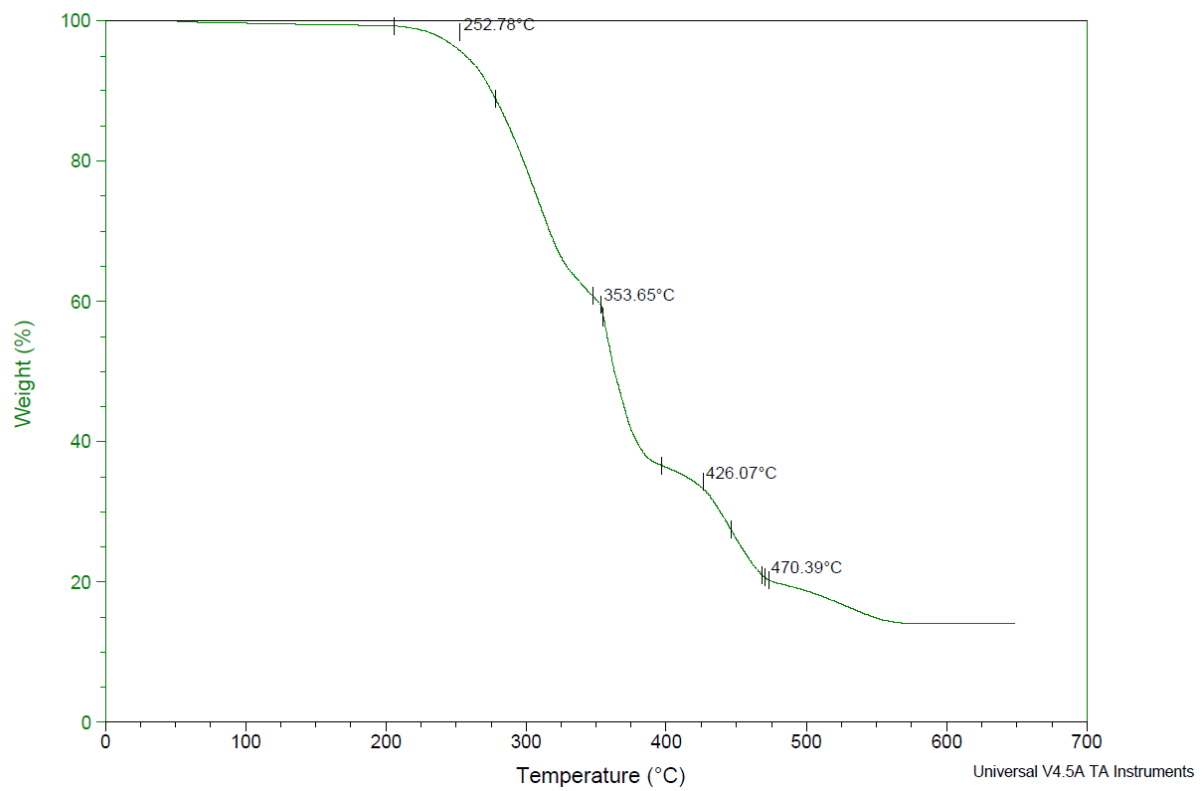
8 Anhang

Sample: PP/PA 60/40
Size: 5.1540 mg

TGA

File: E:\Bachelorarbeit\BA_TGA\60PP.001

Run Date: 05-Sep-2023 14:03
Instrument: TGA Q5000 V3.17 Build 265



Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends

8 Anhang

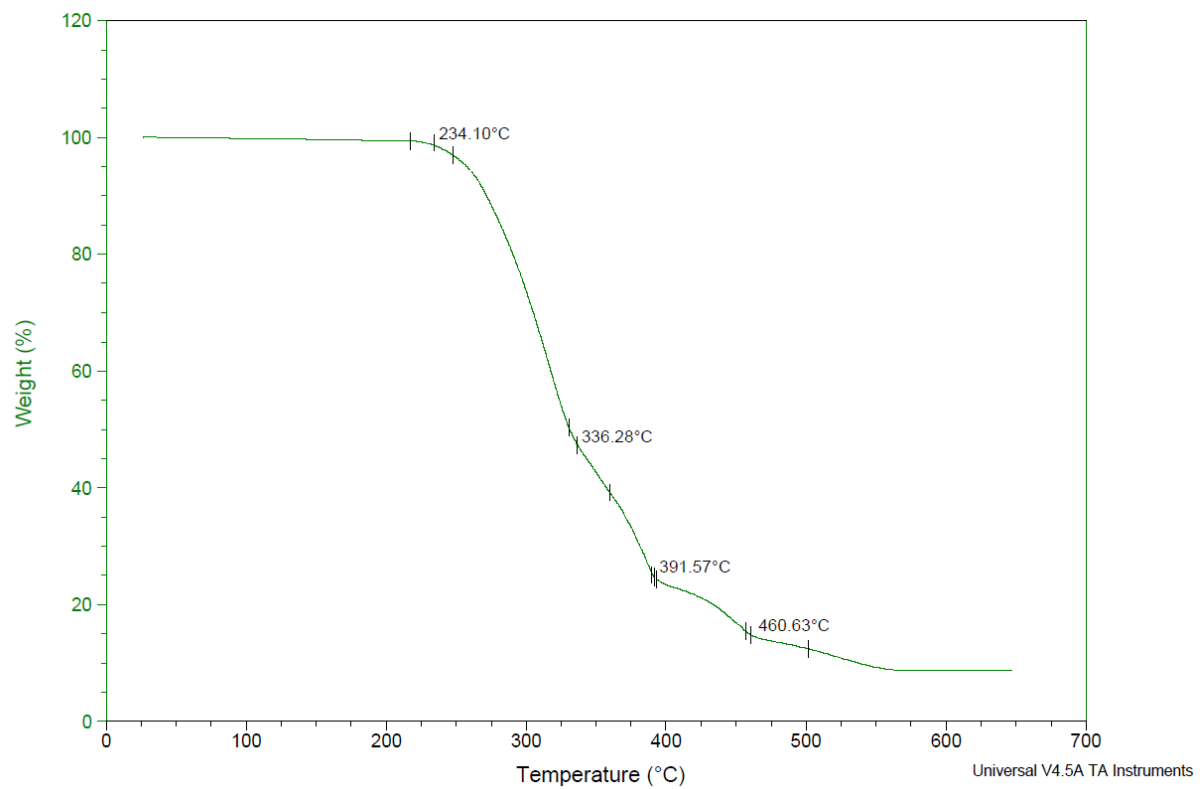
Sample: PP/PA 70/30
Size: 5.6380 mg

TGA

File: E:\Bachelorarbeit\BA_TGA\70PP.001

Run Date: 06-Sep-2023 06:41

Instrument: TGA Q5000 V3.17 Build 265



Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends

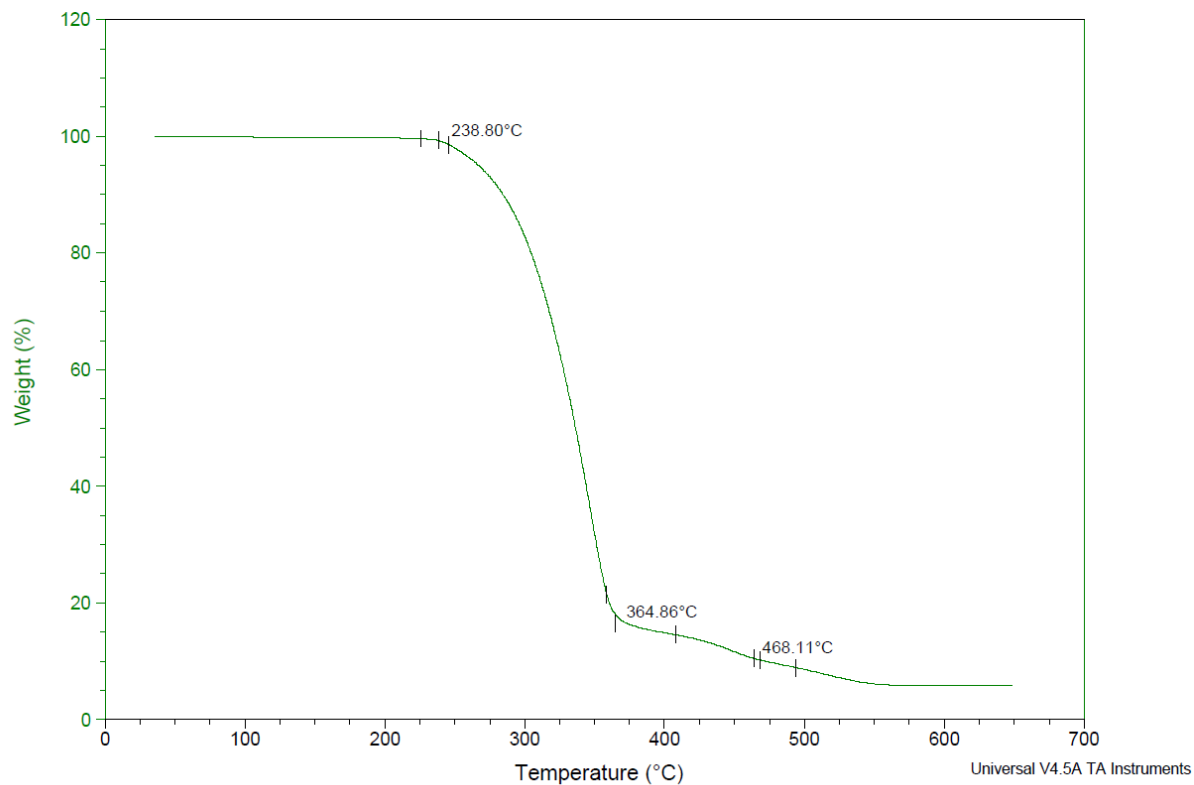
8 Anhang

Sample: PP/PA 80/20
Size: 12.5260 mg

TGA

File: E:\Bachelorarbeit\BA_TGA\80PP.001

Run Date: 06-Sep-2023 08:29
Instrument: TGA Q5000 V3.17 Build 265



Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends

8 Anhang

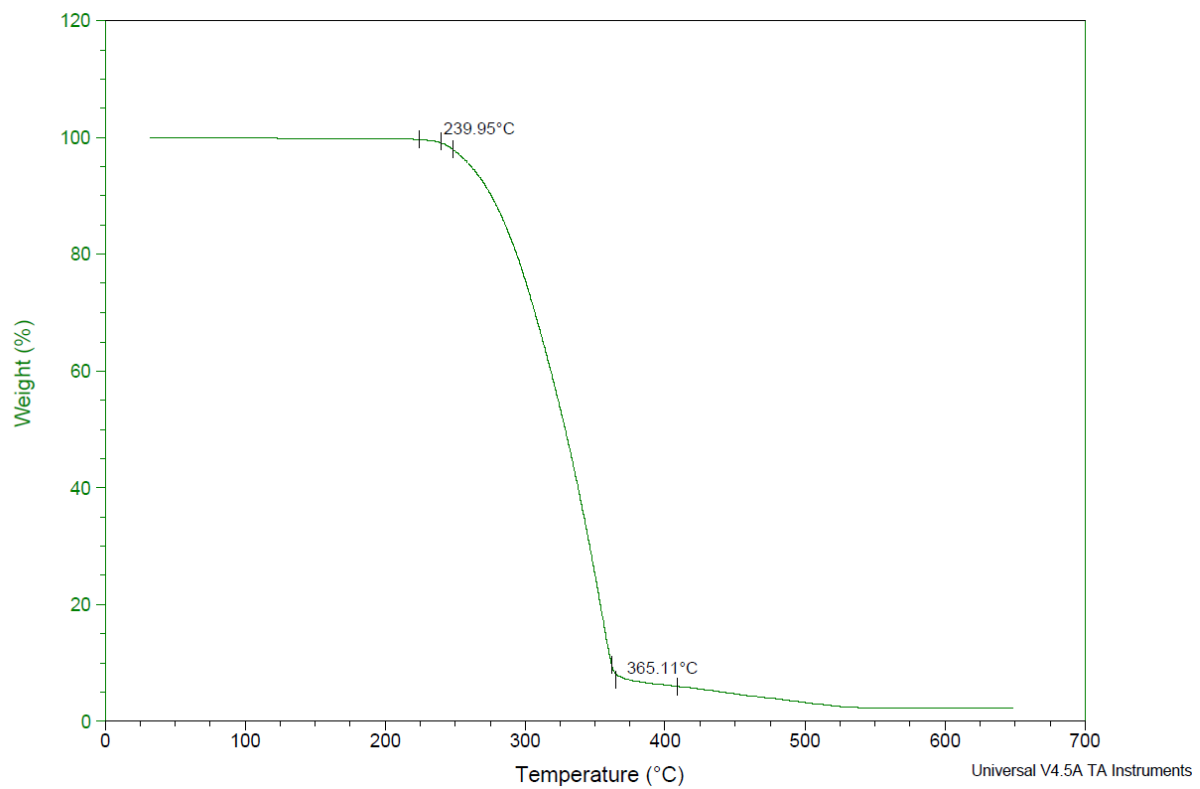
Sample: PP/PA 90/10
Size: 10.0670 mg

TGA

File: E:\Bachelorarbeit\BA_TGA\90PP.001

Run Date: 06-Sep-2023 10:47

Instrument: TGA Q5000 V3.17 Build 265



Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends

8 Anhang

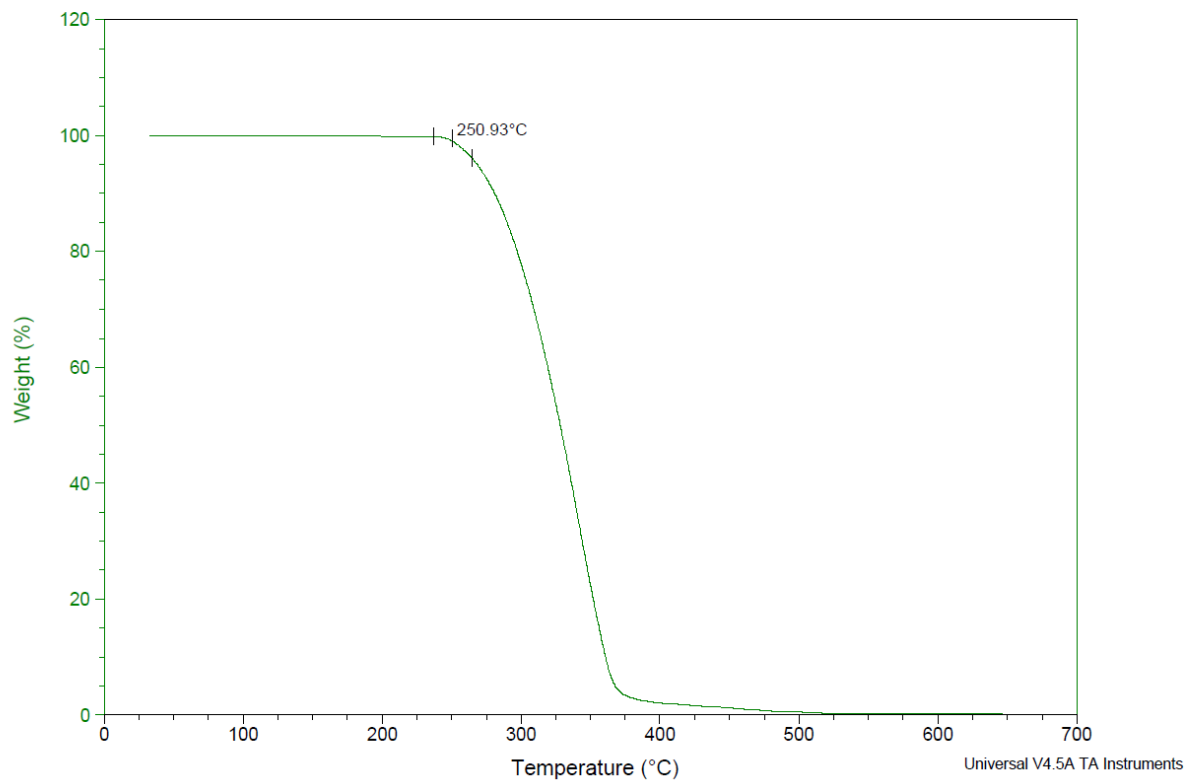
Sample: PP
Size: 11.0560 mg

TGA

File: E:\Bachelorarbeit\BA_TGA\100PP.002

Run Date: 04-Sep-2023 11:26

Instrument: TGA Q5000 V3.17 Build 265



Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends

8 Anhang

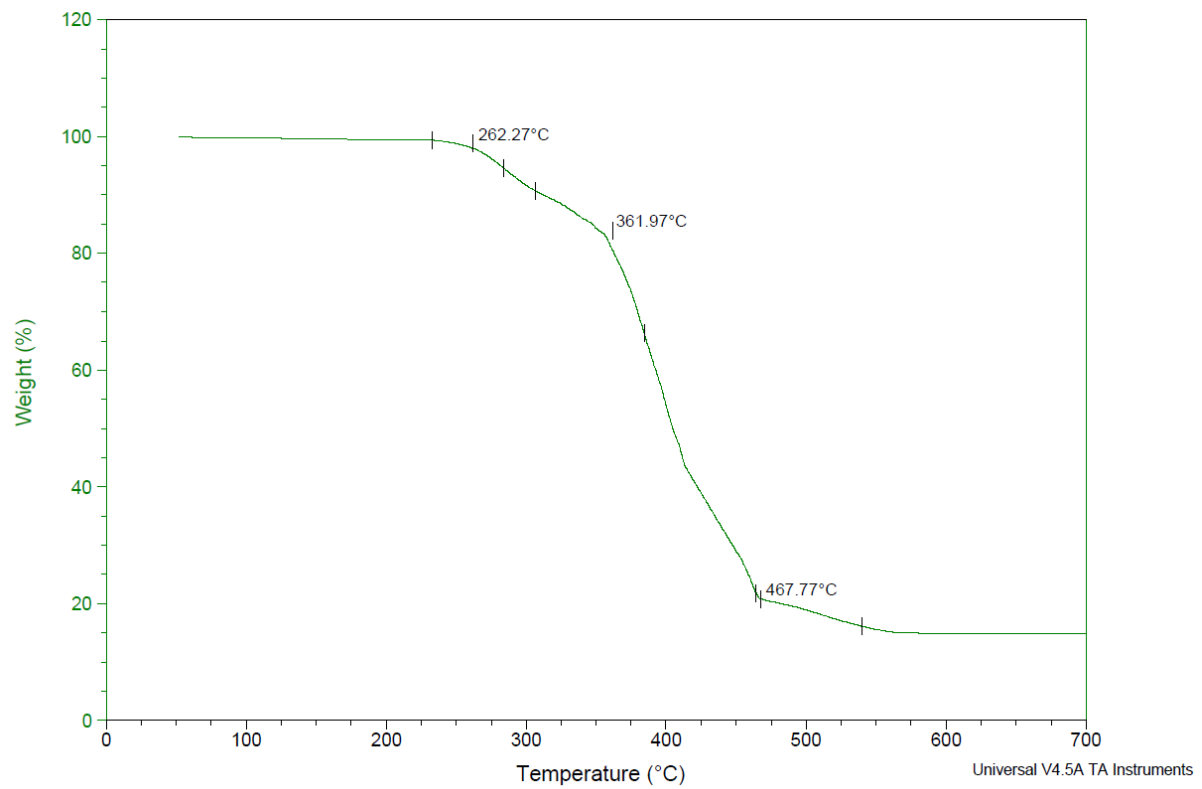
Sample: 2% MAPP
Size: 9.1880 mg

TGA

File: E:\Bachelorarbeit\BA_TGA_MAPP\2mapp.001

Run Date: 21-Sep-2023 10:21

Instrument: TGA Q5000 V3.17 Build 265



Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends

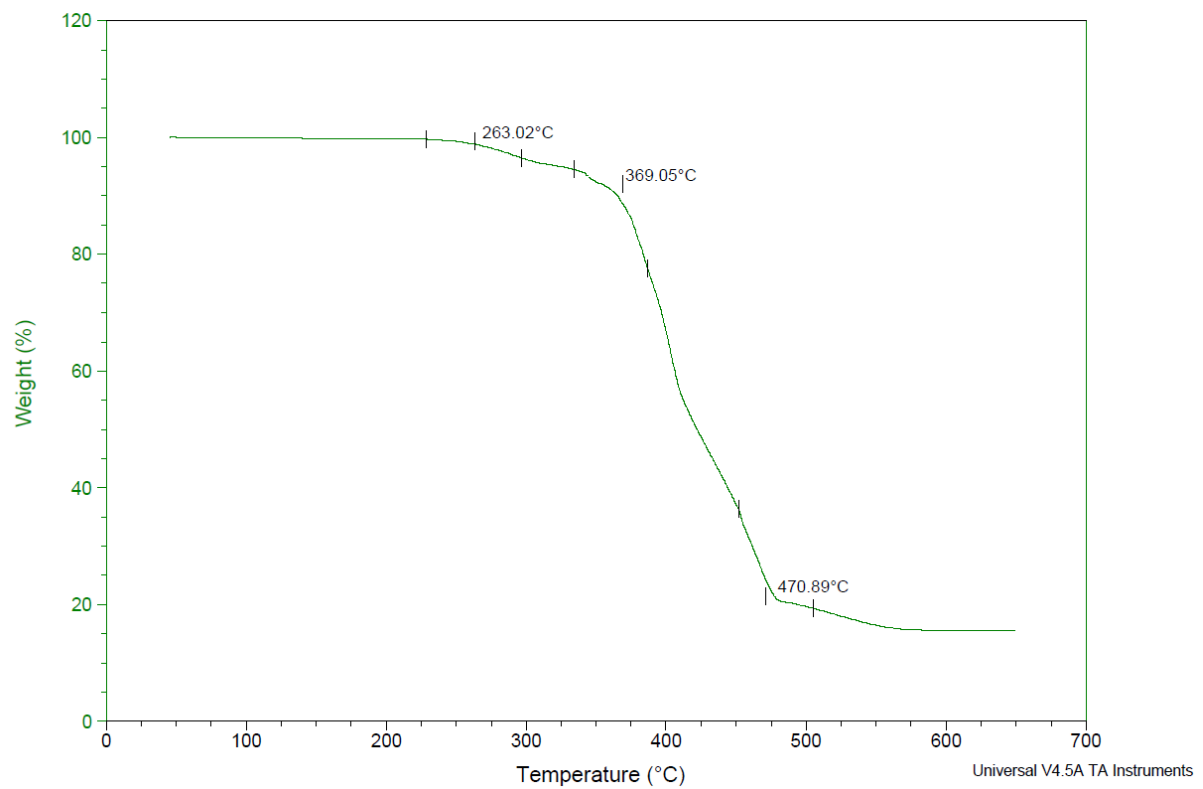
8 Anhang

Sample: 4% MAPP
Size: 11.9260 mg

TGA

File: E:\Bachelorarbeit\BA_TGA_MAPP\4mapp.001

Run Date: 21-Sep-2023 11:48
Instrument: TGA Q5000 V3.17 Build 265



Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends

8 Anhang

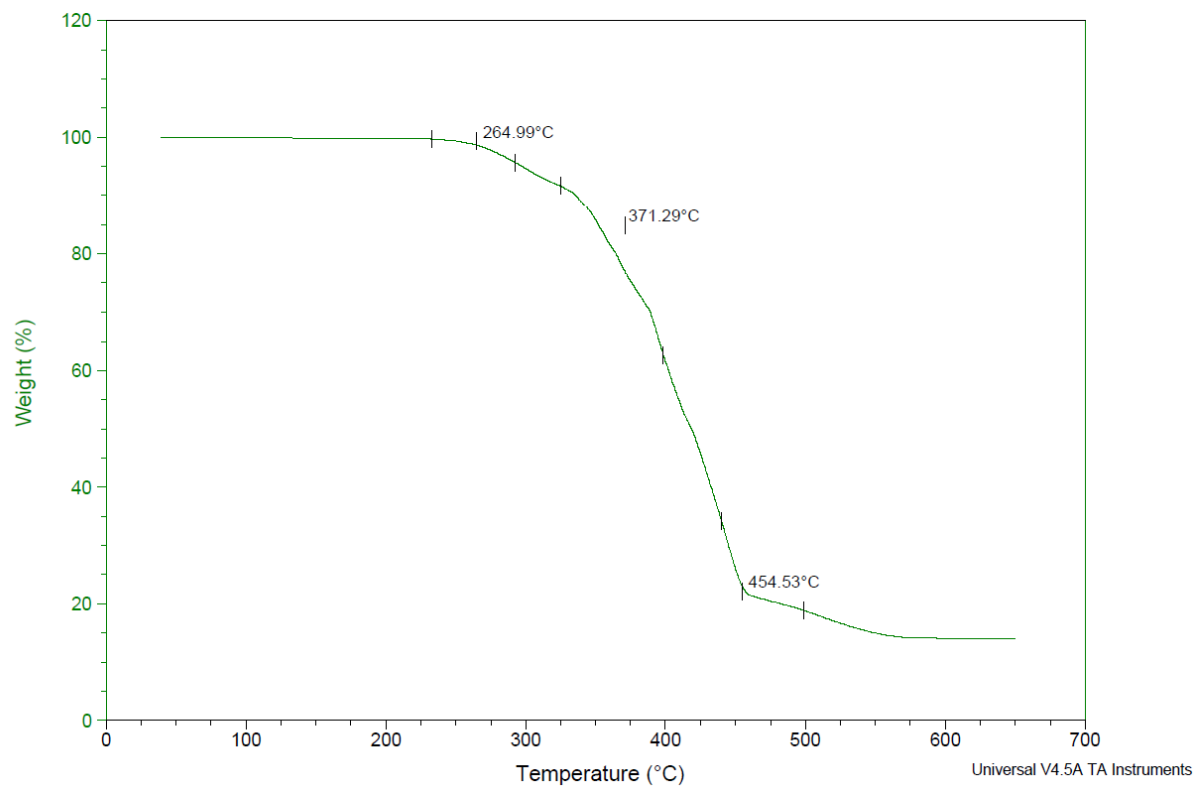
Sample: 8% MAPP
Size: 8.4940 mg

TGA

File: E:\Bachelorarbeit\BA_TGA_MAPP\8mapp.001

Run Date: 21-Sep-2023 13:13

Instrument: TGA Q5000 V3.17 Build 265



DSC

Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends

8 Anhang

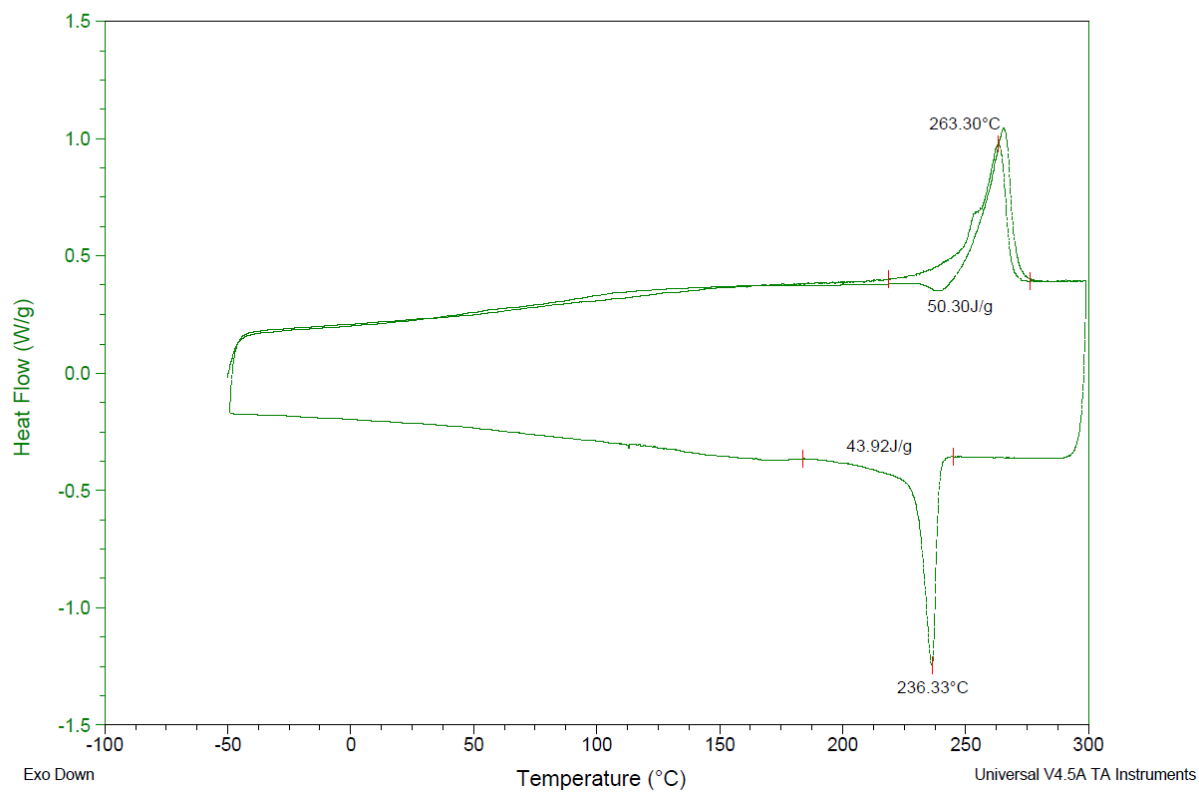
Sample: PAGF35
Size: 14.9530 mg
Method: Heat/Cool/Heat
Comment: Tzero Calibration - Baseline Run

DSC

File: E:\Bachelorarbeit\BA_DSC\0PP.001

Run Date: 05-Sep-2023 06:40

Instrument: DSC Q2000 V24.11 Build 124



Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends

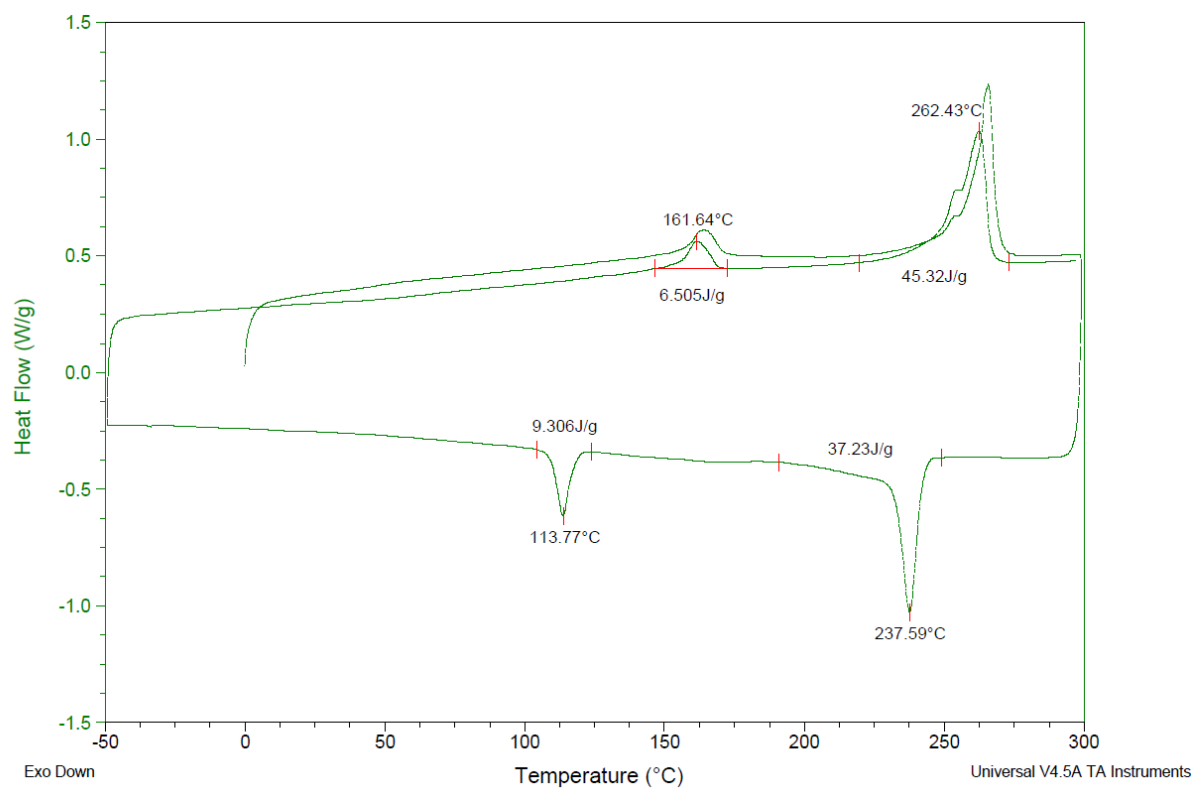
8 Anhang

Sample: PP/PA 10/90
Size: 8.1840 mg
Method: Heat/Cool/Heat
Comment: Tzero Calibration - Baseline Run

DSC

File: \\...\\ph16\\Desktop\\BA_DSC\\pp10.001

Run Date: 04-Sep-2023 12:36
Instrument: DSC Q2000 V24.11 Build 124



Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends

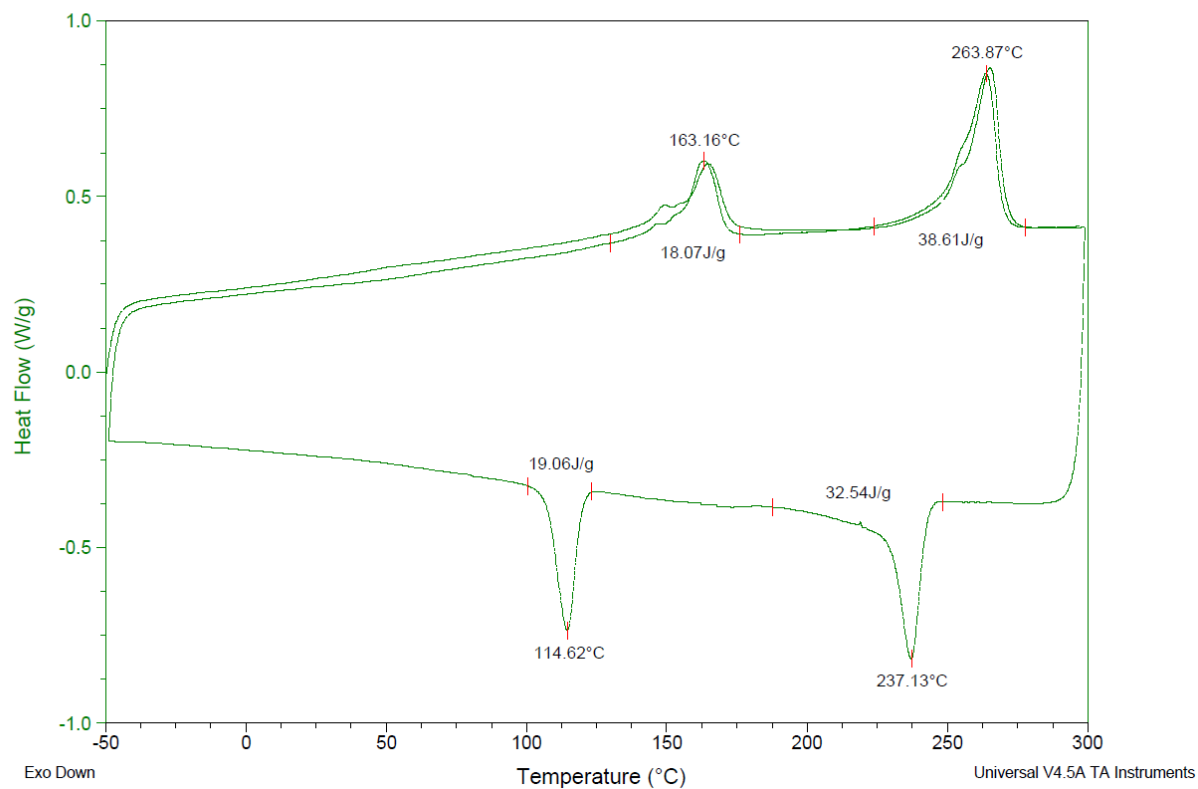
8 Anhang

Sample: PP/PA 20/80
Size: 15.8530 mg
Method: Heat/Cool/Heat
Comment: Tzero Calibration - Baseline Run

DSC

File: \\...\\ph16\\Desktop\\BA_DSC\\pp20.001

Run Date: 05-Sep-2023 08:43
Instrument: DSC Q2000 V24.11 Build 124



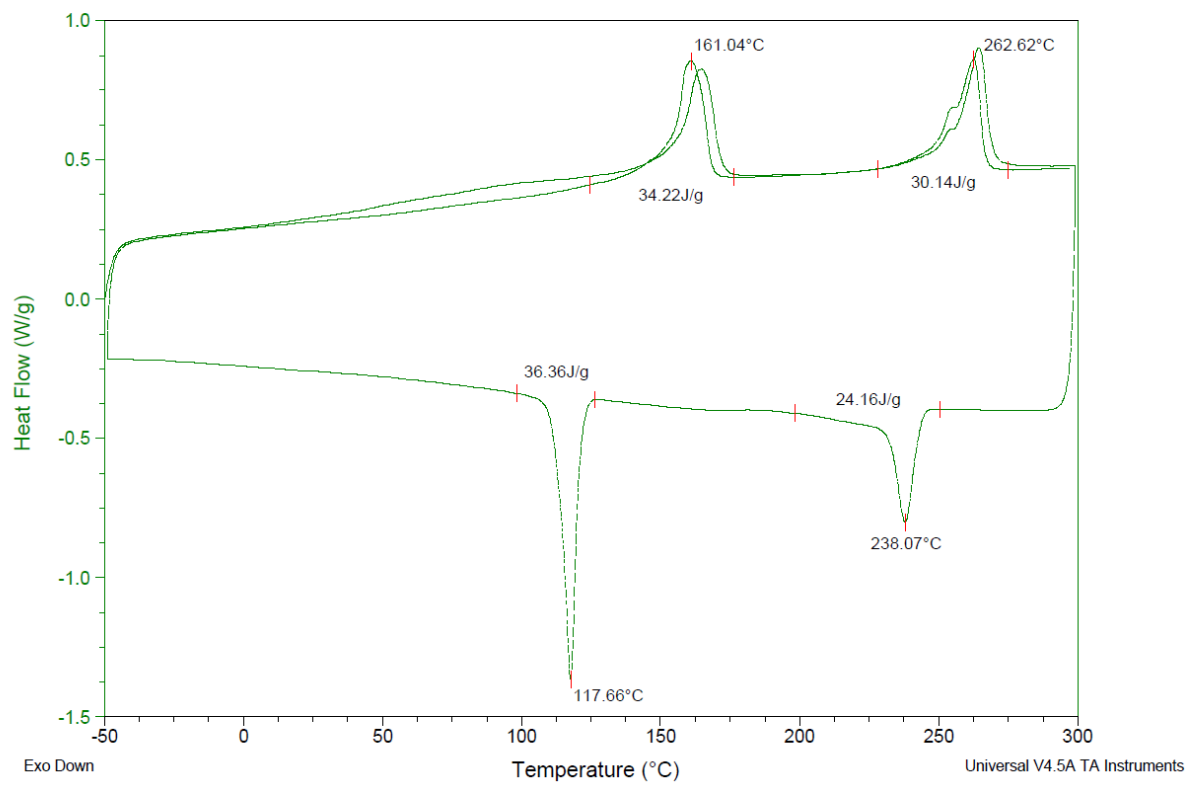
Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends

8 Anhang

Sample: PP/PA 30/70
Size: 9.7370 mg
Method: Heat/Cool/Heat
Comment: Tzero Calibration - Baseline Run

DSC

File: \\...\\ph16\\Desktop\\BA_DSC\\pp30.001
Run Date: 05-Sep-2023 10:40
Instrument: DSC Q2000 V24.11 Build 124



Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends

8 Anhang

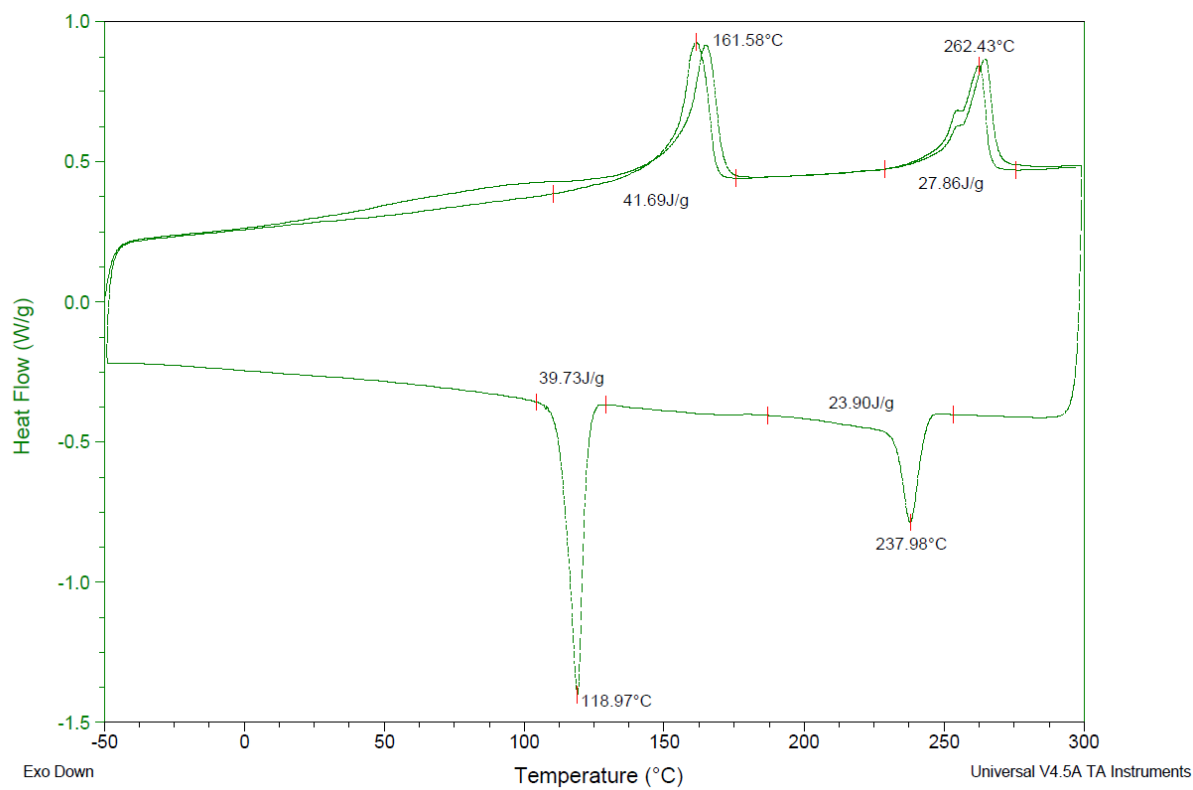
Sample: PP/PA 40/60
Size: 9.5760 mg
Method: Heat/Cool/Heat
Comment: Tzero Calibration - Baseline Run

DSC

File: \\...\\ph16\\Desktop\\BA_DSC\\pp40.001

Run Date: 05-Sep-2023 12:38

Instrument: DSC Q2000 V24.11 Build 124



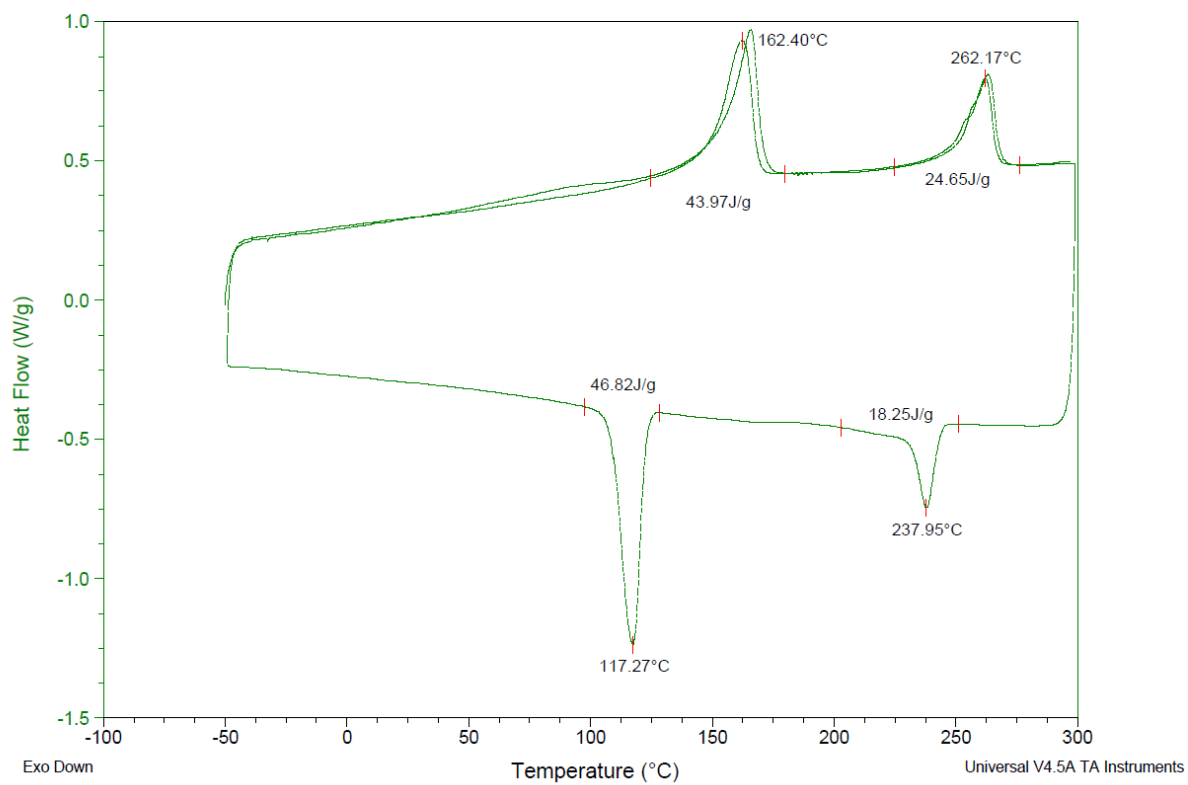
Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends

8 Anhang

Sample: PP/PA 50/50
Size: 13.5590 mg
Method: Heat/Cool/Heat
Comment: Tzero Calibration - Baseline Run

DSC

File: \\...\\ph16\\Desktop\\BA_DSC\\pp50.001
Run Date: 04-Sep-2023 07:59
Instrument: DSC Q2000 V24.11 Build 124



Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends

8 Anhang

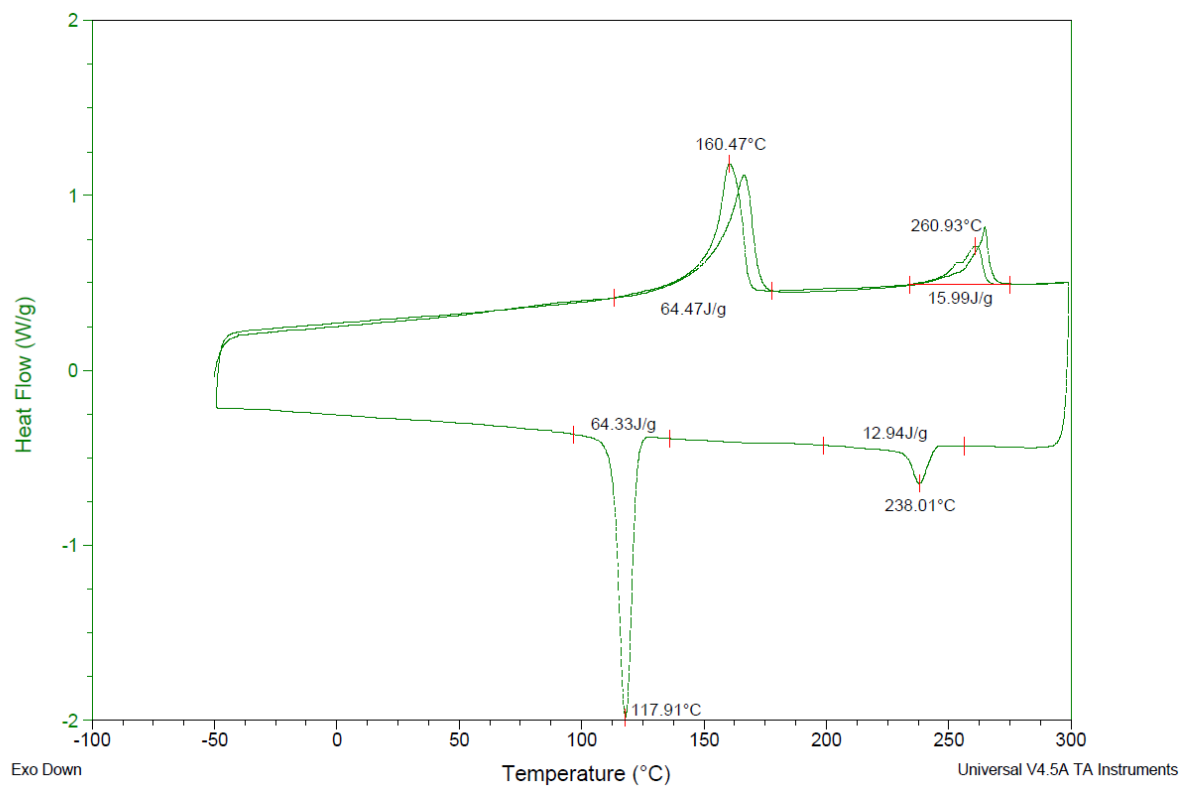
Sample: PP/PA 60/40
Size: 9.2110 mg
Method: Heat/Cool/Heat
Comment: Tzero Calibration - Baseline Run

DSC

File: \\...\\ph16\\Desktop\\BA_DSC\\pp60.001

Run Date: 06-Sep-2023 06:38

Instrument: DSC Q2000 V24.11 Build 124



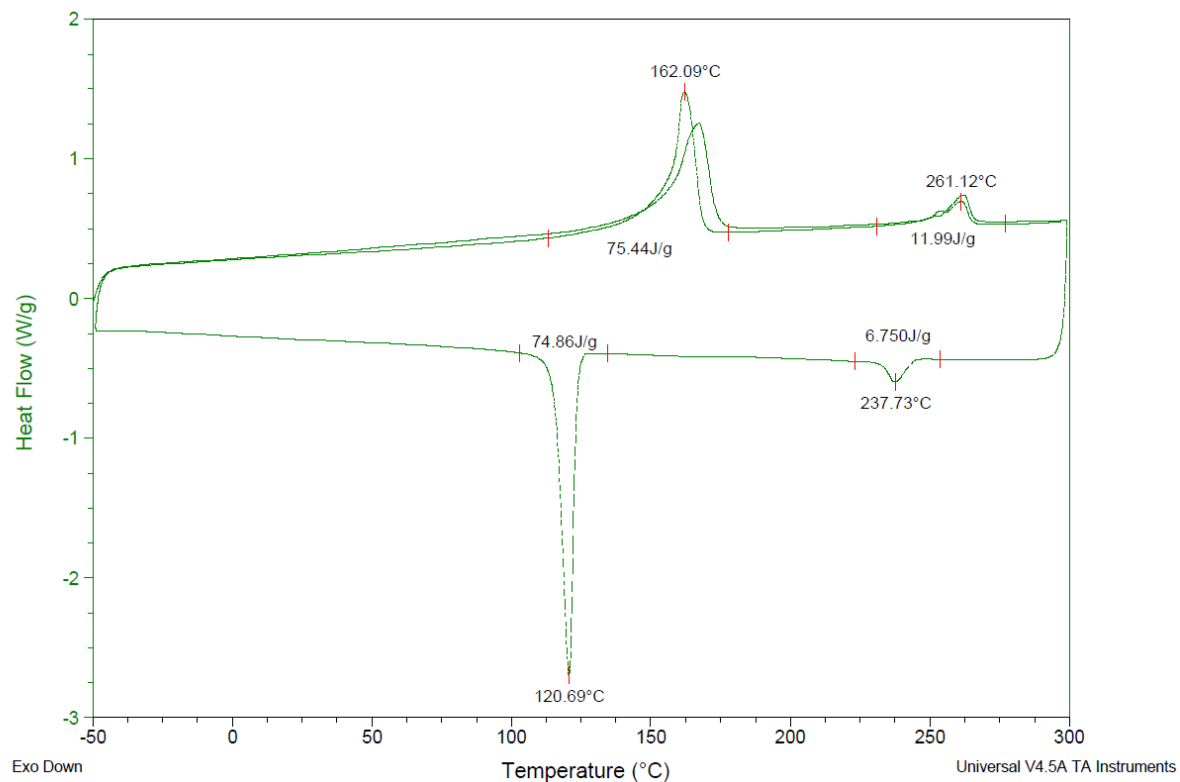
Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends

8 Anhang

Sample: PP/PA 70/30
Size: 8.7480 mg
Method: Heat/Cool/Heat
Comment: Tzero Calibration - Baseline Run

DSC

File: \\...\\ph16\\Desktop\\BA_DSC\\pp70.001
Run Date: 06-Sep-2023 12:46
Instrument: DSC Q2000 V24.11 Build 124



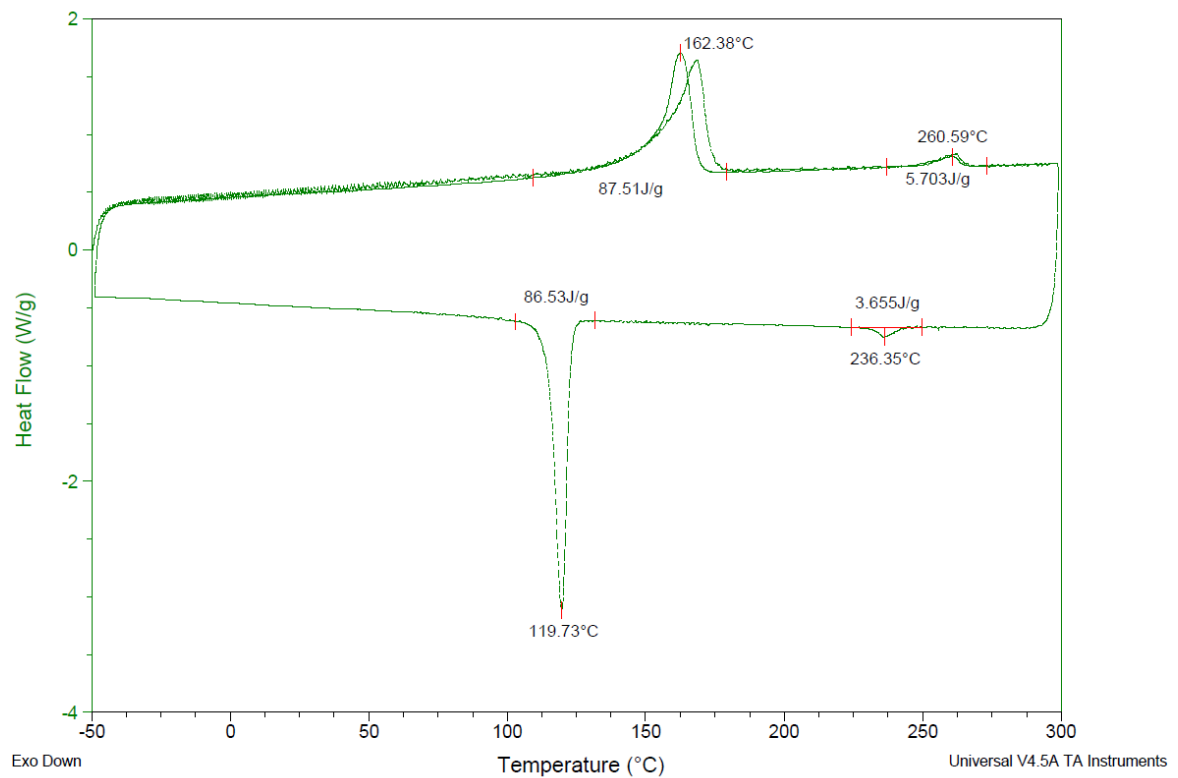
Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends

8 Anhang

Sample: PP/PA 80/20
Size: 9.7250 mg
Method: Heat/Cool/Heat
Comment: Tzero Calibration - Baseline Run

DSC

File: \\...\\ph16\\Desktop\\BA_DSC\\pp80.001
Run Date: 06-Sep-2023 08:39
Instrument: DSC Q2000 V24.11 Build 124



Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends

8 Anhang

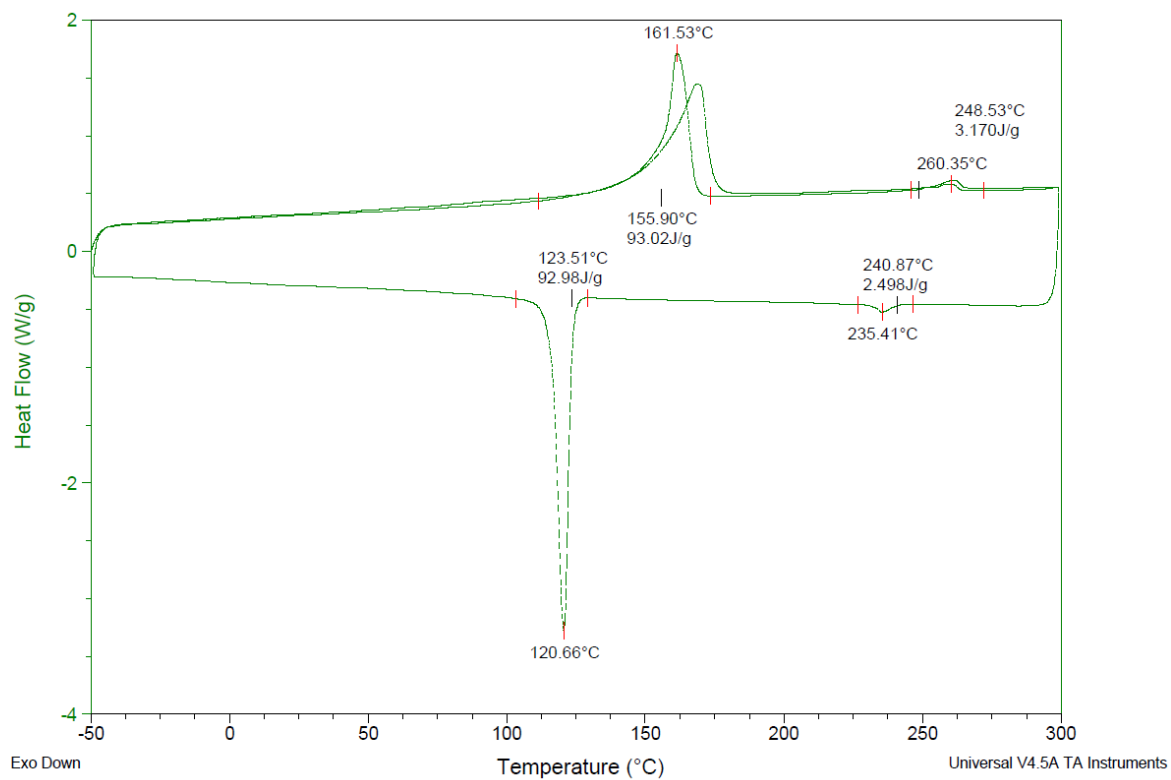
Sample: PP/PA 90/10
Size: 8.4210 mg
Method: Heat/Cool/Heat
Comment: Tzero Calibration - Baseline Run

DSC

File: \\...\\ph16\\Desktop\\BA_DSC\\pp90.001

Run Date: 06-Sep-2023 10:50

Instrument: DSC Q2000 V24.11 Build 124



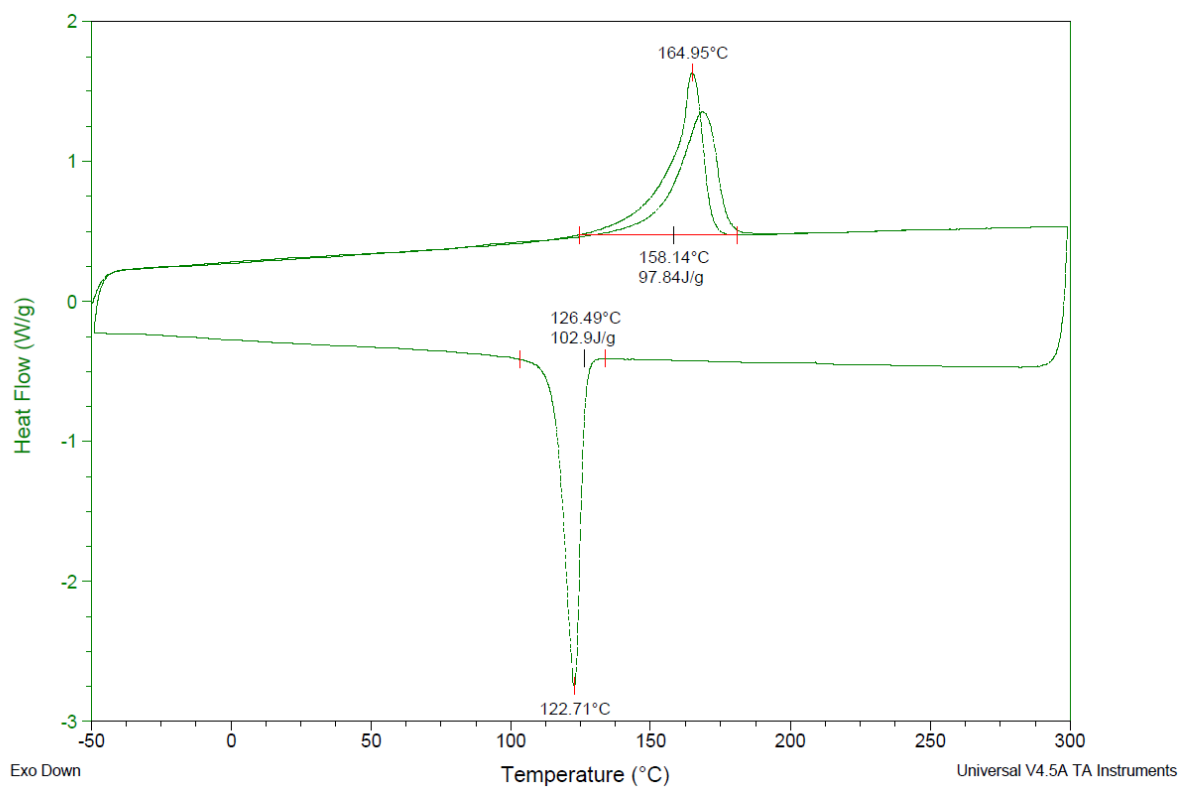
Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends

8 Anhang

Sample: PP
Size: 12.3900 mg
Method: Heat/Cool/Heat
Comment: Tzero Calibration - Baseline Run

DSC

File: \\...\\ph16\\Desktop\\BA_DSC\\pp.003
Run Date: 04-Sep-2023 09:59
Instrument: DSC Q2000 V24.11 Build 124



Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends

8 Anhang

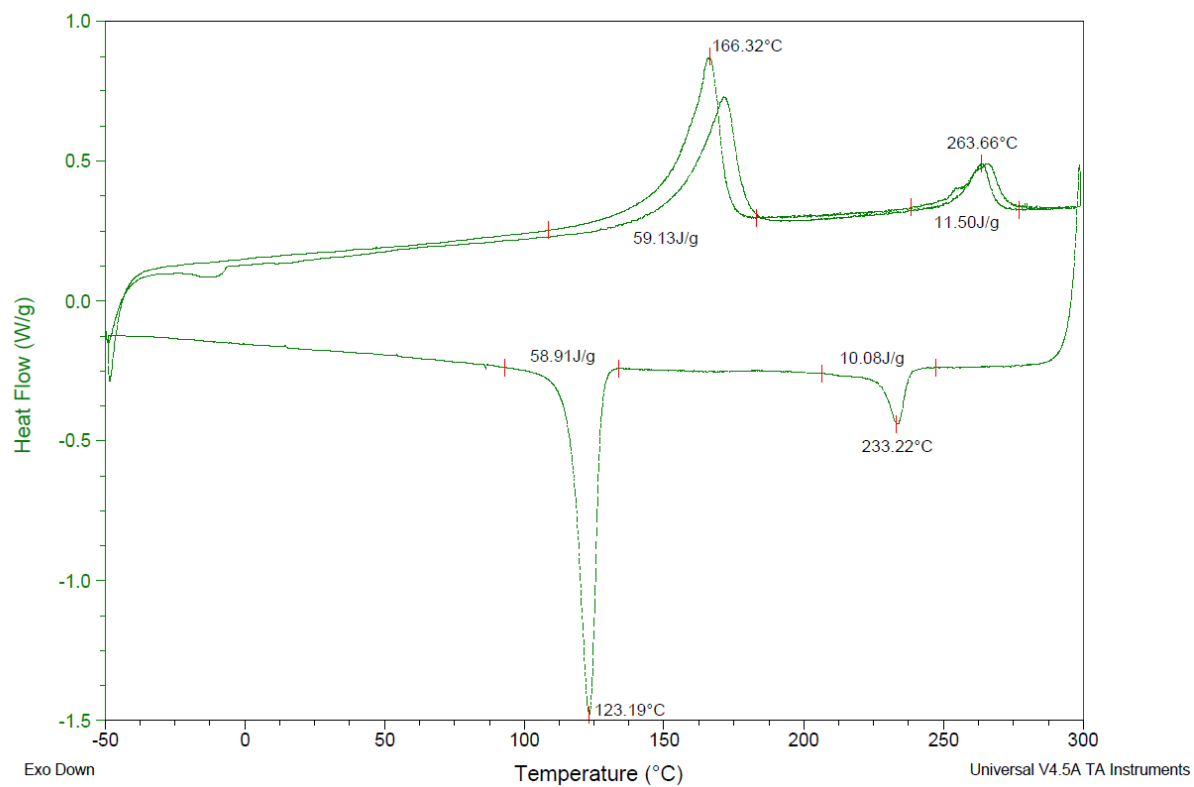
Sample: 2%MAPP
Size: 14.4730 mg
Method: Heat/Cool/Heat
Comment: Tzero Calibration - Baseline Run

DSC

File: E:\Bachelorarbeit\BA_DSC_MAPP\mapp2.001

Run Date: 21-Sep-2023 08:43

Instrument: DSC Q2000 V24.11 Build 124



Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends

8 Anhang

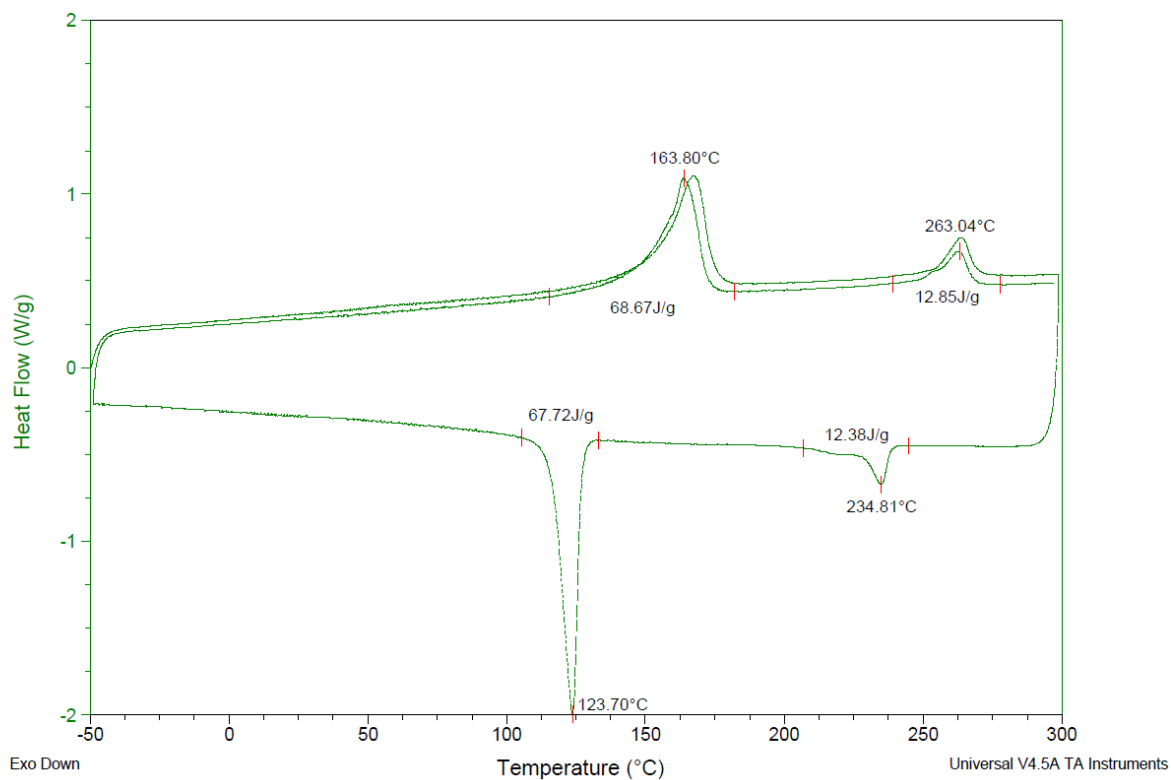
Sample: 4%MAPP
Size: 18.9160 mg
Method: Heat/Cool/Heat
Comment: Tzero Calibration - Baseline Run

DSC

File: E:\Bachelorarbeit\BA_DSC_MAPP\mapp4.001

Run Date: 21-Sep-2023 10:46

Instrument: DSC Q2000 V24.11 Build 124



Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends

8 Anhang

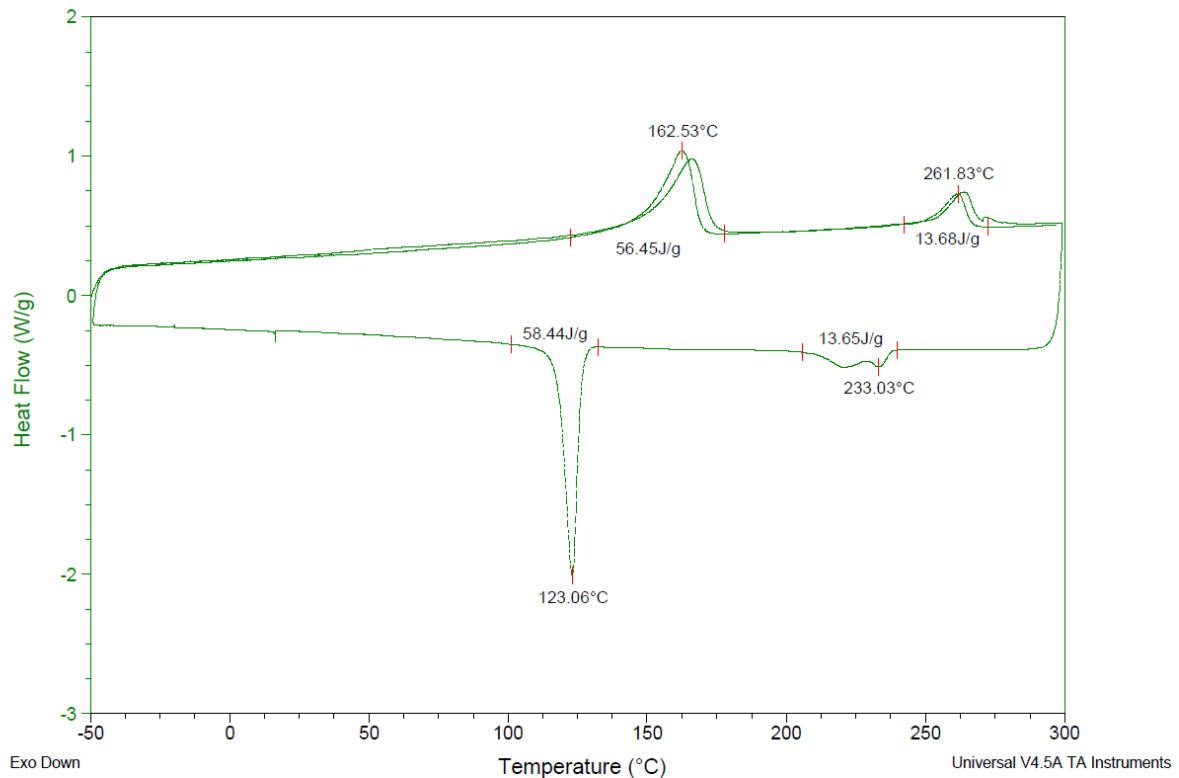
Sample: 8%MAPP
Size: 9.8640 mg
Method: Heat/Cool/Heat
Comment: Tzero Calibration - Baseline Run

DSC

File: E:\Bachelorarbeit\BA_DSC_MAPP\mapp8.001

Run Date: 21-Sep-2023 12:50

Instrument: DSC Q2000 V24.11 Build 124



Biegeversuch

Zwick / Roell

Zwick
Materialprüfung

Zwick GmbH & Co. www.zwick-roell.de Nagel-Str. 11 • D-89079 Ulm

Dies ist ein Beispiel-Export der Prüfvorschrift 10PP90PA.zs2.
Der Export wurde am 18.09.23 um 14:10:05 ausgeführt.

Zwick / Roell

Zwick
Materialprüfung

Zwick GmbH & Co. www.zwick-roell.de Nagel-Str. 11 • D-89079 Ulm

Prüfungsdaten:

Parameters for the report:

Customer
Job no.
Test standard DIN EN ISO 178
Type and designation
Material
Specimen removal
Specimen type
Fix-treatment
Tester
Note
Machine data

Results table:

No.	E _t MPa	σ _{yc} MPa	σ _{yk} MPa	ε _{yk} %	σ _{ts} MPa	ε _{ts} %	L _V mm	h mm	b mm
1	6290	161	177	4,2	177	4,2	64	3,8	9,97
2	6410	163	177	4,1	177	4,1	64	3,82	9,83
3	6360	152	169	4,2	169	4,2	64	3,78	9,96

Statistics table:

Series n = 3	E _t MPa	σ _{yc} MPa	σ _{yk} MPa	ε _{yk} %	σ _{ts} MPa	ε _{ts} %	L _V mm	h mm	b mm
x	6360	158	174	4,2	174	4,2	64	3,8	9,92
s	60,1	5,83	4,52	0,073	4,52	0,073	0,000	0,02	0,0781
v)	0,95	3,68	2,59	1,76	2,59	1,76	0,00	0,53	0,79

Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends

8 Anhang

Zwick / Roell

Zwick GmbH & Co. [Ludwig-Maximilians-Str. 11 • D-89079 Ulm](#)

Dies ist ein Beispiel-Export der Prüfvorschrift 20PP80PA.zs2.
Der Export wurde am 18.09.23 um 14.08.25 ausgeführt.

Zwick
Materialprüfung

Zwick / Roell

Zwick GmbH & Co. [Ludwig-Maximilians-Str. 11 • D-89079 Ulm](#)

Prüfungsdaten:

Parameters for the report:

Customer
Job no.
Test standard DIN EN ISO 178
Type and designation
Material
Specimen removal
Specimen type
Pre-treatment
Tester
Note
Machine data

Results table:

No.	E _t MPa	σ _{IC} MPa	σ _{ML} MPa	ε _{ML} %	σ _{BL} MPa	ε _{BL} %	L _V mm	h mm	b mm
1	5890	134	138	3,7	138	3,7	64	3,83	9,99
2	6150	134	138	3,7	138	3,7	64	3,85	9,85
3	5460	133	140	3,9	140	3,9	64	3,86	9,89
4	5560	127	131	3,8	131	3,8	64	3,93	9,87
5	5650	131	137	3,8	137	3,8	64	3,85	9,86
6	5870	133	137	3,7	137	3,7	64	3,85	9,88
7	5890	134	139	3,8	139	3,8	64	3,85	9,82

Statistics table:

Series	E _t MPa	σ _{IC} MPa	σ _{ML} MPa	ε _{ML} %	σ _{BL} MPa	ε _{BL} %	L _V mm	h mm	b mm
n = 7	5890	132	137	3,8	137	3,8	64	3,86	9,88
x	5890	132	137	3,8	137	3,8	64	3,86	9,88
s	236	2,52	2,79	0,088	2,79	0,088	0,000	0,03215	0,05354
vj [%]	4,09	1,91	2,03	2,35	2,03	2,35	0,00	0,83	0,54

Zwick / Roell

Zwick GmbH & Co. [Ludwig-Maximilians-Str. 11 • D-89079 Ulm](#)

Dies ist ein Beispiel-Export der Prüfvorschrift 30PP70PA.zs2.
Der Export wurde am 18.09.23 um 14.07.25 ausgeführt.

Zwick
Materialprüfung

Zwick / Roell

Zwick GmbH & Co. [Ludwig-Maximilians-Str. 11 • D-89079 Ulm](#)

Prüfungsdaten:

Parameters for the report:

Customer
Job no.
Test standard DIN EN ISO 178
Type and designation
Material
Specimen removal
Specimen type
Pre-treatment
Tester
Note
Machine data

Results table:

No.	E _t MPa	σ _{IC} MPa	σ _{ML} MPa	ε _{ML} %	σ _{BL} MPa	ε _{BL} %	L _V mm	h mm	b mm
1	4240	-	80,5	3,1	80,5	3,1	64	3,92	10,03
2	5020	103	104	3,4	104	3,4	64	3,82	9,89
3	4800	87,7	89,1	3,2	89,1	3,2	64	3,84	9,91
4	5320	103	104	3,4	104	3,4	64	3,82	9,82
5	4800	-	85,6	3,0	85,6	3,0	64	3,83	9,94
6	4800	100	102	3,4	102	3,4	64	3,81	9,9
7	4630	-	87,6	3,1	87,6	3,1	64	3,92	10

Statistics table:

Series	E _t MPa	σ _{IC} MPa	σ _{ML} MPa	ε _{ML} %	σ _{BL} MPa	ε _{BL} %	L _V mm	h mm	b mm
n = 7	4800	98,4	93,1	3,2	93,1	3,2	64	3,851	9,927
x	4800	98,4	93,1	3,2	93,1	3,2	64	3,851	9,927
s	332	7,30	9,67	0,15	9,67	0,15	0,000	0,04776	0,07064
vj [%]	6,91	7,42	10,38	4,68	10,38	4,68	0,00	1,24	0,71

Zwick / Roell

Zwick GmbH & Co. [Ludwig-Maximilians-Str. 11 • D-89079 Ulm](#)

Dies ist ein Beispiel-Export der Prüfvorschrift 40PP60PA.zs2.
Der Export wurde am 18.09.23 um 14.06.15 ausgeführt.

Zwick
Materialprüfung

Zwick / Roell

Zwick GmbH & Co. [Ludwig-Maximilians-Str. 11 • D-89079 Ulm](#)

Prüfungsdaten:

Parameters for the report:

Customer
Job no.
Test standard DIN EN ISO 178
Type and designation
Material
Specimen removal
Specimen type
Pre-treatment
Tester
Note
Machine data

Results table:

No.	E _t MPa	σ _{IC} MPa	σ _{ML} MPa	ε _{ML} %	σ _{BL} MPa	ε _{BL} %	L _V mm	h mm	b mm
1	2940	-	32,0	2,1	32,0	2,1	64	3,8	9,94
2	2830	-	32,3	1,8	32,3	1,8	64	3,82	9,9
3	2610	-	30,3	2,1	30,3	2,1	64	3,85	9,93
4	2830	-	29,8	1,6	29,8	1,6	64	3,83	9,9
5	2790	-	30,0	1,8	30,0	1,8	64	3,81	9,96
6	2760	-	32,7	2,0	32,7	2,0	64	3,84	9,96
7	2760	-	33,0	2,1	33,0	2,1	64	3,92	9,92

Statistics table:

Series	E _t MPa	σ _{IC} MPa	σ _{ML} MPa	ε _{ML} %	σ _{BL} MPa	ε _{BL} %	L _V mm	h mm	b mm
n = 7	2790	-	31,4	2,0	31,4	2,0	64	3,839	9,916
x	2790	-	31,4	2,0	31,4	2,0	64	3,839	9,916
s	98,9	-	1,36	0,33	1,37	0,41	0,000	0,03976	0,05533
vj [%]	3,54	-	4,34	16,24	65,92	17,73	0,00	1,04	0,56

Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends

8 Anhang

Zwick / Roell

Zwick
Materialprüfung

Zwick GmbH & Co. [Lehrstraße](#) 11 • D-89079 Ulm

Dies ist ein Beispiel-Export der Prüfvorschrift 50PP50PA.zs2.
Der Export wurde am 18.09.23 um 14:05:07 ausgeführt.

Zwick / Roell

Zwick
Materialprüfung

Zwick GmbH & Co. [Lehrstraße](#) 11 • D-89079 Ulm

Prüfungsdaten:

Parameters for the report:

Customer
Job no.
Test standard
Type and designation
Material
Specimen removal
Specimen type
Pre-treatment
Tester
Note
Machine data

DIN EN ISO 178

Results table:

No.	E _t MPa	σ _C MPa	σ _{BL} MPa	ε _{BL} %	σ _B MPa	ε _B %	L _V mm	h mm	b mm
1	2700	-	33,4	2,0	6,66	2,5	64	3,92	10,01
2	2800	-	35,4	2,1	35,4	2,1	64	3,87	10,01
3	2750	-	34,1	2,0	34,1	2,0	64	3,91	10,09
4	2900	-	36,1	2,1	36,1	2,1	64	3,83	9,91
5	2450	-	31,2	1,8	31,2	1,8	64	3,95	9,89
6	2780	-	34,0	2,0	34,0	2,0	64	3,84	10,05
7	2820	-	34,4	1,9	34,4	1,9	64	3,83	10

Statistics table:

Series	E _t MPa	σ _C MPa	σ _{BL} MPa	ε _{BL} %	σ _B MPa	ε _B %	L _V mm	h mm	b mm
n = 7									
x	2740	-	34,1	2,0	30,3	2,1	64	3,879	9,994
s	142	-	1,57	0,12	10,5	0,24	0,000	0,04845	0,07161
v) [%]	5,18	-	4,59	5,99	34,76	11,56	0,00	1,25	0,72

Zwick / Roell

Zwick
Materialprüfung

Zwick GmbH & Co. [Lehrstraße](#) 11 • D-89079 Ulm

Dies ist ein Beispiel-Export der Prüfvorschrift 60PP40PA.zs2.
Der Export wurde am 18.09.23 um 14:03:14 ausgeführt.

Zwick / Roell

Zwick
Materialprüfung

Zwick GmbH & Co. [Lehrstraße](#) 11 • D-89079 Ulm

Prüfungsdaten:

Parameters for the report:

Customer
Job no.
Test standard
Type and designation
Material
Specimen removal
Specimen type
Pre-treatment
Tester
Note
Machine data

DIN EN ISO 178

Results table:

No.	E _t MPa	σ _C MPa	σ _{BL} MPa	ε _{BL} %	σ _B MPa	ε _B %	L _V mm	h mm	b mm
1	2380	-	36,9	2,7	36,9	2,7	64	3,93	9,93
2	2580	-	39,4	2,9	39,4	2,9	64	3,82	10,07
3	2600	-	38,7	2,7	28,0	3,2	64	3,83	10
4	2620	-	39,5	2,8	39,5	2,8	64	3,83	9,93
5	2280	-	38,3	3,2	28,2	3,1	64	3,86	10,04
6	2370	-	37,0	2,9	37,0	2,9	64	3,94	9,94
7	2530	-	37,1	2,9	37,1	2,9	64	3,92	10,02

Statistics table:

Series	E _t MPa	σ _C MPa	σ _{BL} MPa	ε _{BL} %	σ _B MPa	ε _B %	L _V mm	h mm	b mm
n = 7									
x	2470	38,3	38,1	2,8	35,2	3,0	64	3,879	9,99
s	135	-	1,12	0,18	4,95	0,34	0,000	0,0521	0,05715
v) [%]	5,46	-	2,95	6,19	14,08	11,42	0,00	1,34	0,57

Zwick / Roell

Zwick
Materialprüfung

Zwick GmbH & Co. [Lehrstraße](#) 11 • D-89079 Ulm

Dies ist ein Beispiel-Export der Prüfvorschrift 70PP30PA.zs2.
Der Export wurde am 18.09.23 um 14:01:23 ausgeführt.

Zwick / Roell

Zwick
Materialprüfung

Zwick GmbH & Co. [Lehrstraße](#) 11 • D-89079 Ulm

Prüfungsdaten:

Parameters for the report:

Customer
Job no.
Test standard
Type and designation
Material
Specimen removal
Specimen type
Pre-treatment
Tester
Note
Machine data

DIN EN ISO 178

Results table:

No.	E _t MPa	σ _C MPa	σ _{BL} MPa	ε _{BL} %	σ _B MPa	ε _B %	L _V mm	h mm	b mm
1	2370	41,8	42,9	4,4	13,1	5,3	64	3,86	9,94
2	2190	40,9	42,0	4,8	37,6	6,2	64	3,91	9,93
3	2300	41,3	42,5	4,6	36,7	5,8	64	3,88	9,99
4	2220	40,2	41,2	4,7	32,2	5,7	64	3,94	9,92
5	2280	42,0	43,3	4,7	35,6	5,8	64	3,85	9,92
6	2160	39,4	40,1	4,2	7,97	5,4	64	3,96	10,04
7	2310	41,9	43,3	4,5	32,8	5,7	64	3,83	9,97

Statistics table:

Series	E _t MPa	σ _C MPa	σ _{BL} MPa	ε _{BL} %	σ _B MPa	ε _B %	L _V mm	h mm	b mm
n = 7									
x	2260	41,1	42,2	4,5	28,0	5,7	64	3,89	9,959
s	71,9	0,980	1,18	0,21	12,2	0,29	0,000	0,0483	0,04451
v) [%]	3,17	2,39	2,80	4,68	43,47	5,00	0,00	1,24	0,45

Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends

8 Anhang

Zwick / Roell

Zwick
Materialprüfung

Zwick GmbH & Co. [Ludwig-Maximilians-Str. 11](#) • D-89079 Ulm

Dies ist ein Beispiel-Export der Prüfvorschrift 80PP20PA.zs2.
Der Export wurde am 18.09.23 um 14:00:22 ausgeführt.

Zwick / Roell

Zwick
Materialprüfung

Zwick GmbH & Co. [Ludwig-Maximilians-Str. 11](#) • D-89079 Ulm

Prüfungsdaten:

Parameters for the report:

Customer
Job no.
Test standard DIN EN ISO 178
Type and designation
Material
Specimen removal
Specimen type
Pre-treatment
Tester
Note
Machine data

Results table:

No.	E _t MPa	σ _{IC} MPa	σ _{ML} MPa	ε _{ML} %	σ _{IB} MPa	ε _{IB} %	L _V mm	h mm	b mm
1	1960	40,5	43,9	5,5	20,7	7,0	64	3,88	9,92
2	1950	41,0	44,4	5,6	36,7	8,1	64	3,88	9,9
3	1780	39,1	42,2	5,7	29,7	7,9	64	3,95	9,91
4	1930	40,4	43,7	5,6	30,3	7,7	64	3,89	9,91
5	1820	40,7	44,0	5,5	28,5	9,2	64	3,9	9,97
6	2040	41,7	45,3	5,6	32,1	7,0	64	3,83	9,9
7	1890	40,7	44,1	5,6	23,3	7,7	64	3,85	10,02

Statistics table:

Series n = 7	E _t MPa	σ _{IC} MPa	σ _{ML} MPa	ε _{ML} %	σ _{IB} MPa	ε _{IB} %	L _V mm	h mm	b mm
x	1910	40,6	44,0	5,6	28,8	7,8	64	3,883	9,933
s	89,0	0,798	0,920	0,058	5,34	0,74	0,000	0,03817	0,04536
vj [%]	4,66	1,97	2,09	1,04	18,58	9,54	0,00	0,98	0,46

Zwick / Roell

Zwick
Materialprüfung

Zwick GmbH & Co. [Ludwig-Maximilians-Str. 11](#) • D-89079 Ulm

Dies ist ein Beispiel-Export der Prüfvorschrift 90PP10PA.zs2.
Der Export wurde am 18.09.23 um 13:59:06 ausgeführt.

Zwick / Roell

Zwick
Materialprüfung

Zwick GmbH & Co. [Ludwig-Maximilians-Str. 11](#) • D-89079 Ulm

Prüfungsdaten:

Parameters for the report:

Customer
Job no.
Test standard DIN EN ISO 178
Type and designation
Material
Specimen removal
Specimen type
Pre-treatment
Tester
Note
Machine data

Results table:

No.	E _t MPa	σ _{IC} MPa	σ _{ML} MPa	ε _{ML} %	σ _{IB} MPa	ε _{IB} %	L _V mm	h mm	b mm
1	1570	37,9	43,9	6,5	34,4	10	64	3,94	9,93
2	1540	37,7	44,3	6,3	35,2	8,1	64	3,9	9,97
3	1430	38,0	44,7	6,4	29,5	11	64	3,91	10,01
4	1510	38,1	44,9	6,4	26,5	12	64	3,88	10,01
5	1470	38,1	44,5	6,6	35,1	10	64	3,98	10,03
6	1500	37,2	43,4	6,4	-	-	64	3,94	10,02
7	1640	38,3	45,6	6,5	29,2	13	64	3,84	9,96

Statistics table:

Series n = 7	E _t MPa	σ _{IC} MPa	σ _{ML} MPa	ε _{ML} %	σ _{IB} MPa	ε _{IB} %	L _V mm	h mm	b mm
x	1520	37,9	44,5	6,4	31,7	11	64	3,913	9,99
s	70,4	0,350	0,693	0,099	3,73	1,8	0,000	0,04572	0,03697
vj [%]	4,63	0,92	1,56	1,53	11,79	15,35	0,00	1,17	0,37

Zwick / Roell

Zwick
Materialprüfung

Zwick GmbH & Co. [Ludwig-Maximilians-Str. 11](#) • D-89079 Ulm

Dies ist ein Beispiel-Export der Prüfvorschrift 100PP0PA.zs2.
Der Export wurde am 18.09.23 um 13:55:20 ausgeführt.

Zwick / Roell

Zwick
Materialprüfung

Zwick GmbH & Co. [Ludwig-Maximilians-Str. 11](#) • D-89079 Ulm

Prüfungsdaten:

Parameters for the report:

Customer
Job no.
Test standard DIN EN ISO 178
Type and designation
Material
Specimen removal
Specimen type
Pre-treatment
Tester
Note
Machine data

Results table:

No.	E _t MPa	σ _{IC} MPa	σ _{ML} MPa	ε _{ML} %	σ _{IB} MPa	ε _{IB} %	L _V mm	h mm	b mm
3	1480	37,9	47,8	6,9	-	-	64	3,88	9,91
4	1390	37,8	47,5	7,2	-	-	64	3,87	10,01
5	1360	37,5	46,7	7,2	-	-	64	3,92	10,03
6	1470	38,0	47,3	7,2	-	-	64	3,91	10,01
7	1570	39,0	48,9	7,0	-	-	64	3,81	10,05
8	1450	37,5	46,4	7,2	-	-	64	3,92	10,06
9	1430	37,3	45,4	7,1	-	-	64	3,95	9,96

Statistics table:

Series n = 7	E _t MPa	σ _{IC} MPa	σ _{ML} MPa	ε _{ML} %	σ _{IB} MPa	ε _{IB} %	L _V mm	h mm	b mm
x	1450	37,8	47,1	7,1	-	-	64	3,894	10
s	64,8	0,273	1,11	0,12	-	-	0,000	0,04577	0,05287
vj [%]	4,47	1,51	2,35	1,71	-	-	0,00	1,18	0,53

Zugversuch

Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends

8 Anhang

Dies ist ein Beispiel-Export der Prüfvorschrift 10PP90PA.zs2.
Der Export wurde am 18.09.23 um 14:23:04 ausgeführt.

Prüfungsdaten:

Type of curve : Automatic

Results table:

No.	Curve	E _t MPa	σ _x MPa	σ _y MPa	ε _y %	σ _m MPa	ε _m %	σ _b MPa	ε _b %
1	Type c	1430	-	12,7	1,2	12,7	1,2	2,50	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Type a	4140	-	-	-	109	4,2	109	4,2
4	Type a	4450	-	-	-	113	4,5	113	4,5
5	Type a	3710	-	-	-	116	4,7	116	4,7

Statistics table:

Series n = 4	E _t MPa	σ _x MPa	σ _y MPa	ε _y %	σ _m MPa	ε _m %	σ _b MPa	ε _b %	ε _{db} %
x	3430	-	12,7	1,2	87,6	3,6	85,1	4,5	2,7
s	1370	-	-	-	50,0	1,7	55,1	0,25	-
vj [%]	39,98	-	-	-	57,09	45,56	64,80	5,51	-

Zwick / Roell

Zwick
Materialprüfung

Zwick GmbH & Co. Leutkirch / Nagel-Str. 11 • D-89079 Ulm

Dies ist ein Beispiel-Export der Prüfvorschrift 20PP80PA.zs2.
Der Export wurde am 18.09.23 um 14:21:28 ausgeführt.

Prüfungsdaten:

Type of curve : Automatic

Zwick / Roell

Zwick
Materialprüfung

Zwick GmbH & Co. Leutkirch / Nagel-Str. 11 • D-89079 Ulm

Results table:

No.	Curve	E _t MPa	σ _x MPa	σ _y MPa	ε _y %	σ _m MPa	ε _m %	σ _b MPa	ε _b %
1	Type a	1270	-	-	-	90,3	4,9	90,3	4,9
2	Type a	1770	-	-	-	92,0	4,9	92,0	4,9
3	Type a	2650	-	-	-	90,9	4,8	90,9	4,8
4	Type a	2510	-	-	-	91,1	4,5	91,1	4,5
5	Type a	1520	-	-	-	87,7	4,8	87,7	4,8
6	Type a	1590	-	-	-	92,4	4,9	92,4	4,9
7	Type a	1590	-	-	-	81,5	3,9	81,5	3,9

Statistics table:

Series n = 7	E _t MPa	σ _x MPa	σ _y MPa	ε _y %	σ _m MPa	ε _m %	σ _b MPa	ε _b %	ε _{db} %
x	1840	-	-	-	89,4	4,7	89,4	4,7	-
s	526	-	-	-	3,80	0,37	3,80	0,37	-
vj [%]	28,54	-	-	-	4,25	7,97	4,25	7,97	-

Zwick / Roell

Zwick
Materialprüfung

Zwick GmbH & Co. Leutkirch / Nagel-Str. 11 • D-89079 Ulm

Dies ist ein Beispiel-Export der Prüfvorschrift 30PP70PA.zs2.
Der Export wurde am 18.09.23 um 14:20:00 ausgeführt.

Prüfungsdaten:

Type of curve : Automatic

Zwick / Roell

Zwick
Materialprüfung

Zwick GmbH & Co. Leutkirch / Nagel-Str. 11 • D-89079 Ulm

Results table:

No.	Curve	E _t MPa	σ _x MPa	σ _y MPa	ε _y %	σ _m MPa	ε _m %	σ _b MPa	ε _b %
1	Type a	1340	-	-	-	45,7	3,8	45,7	3,8
2	Type a	1390	-	-	-	60,7	4,8	60,7	4,8
3	Type a	1690	-	-	-	58,3	3,8	58,3	3,8
4	Type a	2190	-	-	-	55,5	4,1	55,5	4,1
5	Type a	1860	-	-	-	59,7	4,0	59,7	4,0
6	Type a	1150	-	-	-	42,5	3,2	42,5	3,2
7	Type a	1090	-	-	-	55,2	4,7	55,2	4,7

Statistics table:

Series n = 7	E _t MPa	σ _x MPa	σ _y MPa	ε _y %	σ _m MPa	ε _m %	σ _b MPa	ε _b %	ε _{db} %
x	1560	-	-	-	54,0	4,1	54,0	4,1	-
s	422	-	-	-	7,08	0,55	7,08	0,55	-
vj [%]	27,08	-	-	-	13,13	13,56	13,13	13,56	-

Zwick / Roell

Zwick
Materialprüfung

Zwick GmbH & Co. Leutkirch / Nagel-Str. 11 • D-89079 Ulm

Dies ist ein Beispiel-Export der Prüfvorschrift 40PP60PA.zs2.
Der Export wurde am 18.09.23 um 14:18:47 ausgeführt.

Prüfungsdaten:

Type of curve : Automatic

Zwick / Roell

Zwick
Materialprüfung

Zwick GmbH & Co. Leutkirch / Nagel-Str. 11 • D-89079 Ulm

Results table:

No.	Curve	E _t MPa	σ _x MPa	σ _y MPa	ε _y %	σ _m MPa	ε _m %	σ _b MPa	ε _b %
1	Type a	2090	-	-	-	12,3	0,97	12,3	0,97
2	Type a	1410	-	-	-	13,8	2,0	13,8	2,0
3	Type a	1630	-	-	-	11,0	1,0	11,0	1,0
4	Type a	1830	-	-	-	13,0	1,3	13,0	1,3
5	Type a	1960	-	-	-	13,0	1,2	13,0	1,2
6	Type a	1810	-	-	-	12,3	1,1	12,3	1,1
7	Type a	1700	-	-	-	12,3	1,3	12,3	1,3

Statistics table:

Series n = 7	E _t MPa	σ _x MPa	σ _y MPa	ε _y %	σ _m MPa	ε _m %	σ _b MPa	ε _b %	ε _{db} %
x	1780	-	-	-	12,5	1,3	12,5	1,3	-
s	223	-	-	-	0,882	0,33	0,882	0,33	-
vj [%]	12,55	-	-	-	7,05	26,71	7,05	26,71	-

Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends

8 Anhang

Zwick / Roell

Zwick
Materialprüfung

Zwick GmbH & Co. [Ludwig-Nagel-Str. 11 • D-89079 Ulm](#)

Dies ist ein Beispiel-Export der Prüfvorschrift 50PP50PA.zs2.
Der Export wurde am 18.09.23 um 14:17:36 ausgeführt.

Prüfungsdaten:

Type of curve : **Automatic**

Zwick / Roell

Zwick
Materialprüfung

Zwick GmbH & Co. [Ludwig-Nagel-Str. 11 • D-89079 Ulm](#)

Dies ist ein Beispiel-Export der Prüfvorschrift 60PP40PA.zs2.
Der Export wurde am 18.09.23 um 14:16:29 ausgeführt.

Prüfungsdaten:

Type of curve : **Automatic**

Zwick / Roell

Zwick
Materialprüfung

Zwick GmbH & Co. [Ludwig-Nagel-Str. 11 • D-89079 Ulm](#)

Dies ist ein Beispiel-Export der Prüfvorschrift 70PP30PA.zs2.
Der Export wurde am 18.09.23 um 14:15:20 ausgeführt.

Prüfungsdaten:

Type of curve : **Automatic**

Zwick / Roell

Zwick
Materialprüfung

Zwick GmbH & Co. [Ludwig-Nagel-Str. 11 • D-89079 Ulm](#)

Dies ist ein Beispiel-Export der Prüfvorschrift 80PP20PA.zs2.
Der Export wurde am 18.09.23 um 14:14:10 ausgeführt.

Prüfungsdaten:

Type of curve : **Automatic**

Zwick / Roell

Zwick
Materialprüfung

Zwick GmbH & Co. [Ludwig-Nagel-Str. 11 • D-89079 Ulm](#)

Dies ist ein Beispiel-Export der Prüfvorschrift 90PP10PA.zs2.
Der Export wurde am 18.09.23 um 14:12:54 ausgeführt.

Prüfungsdaten:

Type of curve : **Automatic**

Zwick / Roell

Zwick
Materialprüfung

Zwick GmbH & Co. [Ludwig-Nagel-Str. 11 • D-89079 Ulm](#)

Results table:

No.	Curve	E _t MPa	σ _x MPa	σ _y MPa	ε _y %	σ _m MPa	ε _m %	σ _b MPa	ε _b %
1	Type a	2310	-	-	-	16,9	1,3	16,9	1,3
2	Type a	2110	-	-	-	17,4	1,5	17,4	1,5
3	Type a	2080	-	-	-	17,5	1,4	17,5	1,5
4	Type a	2000	-	-	-	17,9	1,6	17,9	1,6
5	Type a	2290	-	-	-	17,1	1,5	17,1	1,5
6	Type a	2290	-	-	-	17,7	1,5	17,7	1,5
7	Type a	2260	-	-	-	17,5	1,5	17,5	1,5

Statistics table:

Series n = 7	E _t MPa	σ _x MPa	σ _y MPa	ε _y %	σ _m MPa	ε _m %	σ _b MPa	ε _b %
x	2190	-	-	-	17,4	1,5	17,4	1,5
s	126	-	-	-	0,328	0,093	0,328	0,093
v) [%]	5,75	-	-	-	1,88	6,19	1,88	6,19

Zwick / Roell

Zwick
Materialprüfung

Zwick GmbH & Co. [Ludwig-Nagel-Str. 11 • D-89079 Ulm](#)

Results table:

No.	Curve	E _t MPa	σ _x MPa	σ _y MPa	ε _y %	σ _m MPa	ε _m %	σ _b MPa	ε _b %
1	Type a	2190	-	-	-	21,0	1,8	21,0	1,8
2	Type c	2180	-	20,2	1,7	20,2	1,7	19,4	-
3	Type c	2320	-	20,8	1,7	20,8	1,7	20,1	-
4	Type a	2000	-	-	-	20,3	2,0	20,3	2,0
5	Type c	2350	-	21,0	1,7	21,0	1,7	19,9	-
6	Type a	2270	-	-	-	20,7	1,8	20,7	1,8
7	Type a	2140	-	-	-	20,8	1,8	20,8	1,8

Statistics table:

Series n = 7	E _t MPa	σ _x MPa	σ _y MPa	ε _y %	σ _m MPa	ε _m %	σ _b MPa	ε _b %
x	2210	-	20,7	1,7	20,7	1,8	20,3	1,8
s	119	-	0,418	0,025	0,306	0,12	0,549	0,12
v) [%]	5,37	-	2,02	1,50	1,48	6,62	2,70	6,16

Zwick / Roell

Zwick
Materialprüfung

Zwick GmbH & Co. [Ludwig-Nagel-Str. 11 • D-89079 Ulm](#)

Results table:

No.	Curve	E _t MPa	σ _x MPa	σ _y MPa	ε _y %	σ _m MPa	ε _m %	σ _b MPa	ε _b %
1	Type c	2020	-	23,3	2,4	23,3	2,4	22,6	-
2	Type c	2010	-	23,2	2,4	23,2	2,4	22,4	-
3	Type c	2110	-	23,1	2,3	23,1	2,3	21,8	-
4	Type a	2120	-	-	-	22,8	2,3	22,8	2,3
5	Type c	2100	-	23,0	2,3	23,0	2,3	22,5	-
6	Type c	2070	-	22,8	2,4	22,8	2,4	22,3	-
7	Type a	2030	-	-	-	23,3	2,5	23,3	2,5

Statistics table:

Series n = 7	E _t MPa	σ _x MPa	σ _y MPa	ε _y %	σ _m MPa	ε _m %	σ _b MPa	ε _b %
x	2060	-	23,1	2,4	23,1	2,4	22,5	2,4
s	45,9	-	0,199	0,045	0,217	0,079	0,468	0,16
v) [%]	2,23	-	0,86	1,89	0,94	3,29	2,07	6,67

Zwick / Roell

Zwick
Materialprüfung

Zwick GmbH & Co. [Ludwig-Nagel-Str. 11 • D-89079 Ulm](#)

Results table:

No.	Curve	E _t MPa	σ _x MPa	σ _y MPa	ε _y %	σ _m MPa	ε _m %	σ _b MPa	ε _b %
1	Type a	1840	-	-	-	24,4	2,7	24,4	2,7
2	Type c	1820	-	25,3	3,7	25,3	3,7	24,4	-
3	Type c	1780	-	25,1	3,5	25,1	3,5	23,8	-
4	Type a	1840	-	-	-	24,7	2,7	24,7	2,7
5	Type a	1790	-	-	-	24,9	3,4	24,9	3,4
6	Type c	1800	-	25,6	3,5	25,6	3,5	25,1	-
7	Type a	1820	-	-	-	25,2	3,2	25,2	3,2

Statistics table:

Series n = 7	E _t MPa	σ _x MPa	σ _y MPa	ε _y %	σ _m MPa	ε _m %	σ _b MPa	ε _b %
x	1810	-	25,3	3,6	25,0	3,2	24,7	3,0
s	25,5	-	0,223	0,074	0,382	0,39	0,501	0,34
v) [%]	1,41	-	0,88	2,08	1,53	12,09	2,03	11,48

Zwick / Roell

Zwick
Materialprüfung

Zwick GmbH & Co. [Ludwig-Nagel-Str. 11 • D-89079 Ulm](#)

Results table:

No.	Curve	E _t MPa	σ _x MPa	σ _y MPa	ε _y %	σ _m MPa	ε _m %	σ _b MPa	ε _b %
1	Type a	1610	-	-	-	27,9	4,3	27,9	4,3
3	Type a	1640	-	-	-	28,6	4,4	28,6	4,4
4	Type a	1580	-	-	-	27,7	4,2	27,7	4,2
5	Type a	1610	-	-	-	29,1	4,7	29,1	4,7
6	Type a	1600	-	-	-	26,6	3,6	26,6	3,6
7	Type a	1580	-	-	-	27,6	4,0	27,6	4,0
8	Type a	1570	-	-	-	27,9	4,8	27,9	4,8

Statistics table:

Series n = 7	E _t MPa	σ _x MPa	σ _y MPa	ε _y %	σ _m MPa	ε _m %	σ _b MPa	ε _b %
x	1600	-	-	-	27,9	4,3	27,9	4,3
s	23,2	-	-	-	0,772	0,42	0,772	0,42
v) [%]	1,45	-	-	-	2,77	9,79	2,77	9,79

Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends

8 Anhang

Zwick / Roell

Zwick
Materialprüfung

Zwick GmbH & Co. [Ludwig-Nagel-Str. 11](#) • D-89079 Ulm

Dies ist ein Beispiel-Export der Prüfvorschrift 100PP0PA.zs2.
Der Export wurde am 18.09.23 um 14:11:38 ausgeführt.

Prüfungsdaten:

Type of curve : Automatic

Zwick / Roell

Zwick
Materialprüfung

Zwick GmbH & Co. [Ludwig-Nagel-Str. 11](#) • D-89079 Ulm

Results table:

No.	Curve	E _t MPa	σ _x MPa	σ _y MPa	ε _y %	σ _m MPa	ε _m %	σ _b MPa	ε _b %
1	Type c	1480	-	35,9	8,6	35,9	8,6	31,8	-
2	Type c	1520	-	35,2	8,2	35,2	8,2	31,1	-
3	Type c	1400	-	34,5	8,0	34,5	8,0	31,2	-
4	Type c	1480	-	35,5	8,5	35,5	8,5	33,2	-
5	Type c	1390	-	34,6	8,1	34,6	8,1	31,0	-
6	Type c	1420	-	35,2	8,6	35,2	8,6	28,9	-
7	Type a	1430	-	-	-	34,8	8,0	34,8	8,0

Statistics table:

Series n = 7	E _t MPa	σ _x MPa	σ _y MPa	ε _y %	σ _m MPa	ε _m %	σ _b MPa	ε _b %
x	1450	-	35,1	8,3	35,1	8,3	31,7	8,0
s	46,6	-	0,527	0,25	0,499	0,26	1,86	-
vj [%]	3,22	-	1,50	3,03	1,42	3,19	5,87	-

Charpy-Versuch

Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends
8 Anhang

100 PP					
Prüfungsnummer	Probenhöhe [mm]	Probenbreite [mm]	Kerbschlagarbeit [J]	Querschnitt [cm²]	Schlagarbeit [J/cm²]
1	3,93	9,91	2,335	0,389463	5,995
2	3,93	9,89	1,917	0,388677	4,932
3	3,91	9,9	1,665	0,38709	4,301
4	3,96	9,91	2,013	0,392436	5,129
5	3,89	9,92	2,324	0,385888	6,022
6	3,89	9,93	2,281	0,386277	5,905
7	3,9	9,92	2,12	0,38688	5,480
8	3,89	9,95	1,917	0,387055	4,953
9	3,89	9,89	2,088	0,384721	5,427
10	3,87	9,93	2,378	0,384291	6,188
				5,433	0,607
90 PP					
Prüfungsnummer	Probenhöhe [mm]	Probenbreite [mm]	Kerbschlagarbeit [J]	Querschnitt [cm²]	Schlagarbeit [J/cm²]
1	3,89	10,01	0,695	0,389389	1,785
2	3,9	10,02	0,528	0,39078	1,351
3	3,87	9,91	0,438	0,383517	1,142
4	3,87	9,93	0,623	0,384291	1,621
5	3,84	9,97	0,573	0,382848	1,497
6	3,87	9,89	0,532	0,382743	1,390
7	3,93	10	0,466	0,393	1,186
8	3,82	9,88	0,639	0,377416	1,693
9	3,86	9,88	0,52	0,381368	1,364
10	3,88	9,92	0,643	0,384896	1,671
				1,470	0,219
80 PP					
Prüfungsnummer	Probenhöhe [mm]	Probenbreite [mm]	Kerbschlagarbeit [J]	Querschnitt [cm²]	Schlagarbeit [J/cm²]
1	3,85	10	0,33	0,385	0,857
2	3,88	9,91	0,535	0,384508	1,391
3	3,88	9,86	0,491	0,382568	1,283
4	3,85	10	0,543	0,385	1,410
5	3,85	9,97	0,448	0,383845	1,167
6	3,88	9,91	0,532	0,384508	1,384
7	3,87	10,05	0,459	0,388935	1,180
8	3,88	10,03	0,469	0,389164	1,205
9	3,86	9,96	0,466	0,384456	1,212
10	3,81	9,9	0,473	0,37719	1,254
				1,234	0,160
70 PP					
Prüfungsnummer	Probenhöhe [mm]	Probenbreite [mm]	Kerbschlagarbeit [J]	Querschnitt [cm²]	Schlagarbeit [J/cm²]
1	3,85	10	0,298	0,385	0,774
2	3,88	9,95	0,396	0,38606	1,026
3	3,86	9,93	0,452	0,383298	1,179
4	3,85	9,98	0,346	0,38423	0,901
5	3,83	9,98	0,417	0,382234	1,091
6	3,85	9,99	0,427	0,384615	1,110
7	3,87	9,92	0,308	0,383904	0,802
8	3,84	10	0,389	0,384	1,013
9	3,87	9,9	0,298	0,38313	0,778
10	3,83	9,99	0,427	0,382617	1,116
				0,979	0,153

Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends
8 Anhang

60 PP					
Prüfungsnummer	Probenhöhe [mm]	Probenbreite [mm]	Kerbschlagarbeit [J]	Querschnitt [cm ²]	Schlagarbeit [J/cm ²]
1	3,85	10	0,211	0,385	0,548
2	3,87	9,93	0,17	0,384291	0,442
3	3,89	10,03	0,192	0,390167	0,492
4	3,85	9,99	0,261	0,384615	0,679
5	3,89	9,95	0,252	0,387055	0,651
6	3,88	9,94	0,214	0,385672	0,555
7	3,83	10,03	0,267	0,384149	0,695
8	3,84	9,93	0,249	0,381312	0,653
9	3,83	9,92	0,24	0,379936	0,632
10	3,91	10,02	0,226	0,391782	0,577
				0,592	0,084
50 PP					
Prüfungsnummer	Probenhöhe [mm]	Probenbreite [mm]	Kerbschlagarbeit [J]	Querschnitt [cm ²]	Schlagarbeit [J/cm ²]
1	3,86	9,94	0,223	0,383684	0,581
2	3,91	9,92	0,189	0,387872	0,487
3	3,86	10	0,211	0,386	0,547
4	3,83	9,97	4,653	0,381851	12,185
5	3,85	10,06	0,197	0,38731	0,509
6	3,88	9,92	0,143	0,384896	0,372
7	3,87	10,03	0,2	0,388161	0,515
8	3,83	9,87	0,189	0,378021	0,500
9	3,86	9,9	0,194	0,38214	0,508
10	3,84	9,92	0,186	0,380928	0,488
				0,501	0,057
40 PP					
Prüfungsnummer	Probenhöhe [mm]	Probenbreite [mm]	Kerbschlagarbeit [J]	Querschnitt [cm ²]	Schlagarbeit [J/cm ²]
1	3,84	9,84	0,14	0,377856	0,371
2	3,84	9,9	0,135	0,38016	0,355
3	3,84	9,89	0,161	0,379776	0,424
4	3,92	9,92	0,14	0,388864	0,360
5	3,81	9,92	0,151	0,377952	0,400
6	3,87	9,88	0,12	0,382356	0,314
7	3,88	9,88	0,148	0,383344	0,386
8	3,9	9,89	0,153	0,38571	0,397
9	3,84	9,84	0,189	0,377856	0,500
10	3,83	9,89	0,192	0,378787	0,507
				0,401	0,062
30 PP					
Prüfungsnummer	Probenhöhe [mm]	Probenbreite [mm]	Kerbschlagarbeit [J]	Querschnitt [cm ²]	Schlagarbeit [J/cm ²]
1	3,91	9,88	1,149	0,386308	2,974
2	3,82	9,92	1,032	0,378944	2,723
3	3,9	9,97	0,871	0,38883	2,240
4	3,82	9,9	1,088	0,37818	2,877
5	3,84	9,99	0,732	0,383616	1,908
6	3,84	10,02	0,651	0,384768	1,692
7	3,89	9,96	0,898	0,387444	2,318
8	3,86	10,02	0,924	0,386772	2,389
9	3,95	9,93	1,153	0,392235	2,940
10	3,86	10,02	0,933	0,386772	2,412
				2,447	0,435

Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends
8 Anhang

20 PP					
Prüfungsnummer	Probenhöhe [mm]	Probenbreite [mm]	Kerbschlagarbeit [J]	Querschnitt [cm ²]	Schlagarbeit [J/cm ²]
1	3,88	9,9	1,573	0,38412	4,095
2	3,85	9,95	1,386	0,383075	3,618
3	3,83	9,98	1,496	0,382234	3,914
4	3,86	9,87	1,578	0,380982	4,142
5	3,87	9,83	1,603	0,380421	4,214
6	3,87	9,89	1,568	0,382743	4,097
7	3,96	9,96	1,496	0,394416	3,793
8	3,89	9,86	1,624	0,383554	4,234
9	3,88	9,94	1,456	0,385672	3,775
10	3,85	9,97	1,446	0,383845	3,767
				3,965	0,218
10 PP					
Prüfungsnummer	Probenhöhe [mm]	Probenbreite [mm]	Kerbschlagarbeit [J]	Querschnitt [cm ²]	Schlagarbeit [J/cm ²]
1	3,87	9,87	1,997	0,381969	5,228
2	3,93	9,94	2,002	0,390642	5,125
3	3,85	9,93	2,131	0,382305	5,574
4	3,91	9,94	2,072	0,388654	5,331
5	3,87	9,82	2,061	0,380034	5,423
6	3,88	9,86	2,013	0,382568	5,262
				5,324	0,158

Evaluation der physikalischen Eigenschaften von Polypropylen/Polyamid-Blends
8 Anhang

0 % MAPP					
Prüfungsnummer	Probenhöhe [mm]	Probenbreite [mm]	Kerbschlagarbeit [J]	Querschnitt [cm ²]	Schlagarbeit [J/cm ²]
1	3,94	9,57	0,343	0,377058	0,910
2	3,94	9,58	0,304	0,377452	0,805
3	3,92	9,53	0,304	0,373576	0,814
4	3,91	9,61	0,323	0,375751	0,860
5	3,95	9,56	0,298	0,37762	0,789
6	3,93	9,66	0,258	0,379638	0,680
7	3,94	9,69	0,343	0,381786	0,898
8	3,93	9,56	0,32	0,375708	0,852
9	3,93	9,71	0,295	0,381603	0,773
10	3,93	9,66	0,336	0,379638	0,885
				0,827	0,070
2 % MAPP					
Prüfungsnummer	Probenhöhe [mm]	Probenbreite [mm]	Kerbschlagarbeit [J]	Querschnitt [cm ²]	Schlagarbeit [J/cm ²]
1	3,95	9,58	0,532	0,37841	1,406
2	3,94	9,56	0,517	0,376664	1,373
3	3,94	9,57	0,455	0,377058	1,207
4	3,95	9,62	0,6	0,37999	1,579
5	3,96	9,58	0,592	0,379368	1,560
6	3,95	9,55	0,459	0,377225	1,217
7	3,94	9,64	0,509	0,379816	1,340
8	3,96	9,6	0,635	0,38016	1,670
9	3,92	9,57	0,558	0,375144	1,487
10	3,96	9,71	0,596	0,384516	1,550
				1,439	0,157
4 % MAPP					
Prüfungsnummer	Probenhöhe [mm]	Probenbreite [mm]	Kerbschlagarbeit [J]	Querschnitt [cm ²]	Schlagarbeit [J/cm ²]
1	3,98	9,67	0,732	0,384866	1,902
2	3,96	9,64	0,643	0,381744	1,684
3	3,96	9,64	0,623	0,381744	1,632
4	3,97	9,63	0,786	0,382311	2,056
5	3,95	9,68	0,687	0,38236	1,797
6	3,97	9,63	0,703	0,382311	1,839
7	3,96	9,7	0,55	0,38412	1,432
8	3,97	9,65	0,612	0,383105	1,597
9	3,98	9,68	0,765	0,385264	1,986
10	3,98	9,74	0,723	0,387652	1,865
				1,779	0,191
8 % MAPP					
Prüfungsnummer	Probenhöhe [mm]	Probenbreite [mm]	Kerbschlagarbeit [J]	Querschnitt [cm ²]	Schlagarbeit [J/cm ²]
1	4,02	9,73	0,837	0,391146	2,140
2	4	9,83	0,929	0,3932	2,363
3	3,98	9,77	0,715	0,388846	1,839
4	4,04	9,71	0,74	0,392284	1,886
5	4,02	9,67	0,907	0,388734	2,333
6	4,03	9,75	0,922	0,392925	2,347
7	4,01	9,68	0,924	0,388168	2,380
8	4	9,7	0,786	0,388	2,026
9	4,01	9,83	0,85	0,394183	2,156
10	4,01	9,69	0,88	0,388569	2,265
				2,173	0,290