
Diplomarbeit

Herr Ing.
Christoph Feichtinger

**Folieren und Lackieren von
UD-Tape- und FFF-Bauteilen**

Mittweida, 2023

Fakultät Ingenieurwissenschaften (Maschinen-
bau)

Diplomarbeit

Folieren und Lackieren von UD-Tape- und FFF-Bauteilen

Autor:

Herr Ing.

Christoph Feichtinger

Studiengang:

Maschinenbau

Seminargruppe:

KM19WMEA

Erstprüfer:

Prof. Dr.-Ing. Jörg Hübler

Zweitprüfer:

Dr.-Ing. Hagen Bankwitz

Einreichung:

Mittweida, 29.12.2023

Verteidigung/Bewertung:

Mittweida, 2024

Bibliografische Beschreibung:

Feichtinger, Christoph:

Folieren und Lackieren von UD-Tape- und FFF-Bauteilen. - 2023. - XXIII, 137, I S.

Mittweida, Hochschule Mittweida, Fakultät Ingenieurwissenschaften (Maschinenbau), Diplomarbeit, 2023

Referat:

Ziel dieser Arbeit ist es, das Zusammenspiel von Bauteilmaterial und Bauteilgeometrie, von im Tape-Lege-Verfahren oder im FFF-Verfahren hergestellten Bauteilen, mit verschiedenen Beschichtungen (Folien oder Lacke) zu untersuchen. Diese Ergebnisse sollen Auskunft darüber geben, ob additiv hergestellte Bauteile, durch diverse Beschichtungen so weit veredelt werden können, um deren Einsatz in der Mikromobilität wirtschaftlich zu rechtfertigen.

Inhalt

Inhalt	1
Abbildungsverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis	22
Abkürzungsverzeichnis	23
1 Die Einleitung	24
1.1 <i>Der Grund</i>	25
2 Stand der Technik/ Literatur	26
2.1 <i>Verfahren zur Herstellung der Probebauteile</i>	26
2.1.1 UD-Tape-Legen	26
2.1.1.1 Vorteile/Nachteile gegenüber konventionellen Fertigungsverfahren	28
2.1.2 Das FFF-Verfahren	30
2.1.2.1 Vorteile/Nachteile gegenüber konventionellen Fertigungsverfahren	32
3 Die Testbauteile	34
3.1 <i>Die Konstruktion der Testbauteile</i>	34
3.1.1 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1	34
3.1.2 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2	35
3.1.3 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader	35
3.1.4 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder	36
3.1.5 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse	36
3.2 <i>Die verwendeten Materialien</i>	37
3.3 <i>Die Fertigung der Testbauteile</i>	38
3.4 <i>Die gelieferten Bauteile</i>	39
3.4.1 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1	40
3.4.2 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2	42
3.4.3 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader	44
3.4.4 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder	46
3.4.5 5_Allgemeines Muster_FFF_Elipse	48
4 Die beschichteten Testbauteile	50
4.1 <i>Die folierten Testbauteile</i>	50

4.1.1	Die Ergebnisse der Folierung.....	53
4.1.1.1	1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in MCP1223 PA6 CF mit Hexis CARPRO300 (300µm)	53
4.1.1.2	2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax 50 mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm)	55
4.1.1.3	2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax 50 mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm) und Hexis CARPRO300 (300µm)	57
4.1.1.4	3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA6 (0,4mm) mit Hexis CARPRO300 (300µm)	59
4.1.1.5	3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,4mm) mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm) und Hexis CARPRO300 (300µm)	61
4.1.1.6	4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,4mm) mit Hexis CARPRO300 (300µm)	63
4.1.1.7	5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm)_mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm)	65
4.2	<i>Die lackierten Testbauteile</i>	67
4.2.1	Die Ergebnisse der Lackierung	68
4.2.1.1	1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in MCP1223 PA6 CF mit LECHSYS LS155, weiß	69
4.2.1.2	1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax 50 mit Raptor, schwarz	71
4.2.1.3	2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax 50 mit LECHSYS LS155, weiß	73
4.2.1.4	3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA6 (0,6mm) mit LECHSYS LS155, weiß	75
4.2.1.5	3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,6mm) mit Raptor, schwarz.....	77
4.2.1.6	4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PP (0,4 mm) mit LECHSYS LS155, weiß	79
4.2.1.7	5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PA6 (0,6 mm) mit LECHSYS LS155, weiß	81
4.2.1.8	5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4 mm) mit Raptor, schwarz	83
5	Die Tests	85
5.1	<i>Das Steinschlagprüfverfahren</i>	86
5.1.1	Die Versuchsanlage	86
5.1.2	Die verwendeten Testbauteile.....	88
5.1.3	Die Ergebnisse des Multisteinschlagprüfverfahren.....	88
5.1.3.1	1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PA6 Carbon mit LECHSYS LS155	90
5.1.3.2	1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax mit 3M (110µm) & Hexis (300µm)	91
5.1.3.3	1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PA6 Carbon mit Hexis (300µm).....	92
5.1.3.4	1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PA6 Carbon mit 3M Wrap Folie Serie 2080 (110µm)	93
5.1.3.5	1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax mit Upol Raptor, schwarz	94

5.2	<i>Das Bewitterungsverfahren</i>	95
5.2.1	Die Versuchsanlage	95
5.2.2	Die verwendeten Testbauteile	96
5.2.3	Die Ergebnisse des Bewitterungsverfahrens	100
5.2.3.1	1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax 50 mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm)	101
5.2.3.2	2_Allgemeines Muster_UD Tape_2 in PA6 Carbon mit Upol Raptor.....	103
5.2.3.3	3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA6 (0,4mm) mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm)	105
5.2.3.4	4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,4mm) mit Hexis CARPRO300 (300µm)	107
5.2.3.5	5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm) mit Hexis CARPRO300 (300µm)	109
5.2.3.6	5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,6 mm) mit LECHSYS LS155, weiß	111
5.3	<i>Das Schlagzähigkeitsverfahren</i>	113
5.3.1	Die Versuchsanlage	113
5.3.2	Die verwendeten Testbauteile	114
5.3.3	Die Ergebnisse des Schlagzähigkeitsverfahren.....	115
5.3.3.1	1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax mit Hexis (300µm)	116
5.3.3.2	1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PA6 Carbon mit LECHSYS LS155, weiß	117
5.3.3.3	2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax mit 3M (110µm) & Hexis (300µm)	119
5.3.3.4	3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,4) mit Hexis (300µm)	121
5.3.3.5	3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,6) mit Upol Raptor, schwarz.	122
5.3.3.6	4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PP (0,4mm) mit 3M (110µm) & Hexis (300µm)	124
5.3.3.7	4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PP (0,4mm) mit LECHSYS LS155, weiß	125
5.3.3.8	5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PA (0,4mm) mit Hexis (300µm)	126
5.3.3.9	5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm) mit Upol Raptor, schwarz	127
5.4	<i>Die Gitterschnittprüfung</i>	129
5.4.1	Die Versuchsanlage	129
5.4.2	Die verwendeten Testbauteile	132
5.4.3	Die Ergebnisse der Gitterschnittprüfung	133
5.4.3.1	1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax mit Hexis (300µm)	134
5.4.3.2	2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax mit 3M (110µm) & Hexis (300µm)	135
5.4.3.3	2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PA6 Carbon mit LECHSYS LS155, weiß	136

5.4.3.4	3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,4) mit Hexis (300µm)	137
5.4.3.5	4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PP (0,4mm) mit 3M (110µm) & Hexis (300µm)	138
5.4.3.6	4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PP (0,4mm) mit LECHSYS LS155, weiß	139
5.4.3.7	5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm) mit 3M (110µm).....	140
5.4.3.8	5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm) mit Upol Raptor, schwarz.. ..	141
5.5	<i>Die Salzsprühnebelprüfung</i>	142
5.5.1	Die Versuchsanlage	142
5.5.2	Die verwendeten Testbauteile	143
5.5.3	Die Ergebnisse der Salzsprühnebelprüfung	144
5.5.3.1	2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax mit 3M Wrap Folie Serie 2080 (110µm)	145
5.5.3.2	2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax mit LECHSYS LS155, weiß.	147
5.5.3.3	2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PA6 Carbon mit 3M Wrap Folie Serie 2080 (110µm)	149
5.5.3.4	2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PA6 Carbon LECHSYS LS155, weiß.....	151
5.5.3.5	3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,4mm) mit 3M Wrap Folie Serie 2080 (110µm)	153
5.5.3.6	3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA6 (0,4mm) mit Hexis (300µm)	154
5.5.3.7	4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,4mm) mit Upol RAPTOR, schwarz	156
5.5.3.8	4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,6mm) mit LECHSYS LS155, weiß	158
6	Zusammenfassung der Ergebnisse	160
Literatur	161
Anlagen	165
Anlagen, Teil 1	I
Selbstständigkeitserklärung	3

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Herstellung mittels UD-Tape-Legen.....	26
Abbildung 2: Aufbau UD-Tape.....	27
Abbildung 3: Schichtaufbau mittels automatisierten UD-Tape legen.....	27
Abbildung 4: Verschnitt UD-Tape	28
Abbildung 5: FFF (FDM)- Verfahren	30
Abbildung 6: Bauteil in SolidWorks.....	30
Abbildung 7: Bauteil in Slicer-Software.....	30
Abbildung 8: Aufbau eines FFF-Bauteils	31
Abbildung 9: Stützstrukturen beim FFF-Verfahren.....	32
Abbildung 10: Festigkeit von FFF-Bauteilen in Abhängigkeit der Beanspruchungsrichtung	33
Abbildung 11: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1	34
Abbildung 12: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1	34
Abbildung 13: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2	35
Abbildung 14: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2	35
Abbildung 15: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader	35
Abbildung 16: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader	35
Abbildung 17: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder	36
Abbildung 18: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder	36
Abbildung 19: 5_Allgemeines Muster_FFF_Elipse	36

Abbildung 20: 5_Allgemeines Muster_FFF_Elipse	36
Abbildung 21: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in MCP1223 PA6 CF_#1	40
Abbildung 22: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax 50_#1	40
Abbildung 23: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in MCP1223 PA6 CF_#2	40
Abbildung 24: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax 50_#2	40
Abbildung 25: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in MCP1223 PA6 CF_#3	41
Abbildung 26: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax 50_#3	41
Abbildung 27: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in MCP1223 PA6 CF_#1	42
Abbildung 28: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax 50_#1	42
Abbildung 29: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in MCP1223 PA6 CF_#2	42
Abbildung 30: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax 50_#2	42
Abbildung 31: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in MCP1223 PA6 CF_#3	43
Abbildung 32: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax 50_#3	43
Abbildung 33: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA6 (0,4mm)_#1	44
Abbildung 34: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,6mm)_#1	44
Abbildung 35: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA6 (0,4mm)_#2	44
Abbildung 36: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,6mm)_#2	44
Abbildung 37: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA6 (0,4mm)_#3	45
Abbildung 38: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,6mm)_#3	45
Abbildung 39: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,4mm)_#1	46
Abbildung 40: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PP (0,6mm)_#1	46
Abbildung 41: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,4mm)_#2	46
Abbildung 42: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PP (0,6mm)_#2	46

Abbildung 43: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,4mm)_#3	47
Abbildung 44: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PP (0,6mm)_#3	47
Abbildung 45: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PA6 (0,6mm)_#1	48
Abbildung 46: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm)_#1	48
Abbildung 47: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PA6 (0,6mm)_#2	48
Abbildung 48: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm)_#2	48
Abbildung 49: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PA6 (0,6mm)_#3	49
Abbildung 50: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm)_#3	49
Abbildung 51: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in MCP1223 PA6 CF_#1.....	53
Abbildung 52: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in MCP1223 PA6 CF mit Hexis CARPRO300 (300µm)_#1	53
Abbildung 53: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in MCP1223 PA6 CF_#2.....	53
Abbildung 54: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in MCP1223 PA6 CF mit Hexis CARPRO300 (300µm)_#2.....	53
Abbildung 55: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in MCP1223 PA6 CF_#3.....	54
Abbildung 56: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in MCP1223 PA6 CF mit Hexis CARPRO300 (300µm)_#3.....	54
Abbildung 57: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax 50_#1	55
Abbildung 58: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax 50 mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_#1.....	55
Abbildung 59: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax 50_#2	55
Abbildung 60: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax 50 mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_#2.....	55
Abbildung 61: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax 50_#3	56

Abbildung 62: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax 50 mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_#3	56
Abbildung 63: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax 50_#1	57
Abbildung 64: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax 50 mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm) und Hexis CARPRO300 (300µm)_#1.....	57
Abbildung 65: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax 50_#2.....	57
Abbildung 66: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax 50 mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm) und Hexis CARPRO300 (300µm)_#2.....	57
Abbildung 67: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax 50_#3.....	58
Abbildung 68: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax 50 mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm) und Hexis CARPRO300 (300µm)_#3.....	58
Abbildung 69: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA6 (0,4mm) _#1	59
Abbildung 70: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA6 (0,4mm) mit Hexis CARPRO300 (300µm)_#1	59
Abbildung 71: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA6 (0,4mm)_#2	59
Abbildung 72: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA6 (0,4mm) mit Hexis CARPRO300 (300µm)_#2	59
Abbildung 73: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA6 (0,4mm)_#3	60
Abbildung 74: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA6 (0,4mm) mit Hexis CARPRO300 (300µm)_#3	60
Abbildung 75: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,4mm)_#1	61
Abbildung 76: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,4mm) mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm) und Hexis CARPRO300 (300µm)_#1	61
Abbildung 77: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,4mm)_#2	61
Abbildung 78: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,4mm) mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm) und Hexis CARPRO300 (300µm)_#2.....	61

Abbildung 79: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,4mm)_#3.....	62
Abbildung 80: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,4mm) mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm) und Hexis CARPRO300 (300µm)_#3	62
Abbildung 81: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,4mm)_#1	63
Abbildung 82: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,4mm) mit Hexis CARPRO300 (300µm)_#1	63
Abbildung 83: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,4mm)_#2	63
Abbildung 84: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,4mm) mit Hexis CARPRO300 (300µm)_#2.....	63
Abbildung 85: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,4mm)_#3	64
Abbildung 86: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,4mm) mit Hexis CARPRO300 (300µm)_#3.....	64
Abbildung 87: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm)_#1	65
Abbildung 88: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm)_mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_#1	65
Abbildung 89: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm)_#1	65
Abbildung 90: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm)_mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_#2.....	65
Abbildung 91: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm)_#3	66
Abbildung 92: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm)_mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_#3.....	66
Abbildung 93: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in MCP1223 PA6 CF_#1.....	69
Abbildung 94: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in MCP1223 PA6 CF mit LECHSYS LS155, weiß_#1	69
Abbildung 95: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in MCP1223 PA6 CF mit LECHSYS LS155, weiß_#2	69

Abbildung 96: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in MCP1223 PA6 CF mit LECHSYS LS155, weiß_#3.....	70
Abbildung 97: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax 50_#1	71
Abbildung 98: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax 50 mit Raptor, schwarz_#1	71
Abbildung 99: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax 50 mit Raptor, schwarz_#2	71
Abbildung 100: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax 50 mit Raptor, schwarz_#3	72
Abbildung 101: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax 50.....	73
Abbildung 102: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax 50 mit LECHSYS LS155, weiß_#1	73
Abbildung 103: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax 50 mit LECHSYS LS155, weiß_#2	73
Abbildung 104: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax 50 mit LECHSYS LS155, weiß_#3	74
Abbildung 105: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA6 (0,6mm)_#1	75
Abbildung 106: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA6 (0,6mm) mit LECHSYS LS155, weiß_#1	75
Abbildung 107: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA6 (0,6mm) mit LECHSYS LS155, weiß_#2	75
Abbildung 108: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA6 (0,6mm) mit LECHSYS LS155, weiß_#3	76
Abbildung 109: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,6mm)_#1	77
Abbildung 110: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,6mm) mit Raptor, schwarz_#1.....	77

Abbildung 111: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,6mm) mit Raptor, schwarz_#2.....	77
Abbildung 112: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,6mm) mit Raptor, schwarz_#3.....	78
Abbildung 113: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PP (0,4 mm)	79
Abbildung 114: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PP (0,4 mm) mit LECHSYS LS155, weiß_#1	79
Abbildung 115: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PP (0,4 mm) mit LECHSYS LS155, weiß_#2	79
Abbildung 116: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PP (0,4 mm) mit LECHSYS LS155, weiß_#3	80
Abbildung 117: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PA6 (0,6 mm)_#1	81
Abbildung 118: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PA6 (0,6 mm) mit LECHSYS LS155, weiß_#1	81
Abbildung 119: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PA6 (0,6 mm) mit LECHSYS LS155, weiß_#2	81
Abbildung 120: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PA6 (0,6 mm) mit LECHSYS LS155, weiß_#3	81
Abbildung 121: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4 mm)	83
Abbildung 122: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4 mm) mit Raptor, schwarz_#1	83
Abbildung 123: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4 mm) mit Raptor, schwarz_#2	83
Abbildung 124: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4 mm) mit Raptor, schwarz_#3	83
Abbildung 125: Multisteinschlagprüfgerät	87
Abbildung 126: Beschussmaterial (Hartgussgranulat)	87

Abbildung 127: Probenklemmvorrichtung.....	87
Abbildung 128: Probenklemmvorrichtung verlängert.....	87
Abbildung 129: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PA6 Carbon mit LECHSYS LS155, weiß_#1	90
Abbildung 130: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PA6 Carbon mit LECHSYS LS155, weiß_#2	90
Abbildung 131: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax mit 3M (110µm) & Hexis (300µm)_#1	91
Abbildung 132: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax mit 3M (110µm) & Hexis (300µm)_#2	91
Abbildung 133: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PA6 Carbon mit Hexis (300µm)_#1	92
Abbildung 134: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PA6 Carbon mit Hexis (300µm)_#1	92
Abbildung 135: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PA6 Carbon mit 3M Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_#1	93
Abbildung 136: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PA6 Carbon mit 3M Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_#2	93
Abbildung 137: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax mit Upol Raptor, schwarz_#1	94
Abbildung 138: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax mit Upol Raptor, schwarz_#1	94
Abbildung 139: Kurzbewitterungsgerät.....	95
Abbildung 140: Kurzbewitterungsgerät, Aufnahme aller Probehalterungen.....	96
Abbildung 141: Probehalterung mit zwei eingespannten Standardproben.....	96
Abbildung 142: Testbauteile in Probenhalter_Vorderseite.....	97

Abbildung 143: Testbauteile in Probenhalter_Rückseite.....	97
Abbildung 144: Proben eingespannt.....	97
Abbildung 145: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax 50 mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm).....	98
Abbildung 146: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax 50 mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_zugeschnitten.....	98
Abbildung 147: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in MCP1223 PA6 CF mit Raptor, schwarz.....	98
Abbildung 148: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in MCP1223 PA6 CF mit Raptor, schwarz_zugeschnitten	98
Abbildung 149: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA (0,4mm) mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm).....	98
Abbildung 150: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA (0,4mm) mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_zugeschnitten	98
Abbildung 151: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,4mm) mit Hexis CARPRO300 (300µm).....	99
Abbildung 152: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,4mm) mit Hexis CARPRO300 (300µm)_zugeschnitten.....	99
Abbildung 153: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm) mit Hexis CARPRO300 (300µm).....	99
Abbildung 154: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm) mit Hexis CARPRO300 (300µm)_zugeschnitten.....	99
Abbildung 155: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,6 mm) mit LECHSYS LS155, weiß	99
Abbildung 156: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,6 mm) mit LECHSYS LS155, weiß_zugeschnitten.....	99
Abbildung 157: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax 50 mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_vor Bewitterung_#1	101

Abbildung 158: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax 50 mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_nach Bewitterung_#1	101
Abbildung 159: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax 50 mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_vor Bewitterung_#2.....	101
Abbildung 160: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax 50 mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_nach Bewitterung_#2	101
Abbildung 161: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax 50 mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_nach Bewitterung_#3	102
Abbildung 162: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax 50 mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_nach Bewitterung_#4	102
Abbildung 163: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in MCP1223 PA6 CF mit Raptor_vor Bewitterungstest_#1	103
Abbildung 164: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in MCP1223 PA6 CF mit Raptor_nach Bewitterungstest_#1	103
Abbildung 165: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in MCP1223 PA6 CF mit Raptor_nach Bewitterungstest_#2	103
Abbildung 166: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in MCP1223 PA6 CF mit Raptor_nach Bewitterungstest_#3	103
Abbildung 167: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in MCP1223 PA6 CF mit Raptor_nach Bewitterungstest_#4	103
Abbildung 168: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in MCP1223 PA6 CF mit Raptor_nach Bewitterungstest_#5	104
Abbildung 169: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in MCP1223 PA6 CF mit Raptor_nach Bewitterungstest_#6	104
Abbildung 170: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA (0,4mm) mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_vor Bewitterung_#1	105
Abbildung 171: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA (0,4mm) mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_nach Bewitterung_#1	105

Abbildung 172: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA (0,4mm) mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_nach Bewitterung_#2.....	105
Abbildung 173: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA (0,4mm) mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm)nach Bewitterung_#3.....	106
Abbildung 174: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,4mm) mit Hexis CARPRO300 (300µm)_vor Bewitterung_#1	107
Abbildung 175: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,4mm) mit Hexis CARPRO300 (300µm)_nach Bewitterung_#1	107
Abbildung 176: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,4mm) mit Hexis CARPRO300 (300µm)_nach Bewitterung_#2	107
Abbildung 177: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,4mm) mit Hexis CARPRO300 (300µm)_nach Bewitterung_#3	108
Abbildung 178: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,4mm) mit Hexis CARPRO300 (300µm)_nach Bewitterung_#4	108
Abbildung 179: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm) mit Hexis CARPRO300 (300µm)_vor Bewitterung_#1	109
Abbildung 180: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm) mit Hexis CARPRO300 (300µm)_nach Bewitterung_#1	109
Abbildung 181: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm) mit Hexis CARPRO300 (300µm)_nach Bewitterung_#2	109
Abbildung 182: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm) mit Hexis CARPRO300 (300µm)_nach Bewitterung_#3	109
Abbildung 183: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm) mit Hexis CARPRO300 (300µm)_nach Bewitterung_#4	110
Abbildung 184: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,6 mm) mit LECHSYS LS155, weiß_vor Bewitterung_#1	111
Abbildung 185: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,6 mm) mit LECHSYS LS155, weiß_nach Bewitterung_#1	111

Abbildung 186: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,6 mm) mit LECHSYS LS155, weiß_nach Bewitterung_#2.....	111
Abbildung 187: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,6 mm) mit LECHSYS LS155, weiß_nach Bewitterung_#3.....	112
Abbildung 188: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,6 mm) mit LECHSYS LS155, weiß_nach Bewitterung_#4.....	112
Abbildung 189: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,6 mm) mit LECHSYS LS155, weiß_nach Bewitterung_#4.....	112
Abbildung 190: Schlagzähigkeits-Testanlage_#1	113
Abbildung 191: Schlagzähigkeits-Testanlage_#2	113
Abbildung 192: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax mit Hexis (300µm)_Vorderseite	116
Abbildung 193: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax mit Hexis (300µm)_Rückseite.....	116
Abbildung 194: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PA6 Carbon mit LECHSYS LS155, weiß_Vorderseite_#1	117
Abbildung 195: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PA6 Carbon mit LECHSYS LS155, weiß_Vorderseite_#2	117
Abbildung 196: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PA6 Carbon mit LECHSYS LS155, weiß_Rückseite_#1.....	117
Abbildung 197: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax mit 3M (110µm) & Hexis (300µm)_Vorderseite_#1	119
Abbildung 198: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax mit 3M (110µm) & Hexis (300µm)_Vorderseite_#2	119
Abbildung 199: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax mit 3M (110µm) & Hexis (300µm)_Rückseite_#1	120
Abbildung 200: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax mit 3M (110µm) & Hexis (300µm)_Rückseite_#2.....	120

Abbildung 201: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,4) mit Hexis (300µm)_#1	121
Abbildung 202: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,4) mit Hexis (300µm)_#2	121
Abbildung 203: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,6) mit Upol Raptor, schwarz_#1	122
Abbildung 204: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,6) mit Upol Raptor, schwarz_#2	122
Abbildung 205: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,6) mit Upol Raptor, schwarz_#3	122
Abbildung 206: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PP (0,4mm) mit 3M (110µm) & Hexis (300µm)_#1	124
Abbildung 207: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PP (0,4mm) mit 3M (110µm) & Hexis (300µm)_#1	124
Abbildung 208: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PP (0,4mm) mit LECHSYS LS155, weiß_#1	125
Abbildung 209: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PP (0,4mm) mit LECHSYS LS155, weiß_#2	125
Abbildung 210: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PA (0,4mm) mit Hexis (300µm)_#1	126
Abbildung 211: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PA (0,4mm) mit Hexis (300µm)_#2	126
Abbildung 212: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm) mit Upol Raptor, schwarz_#1	127
Abbildung 213: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm) mit Upol Raptor, schwarz_#2	127
Abbildung 214: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm) mit Upol Raptor, schwarz_#3	127
Abbildung 215: Mehrschneidengerät mit Handgriff	129

Abbildung 216: Mehrfachschneidkopf 1mm Abstand.....	129
Abbildung 217: Cuttermesser.....	130
Abbildung 218: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax mit Hexis (300µm)	134
Abbildung 219: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax mit 3M (110µm) & Hexis (300µm)	135
Abbildung 220: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PA6 Carbon mit LECHSYS LS155, weiß	136
Abbildung 221: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,4) mit Hexis (300µm)_#1	137
Abbildung 222: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,4) mit Hexis (300µm)_#2	137
Abbildung 223: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PP (0,4mm) mit 3M (110µm) & Hexis (300µm)_#1	138
Abbildung 224: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PP (0,4mm) mit 3M (110µm) & Hexis (300µm)_#2	138
Abbildung 225: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PP (0,4mm) mit LECHSYS LS155, weiß	139
Abbildung 226: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm) mit 3M (110µm)	140
Abbildung 227: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm) mit Upol Raptor, schwarz_#1.....	141
Abbildung 228: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm) mit Upol Raptor, schwarz_#2.....	141
Abbildung 229: Salzsprühnebelanlage_#1	142
Abbildung 230: Salzsprühnebelanlage_#2	142
Abbildung 231: Testbauteile im Inneren der Prüfkammer_#1	143
Abbildung 232: Testbauteile im Inneren der Prüfkammer_#2.....	143
Abbildung 233: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax mit 3M Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_nach Test_#1	145

Abbildung 234: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax mit 3M Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_nach Test_#2	145
Abbildung 235: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax mit 3M Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_nach Test_#3	146
Abbildung 236: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax mit 3M Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_nach Test_#4	146
Abbildung 237: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax mit LECHSYS LS155, weiß_nach Test_#1	147
Abbildung 238: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax mit LECHSYS LS155, weiß_nach Test_#2	147
Abbildung 239: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax mit LECHSYS LS155, weiß_nach Test_#3	148
Abbildung 240: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PA6 Carbon mit 3M Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_nach Test_#1	149
Abbildung 241: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PA6 Carbon mit 3M Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_nach Test_#2	149
Abbildung 242: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PA6 Carbon mit 3M Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_nach Test_#3	150
Abbildung 243: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PA6 Carbon mit 3M Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_nach Test_#4	150
Abbildung 244: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PA6 Carbon LECHSYS LS155, weiß_nach Test_#1	151
Abbildung 245: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PA6 Carbon LECHSYS LS155, weiß_nach Test_#2	151
Abbildung 246: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PA6 Carbon LECHSYS LS155, weiß_nach Test_#3	151
Abbildung 247: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PA6 Carbon LECHSYS LS155, weiß_nach Test_#4	152

Abbildung 248: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PA6 Carbon LECHSYS LS155, weiß_nach Test_#5.....	152
Abbildung 249: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,4mm) mit 3M Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_nach Test_#1	153
Abbildung 250: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,4mm) mit 3M Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_nach Test_#2.....	153
Abbildung 251: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,4mm) mit 3M Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_nach Test_#3.....	153
Abbildung 252: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,4mm) mit 3M Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_nach Test_#4.....	153
Abbildung 253: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA6 (0,4mm) mit Hexis (300µm)_nach Test_#1.....	154
Abbildung 254: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA6 (0,4mm) mit Hexis (300µm)_nach Test_#2.....	154
Abbildung 255: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA6 (0,4mm) mit Hexis (300µm)_nach Test_#3.....	154
Abbildung 256: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA6 (0,4mm) mit Hexis (300µm)_vor Test_#1.....	155
Abbildung 257: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA6 (0,4mm) mit Hexis (300µm)_nach Test_#4.....	155
Abbildung 258: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,4mm) mit Upol RAPTOR, schwarz_nach Test_#1	156
Abbildung 259: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,4mm) mit Upol RAPTOR, schwarz_nach Test_#2	156
Abbildung 260: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,4mm) mit Upol RAPTOR, schwarz_nach Test_#3	156
Abbildung 261: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,4mm) mit Upol RAPTOR, schwarz_nach Test_#4	157

Abbildung 262: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,6mm) mit LECHSYS LS155, weiß_nach Test_#1.....	158
Abbildung 263: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,6mm) mit LECHSYS LS155, weiß_nach Test_#2.....	158
Abbildung 264: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,6mm) mit LECHSYS LS155, weiß_nach Test_#3.....	158
Abbildung 265: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,6mm) mit LECHSYS LS155, weiß_nach Test_#4.....	159

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Gefertigte Bauteile.....	38
Tabelle 2: Testbauteile für Folierung.....	52
Tabelle 3: Testbauteile für Lackierung	68
Tabelle 4: Anwendbare Tests je Bauteilgeometrie	85
Tabelle 5: Testbauteile für Steinschlagverfahren.....	88
Tabelle 6: Kennwerte für geschädigte Flächen	89
Tabelle 7: Testbauteile für Bewitterungstest.....	96
Tabelle 8: Testbauteile für Schlagzähigkeitsverfahren & Gitterschnittprüfung	114
Tabelle 9: Einstufung der Prüfergebnisse gemäß DIN EN ISO 2409:2013-06.....	131
Tabelle 10: Testbauteile für Schlagzähigkeitsverfahren & Gitterschnittprüfung	132
Tabelle 11: Testbauteile für Salzsprühnebelprüfung	143
Tabelle 12: Zusammenfassung der Ergebnisse	160

Abkürzungsverzeichnis

MM	Mikromobilität
FFF	Fused Filament Fabrication
FDM	Fused Deposition Modeling
UD-Tapes	Unidirektionale Tapes
AFP	Automatic Fiber Placement
ASTM	American Society for Testing and Materials
CAD	Computer-Aided Design
MSG	Mehrschneidengerät

1 Die Einleitung

Im Zuge eines bereits erfolgten Forschungsmoduls mit dem Titel "Beschichtungsverfahren für UD-Tape und FFF-Bauteile", wurde festgestellt, dass die Oberflächenveredelung von Bauteilen, welche durch UD-Tape legen oder dem FFF-Druck hergestellt worden sind, mittels lackieren oder folieren, theoretisch die vielversprechendsten Ergebnisse in Hinblick auf Optik und mechanische Eigenschaften liefern.

Die vorliegende Diplomarbeit widmet sich daher der Herausforderung, einen praktikablen Vergleich der oben genannten Bauteileigenschaften zu erstellen, indem die unterschiedlichen optischen und mechanischen Eigenschaften von Bauteilen ermittelt werden, welche mittels dem UD-Tape-lege-Verfahren oder dem FFF-Verfahren hergestellt worden sind und anschließend entweder durch lackiert oder folierten Oberflächenveredelt werden.

Das Zusammenspiel von Fused Filament Fabrication (FFF) und UD-Tape-lege-Verfahren repräsentiert eine breite Palette moderner Fertigungstechnologien, die sich sowohl in der Industrie, als auch im Alltag etabliert haben.

Durch diese Herstellungsverfahren werden Bauteile mit einzigartigen Eigenschaften und Anwendungen geschaffen, die von der Automobilindustrie über die Luft- und Raumfahrt bis hin zur Unterhaltungselektronik reichen.

Die Wahl des Herstellungsverfahrens und die anschließende Veredelung, sei es durch Lackierung oder Folierung, beeinflussen/ändert in erheblichem Maße, die Qualität, sowie die Anwendungsmöglichkeiten dieser Bauteile.

Die vorliegende Arbeit legt den Fokus auf die ganzheitliche Untersuchung dieser Bauteile, um deren optische und mechanische Eigenschaften detailliert zu analysieren. Dabei werden nicht nur technische Aspekte berücksichtigt, sondern auch ästhetische Gesichtspunkte, die in vielen Anwendungsbereichen eine entscheidende Rolle spielen. Die Erkenntnisse aus dieser Arbeit haben das Potenzial, nicht nur die Herstellungsprozesse zu optimieren, sondern auch die Leistung und den ästhetischen Wert von Bauteilen in verschiedenen Branchen zu steigern.

Es ist zu hoffen, dass die Erkenntnisse dieser Studie nicht nur zur Wissenschaft, sondern auch zur industriellen Praxis beitragen und die Zukunft der Bauteilherstellung und Bauteilveredelung maßgeblich beeinflussen werden.

Als Verfasser dieser Diplomarbeit möchte ich mich an dieser Stelle bei allen Personen bedanken, die zur Realisierung dieser Diplomarbeit beigetragen haben. Die Zusammenarbeit und Unterstützung von Dozenten, Industriepartnern und Kollegen waren entscheidend für den Erfolg dieser Arbeit.

1.1 Der Grund

In der heutigen Zeit, welche von stetigem, technologischem Fortschritt, sowie einer Ressourcenbewussteren Produktion geprägt ist, gewinnen additiv hergestellte Bauteile immer mehr an Bedeutung. Um deren Einsatzspektrum weiter expandieren zu können, ist die Untersuchung der optischen und mechanischen Eigenschaften von Bauteilen, welche mittels additiver Verfahren gefertigt und anschließend Oberflächenveredelt werden, ein wichtiger Schritt, in Richtung moderner und umweltbewusster Fertigung.

Solcher Fertigungsverfahren, welche Produktionskosten aufgrund weniger benötigten Fertigungsmaterial, sowie weniger anfallenden Abfall, senken, gewinnen vor allem in Hinblick auf den immer höher werdenden, wirtschaftlichen Druck durch sogenannte „Billig-Lohn-Länder“, immer mehr an Bedeutung.

Eine eingehende Untersuchung von etwaigen Möglichkeiten zur Veredelung von additiv gefertigten Bauteilen und deren positiven Effekt auf diverse Baueigenschaften, birgt eine Vielzahl von Vorteilen, wie zum Beispiel:

- **Kosten- und Ressourceneffizienz:** In einer Zeit, in der Effizienz und Nachhaltigkeit wichtige Stichworte sind, ist es entscheidend, die Kosten und Ressourcen, die für die Herstellung und Veredelung von Bauteilen aufgebracht werden, zu optimieren. Die Untersuchung der optimalen Kombination von Herstellungsverfahren und Veredelungstechniken kann dazu beitragen, Kosten zu senken und Ressourcen zu schonen.
- **Ästhetik und Markenidentität:** Das Erscheinungsbild von Produkten spielt in vielen Branchen eine zentrale Rolle. Die Veredelung von Bauteilen durch Lackierung oder Folierung trägt wesentlich zur ästhetischen Qualität bei und beeinflusst die Markenidentität. Kunden sind zunehmend anspruchsvoll, und die äußere Erscheinung eines Produkts kann den Markterfolg maßgeblich beeinflussen.
- **Innovation und Wettbewerbsfähigkeit:** Unternehmen, die in der Lage sind, innovative Herstellungsverfahren und Veredelungstechniken zu nutzen, können sich in einem wettbewerbsintensiven Markt differenzieren. Die Forschung und Weiterentwicklung in diesem Bereich sind daher ein wichtiger Faktor für die langfristige Wettbewerbsfähigkeit.

2 Stand der Technik/ Literatur

Für die Herstellung, Beschichtung sowie der anschließenden Untersuchung der Bauteile, ist ein Zusammenspiel von vielen Herstell- sowie Bearbeitungsprozessen notwendig. Einige davon sind bereits etablierte (zum Beispiel das Lackieren oder das Folieren von Bauteilen), andere Verfahren hingegen sind relativ neu. Die anschließenden Unterkapitel sollen einen Überblick über jene Verfahren/Prozesse geben, welche zur Erfüllung dieser Diplomarbeit notwendig sind.

2.1 Verfahren zur Herstellung der Probebauteile

Als stellvertretende Fertigungsmethoden für additiv gefertigte Bauteile, wird das UD-Tape-Legen, sowie das FFF-Verfahren verwendet. Beide Verfahren funktionieren nach dem Prinzip des Schichtweisen Aufbaus des Bauteils.

2.1.1 UD-Tape-Legen

Die Faserverbundtechnik hat in den letzten Jahren erhebliche Fortschritte gemacht und spielt eine entscheidende Rolle in verschiedenen Technologiebranchen wie der Luft- und Raumfahrt, der Automobilindustrie und dem Bauwesen. Ein Schlüsselverfahren hierbei ist das sogenannte UD-Tape-Legeverfahren.



Abbildung 1: Herstellung mittels UD-Tape-Legen¹

¹ https://www.leichtbauwelt.de/wp-content/uploads/2021/10/Bild_2_Bildrechte_Hexagon.jpg (zuletzt aufgerufen am 17.12.23)

Die für die Herstellung von Bauteilen verwendete Materialien für diesen Prozess, werden als UD-Tapes (Unidirektionale Fasertapes) bezeichnet.

Diese UD-Tapes, sind Streifen aus einheitlich ausgerichteten Fasern wie Kohlefaser, Glasfaser, Naturfaser, usw. welche in einer Kunststoffmatrix eingearbeitet sind.

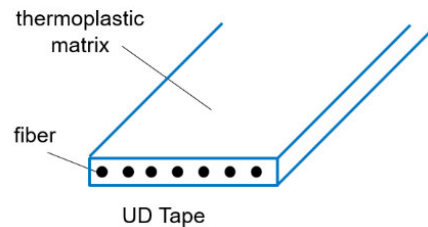


Abbildung 2: Aufbau UD-Tape²

Das eigentliche UD-Tape-Legeverfahren umfasst das präzise Platzieren der Tapes, in einer bestimmten Anordnung auf einer Werkzeugoberfläche oder auf einem Formwerkzeug. Dieser Schritt erfolgt normalerweise in mehreren Schichten, um die gewünschten mechanischen Eigenschaften zu erzielen und kann automatisiert via Maschinen/Anlagen/Robotern oder manuell per Hand geschehen.



Abbildung 3: Schichtaufbau mittels automatisierten UD-Tape legen³

Die einzelnen Schichten dieser Tapes werden mittels Klebstoffe oder Hitze, welche das Matrixmaterial anschlulzt, miteinander verbunden, um ein solides Bauteil zu erhalten. Dieser Schritt, bekannt als Konsolidierung, spielt eine entscheidende Rolle bei der Strukturbildung und somit den mechanischen Eigenschaften des Bauteils.

² <https://empowerax.dlr.de/images/UD-tape.PNG> (zuletzt geöffnet am 17.12.23)

³ https://www.trelleborg.com/seals/-/media/tss-media-repository/tss_website/products/advanced-composites/ad_afp-torch.jpg?h=450&iar=0&w=800&rev=-1&extension=webp&hash=871727CAF52AA2360FCB5AB1312CB997 (zuletzt geöffnet am 17.12.23)

2.1.1.1 Vorteile/Nachteile gegenüber konventionellen Fertigungsverfahren

Das UD-Tape-Legeverfahren bietet gegenüber konventionellen Fertigungsverfahren Vorteile, als auch Nachteile. Welche davon letztendlich überwiegen, ist von verschiedenen Faktoren abhängig, wie zum Beispiel vom Bauteil, dessen Einsatzzweck und der benötigten Stückzahl, usw.

Vorteile:

- Durch die Verwendung von unidirektionalen Fasertapes können die mechanischen Eigenschaften des Bauteils gezielt gesteuert werden, da die Festigkeit und Steifigkeit hauptsächlich in der Faserrichtung liegen.
- Aus denselben Grund erreichen so gefertigte Bauteile eine relativ hohe Festigkeit, gegenüber deren Gewicht.
- Durch den Schichtweisen Aufbau können komplexe Geometrien und dünnwandiger Strukturen mit hoher Präzision hergestellt werden. Dies ist besonders wichtig in der Luft- und Raumfahrt, wo leichte und dennoch starke Strukturen gefordert sind.
- Da bis auf die Randstücke der Bauteile, kein Produktionsabfall während der Herstellung anfällt, ist dies ein relativ ressourcenschonende Methode (Abbildung 4).
- Bei kleinen Serien oder individuell angefertigten Teilen ist diese Verfahren besonders Kosteneffektiv, da kein eigens gefertigtes Werkzeug (Beispiel Spritzgussverfahren) benötigt wird.
- Mittels dieses Verfahrens wird auch die Prototypenentwicklung beschleunigt, da individuelle Produkte hergestellt werden können.
- Eine Anpassung der Bauteilgeometrie ist meist ohne große Kosten verbunden und kann relativ schnell vorgenommen werden.
- Es reduziert die Notwendigkeit großer Lagerbestände, da Teile bei Bedarf vor Ort hergestellt werden können.

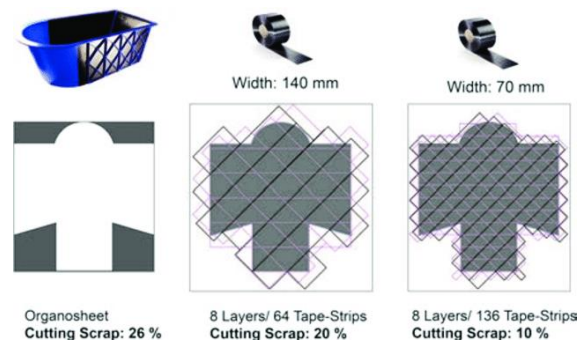


Abbildung 4: Verschnitt UD-Tape⁴

⁴ <https://www.researchgate.net/profile/Volker-Altstaedt/publication/317374574/figure/fig1/AS:504587404955648@1497314420100/Illustration-of-the-scrap-reduction-by-using-UD-tapes-Benchmark-A-two-dimensional.png> (zuletzt geöffnet am 17.12.23)

Nachteile:

- Aus wirtschaftlicher Sicht ist das Tape-Legeverfahren nur für Sonderbauteile, Einzelteile oder Kleinserien sinnvoll (Einsatzgebiete im Flugzeugbau, Formel 1, Raumfahrt, Prototypenbau, usw.).
- Bei den meisten so gefertigten Bauteilen fallen Randstücke der Bauteile als Abfall an (Abbildung 4), welche nur unter bestimmten Voraussetzungen recycelbar/verwendbar sind.
- Bei mehrdimensionalen Bauteilen wird meiste ein Werkzeug (Form, Matrize, usw.) benötigt, auf dessen Oberfläche das eigentliche Bauteil "wachsen" kann. Dieses Werkzeug muss ebenfalls gefertigt werden, bzw. muss bei geometrischen Änderungen am Bauteil neu gefertigt werden.
- Durch den Schichtaufbau leidet die Festigkeit eines Bauteils normal zu den Layerebene. Dies setzt genaues Wissen über die benötigte Festigkeit und Einsatzlage des Bauteils voraus. Dies gilt für den Aufbau des Grundkörpers mittels FFF-Verfahren sowie die Legerichtung der verwendeten UD-Tapes.

Das UD-Tape-Legeverfahren ist eine innovative und effektive Methode in der Faser-verbundtechnik, die die Herstellung hochfester und leichter Verbundbauteile ermöglicht.

Die präzise Steuerung der Faserorientierung in den UD-Tapes bietet eine maßgeschneiderte Lösung für vielfältige Anwendungen und trägt dazu bei, den Anforderungen an moderne technische Bauteile gerecht zu werden.

2.1.2 Das FFF-Verfahren

Die Popularität von additiven Fertigungsverfahren ist den letzten Jahren immer weiter gestiegen, sowohl im industriellen Bereich aber auch in Privatanwendungen. Dies ist vor allem dem FFF-Verfahren (Fused Filament Fabrication) oder auch als FDM-Verfahren (Fused Deposition Modeling) bekannt, zu verdanken.

Bei diesem Verfahren, wird ein dreidimensionales Objekt, Schicht für Schicht aufgebaut, indem ein thermoplastisches Material (Filament) aufgeschmolzen und in Form gespritzt wird.

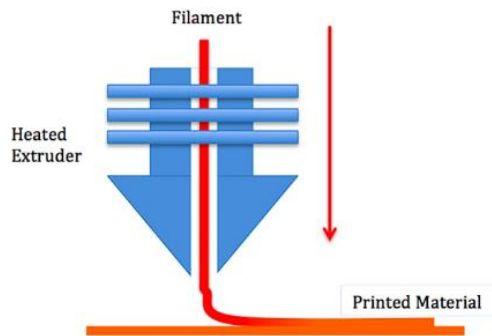


Abbildung 5: FFF (FDM)- Verfahren⁵

Der Prozess beginnt mit der Modellierung des gewünschten Bauteils, mithilfe von CAD-Software (wie zum Beispiel SolidWorks, Inventor, usw.). Nach dem Erstellen des 3D-Modells wird dieses mittels eines weiteren Programms, eines sogenannten Slicers in einzelne Schichten zerlegt, ein Vorgang, der als Slicing bezeichnet wird. Diese Scheiben dienen als Anleitung für den 3D-Drucker, der das Modell Schicht für Schicht aufbaut.

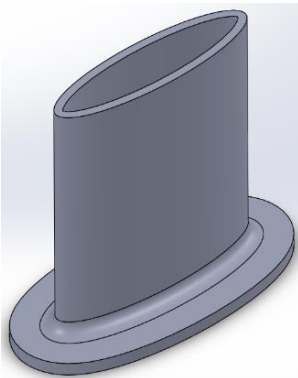


Abbildung 6: Bauteil in SolidWorks

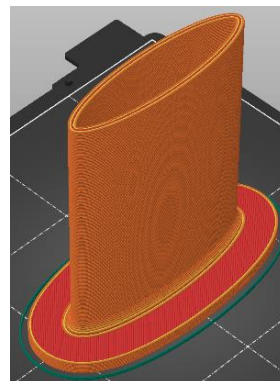


Abbildung 7: Bauteil in Slicer-Software

⁵ <http://www.insta3dp.com/Content/upload/2022548574/202206091139325503489.png> (zuletzt geöffnet am 17.12.23)

Als Material für die Bauteile können eine Vielzahl an verschiedenen thermoplastischen Kunststoffen wie PP, PA6, PLA, ABS, PETG, usw. verwendet werden. Der Kunststoff wird dabei auf Spulen geladen und durch den Druckkopf des 3D-Druckers extrudiert. Die Temperaturen werden präzise gesteuert, um das Filament auf die optimale Schmelztemperatur zu erhitzen. Gleichzeitig wird das Druckerbett aufgeheizt, um die Haftung der ersten Schicht zu verbessern.

Der eigentliche Druckprozess besteht aus der Bewegung des Druckkopfs oder in der Bewegung des Druckbetts mit gleichzeitiger Extrusion des Filaments. Der Druckkopf extrudiert das geschmolzene Filament gemäß den Anweisungen aus dem zuvor erstellten Slicermodell.

Nach dem Druck jeder Schicht, kühlt das Material ab und härtet aus, bevor die nächste Schicht aufgetragen wird.

Dieser schichtweise Aufbau setzt sich fort, bis das gesamte 3D-Objekt entstanden ist.

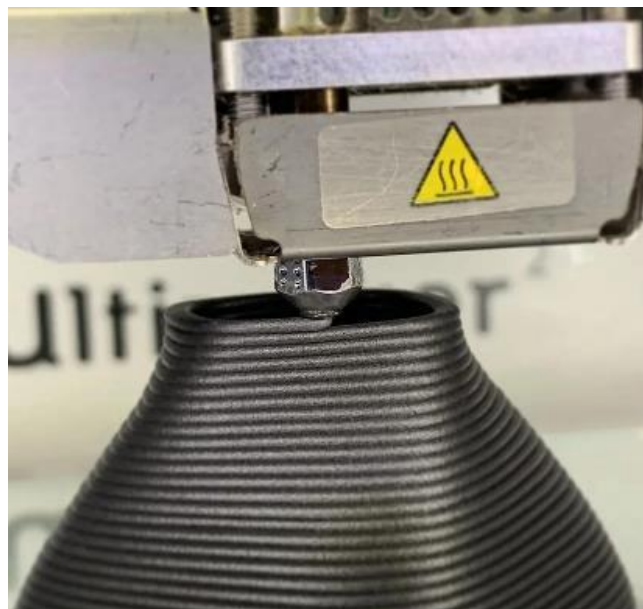


Abbildung 8: Aufbau eines FFF-Bauteils⁶

Abgesehen von der Herstellung von Prototypen hat FFF Anwendung in verschiedenen Branchen gefunden.

In der Medizin werden beispielsweise maßgeschneiderte Implantate und Modelle für chirurgische Planungen erstellt.

Architekten nutzen 3D-Druck, um Modelle ihrer Entwürfe herzustellen.

Die Automobilindustrie setzt 3D-Druck für die Herstellung von Prototypen und sogar Ersatzteilen ein.

⁶ <https://i.all3dp.com/workers/images/fit=scale-down,w=1920,h=1080,gravity=0.5x0.5,format=auto/wp-content/uploads/2021/07/22135217/5ucqu7ycjwh21.jpg> (zuletzt geöffnet am 17.12.23)

2.1.2.1 Vorteile/Nachteile gegenüber konventionellen Fertigungsverfahren

So wie das UD-Tape-Legeverfahren, bietet auch das FFF-Verfahren gegenüber konventionellen Fertigungsverfahren Vorteile, als auch Nachteile.

Welche davon letztendlich überwiegen, ist von verschiedenen Faktoren abhängig, wie zum Beispiel vom Bauteil, dessen Einsatzzweck, der benötigten Stückzahl, usw.

Vorteile:

- Eines der größten Vorteile des FFF-Verfahrens ist die Möglichkeit, komplexe Geometrien, welche mit herkömmlichen Fertigungsverfahren nicht oder nur sehr aufwändig herzustellen wären, zu fertigen.
- Mittels dieses Verfahrens können relativ schnell Prototypen, Spezialbauteile und selbst Kleinserien (3-100 Stück) hergestellt werden, ohne dass teure Werkzeuge oder Formen benötigt werden.
- Für die Herstellung von Prototypen oder kleineren Stückzahlen kann das FFF-Verfahren kostengünstiger sein als herkömmliche Verfahren, besonders wenn es um nachträgliche Anpassungen des Designs geht.
- Das FFF-Verfahren kann mit verschiedenen Kunststoffen und sogar mit speziellen Materialien wie leitfähigen Kunststoffen oder flexiblen Filamenten arbeiten, was eine breite Palette von Anwendungen ermöglicht.
- Im Gegensatz zu subtraktiven Fertigungsverfahren (wie zum Beispiel Fräßen, Drehen, usw.), bei denen Material entfernt wird, wird beim FFF-Verfahren, abgesehen von eventuell benötigten Stützstrukturen (Abbildung 9), nur das Material verwendet, das tatsächlich für das jeweilige Bauteil benötigt wird, was den Materialabfall reduziert.

Dieser Anfall von Stützstrukturen wird weiter reduziert, durch ständige Weiterentwicklung der Stützstruktur-Geometrien, wie zum Beispiel durch organische Supports.

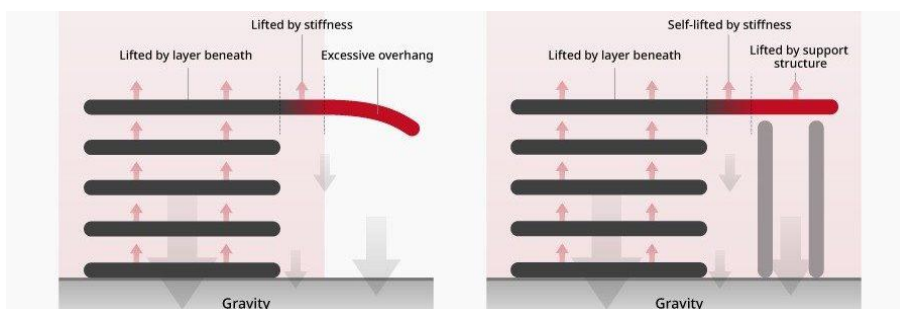


Abbildung 9: Stützstrukturen beim FFF-Verfahren⁷

⁷ https://s1.raise3d.com/2020/12/Raise3D-Academy_Info-Pic_Support-Structure-1-900x300.jpg (zuletzt geöffnet am 17.12.23)

Nachteile:

- Bauteile, welche mittels des FFF-Verfahrens hergestellt werden, weisen nicht die gleiche Präzision und glatte Oberflächenqualität wie Teile auf, welche mit hochpräzisen, konventionellen Fertigungsverfahren hergestellt wurden.
- Auch wenn die Materialauswahl ständig erweitert wird (zum Beispiel leitfähiges Filament, Filament versetzt mit Tungsten für radioaktive Strahlungsabschirmung, usw.) so bleibt FFF auf bestimmte Arten von Kunststofffilamenten (Thermoplastische Kunststoffe) beschränkt, was im Vergleich zu konventionellen Fertigungsverfahren eine begrenztere Materialauswahl bedeutet.
- FFF-Drucke bestehen aus aufeinandergestapelten Schichten, was zu Schichtlinien führt. Diese Schichtstruktur kann die Festigkeit und Oberflächenbeschaffenheit beeinträchtigen, insbesondere bei dünnen Wänden oder flachen Oberflächen.
- Die Festigkeit von FFF-gedruckten Bauteilen ist richtungsabhängig. Parallel zur Schichtrichtung ist die Festigkeit höher als senkrecht dazu (Abbildung 10).

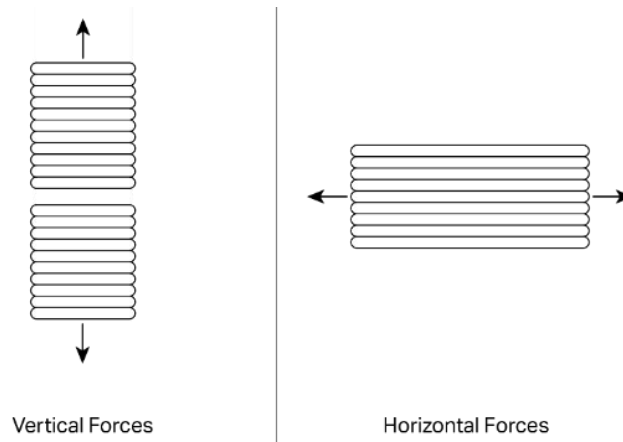


Abbildung 10: Festigkeit von FFF-Bauteilen in Abhängigkeit der Beanspruchungsrichtung⁸

- Obwohl FFF im Vergleich zu anderen 3D-Druckverfahren relativ schnell ist, kann es im Vergleich zu konventionellen Fertigungsverfahren (wie zum Beispiel CNC-Bearbeitung oder Spritzguss) länger dauern, um größere Stückzahlen und Serien herzustellen.
- Die Qualität des gedruckten Teils hängt von der Schichtauflösung ab. Eine feinere Auflösung bedeutet oft längere Druckzeiten, während eine gröbere Auflösung zu sichtbaren Schichtlinien führen kann.

Die Auswahl zwischen FFF und konventionellen Fertigungsverfahren ist stark von den spezifischen Anforderungen des Projekts abhängig. In manchen Fällen ist eine Kombination verschiedener Fertigungsverfahren für optimale Ergebnisse erforderlich.

⁸ https://uploads-ssl.webflow.com/573cd7e2103e63f747b02780/5c7300dedc46ccf8811ec091_layers-difference-01.png (zuletzt geöffnet am 17.12.23)

3 Die Testbauteile

Für die Untersuchung der optischen und mechanischen Eigenschaften der Folie, bzw. der Lackschicht auf den additiv gefertigten Bauteilen, wurden als Basis fünf verschiedene Bauteilgeometrien, in Absprache mit Herrn Prof. Dr.-Ing. Jörg Hübler und Herr Dr.-Ing. Hagen Bankwitz erstellt.

Diese Testbauteile wurden mittels der in Kapitel 2.1 erklärten Fertigungsverfahren erzeugt.

3.1 Die Konstruktion der Testbauteile

Um ein möglichst aussagekräftiges Ergebnis in Hinblick bei der Untersuchung der oben erwähnten Eigenschaften zu erhalten, wurden die geometrischen Merkmale der Testbauteile so gewählt, wie sie auch bei real verwendeten Bauteilen auftreten können (Ecken, Radien, Kurven, eben Flächen, usw.).

Als CAD-Programm wurde die kostenlose Studentenversion SolidWorks Premium 2022 verwendet.

3.1.1 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1

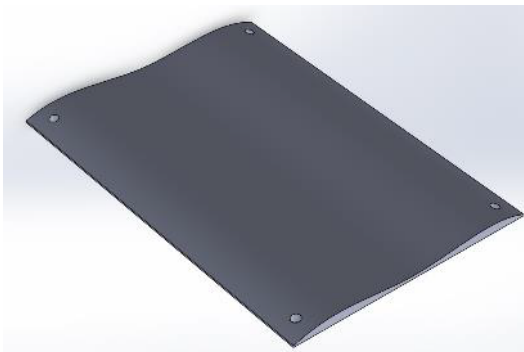


Abbildung 11: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1



Abbildung 12: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1

Dieses Bauteil wurde speziell für die Fertigung mittels UD-Tape-Legen, konstruiert. Der Hintergedanke hierbei ist, dass sich die Form selbst relativ einfach mittels FFF-Verfahren herstellen lässt und im Anschluss auf dessen Oberfläche mittels Tape-Legen, das entsprechende Tape aufgebracht werden kann.

Die Abmaße des Bauteils betragen etwa 200x150x6mm.

3.1.2 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2

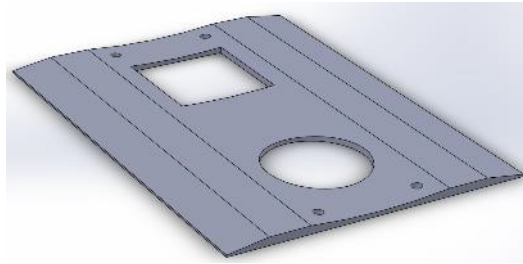


Abbildung 13: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2



Abbildung 14: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2

Dieses Bauteil wurde ebenfalls für die Herstellung mittels UD-Tape-Legen optimiert. Zusätzlich wurden hier eine kreisförmige, sowie eine rechteckige Öffnung vorgesehen. Dies schafft zusätzliche „Problemstellen“ im Bauteil, an denen die Folie, bzw. der Lack erschwert haften.

Die Abmaße des Bauteils betragen etwa 200x150x4mm.

3.1.3 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader

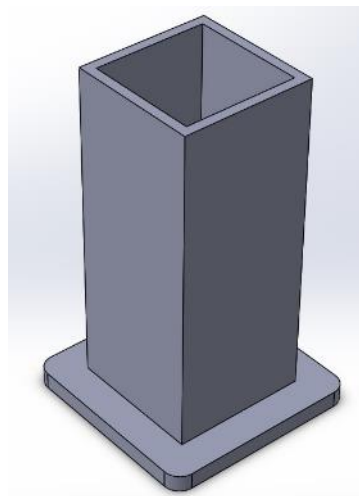


Abbildung 15: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader

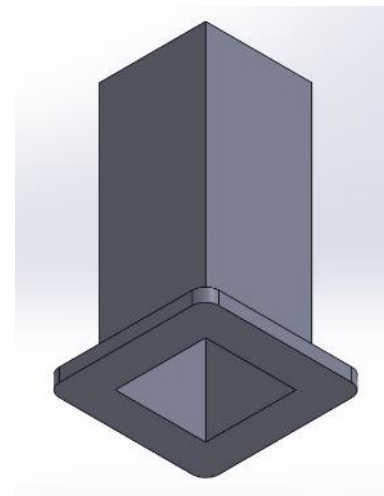


Abbildung 16: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader

Dieses Bauteil wurde für die Fertigung mittels FFF-Verfahren hergestellt. Hier kann besonders gut das Haftverhalten der Folie bzw. des Lacks an den 90° Ecken und Kanten, bzw. am Übergang zwischen dem Quader und der Basis untersucht werden.

Die Abmaße des Bauteils betragen etwa 40x40x100mm bzw. an der Basis 60x60x5mm.

3.1.4 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder

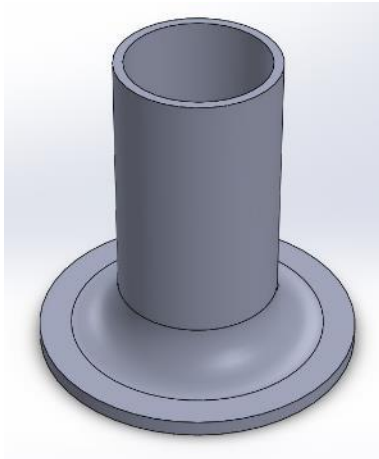


Abbildung 17: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder

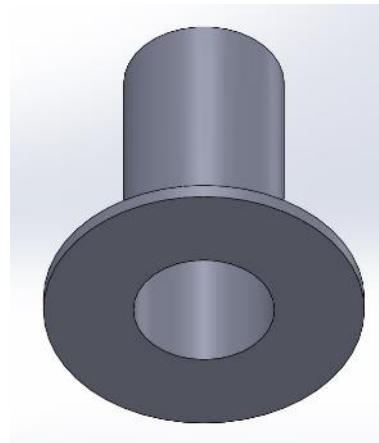


Abbildung 18: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder

Dieses Bauteil ist ebenfalls für die Herstellung mittels FFF-Verfahren konstruiert worden. Es soll runde Bauteile wie Griffe, Sattelstütze, Ober- und Unterrohr, usw. simulieren.

Die Abmaße des Bauteils betragen etwa $\text{Ø}50 \times 100 \text{mm}$ bzw. an der Basis $\text{Ø}100 \times 5 \text{mm}$.

3.1.5 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse

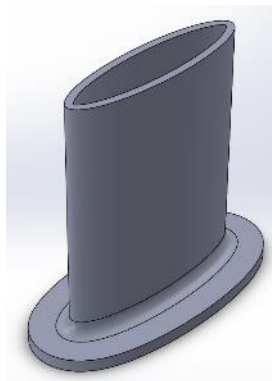


Abbildung 19: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse

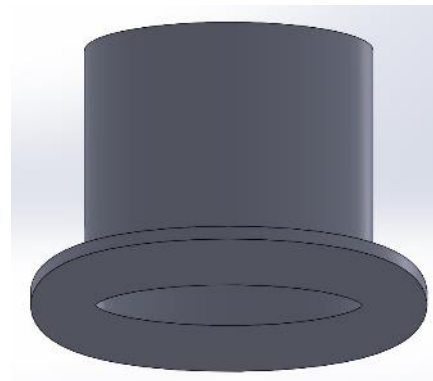


Abbildung 20: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse

Auch dieses Bauteil wurde für die Fertigung mittels FFF-Verfahren hergestellt. Hier stellt besonders die Haftung der Folie / des Lacks auf dem relativ scharfen Übergang zwischen dem Elliptischen Formteil und der Basis, sowie auf den Flächen der Innenseite des elliptischen Bauteils eine Herausforderung dar.

Die Abmaße des Bauteils betragen etwa $80 \times 22 \times 100 \text{mm}$ bzw. an der Basis $110 \times 52 \times 5 \text{mm}$.

3.2 Die verwendeten Materialien

Für die insgesamt 68 Stück Testbauteile wurden 4 verschiedene Materialien verwendet. Alle Bauteile, welche mittels UD-Tape-Legen hergestellt worden sind, sind aus einem der beiden folgenden Materialien gefertigt worden:

- BÜFA® UD PP Flax 50
Verwendung von Flachs als Endlosfaser und Polypropylen als Kunststoffmatrix.
Siehe Datenblatt⁹
- MCP1223 - PA6 CF - 170 µm
Verwendung von Carbon als Endlosfaser und Polyamid (PA6) als Kunststoffmatrix.
Siehe Datenblatt¹⁰

Alle Bauteile, welche mittels des FFF-Verfahrens hergestellt worden sind, bzw. die Grundkörper, auf denen die UD-Tapes aufgetragen worden sind, sind aus einem der beiden folgenden Materialien gefertigt:

- Formfutura STYX PA6, Farbe Natural
Siehe Datenblatt¹¹
- Formfutura Centaur PP, Farbe Natural
Siehe Datenblatt¹²

⁹ https://thermoplasticcomposites.de/de/wp-content/uploads/sites/2/2021/04/PTDS_BUeFA_PP-Flax-UD50.pdf (zuletzt geöffnet am 17.12.23)

¹⁰ https://thermoplasticcomposites.de/de/wp-content/uploads/sites/2/2023/01/TDS_UD-Tape_CF-PA6_170-%C2%B5m.pdf (zuletzt geöffnet am 17.12.23)

¹¹ <https://formfutura.com/datasheets/formfutura-tds-styxpa6.pdf> (zuletzt geöffnet am 17.12.23)

¹² <https://formfutura.com/datasheets/formfutura-tds-centaurpp.pdf> (zuletzt geöffnet am 17.12.23)

3.3 Die Fertigung der Testbauteile

Die Fertigung der Testbauteile erfolgte auf der HS Mittweida. An dieser Stelle möchte ich mich daher nochmals bei allen involvierten Mitarbeitern der Fakultät für Ihren Einsatz bedanken.

In folgender Tabelle sind die Bauteile in gefertigter Stückzahl bzw. im gefertigten Material aufgeführt:

Gefertigte Bauteile			
Testbauteil	Fertigung/Material	Stück	
1_Allgemeines Muster_UD Tape_1	Fertigung UD-Tape (UD PP Flax 50)	4	
	Fertigung UD-Tape (MCP1223 PA6 CF)	6	
	Fertigung FFF (PA6) Layerhöhe 0,4 / 0,6 [mm]		
	Fertigung FFF (PP) Layerhöhe 0,4 / 0,6 [mm]		
2_Allgemeines Muster_UD Tape_2	Fertigung UD-Tape (UD PP Flax 50)	4	
	Fertigung UD-Tape (MCP1223 PA6 CF)	6	
	Fertigung FFF (PA6) Layerhöhe 0,4 / 0,6 [mm]		
	Fertigung FFF (PP) Layerhöhe 0,4 / 0,6 [mm]		
3_Allgemeines Muster_FFF_Quader	Fertigung UD-Tape (UD PP Flax 50)		
	Fertigung UD-Tape (MCP1223 PA6 CF)		
	Fertigung FFF (PA6) Layerhöhe 0,4 / 0,6 [mm]	4	4
	Fertigung FFF (PP) Layerhöhe 0,4 / 0,6 [mm]	4	4
4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder	Fertigung UD-Tape (UD PP Flax 50)		
	Fertigung UD-Tape (MCP1223 PA6 CF)		
	Fertigung FFF (PA6) Layerhöhe 0,4 / 0,6 [mm]	4	4
	Fertigung FFF (PP) Layerhöhe 0,4 / 0,6 [mm]	4	4
5_Allgemeines Muster_FFF_Elipse	Fertigung UD-Tape (UD PP Flax 50)		
	Fertigung UD-Tape (MCP1223 PA6 CF)		
	Fertigung FFF (PA6) Layerhöhe 0,4 / 0,6 [mm]	4	4
	Fertigung FFF (PP) Layerhöhe 0,4 / 0,6 [mm]	4	4

Tabelle 1: Gefertigte Bauteile

Für die Durchführung dieser Diplomarbeit wurden insgesamt 68 Bauteile gefertigt.

- 20 Stück davon wurden mittels dem UD-Tape-Legeverfahren in PP Flax 50 bzw. PA6 CF hergestellt.
- Zusätzlich wurden 20 Stück Grundkörper, auf welchen das jeweilige UD-Tape aufgebracht wurde, mittels des FFF-Verfahrens aus PP bzw. PA6 hergestellt.
- 48 Stück wurden in verschiedenen Layerhöhen (0,4mm/0,6mm) mittels des FFF-Verfahrens aus PP bzw. aus PA hergestellt.

Von diesen 68 Bauteilen wurden 45 Bauteile zur Weiterveredelung durch Folieren oder Lackieren weiterverwendet.

Die restlichen 23 Stück sind als Reservebauteile deklariert und können bei Bedarf für weitere Versuche herangezogen werden.

3.4 Die gelieferten Bauteile

Da eines der Ziele dieser Diplomarbeit es ist, eine Veredlungsmethode für additiv gefertigten Bauteilen zu finden, welche sich möglichst wirtschaftlich anwenden lässt, wurde bewusst keine etwaigen, nachträgliche Verschönerungen, Nachbearbeitungen und dergleichen an den Bauteilen vorgenommen.

Dies erlaubt es die tatsächlichen Einsatzgrenzen einer Folierung oder Lackierung auf den teils groben Oberflächen der Bauteile besser abschätzen zu können.

Im Folgenden sind einige repräsentative Bauteile angeführt, um einen besseren Einblick auf die Fertigungsqualität zu erhalten.

Bilder aller gelieferten Testbauteile sind vorhanden und werden bei Anfrage gerne zur Verfügung gestellt.

3.4.1 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1

Als direkten Vergleich sind einmal ein Testbauteil gefertigt aus PA6 mit Carbonfaser und einmal ein Testbauteil gefertigt aus PP mit Flax-Faser gegenübergestellt:



Abbildung 21: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in MCP1223 PA6 CF_#1



Abbildung 22: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax 50_#1



Abbildung 23: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in MCP1223 PA6 CF_#2



Abbildung 24: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax 50_#2

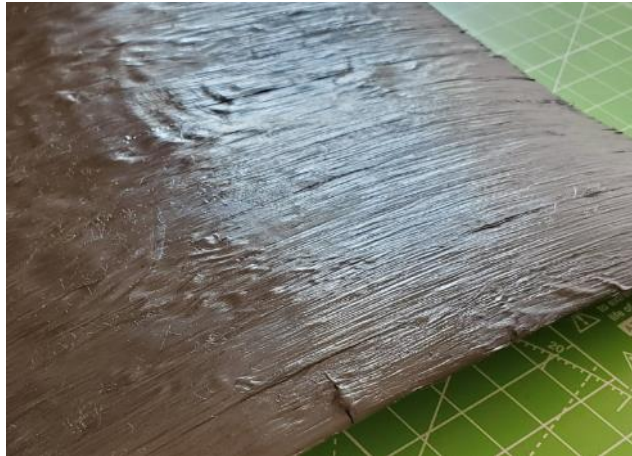


Abbildung 25: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in MCP1223 PA6 CF_#3



Abbildung 26: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax 50_#3

Wie gut zu erkennen ist, gibt es neben der materialspezifischen Optik, zwischen den einzelnen Testbauteilen, einige qualitative Unterschiede. Diese sind neben den verschiedenen Materialien, insbesondere auf die manuelle Herstellart zurückzuführen.

- Beide Bauteile sind stark gewölbt. Durch diese Wölbung wird etwa die in der Bauteilgeometrie selbst vorhandene Wölbung verändert.
- Weiters wird durch diese Wölbung der Einsatz von div. Testverfahren erschwert, da das Testbauteil auf zumindest einer Seite eben sein muss, um in den Prüfapparat eingespannt werden zu können.
- Die Oberfläche der Testbauteile gefertigt aus dem Carbonfaser-Tape, weist über eine sehr unebene Oberfläche auf. Diese Unebenheiten betragen teils $>0,5\text{mm}$ auf.
- Die Oberfläche der Testbauteile gefertigt aus dem Flax-Tape weisen zwar eine grundsätzlich gleichmäßigere Oberfläche auf, die zahlreichen losen Flax-Fasern schaffen jedoch weitere Unebenheiten.

3.4.2 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2

Als direkten Vergleich sind einmal ein Testbauteil gefertigt aus PA6 mit Carbonfaser und einmal ein Testbauteil gefertigt aus PP mit Flax-Faser gegenübergestellt:



Abbildung 27: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in MCP1223 PA6 CF_#1



Abbildung 28: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax 50_#1



Abbildung 29: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in MCP1223 PA6 CF_#2



Abbildung 30: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax 50_#2



Abbildung 31: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in MCP1223 PA6 CF_#3



Abbildung 32: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax 50_#3

Ebenso wie beim erst genannten Testbauteil, gibt es auch hier, wie gut zu erkennen ist, diverse Unterschiede, welche hauptsächlich auf die unterschiedlichen Materialien, sowie die manuelle Herstellart zurückzuführen sind.

- Beide Bauteile sind stark gewölbt. Durch diese Wölbung wird etwa die in der Bauteilgeometrie selbst vorhandene Wölbung verändert.
- Weiters wird durch diese Wölbung der Einsatz von div. Testverfahren erschwert, da das Testbauteil auf zumindest einer Seite eben sein muss, um in den Prüfapparat eingespannt werden zu können.
- Die Oberfläche der Testbauteile gefertigt aus dem Carbonfaser-Tape, weist über eine sehr unebene Oberfläche auf. Diese Unebenheiten betragen teils $>0,5\text{mm}$ auf.
- Die Oberfläche der Testbauteile gefertigt aus dem Flax-Tape weisen zwar eine grundsätzlich gleichmäßigere Oberfläche auf, die zahlreichen losen Flax-Fasern schaffen jedoch weitere Unebenheiten.

3.4.3 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader

Als direkten Vergleich sind einmal ein Testbauteil gefertigt aus PA6 und einmal ein Testbauteil gefertigt aus PP gegenübergestellt:



Abbildung 33: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA6 (0,4mm)_#1



Abbildung 34: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,6mm)_#1

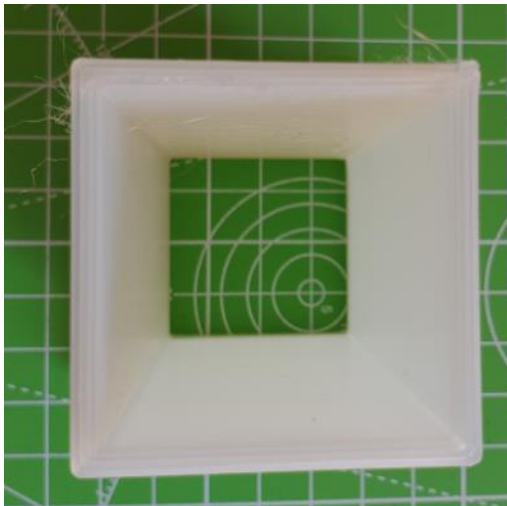


Abbildung 35: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA6 (0,4mm)_#2

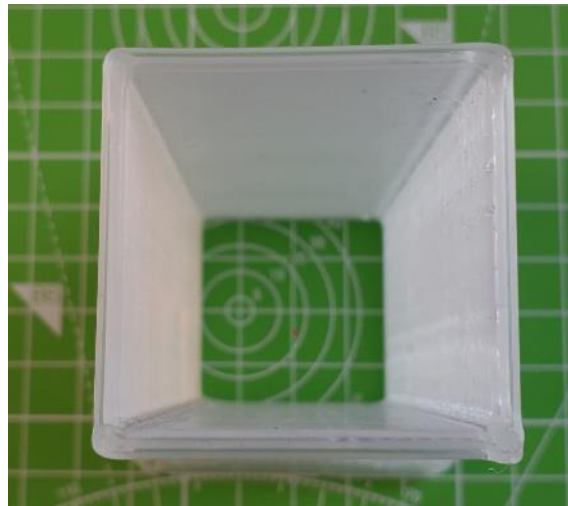


Abbildung 36: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,6mm)_#2



Abbildung 37: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA6 (0,4mm)_#3

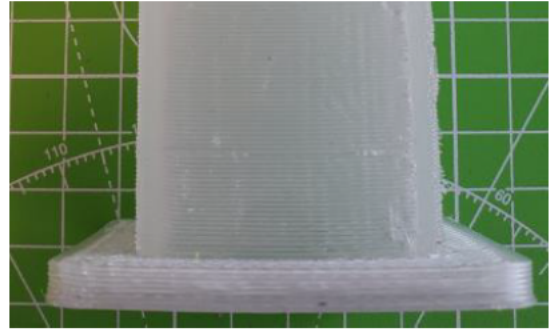


Abbildung 38: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,6mm)_#3

Da diese Testbauteile zwar aus verschiedenen Materialien gefertigt wurden, das Herstellungsverfahren jedoch maschinell (mittels 3D-Drucker) erfolgte, sind die qualitativen Unterschiede größtenteils auf die unterschiedlichen Materialien und deren spezifischen Verarbeitungsbedingungen zurückzuführen.

- Die Basis der Bauteile sind gewölbt (umgangssprachlich "Warping" genannt). Dies ist auf das Abkühlungsverhalten der Kunststoffe zurückzuführen und hat auf die weiterführenden Tests jedoch kaum Einfluss.
- Die Oberfläche beider Testbauteile, weisen sogenannten Nähte auf. Dies sind Bereiche, an denen der Start- und Endpunkt jedes Layers aufeinandertreffen. Liegen diese einzelnen Nahtstellen alle übereinander, zieht sich eine "Naht" über die Oberfläche des Bauteils was mit relativ groben Unebenheiten verbunden ist.
- Aufgrund der thermoplastischen Eigenschaften der Kunststoffe, sowie die für die Verarbeitung von PA6 und PP notwendigen Temperaturbereiche (185°C-240°C), neigen diese Materialien, besonders jedoch das PA6 zu "Stringing". Dabei tritt, nachdem die jeweilige Schicht fertig extrudiert wurde, weiterhin etwas Material aus der Druckdüse aus und zieht einen dünnen Faden, welcher beim Abkühlen am Nahtpunkt des Layers zurückbleibt. Werden diese feinen Fäden nicht entfernt (so wie bei unseren Bauteilen), verursachen diese beim Folieren/Lackieren Unebenheiten.

3.4.4 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder

Als direkten Vergleich sind einmal ein Testbauteil gefertigt aus PA6 mit Carbonfaser und einmal ein Testbauteil gefertigt aus PP mit Flax-Faser gegenübergestellt:



Abbildung 39: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,4mm)_#1



Abbildung 40: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PP (0,6mm)_#1



Abbildung 41: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,4mm)_#2

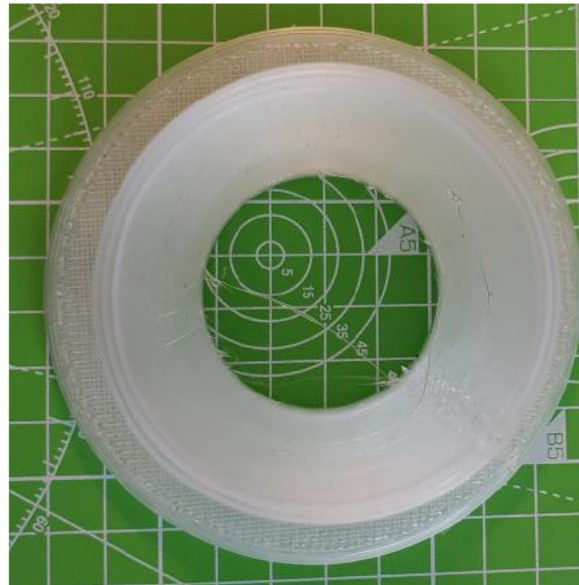


Abbildung 42: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PP (0,6mm)_#2

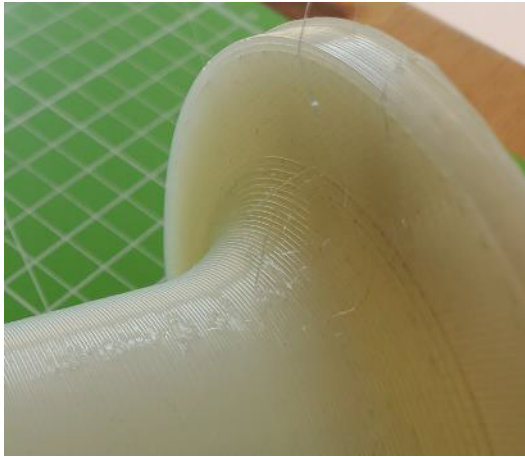


Abbildung 43: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,4mm)_#3

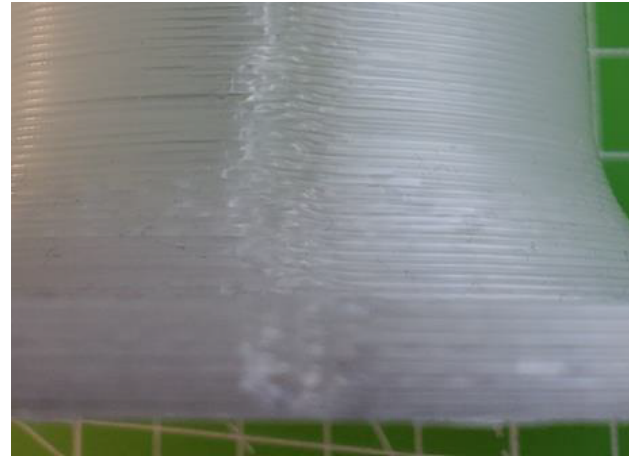


Abbildung 44: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PP (0,6mm)_#3

Da diese Testbauteile zwar aus verschiedenen Materialien gefertigt wurden, das Herstellverfahren jedoch maschinell (mittels 3D-Drucker) erfolgte, sind die qualitativen Unterschiede größtenteils auf die unterschiedlichen Materialien und deren spezifischen Verarbeitungsbedingungen zurückzuführen.

- Die Basis der Bauteile sind gewölbt (umgangssprachlich "Warping" genannt). Dies ist auf das Abkühlungsverhalten der Kunststoffe zurückzuführen und hat auf die weiterführenden Tests jedoch kaum Einfluss.
- Die Oberfläche beider Testbauteile, weisen sogenannten Nähte auf. Dies sind Bereiche, an denen der Start- und Endpunkt jedes Layers aufeinandertreffen. Liegen diese einzelnen Nahtstellen alle übereinander, zieht sich eine "Naht" über die Oberfläche des Bauteils was mit relativ groben Unebenheiten verbunden ist.
- Aufgrund der thermoplastischen Eigenschaften der Kunststoffe, sowie die für die Verarbeitung von PA6 und PP notwendigen Temperaturbereiche (185°C-240°C), neigen diese Materialien, besonders jedoch das PA6 zu "Stringing". Dabei tritt, nachdem die jeweilige Schicht fertig extrudiert wurde, weiterhin etwas Material aus der Druckdüse aus und zieht einen dünnen Faden, welcher beim Abkühlen am Nahtpunkt des Layers zurückbleibt. Werden diese feinen Fäden nicht entfernt (so wie bei unseren Bauteilen), verursachen diese beim Folieren/Lackieren Unebenheiten.

3.4.5 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse

Als direkten Vergleich sind einmal ein Testbauteil gefertigt aus PA6 mit Carbonfaser und einmal ein Testbauteil gefertigt aus PP mit Flax-Faser gegenübergestellt:



Abbildung 45: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PA6 (0,6mm)_#1



Abbildung 46: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm)_#1



Abbildung 47: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PA6 (0,6mm)_#2



Abbildung 48: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm)_#2

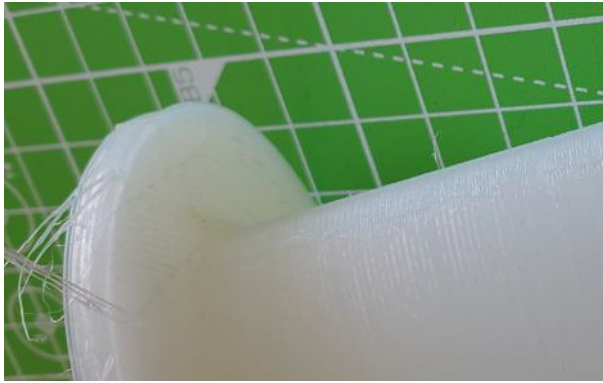


Abbildung 49: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PA6 (0,6mm)_#3

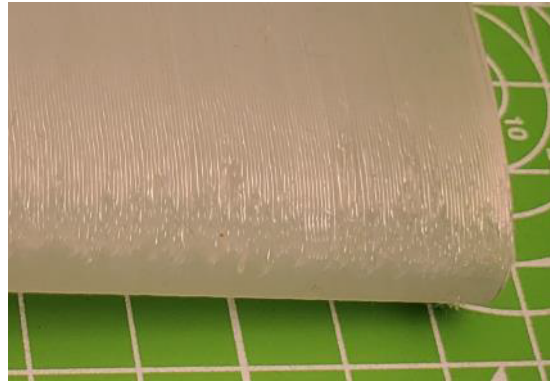


Abbildung 50: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm)_#3

Da diese Testbauteile zwar aus verschiedenen Materialien gefertigt wurden, das Herstellungsverfahren jedoch maschinell (mittels 3D-Drucker) erfolgte, sind die qualitativen Unterschiede größtenteils auf die unterschiedlichen Materialien und deren spezifischen Verarbeitungsbedingungen zurückzuführen.

- Die Basis der Bauteile sind gewölbt (umgangssprachlich "Warping" genannt). Dies ist auf das Abkühlungsverhalten der Kunststoffe zurückzuführen und hat auf die weiterführenden Tests jedoch kaum Einfluss.
- Die Oberfläche beider Testbauteile, weisen sogenannten Nähte auf. Dies sind Bereiche, an denen der Start- und Endpunkt jedes Layers aufeinandertreffen. Liegen diese einzelnen Nahtstellen alle übereinander, zieht sich eine "Naht" über die Oberfläche des Bauteils was mit relativ groben Unebenheiten verbunden ist.
- Aufgrund der thermoplastischen Eigenschaften der Kunststoffe, sowie die für die Verarbeitung von PA6 und PP notwendigen Temperaturbereiche (185°C-240°C), neigen diese Materialien, besonders jedoch das PA6 zu "Stringing". Dabei tritt, nachdem die jeweilige Schicht fertig extrudiert wurde, weiterhin etwas Material aus der Druckdüse aus und zieht einen dünnen Faden, welcher beim Abkühlen am Nahtpunkt des Layers zurückbleibt. Werden diese feinen Fäden nicht entfernt (so wie bei unseren Bauteilen), verursachen diese beim Folieren/Lackieren Unebenheiten.

4 Die beschichteten Testbauteile

Von den insgesamt 68 Stück, an der HS-Mittweida gefertigten Bauteilen, wurden 45 Stück zur Folierung bzw. Lackierung weitergegeben. Die restlichen 23 Stück sind Reservebauteile, welche bei Bedarf verwendet werden können.

Von diesen 45 Stück, welche für die Weiterverarbeitung herangezogen werden, wurden 25 Stück an eine auf Auto-Folierungen spezialisierte Firma und 20 Stück an eine auf Auto-Lackierungen spezialisierte Firma zur Nachbearbeitung weitergegeben.

4.1 Die folierten Testbauteile

Die Folierung der Bauteile erfolgte durch die in Österreich ansässige Firma "A.F.C. Car Styling Center" mit Sitz in Graz.

Unter mehreren Firmen (WrapStyle Graz, FG Folierungs GmbH, Derler-Folierungstechnik OG), welche zwar über die notwendigen Erfahrungen im Bereich der Folierung von Autoteilen besitzen, jedoch keinerlei Erfahrung im Umgang mit additiv gefertigten Bauteilen haben, war "A.F.C. Car Styling Center" als einzige bereit, sich dieser Herausforderung zu stellen.

Das Folieren von additiv gefertigten Bauteilen ist ein relativ unerprobtes Verfahren, mit kaum vorhandenen Referenzen.

Neben den möglichen Vorteilen wie der Oberflächenverschönerung und/oder der Verbesserung von mechanischen Eigenschaften durch die Verwendung von Folien, stellt jedoch das Folierverfahren, in Kombination mit der groben Oberfläche von additiv gefertigten Bauteilen, eine ganz eigene Herausforderungen dar.

Das größte Problem hierbei ist, dass für die Applikation von Folien auf Bauteilen, eine möglichst glatte Oberfläche benötigt wird. Je mehr Unebenheiten vorhanden sind, desto weniger Haftgrund wird der Folie geboten.

Um diesem Thema zu begegnen, werden zwei verschiedene Folientypen/Folienstärken getestet:

-
- 3M™ Wrap Folie Serie 2080, 110µm, weiß Gloss.
Die 110µm Folie wurde gewählt, da sich die dünnere Folie voraussichtlich besser um Ecken, Kanten und andere geometrische Unebenheiten anbringen lässt und so einen besseren Haftgrund bietet. Nachteil ist jedoch, dass durch die geringe Stärke, Unebenheiten des Bauteils weniger gut kaschiert werden.
Siehe Datenblatt¹³
 - Hexis CARPRO300, 300µm, weiß Gloss
Diese 300µm starke Folie wurde gewählt, um besonders gut Unebenheiten der Bauteiloberflächen auszugleichen und so ein optisch ansprechenderes Ergebnis zu erhalten. Aufgrund der Stärke der Folie und der damit verbundenen Starrheit, ist eine Haftung an den Geometrien jedoch nicht garantiert.
Siehe Datenblatt¹⁴
 - Zusätzlich wurden bei einigen Bauteilen als Versuch beide Folien aufgebracht.
Als erste Schicht die 110µm dünne Folie um einen verbesserten Haftgrund zu erhalten und als zweite Schicht die dickere 300µm Folie um darunter liegende Unebenheiten zu kaschieren.

In der folgenden Tabelle sind alle Bauteile aufgeführt, welche mittels Folie nachveredelt wurden.

Anmerkung: es wurden zusätzlich zwei Stück Aluminiumbleche mit jeweils einer der beiden Folientypen foliert. Diese wurden jedoch für die weiterführenden Tests nicht verwendet.

¹³ <https://multimedia.3m.com/mws/media/1733396O/product-bulletin-2080-series.pdf> (zuletzt geöffnet am 18.12.23)

¹⁴ https://hexis-graphics.com/documents/fichestechnique/document_de/fps_carpro300 FTP_allemand.pdf (zuletzt geöffnet am 18.12.23)

Testbauteile für Folierung			
Beschichtung	Stück	Bauteil	Material
Hexis CARPRO300 (300µm)	1	1_Allgemeines Muster_UD Tape_1	PA6 Carbon
	1	1_Allgemeines Muster_UD Tape_1	PP Flax
	1	2_Allgemeines Muster_UD Tape_2	PP Flax
	1	2_Allgemeines Muster_UD Tape_2	PA6 Carbon
	1	3_Allgemeines Muster_FFF_Quader	PA 0,4
	1	3_Allgemeines Muster_FFF_Quader	PP 0,4
	1	4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder	PA 0,4
	1	4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder	PP 0,4
	1	5_Allgemeines Muster_FFF_Elipse	PA 0,4
	1	5_Allgemeines Muster_FFF_Elipse	PP 0,4
	1	Blech	Aluminium
3M Wrap Folie Serie 2080 (110µm)	1	1_Allgemeines Muster_UD Tape_1	PA6 Carbon
	1	1_Allgemeines Muster_UD Tape_1	PP Flax
	1	2_Allgemeines Muster_UD Tape_2	PA6 Carbon
	1	2_Allgemeines Muster_UD Tape_2	PP Flax
	1	3_Allgemeines Muster_FFF_Quader	PA 0,4
	1	3_Allgemeines Muster_FFF_Quader	PP 0,4
	1	4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder	PA 0,4
	1	4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder	PP 0,4
	1	5_Allgemeines Muster_FFF_Elipse	PA 0,4
	1	5_Allgemeines Muster_FFF_Elipse	PP 0,4
	1	Blech	Aluminium
Hexis & 3M	1	1_Allgemeines Muster_UD Tape_1	PP Flax
	1	2_Allgemeines Muster_UD Tape_2	PP Flax
	1	3_Allgemeines Muster_FFF_Quader	PP 0,4
	1	4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder	PP 0,4
	1	5_Allgemeines Muster_FFF_Elipse	PP 0,4

Tabelle 2: Testbauteile für Folierung

4.1.1 Die Ergebnisse der Folierung

Im Folgenden sind einige Ergebnisse der folierten Bauteile zu sehen, bei Anfrage werden gerne Bilder aller Testbauteile zur Verfügung gestellt.

Um einen besseren Überblick über die Folien und deren Eigenschaft, Unebenheiten der Bauteiloberflächen auszugleichen zu erhalten, sind stets das Bauteil unfoliert und foliert nebeneinander/untereinander dargestellt:

4.1.1.1 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in MCP1223 PA6 CF mit Hexis CAR-PRO300 (300µm)



Abbildung 51: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in MCP1223 PA6 CF #1



Abbildung 52: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in MCP1223 PA6 CF mit Hexis CARPRO300 (300µm) #1



Abbildung 53: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in MCP1223 PA6 CF #2

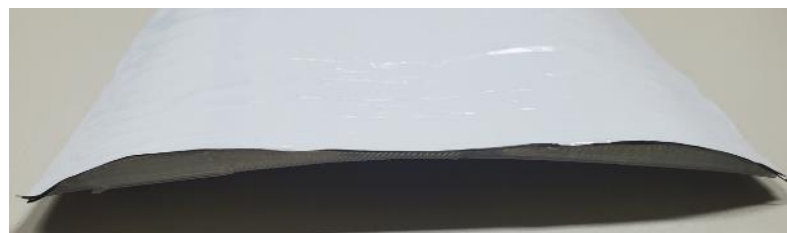


Abbildung 54: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in MCP1223 PA6 CF mit Hexis CARPRO300 (300µm) #2



Abbildung 55: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in
MCP1223 PA6 CF_#3



Abbildung 56: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in
MCP1223 PA6 CF mit Hexis CARPRO300
(300µm)_#3

- Wie auf den Bildern zu erkennen ist, sind auch nach dem Folieren mit der 300µm starken Folie, die Unebenheiten des Testbauteils weiterhin gut zu erkennen.
- Durch den Gloss-Effekt der Folie, kommen die Unebenheiten im Bauteil noch stärker zum Vorschein, hier wäre eventuell eine matte Folierung von Vorteil.
- Die Folie selbst ließ sich nach Angaben des Folierers gut auf das UD-Tape auftragen, die Haftung sieht vielversprechend aus (hier lösungsmittelbasierender Acrylatkleber auf der PA6 Oberfläche mit Carbonfasern).
- Ein Umklappen der Folie an den Rändern wurde versucht, hat jedoch aufgrund der Überhänge des UD-Tapes an den Bauteilrändern selbst, keine verwertbaren Ergebnisse geliefert. Eine 90° Kante kann mittels dieser Folie nicht realisiert werden.
- Aus demselben Grund wurden die kleinen Löcher an den Ecken des Bauteils (gedacht für etwaige Montageoptionen für die anschließenden Tests), einfach überklebt.

4.1.1.2 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax 50 mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm)

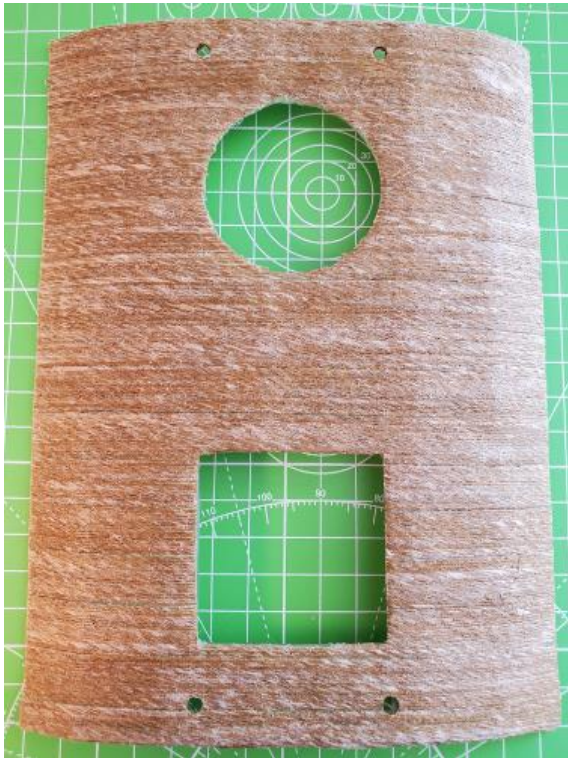


Abbildung 57: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax 50_#1

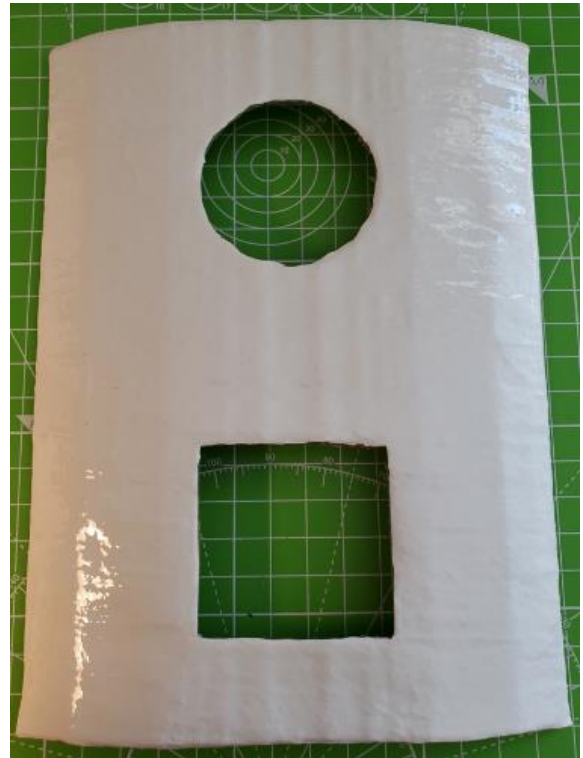


Abbildung 58: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax 50 mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_#1



Abbildung 59: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax 50_#2

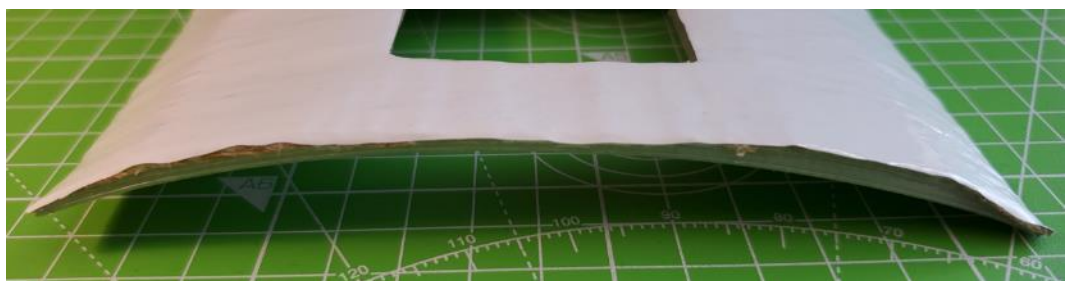


Abbildung 60: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax 50 mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_#2

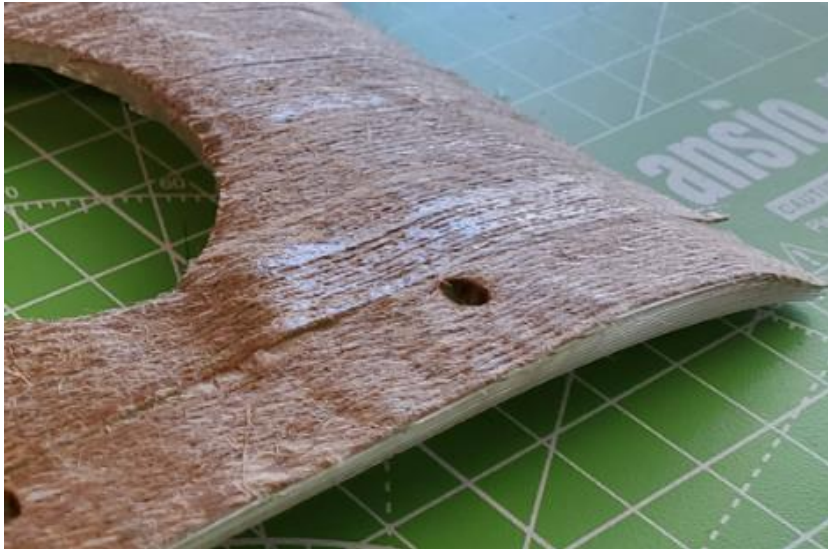


Abbildung 61: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax 50_#3

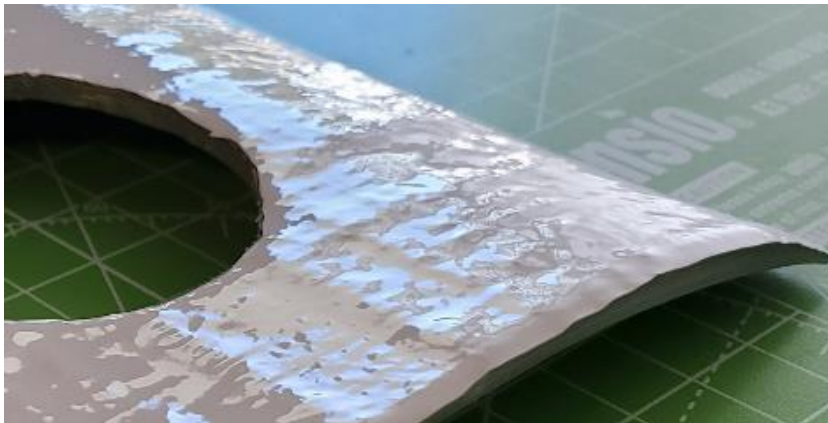


Abbildung 62: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax 50 mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm) _#3

- Wie auf den Bildern zu erkennen ist, sind nach dem Folieren mit der 110µm dünnen Folie, die Unebenheiten des Testbauteils weiterhin gut zu erkennen.
- Durch den Gloss-Effekt der Folie, kommen die Unebenheiten im Bauteil noch stärker zum Vorschein, hier wäre eventuell eine matte Folierung von Vorteil.
- Die Folie selbst ließ sich nach Angaben des Folierers gut auf das UD-Tape auftragen, die Haftung, selbst mit den losen Flachsfäden, sieht vielversprechend aus (hier Acrylatklebstoff auf der PP Oberfläche mit Flachsfasern).
- Ein Umklappen der Folie an den Rändern wurde versucht, hat jedoch aufgrund der Überhänge des UD-Tapes an den Bauteilrändern selbst, keine verwertbaren Ergebnisse geliefert. Eine 90° Kante kann mittels dieser Folie nicht realisiert werden.
- Aus demselben Grund wurden die kleinen Löcher an den Ecken des Bauteils (gedacht für etwaige Montageoptionen für die anschließenden Tests), einfach überklebt.

4.1.1.3 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax 50 mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm) und Hexis CARPRO300 (300µm)

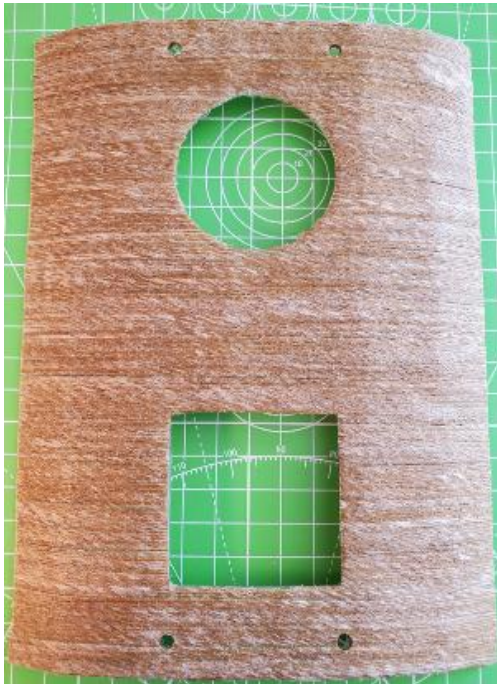


Abbildung 63: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax 50_#1



Abbildung 64: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax 50 mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm) und Hexis CARPRO300 (300µm)_#1



Abbildung 65: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax 50_#2

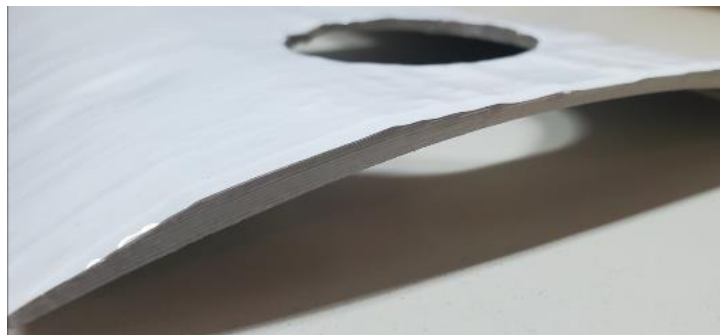


Abbildung 66: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax 50 mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm) und Hexis CARPRO300 (300µm)_#2



Abbildung 67: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax 50_#3



Abbildung 68: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax 50 mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm) und Hexis CARPRO300 (300µm)_#3

- Wie auf den Bildern zu erkennen ist, sind nach dem Folieren mit der 110µm dünnen Folie and der darauffolgenden zusätzlichen Schicht mit der 300µm starken Folie, die Unebenheiten des Testbauteils weiterhin zu erkennen. Der optische Vergleich mit Bauteilen, welche nur mit der 300µm starken Folie veredelt worden sind, zeigt jedoch, dass diese Unebenheiten weniger markant zu erkennen sind.
- Durch den Gloss-Effekt der Folie, kommen die verbleibenden Unebenheiten im Bauteil noch stärker zum Vorschein. Hier wäre als zweite Schicht, eine matte Folierung von Vorteil.
- Die Folie selbst ließ sich nach Angaben des Folierers gut auf das UD-Tape auftragen, die Haftung, selbst mit den losen Flachsfäden, sieht vielversprechend aus (hier Acrylatklebstoff auf der PP Oberfläche mit Flachsfasern).
- Das Aufbringen der zweiten Folie war ebenfalls problemlos möglich (hier Acrylatklebstoff auf der PVC der 3m Folie).
- Ein Umklappen der Folie an den Rändern wurde versucht, hat jedoch aufgrund der Überhänge des UD-Tapes an den Bauteilrändern selbst, keine verwertbaren Ergebnisse geliefert. Eine 90° Kante kann mittels dieser Folie nicht realisiert werden.
- Aus demselben Grund wurden die kleinen Löcher an den Ecken des Bauteils (gedacht für etwaige Montageoptionen für die anschließenden Tests), einfach überklebt.

4.1.1.4 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA6 (0,4mm) mit Hexis CARPRO300 (300µm)



Abbildung 69: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA6 (0,4mm) _#1



Abbildung 70: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA6 (0,4mm) mit Hexis CARPRO300 (300µm) _#1

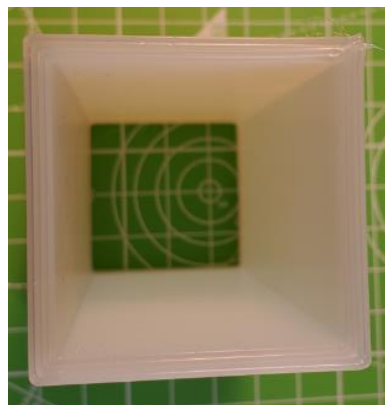


Abbildung 71: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA6 (0,4mm) _#2



Abbildung 72: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA6 (0,4mm) mit Hexis CARPRO300 (300µm) _#2



Abbildung 73: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA6 (0,4mm)_#3



Abbildung 74: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA6 (0,4mm) mit Hexis CARPRO300 (300µm)_#3

- Wie auf den Bildern zu erkennen ist, sind auch nach dem Folieren mit der 300µm starken Folie, die Unebenheiten des Testbauteils weiterhin gut zu erkennen.
- Durch den Gloss-Effekt der Folie, kommen die Unebenheiten im Bauteil noch stärker zum Vorschein, hier wäre eventuell eine matte Folierung von Vorteil.
- Die Folie selbst ließ sich nach Angaben des Folierers gut auf das UD-Tape auftragen, was eine Haftung über Zeit angeht, kann noch nichts genaueres gesagt werden (hier lösungsmittelbasierender Acrylatkleber auf der PA6 Oberfläche, 0.4mm). Die Herausforderung hier liegt vor allem am Schichtaufbau, bedingt durch das FFF-Verfahren, durch welches zwischen den einzelnen Schichten, keine Haftung der Folie auf dem Bauteil erfolgt.
- Weiters findet an den Nähten des Bauteils kaum oder gar keine Haftung der Folie statt.
- Durch die scharfe Kante zwischen der Basis und dem Quader, muss dort ein eigenes zugeschnittenes Folienstück verwendet werden. Da der Folier-Prozess daraus besteht, die Folie über das Bauteil zu spannen, kann ein solch komplex Folienstück nicht sauber aufgebracht werden. Auch die Haftung ist auf diesem Teilstück kaum vorhanden. Deshalb wurde nur bei diesem Quader-Bauteilen an der Basis ein Folienstück angebracht.

4.1.1.5 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,4mm) mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm) und Hexis CARPRO300 (300µm)



Abbildung 75: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,4mm)_#1



Abbildung 76: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,4mm) mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm) und Hexis CARPRO300 (300µm)_#1

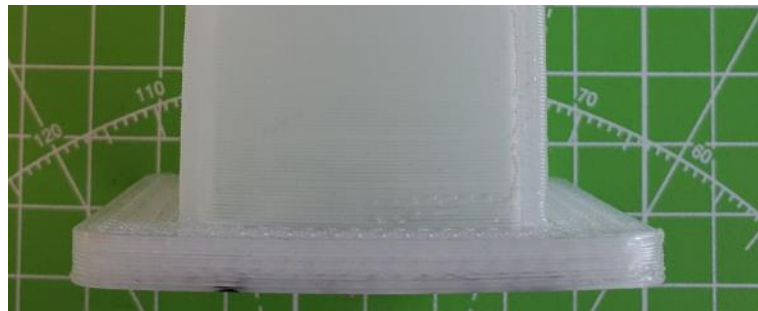


Abbildung 77: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,4mm)_#2



Abbildung 78: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,4mm) mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm) und Hexis CARPRO300 (300µm)_#2

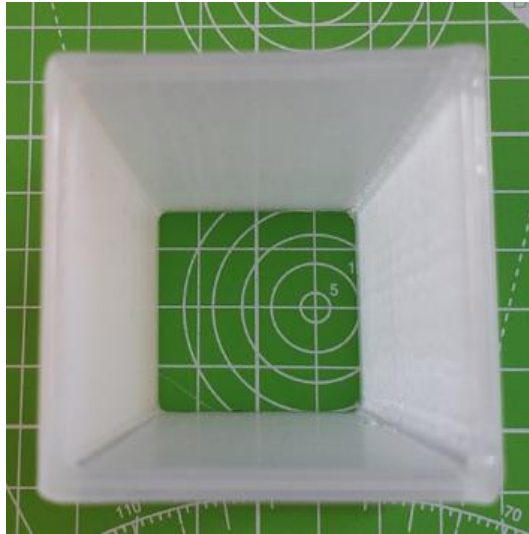


Abbildung 79: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,4mm)_#3



Abbildung 80: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,4mm) mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm) und Hexis CARPRO300 (300µm)_#3

- Wie auf den Bildern zu erkennen ist, sind nach dem Folieren mit der 110µm dünnen Folie und der darauffolgenden zusätzlichen Schicht mit der 300µm starken Folie, die Unebenheiten des Testbauteils weiterhin zu erkennen. Der optische Vergleich mit Bauteilen, welche nur mit der 300µm starken Folie veredelt worden sind, zeigt jedoch, dass diese Unebenheiten weniger markant zu erkennen sind.
- Durch den Gloss-Effekt der Folie, kommen die verbleibenden Unebenheiten im Bauteil noch stärker zum Vorschein. Hier wäre als zweite Schicht, eine matte Folierung von Vorteil.
- Die Folie selbst ließ sich nach Angaben des Folierers gut auf das UD-Tape auftragen, die Haftung, selbst mit den losen Flachsfäden, sieht vielversprechend aus (hier Acrylatklebstoff auf der PP Oberfläche mit Flachsfasern).
- Das Aufbringen der zweiten Folie war ebenfalls problemlos möglich (hier Acrylatklebstoff auf der PVC der 3m Folie).

4.1.1.6 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,4mm) mit Hexis CARPRO300 (300µm)



Abbildung 81: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,4mm)_#1



Abbildung 82: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,4mm) mit Hexis CARPRO300 (300µm)_#1



Abbildung 83: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,4mm)_#2

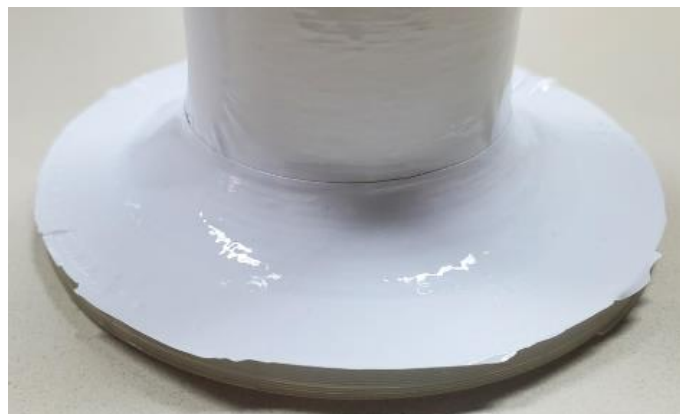


Abbildung 84: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,4mm) mit Hexis CARPRO300 (300µm)_#2



Abbildung 85: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,4mm)_#3

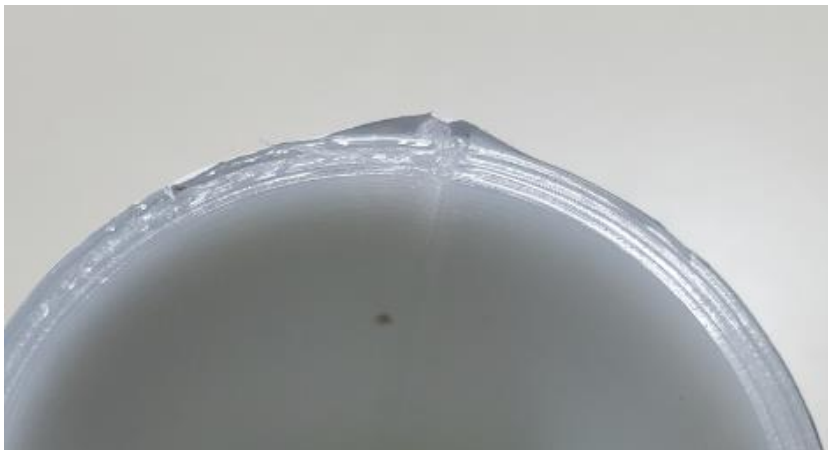


Abbildung 86: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,4mm) mit Hexis CARPRO300 (300µm)_#3

- Wie auf den Bildern zu erkennen ist, sind auch nach dem Folieren mit der 300µm starken Folie, die Unebenheiten des Testbauteils weiterhin gut zu erkennen.
- Durch den Gloss-Effekt der Folie, kommen die Unebenheiten im Bauteil noch stärker zum Vorschein, hier wäre eventuell eine matte Folierung von Vorteil.
- Die Folie selbst ließ sich nach Angaben des Folierers gut auf das UD-Tape auftragen, was eine Haftung über Zeit angeht, kann noch nichts genaueres gesagt werden (hier lösungsmittelbasierender Acrylatkleber auf der PA6 Oberfläche, 0.4mm). Die Herausforderung hier liegt vor allem am Schichtaufbau, bedingt durch das FFF-Verfahren, durch welches zwischen den einzelnen Schichten, keine Haftung der Folie auf dem Bauteil erfolgt.
- Weiters findet an den Nähten des Bauteils sowie am Übergang zwischen der Basis und dem Zylinder kaum oder gar keine Haftung der Folie statt.

4.1.1.7 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm)_mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm)

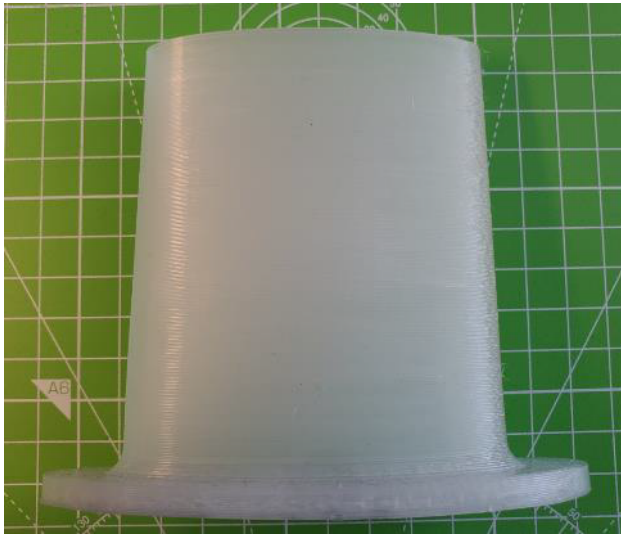


Abbildung 87: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm)_#1



Abbildung 88: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm)_mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_#1



Abbildung 89: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm)_#1



Abbildung 90: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm)_mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_#2

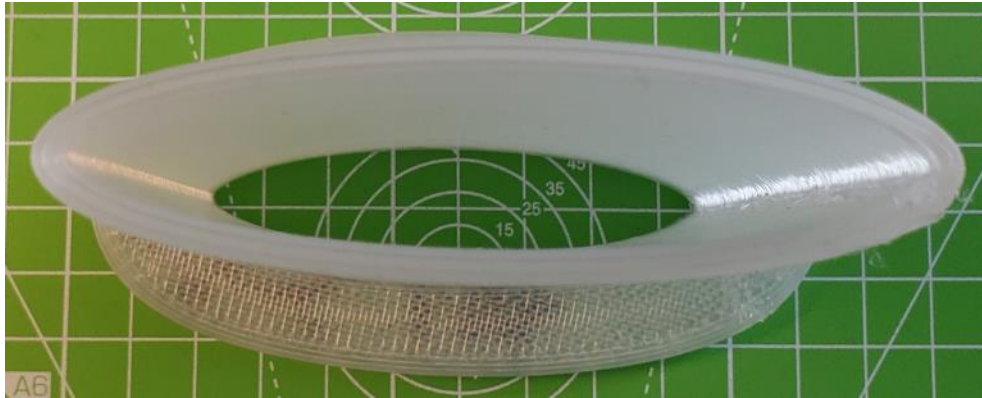


Abbildung 91: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm)_#3



Abbildung 92: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm)_mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_#3

- Wie auf den Bildern zu erkennen ist, sind nach dem Folieren mit der 110µm dünnen Folie, die Unebenheiten des Testbauteils weiterhin gut zu erkennen.
- Durch den Gloss-Effekt der Folie, kommen die Unebenheiten im Bauteil noch stärker zum Vorschein, hier wäre eventuell eine matte Folierung von Vorteil.
- Die Folie selbst ließ sich nach Angaben des Folierers gut auf das UD-Tape auftragen, was eine Haftung über Zeit angeht, kann noch nichts genaueres gesagt werden (hier Acrylatklebstoff auf der PP Oberfläche, 0.4mm).
Die Herausforderung hier liegt vor allem am Schichtaufbau, bedingt durch das FFF-Verfahren, durch welches zwischen den einzelnen Schichten, keine Haftung der Folie auf dem Bauteil erfolgt.
- Durch den relativ scharfen Übergang zwischen der Basis und der Ellipse, muss dort ein eigens zugeschnittenes Folienstück verwendet werden. Da der Folier-Prozess daraus besteht, die Folie über das Bauteil zu spannen, kann ein solch komplex Folienstück nicht sauber aufgebracht werden. Auch die Haftung ist auf diesem Teilstück kaum vorhanden.

4.2 Die lackierten Testbauteile

Neben der Folierung, wurden auch einige Bauteile mittels Lackierung veredelt.

Nach einigen Rücksprachen ist dies von der Firma "Walter Lackierungen" in Mittweida übernommen worden.

Neben dem Interesse, welches die Firma "Walter Lackierungen" an der Möglichkeit gezeigt hat, additiv gefertigte Bauteile zu lackieren, haben Sie auch bereits erste Erfahrungen mit FFF-Bauteilen, für die Automobilindustrie gesammelt.

Auch hier wurden alle Bauteile, vor dem Lackiervorgang nicht nachbehandelt, um die Einsatzgrenzen des Lackierverfahrens auf den groben Oberflächen herauszufinden.

Es wurden für die Beschichtung zwei verschiedene Lacke verwendet:

- Lechler LECHSYS LS155 (29155) ACRITOP, weiß
Dieser 2K-Acryldecklack besteht in unserem Fall aus dem Lack mit einem Härter und wird unter aufgrund seiner guten mechanischen Schutzeigenschaften anderem für gewerbliche Fahrzeuge verwendet.
Die fertige Beschichtung besteht aus drei Lagen zu je 50µm Schichtstärke.
Siehe Datenblatt¹⁵
- Upol RAPTOR, schwarz (konventionell)
Dieser 2K-Polyurethanlack besteht aus dem Lack mit einem Härter und wird wegen seinen ausgezeichneten Schutzeigenschaften besonders für Offroad-Anwendungen verwendet.
Die fertige Beschichtung besteht aus zwei Schichten, einmal mit einer Stärke von 230µm und die zweite Schicht mit einer Stärke von 475µm.
Siehe Datenblatt¹⁶

Das Lackieren als Veredelungsmethode für, mittels FFF-Verfahren gefertigte Bauteile, ist an sich, kein neues Verfahren, allerdings lassen sich kaum Erfahrungen für Bauteile, welche mittels UD-Tape-Legen hergestellt worden sind, finden.

Weiters liegt hier die Besonderheit, für Bauteile gefertigt mittels beider Verfahren, dass keinerlei Nachbearbeitung der Bauteile vor der Veredelung stattgefunden hat.

Nach Rücksprache mit Herrn Walter (Besitzer von Walter Lackierungen), wurden die von ihm gesammelten Erfahrungen mit nachbearbeiteten Bauteilen gemacht.

In der folgenden Tabelle sind alle Bauteile aufgeführt, welche mittels Folie nachveredelt wurden:

¹⁵ https://portal.lechler.eu/DesktopModules/Bring2mind/DMX/Download.aspx?Command=Core_Download&EntryId=41122 (zuletzt geöffnet am 18.12.23)

¹⁶ <https://raptorcoatings.com/wp-content/uploads/RLT-TDS-GER.pdf> (zuletzt geöffnet am 18.12.23)

Testbauteile für Lackierung			
Beschichtung	Stück	Bauteil	Material
LECHSYS LS155, weiß	3	1_Allgemeines Muster_UD Tape_1	PA6 Carbon
	1	2_Allgemeines Muster_UD Tape_2	PP Flax
	2	2_Allgemeines Muster_UD Tape_2	PA6 Carbon
	1	3_Allgemeines Muster_FFF_Quader	PA 0,4
	1	3_Allgemeines Muster_FFF_Quader	PA 0,6
	1	3_Allgemeines Muster_FFF_Quader	PP 0,4
	1	4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder	PP 0,4
	1	4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder	PP 0,6
	1	4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder	PA 0,6
	1	5_Allgemeines Muster_FFF_Elipse	PA 0,4
	1	5_Allgemeines Muster_FFF_Elipse	PA 0,6
	1	5_Allgemeines Muster_FFF_Elipse	PP 0,6
Upol RAPTOR, schwarz	1	1_Allgemeines Muster_UD Tape_1	PP Flax
	1	2_Allgemeines Muster_UD Tape_2	PA6 Carbon
	1	3_Allgemeines Muster_FFF_Quader	PP 0,6
	1	4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder	PA 0,4
	1	5_Allgemeines Muster_FFF_Elipse	PP 0,4

Tabelle 3: Testbauteile für Lackierung

4.2.1 Die Ergebnisse der Lackierung

Im Folgenden sind einige Ergebnisse der lackierten Bauteile zu sehen.

Da die für die Lackierung vorgesehenen Bauteile, direkt von der HS Mittweida von der Firma "Walter Lackierungen" abgeholt worden sind, sind leider nur sehr wenige Fotos der Rohrbauteile vorhanden.

Wo es jedoch möglich war, sind um einen besseren Überblick über die Lackierung und deren Eigenschaft, Unebenheiten der Bauteiloberflächen auszugleichen zu erhalten, das Bauteil im Rohzustand und lackiert nebeneinander/untereinander dargestellt. Unten angeführt sind einige dieser Testbauteile angeführt, bei Bedarf werden Fotos aller Bauteile gerne zur Verfügung gestellt.

4.2.1.1 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in MCP1223 PA6 CF mit LECHSYS LS155, weiß

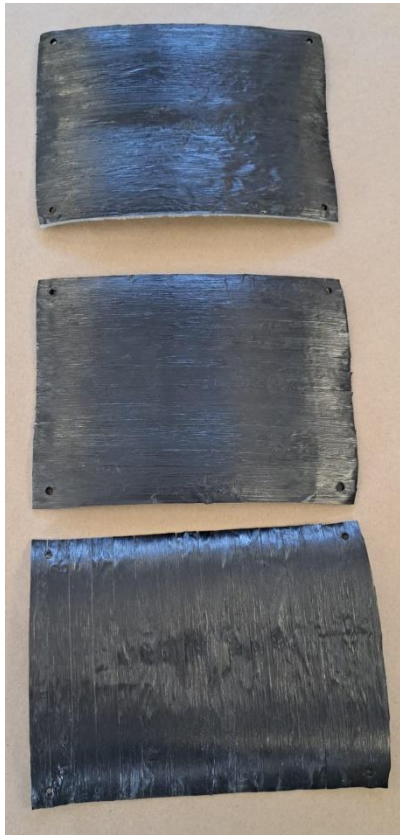


Abbildung 93: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in MCP1223 PA6 CF_#1



Abbildung 94: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in MCP1223 PA6 CF mit LECHSYS LS155, weiß_#1



Abbildung 95: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in MCP1223 PA6 CF mit LECHSYS LS155, weiß_#2

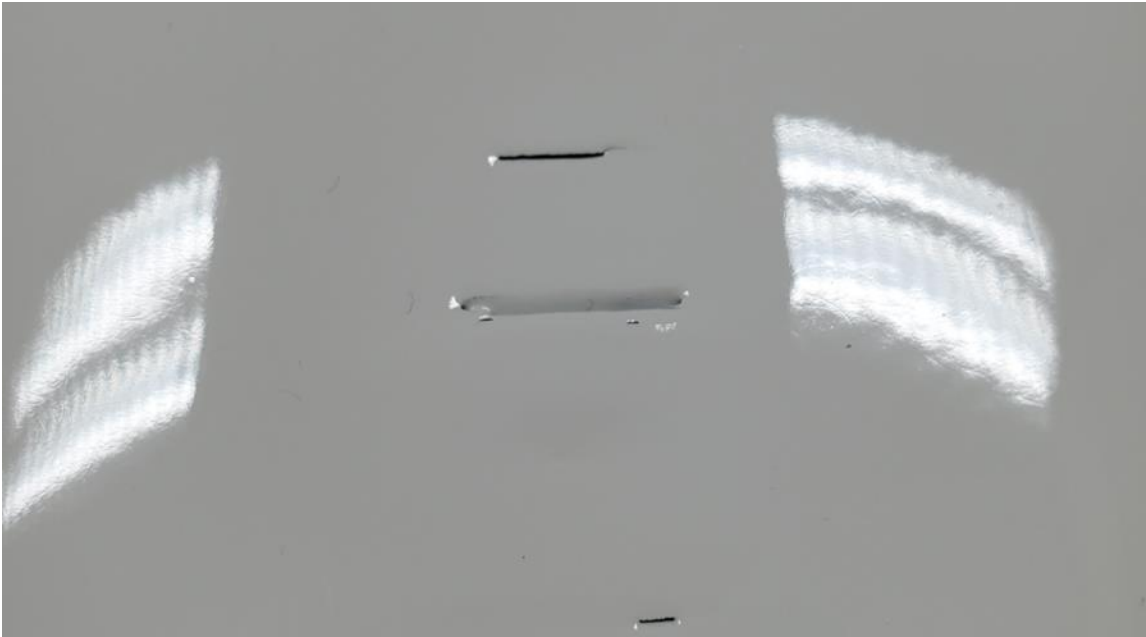


Abbildung 96: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in MCP1223 PA6 CF mit LECHSYS LS155, weiß_#3

- Wie auf den Bildern zu erkennen ist, sind die Unebenheiten der Oberfläche größtenteils nicht mehr wahrnehmbar. Im Gegensatz zu den folierten Bauteilen zeigen die Lichtreflexionen eine bei weitem glattere Oberfläche.
- Vergleichbar mit den Oberflächen von lackierten Bauteilen, welche in der Automobilindustrie verwendet werden, sind unsere Testbauteile jedoch nicht.
- Durch den Gloss-Effekt des Lacks, kommen die verbleibenden Unebenheiten im Bauteil noch stärker zum Vorschein.
Hier wäre eventuell ein matter Lack besser, um die verbleibenden Unebenheiten zu kaschieren.
- Der Lack scheint, trotz nicht vorhandener Grundierung, relativ gut auf der PA6 Oberfläche zu halten. Was die Haftung über Zeit betrifft, kann noch keine Aussage getätigt werden.
- Bei diesem speziellen Testbauteil sind in der Mitte der Fläche, Bereiche vorhanden, bei denen das UD UD-Tape von der Oberfläche losgelöst und einen Hohlraum gebildet hat. Durch das Nachtropfverhalten des Lacks, ist daraufhin dieser dort eingesickert und hat diese Fehlstellen geschaffen.

4.2.1.2 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax 50 mit Raptor, schwarz



Abbildung 97: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax 50_#1



Abbildung 98: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax 50 mit Raptor, schwarz_#1

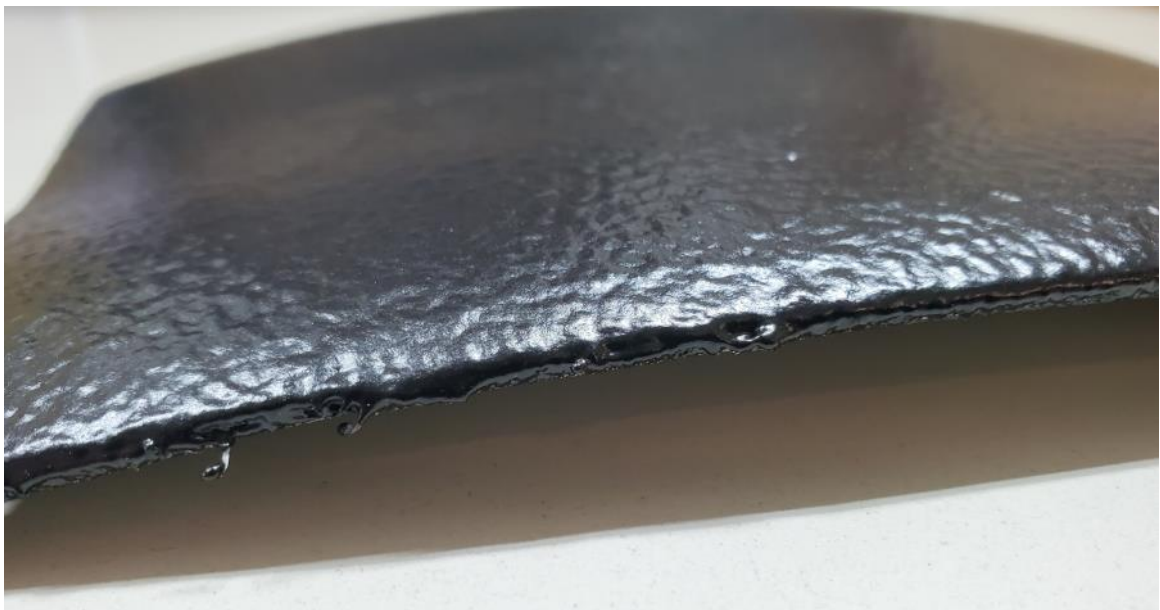


Abbildung 99: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax 50 mit Raptor, schwarz_#2

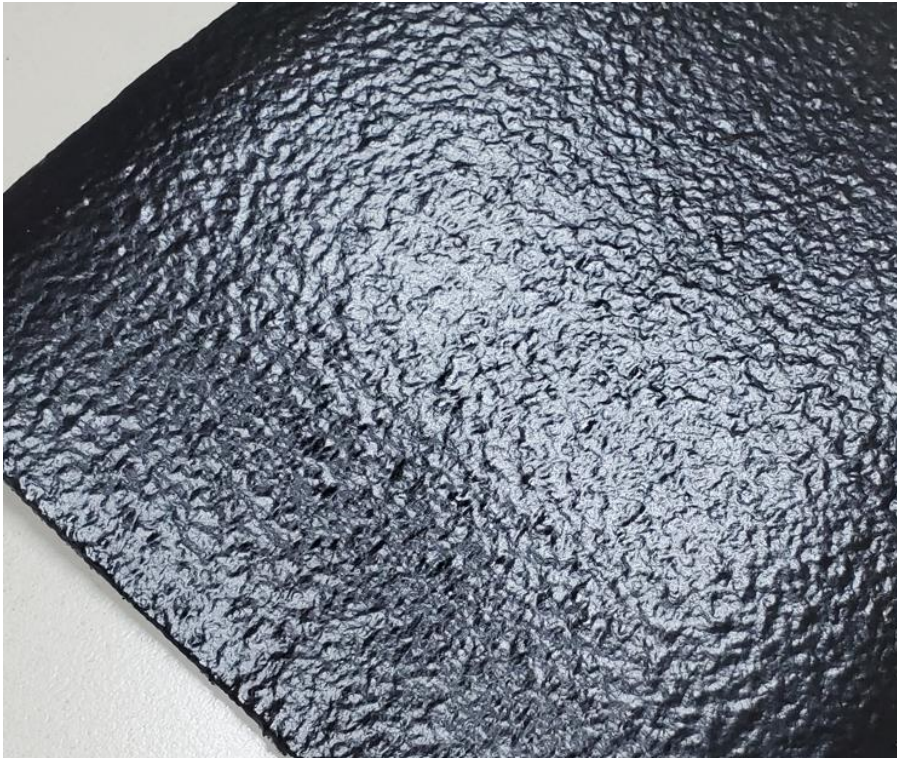


Abbildung 100: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax 50 mit Raptor, schwarz _#3

- Wie auf den Bildern zu erkennen ist, sind aufgrund der orangenhaut-artigen Lackoberfläche die Unebenheiten der Bauteiloberfläche nicht mehr wahrnehmbar.
 - Der Lack scheint, trotz nicht vorhandener Grundierung, relativ gut auf der PA6 Oberfläche zu halten. Was die Haftung über Zeit betrifft, kann noch keine Aussage getätigt werden.
 - Auch an den schmalen Seitenflächen sind die Fehlstellen, entstanden durch das UD-Tape-Legen, nicht mehr zu erkennen.
 - Eine glatte Oberfläche kann mit diesem Lack nicht erzielt werden, weswegen dieser besonders für Offroad-Anwendungen verwendet wird.
- Auch wenn diese Art der Oberfläche für viele Bauteile in der Mikromobilität vermutlich nicht verwendet werden kann, so kann dieser Lack für bestimmte (z.B. Kotflügel, Schweller, usw.) in Betracht gezogen werden.

4.2.1.3 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax 50 mit LECHSYS LS155, weiß

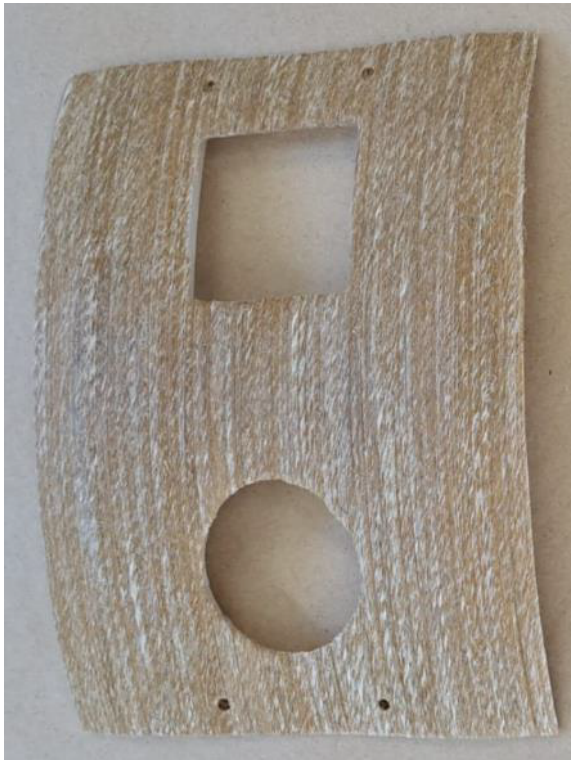


Abbildung 101: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax 50



Abbildung 102: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax 50 mit LECHSYS LS155, weiß #1



Abbildung 103: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax 50 mit LECHSYS LS155, weiß #2

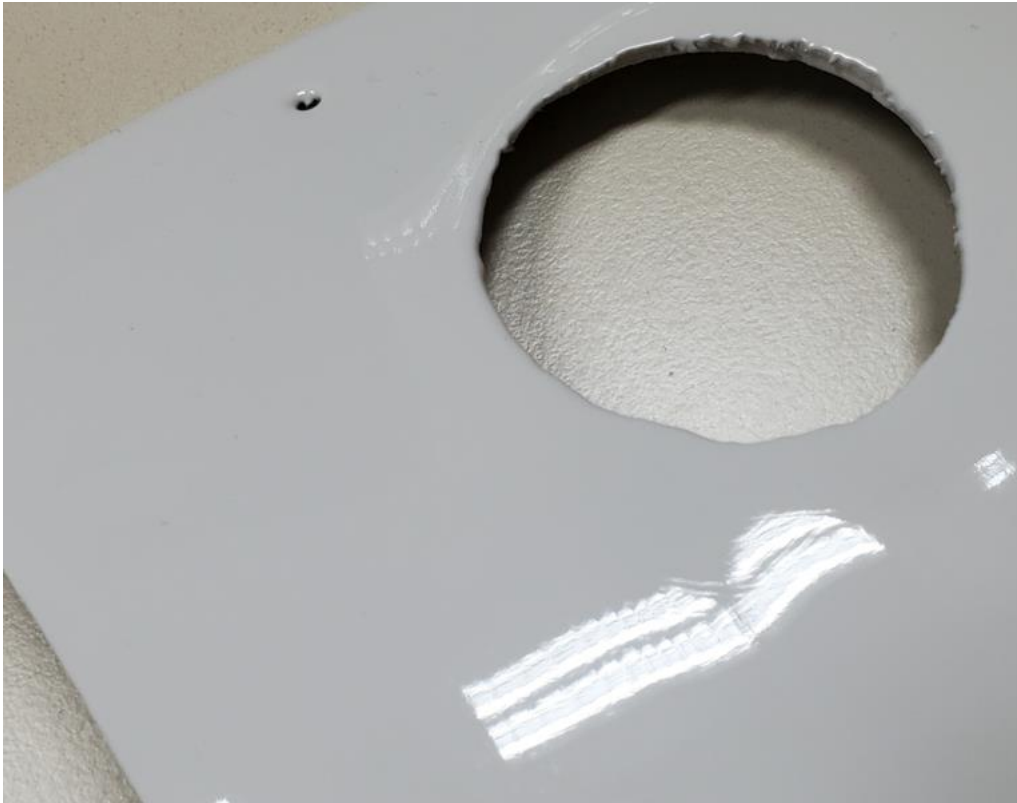


Abbildung 104: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax 50 mit LECHSYS LS155, weiß_#3

- Wie auf den Bildern zu erkennen ist, sind die Unebenheiten der Oberfläche größtenteils nicht mehr wahrnehmbar. Im Gegensatz zu den folierten Bauteilen zeigen die Lichtreflexionen eine bei weitem glattere Oberfläche.
- Vergleichbar mit den Oberflächen von lackierten Bauteilen, welche in der Automobilindustrie verwendet werden, sind unsere Testbauteile jedoch nicht.
- Durch den Gloss-Effekt des Lacks, kommen die verbleibenden Unebenheiten im Bauteil noch stärker zum Vorschein.
Hier wäre eventuell ein matter Lack besser, um die verbleibenden Unebenheiten zu kaschieren.
- Der Lack scheint, trotz nicht vorhandener Grundierung, relativ gut auf der PP-Flachsfaser Oberfläche zu halten. Was die Haftung über Zeit betrifft, kann noch keine Aussage getätigt werden.

4.2.1.4 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA6 (0,6mm) mit LECHSYS LS155, weiß



Abbildung 105: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA6 (0,6mm)_#1



Abbildung 106: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA6 (0,6mm) mit LECHSYS LS155, weiß_#1



Abbildung 107: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA6 (0,6mm) mit LECHSYS LS155, weiß_#2



Abbildung 108: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA6 (0,6mm) mit LECHSYS LS155, weiß_#3

- Wie auf den Bildern zu erkennen ist, sind die Unebenheiten der Oberfläche (trotz einer Layerhöhe von 0,6mm) größtenteils nicht mehr wahrnehmbar. Im Gegensatz zu den folierten Bauteilen zeigen die Lichtreflexionen eine bei weitem glattere Oberfläche.
- Vergleichbar mit den Oberflächen von lackierten Bauteilen, welche in der Automobilindustrie verwendet werden, sind unsere Testbauteile jedoch nicht.
- Durch den Gloss-Effekt des Lacks, kommen die verbleibenden Unebenheiten im Bauteil noch stärker zum Vorschein.
Hier wäre eventuell ein matter Lack besser, um die verbleibenden Unebenheiten zu kaschieren.
- Der Lack scheint, trotz nicht vorhandener Grundierung, relativ gut auf der PA6-Oberfläche zu halten. Was die Haftung über Zeit betrifft, kann noch keine Aussage getätigt werden.
- Die scharfen Kanten des Bauteils werden durch die Lackschicht stark abgerundet (besonders gut beim letzten Bild ersichtlich).
Dies kann je nach Anwendungsfall von Vorteil oder Nachteil sein.

4.2.1.5 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,6mm) mit Raptor, schwarz

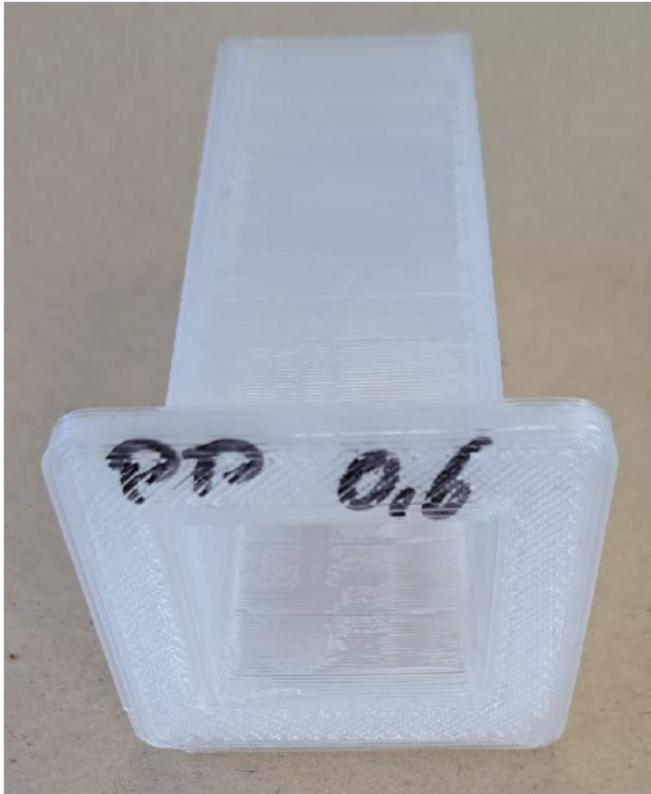


Abbildung 109: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,6mm)_#1



Abbildung 110: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,6mm) mit Raptor, schwarz_#1



Abbildung 111: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,6mm) mit Raptor, schwarz_#2

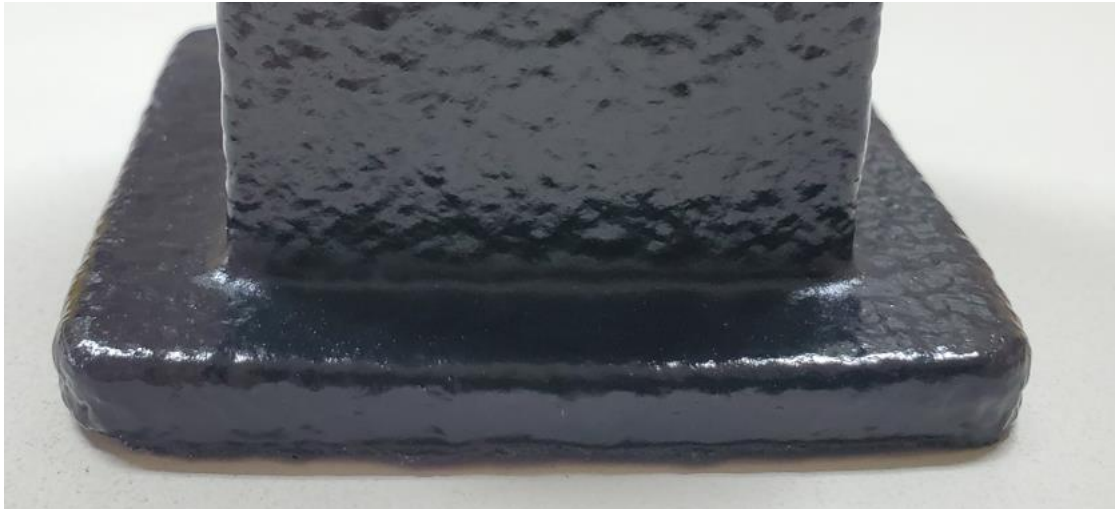


Abbildung 112: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,6mm) mit Raptor, schwarz_#3

- Wie auf den Bildern zu erkennen ist, sind aufgrund der orangenhaut-artigen Lackoberfläche die Unebenheiten der Bauteiloberfläche (auch bei einer Layerhöhe von 0,6mm) nicht mehr wahrnehmbar.
 - Der Lack scheint, trotz nicht vorhandener Grundierung, relativ gut auf der PA6 Oberfläche zu halten. Was die Haftung über Zeit betrifft, kann noch keine Aussage getätigt werden.
 - Durch die hohe Schichtdicke (ca. 700µm) der Lackierung erscheinen die Kanten abgerundet.
 - Eine glatte Oberfläche kann mit diesem Lack nicht erzielt werden, weswegen dieser besonders für Offroad-Anwendungen verwendet wird.
- Auch wenn diese Art der Oberfläche für viele Bauteile in der Mikromobilität vermutlich nicht verwendet werden kann, so kann dieser Lack für bestimmte (z.B. Kotflügel, Schweller, usw.) in Betracht gezogen werden.

4.2.1.6 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PP (0,4 mm) mit LECHSYS LS155, weiß

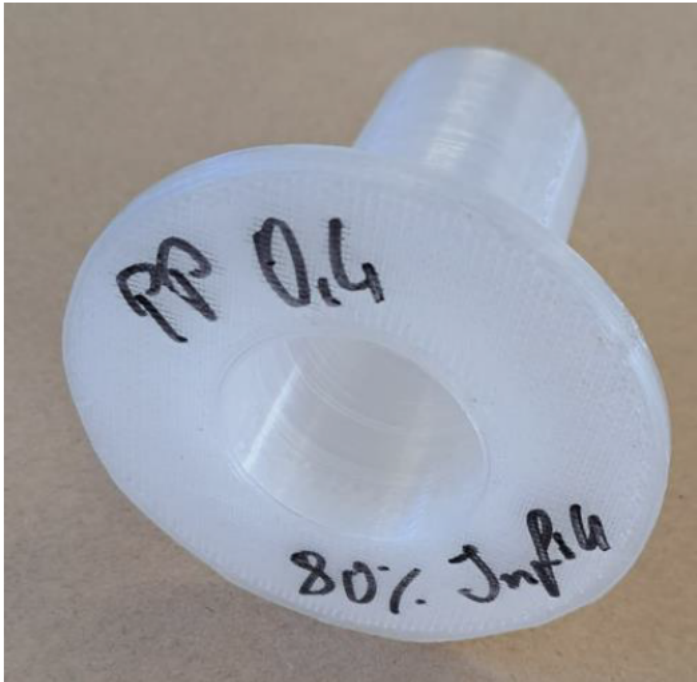


Abbildung 113: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PP (0,4 mm)



Abbildung 114: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PP (0,4 mm) mit LECHSYS LS155, weiß_#1



Abbildung 115: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PP (0,4 mm) mit LECHSYS LS155, weiß_#2



Abbildung 116: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PP (0,4 mm) mit LECHSYS LS155, weiß_#3

- Wie auf den Bildern zu erkennen ist, sind die Unebenheiten der Oberfläche größtenteils nicht mehr wahrnehmbar. Im Gegensatz zu den folierten Bauteilen zeigen die Lichtreflexionen eine bei weitem glattere Oberfläche.
- Vergleichbar mit den Oberflächen von lackierten Bauteilen, welche in der Automobilindustrie verwendet werden, sind unsere Testbauteile jedoch nicht.
- Durch den Gloss-Effekt des Lacks, kommen die verbleibenden Unebenheiten im Bauteil noch stärker zum Vorschein.
Hier wäre eventuell ein matter Lack besser, um die verbleibenden Unebenheiten zu kaschieren.
- Der Lack scheint, trotz nicht vorhandener Grundierung, relativ gut auf der PP-Oberfläche zu halten. Was die Haftung über Zeit betrifft, kann noch keine Aussage getätigt werden.
- Bei diesem Bauteil ist an der Oberkante des Zylinders ein Fehler im Lack aufgetreten, welcher vermutlich auf die grobe Oberfläche zurückzuführen ist.
Leider sind von diesem Bauteil keine weiteren Bilder bis auf Abbildung 113 vorhanden, welche die Oberseite vor der Lackierung zeigen.

4.2.1.7 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PA6 (0,6 mm) mit LECHSYS LS155, weiß



Abbildung 117: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PA6 (0,6 mm)_#1



Abbildung 118: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PA6 (0,6 mm) mit LECHSYS LS155, weiß_#1



Abbildung 119: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PA6 (0,6 mm) mit LECHSYS LS155, weiß_#2



Abbildung 120: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PA6 (0,6 mm) mit LECHSYS LS155, weiß_#3

-
- Wie auf den Bildern zu erkennen ist, sind die Unebenheiten der Oberfläche (trotz der Layerhöhe von 0,6mm) größtenteils nicht mehr wahrnehmbar. Im Gegensatz zu den folierten Bauteilen zeigen die Lichtreflexionen eine bei weitem glattere Oberfläche.
 - Vergleichbar mit den Oberflächen von lackierten Bauteilen, welche in der Automobilindustrie verwendet werden, sind unsere Testbauteile jedoch nicht.
 - Durch den Gloss-Effekt des Lacks, kommen die verbleibenden Unebenheiten im Bauteil noch stärker zum Vorschein.
Hier wäre eventuell ein matter Lack besser, um die verbleibenden Unebenheiten zu kaschieren.
 - Der Lack scheint, trotz nicht vorhandener Grundierung, relativ gut auf der PA6-Oberfläche zu halten. Was die Haftung über Zeit betrifft, kann noch keine Aussage getätigt werden.
 - Bei diesem Bauteil sind an der Oberkante des Zylinders einige Fehler im Lack aufgetreten, welcher vermutlich auf die grobe Oberfläche zurückzuführen ist.
Leider sind von diesem Bauteil keine weiteren Bilder bis auf *Abbildung 117* vorhanden, welche die Oberseite vor der Lackierung zeigen.

4.2.1.8 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4 mm) mit Raptor, schwarz



Abbildung 121: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4 mm)



Abbildung 122: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4 mm) mit Raptor, schwarz_#1



Abbildung 123: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4 mm) mit Raptor, schwarz_#2



Abbildung 124: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4 mm) mit Raptor, schwarz_#3

-
- Wie auf den Bildern zu erkennen ist, sind aufgrund der orangenhaut-artigen Lackoberfläche die Unebenheiten der Bauteiloberfläche (auch bei einer Layerhöhe von 0,6mm) nicht mehr wahrnehmbar.
 - Der Lack scheint, trotz nicht vorhandener Grundierung, relativ gut auf der PA6 Oberfläche zu halten. Was die Haftung über Zeit betrifft, kann noch keine Aussage getätigt werden.
 - Durch die hohe Schichtdicke (ca. 700µm) der Lackierung erscheinen die Kanten abgerundet.
 - Eine glatte Oberfläche kann mit diesem Lack nicht erzielt werden, weswegen dieser besonders für Offroad-Anwendungen verwendet wird.
Auch wenn diese Art der Oberfläche für viele Bauteile in der Mikromobilität vermutlich nicht verwendet werden kann, so kann dieser Lack für bestimmte (z.B. Kotflügel, Schweller, usw.) in Betracht gezogen werden.

5 Die Tests

Zur Ermittlung der optischen sowie mechanischen Eigenschaften der Bauteile, in Hinblick auf dem Zusammenspiel zwischen Bauteiloberfläche und der Folierung bzw. der Lackierung, werden, neben der optischen Untersuchung der beschichteten Bauteile, zusätzlich 5 verschiedene Tests durchgeführt.

Diese Tests werden in den Laboren bzw. Prüfeinrichtungen einer Firma (bleibt auf Wunsch unbenannt) durchgeführt, welche unter anderem, auf die Entwicklung und Herstellung von Beschichtungsharzen spezialisiert ist.

Viele der dort durchführbaren Tests, sind speziell für neuentwickelte Beschichtungen ausgelegt, und sollen deshalb die Eigenschaften der neuen Produkte ermitteln.

Da für diese Arbeit weniger die inhärenten Eigenschaften der Folie bzw. des Lacks (fertig entwickelte und auf dem Markt erhältliche Produkte) zählen, sondern das Zusammenspiel dieser, auf den groben Oberflächen der additiv gefertigten Bauteile, sind nicht alle vorhandenen Testverfahren, für diese Arbeit relevant bzw. müssen angepasst werden.

Unten angeführt wird auf die tatsächlich verwendbaren Verfahren genauer eingegangen.

Anwendbare Tests je Bauteilgeometrie					
Testverfahren	Steinschlagprüfverfahren	Bewitterungsverfahren	Schlagzähigkeitsverfahren	Gitterschnittprüfung	Salzprühnebelprüfung
Testbauteil	DIN EN ISO 20567-1	ASTM G154-06 Cycle 2/VLN 049	ASTM D 2794	DIN EN ISO 2409/ISO 2409	DIN EN ISO 9227/DIN 53167
1_Allgemeines Muster_UD Tape_1	✓	✓	✓	✓	✓
2_Allgemeines Muster_UD Tape_2	✓	✓	✓	✓	✓
3_Allgemeines Muster_FFF_Quader	~	✓	~	✓	✓
4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder	~	✓	~	~	✓
5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse	~	✓	~	✓	✓
✓ ...Testverfahren verwendbar					
~ ...Testverfahren bedingt einsetzbar					

Tabelle 4: Anwendbare Tests je Bauteilgeometrie

5.1 Das Steinschlagprüfverfahren

Dies ist ein genormtes Verfahren gemäß der EN ISO 20567-1:2017 [Beschichtungsstoffe - Prüfung der Steinschlagfestigkeit von Beschichtungen - Teil 1: Multischlagprüfung].

Bei diesem Verfahren wird die Beschichtung des Bauteils in rascher Folge mit scharfkantigen Schlagkörper beschossen und soll so im Straßenverkehr vorkommenden Steinschlag simulieren.

Da auch dieses Verfahren eigentlich dafür gedacht ist, neue Lackierungen zu testen, sind die in der Norm vorkommenden Einschränkungen hinsichtlich der Auswertung, in unserem Fall zu modifizieren.

- So werden zum Beispiel Kratzer nach dem Test nicht als Beschädigung gewertet: "Kratzer oder Markierungen, die z. B. auf Grund von Eindrücken durch das Beschussmaterial entstanden sind, zählen nicht zur geschädigten Fläche"¹⁷. Da jedoch auch diese Art der Beschädigung einer Verringerung der optischen Qualität zur Folge hat, wird für unseren Test auch das berücksichtigt.
- Weiters schreibt die Norm ein genau definiertes Applikationsverfahren der Beschichtung auf eine definierte Unterlage (Substrat) vor. Beides ist durch die Verwendung unserer Beschichtungen und Testbauteile nicht einhaltbar.

5.1.1 Die Versuchsanlage

Die Versuchsanlage besteht aus einem Schwingförderer, welcher 500g Beschussmaterial in einen Druckluftstrom hineinfördert.

Das Beschussmaterial wird von dem Druckluftstrom aufgenommen und innerhalb von 10s mit 2 Bar Druck auf das Substrat "geschossen".

Alle Abstände, Durchmesser, Längen usw. der einzelnen Anlagenteile sind dabei durch die oben genannte Norm vordefiniert.

¹⁷ Vgl. EN ISO 20567-1:2017, 2017, S.2., (Norm im Anhang vorhanden)



Abbildung 125: Multisteinschlagprüfgerät



Abbildung 126: Beschussmaterial (Hartgussgranulat)

Auf der rechten Seite der Anlage ist befindet sich die Substrathalterung (Abbildung 127). Diese Halterung besteht aus einem Anpresszylinder, welcher mittels einer Platte, die Probe auf die Beschussöffnung (80x80mm) presst.

Da sich dieser Anpresszylinder jedoch nur maximal 5mm öffnen lässt und sich unsere Proben aufgrund deren Wandstärken und Wölbungen hier nicht einspannen lassen, wird für die Durchführung unserer Tests, diese Probenklemmvorrichtung modifiziert.

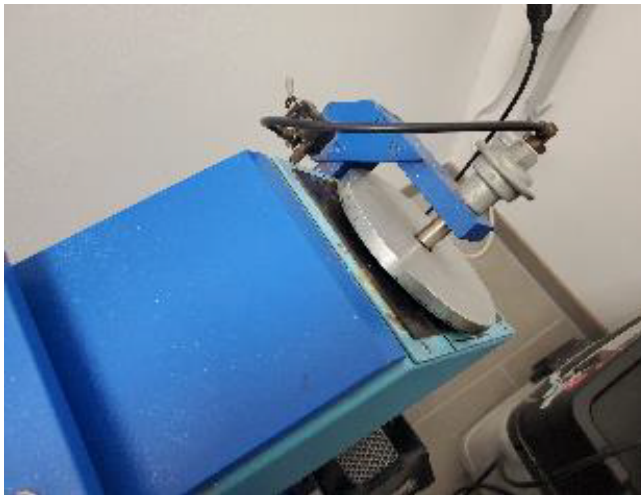


Abbildung 127: Probenklemmvorrichtung

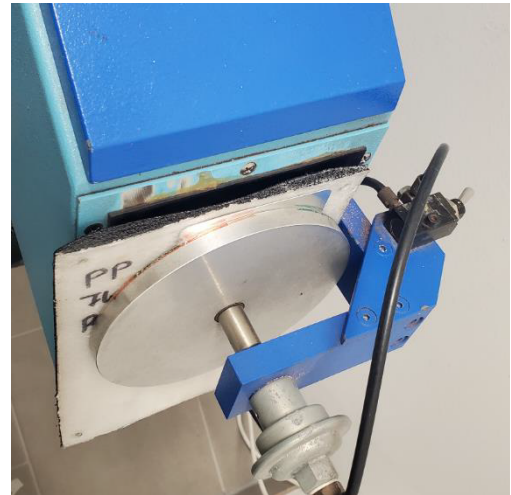


Abbildung 128: Probenklemmvorrichtung verlängert

5.1.2 Die verwendeten Testbauteile

Da für die Durchführung dieses Tests eine Modifizierung einer geprüften Anlage notwendig ist, sowie der Beschuss mit Schlagkörpern bei 2 bar Druck eine relativ gefährlicher Vorgang sein kann, sind um der Sicherheit Genüge zu tun, lediglich die flachen und geschlossenen Bauteilgeometrien des Testbauteils 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 verwendet worden.

Hier wurde jedoch darauf geachtet, dass alle Beschichtungstypen der Prüfung unterzogen wurden.

Unten angeführt eine Liste mit allen verwendeten Bauteilen:

Testbauteile für Steinschlagprüfverfahren			
Stück	Bauteil	Material	Beschichtung
1	1_Allgemeines Muster_UD Tape_1	PA6 Carbon	LECHSYS LS155, weiß
1	1_Allgemeines Muster_UD Tape_1	PP Flax	Upol Raptor, schwarz
1	1_Allgemeines Muster_UD Tape_1	PA6 Carbon	3M Wrap Folie Serie 2080 (110µm)
1	1_Allgemeines Muster_UD Tape_1	PA6 Carbon	Hexis CARPRO300 (300µm)
1	1_Allgemeines Muster_UD Tape_1	PP Flax	3M (110µm) & Hexis (300µm)

Tabelle 5: Testbauteile für Steinschlagverfahren

5.1.3 Die Ergebnisse des Multisteinschlagprüfverfahren

Der entstandene Schaden an der Beschichtung, wird in der Regel mit denen in der Norm angegebenen Bildern verglichen, um den Grad der Schädigung und damit einen Kennwert zu erhalten (Tabelle 6).

Da jedoch die Norm für die Durchführung dieses Tests Reglementierung, was die verwendeten Prüfbleche, das Auftragsverfahren der jeweiligen Beschichtung, usw., vorgibt, können unsere Ergebnisse nur beding mit den Kennwerten aus der Norm verglichen werden.

Weiters gilt dieser Test für die Prüfung von neuen Beschichtungen. Da unsere Folien und Lacke jedoch bereits getestet und auf dem Markt erhältlich sind, ist für uns eher das Zusammenspiel der jeweiligen Beschichtung mit dem additiv gefertigten Grundbauteil interessant.

Hier vor allem wie sehr der Beschuss durch den Kunststoffkörper gedämpft wird oder ob sich die Folie im beschädigten Bereich abzulösen beginnt.

Unten angeführt die Bilder der beschossenen Flächen:

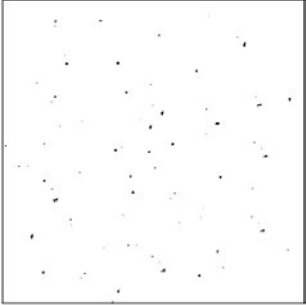

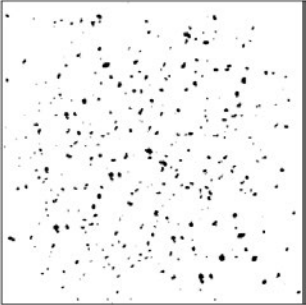
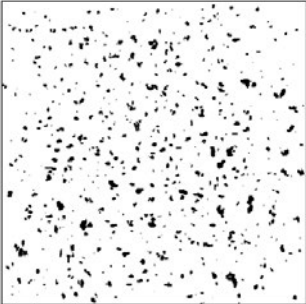
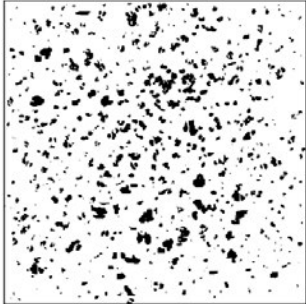
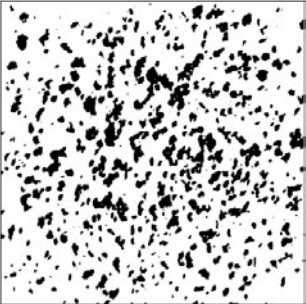
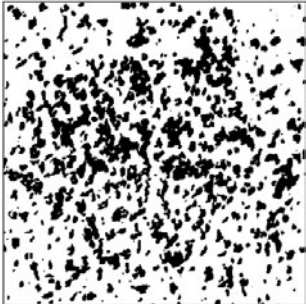
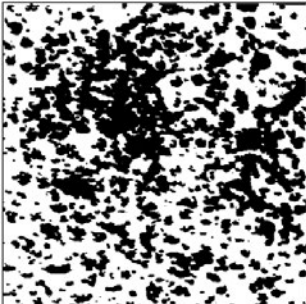
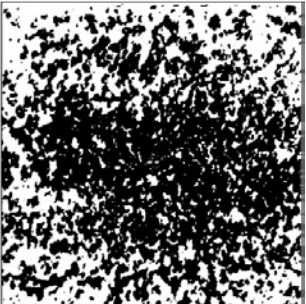
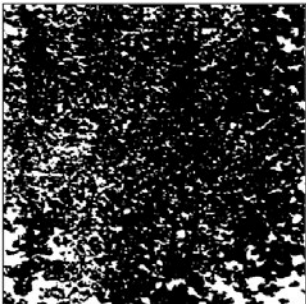
 <p>a) Kennwert 0,5 geschädigte Fläche 0,2 %</p>	 <p>a) Kennwert 0,5 geschädigte Fläche 0,2 %</p>	 <p>c) Kennwert 1,5 geschädigte Fläche 2,5 %</p>
 <p>d) Kennwert 2,0 geschädigte Fläche 5,5 %</p>	 <p>e) Kennwert 2,5 geschädigte Fläche 10,7 %</p>	 <p>f) Kennwert 3,0 geschädigte Fläche 19,2 %</p>
 <p>g) Kennwert 3,5 geschädigte Fläche 29,0 %</p>	 <p>h) Kennwert 4,0 geschädigte Fläche 43,8 %</p>	 <p>i) Kennwert 4,5 geschädigte Fläche 58,3 %</p>
 <p>j) Kennwert 5,0 geschädigte Fläche 81,3 %</p>		

Tabelle 6: Kennwerte für geschädigte Flächen¹⁸

¹⁸ Vgl. EN ISO 20567-1:2017, 2017, S.12., (Norm im Anhang vorhanden)

5.1.3.1 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PA6 Carbon mit LECHSYS LS155

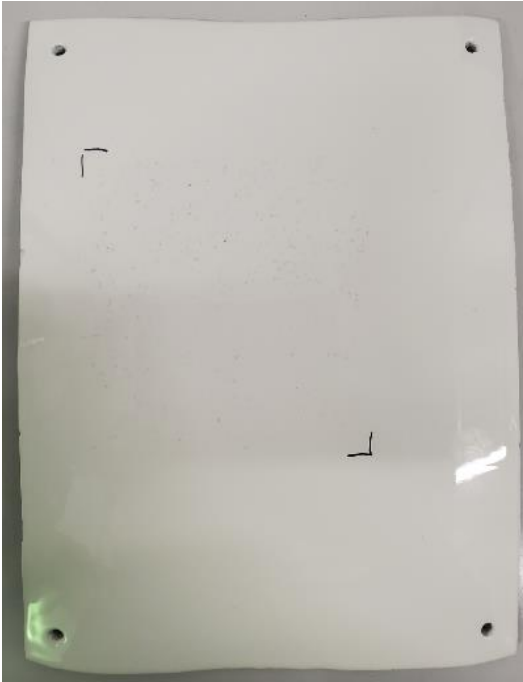


Abbildung 129: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PA6 Carbon mit LECHSYS LS155, weiß_#1



Abbildung 130: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PA6 Carbon mit LECHSYS LS155, weiß_#2

- Die Beschichtung an sich wurde nicht durchschlagen und der Grundkörper kommt nirgends zum Vorschein.
- Die Eindringtiefe sieht an den meisten Stellen relativ gering aus.
- Ein Abplatzen der Beschichtung zwischen den Beschussstellen konnte nirgends festgestellt werden.
- Es wurden auch keine Risse in der Beschichtung erkannt.

5.1.3.2 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax mit 3M (110 μ m) & Hexis (300 μ m)

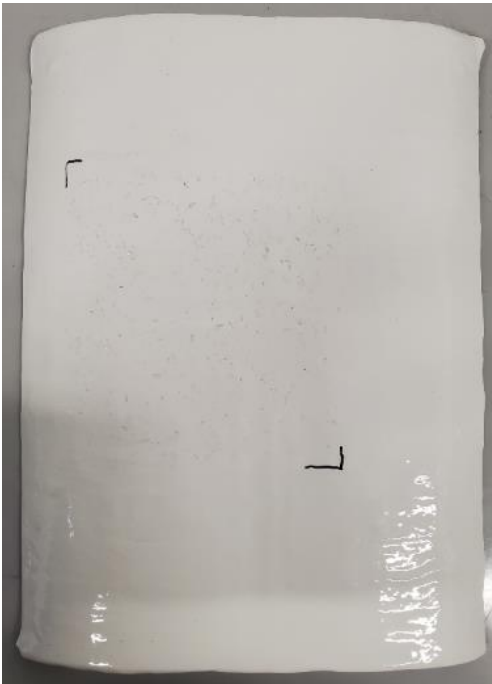


Abbildung 131: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax mit 3M (110 μ m) & Hexis (300 μ m)_#1



Abbildung 132: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax mit 3M (110 μ m) & Hexis (300 μ m)_#2

- Bei genauerer Betrachtung wurden hier beiden Folienschichten durchschlagen. Durch den doppelten Schichtaufbau kaschiert jedoch die untere Folie (3M, 110 μ m) diese Durchschläge relativ gut, sodass das darunter liegende Flachs-UD-Tape nicht zum Vorschein kommt.
- Weiters ist bei genauerer Betrachtung rund um die Einschlagstellen eine braune Ablagerung zu erkennen, welche vermutlich vom Flachs des UD-Tapes stammt.
- Da sich die Folie in den beschädigten Bereich nach oben hin etwas ablöst, sind hier die Beschädigungen, bei flachem Lichteinfall besonders gut ersichtlich.

5.1.3.3 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PA6 Carbon mit Hexis (300µm)

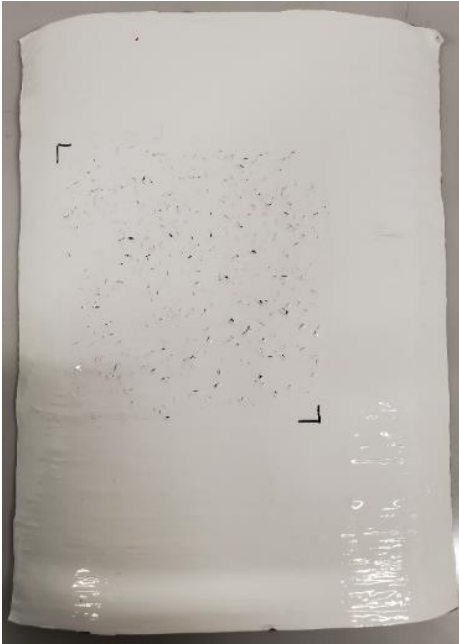


Abbildung 133: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PA6 Carbon mit Hexis (300µm)_#1



Abbildung 134: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PA6 Carbon mit Hexis (300µm)_#1

- Hier ist gut ersichtlich, dass der Beschuss die Folie (Hexis, 300µm) durchschlagen hat und das darunterliegende schwarz des UD-Tapes zum Vorschein kommt.
- Durch den Aufbau der Versuchsanlage, trifft das Beschussmaterial im Winkel von 60° auf die Proben. Da unsere Probenbauteile aus Kunststoff gefertigt sind, werden die einzelnen Hartgussgranulat-Teilchen nicht sofort abgelenkt, sondern dringen etwas in das Bauteil ein (elastische Verformung) und verschieben dabei die Folie im Bereich der Einschlagstellen zur Seite.

Dadurch kommt die Oberfläche des Grundbauteils, optisch noch stärker zum Vorschein.

Bei der Verwendung einer einzelnen Folie, sollte dementsprechend darauf geachtet werden, dass das darunterliegende Bauteil über die selbe Farbe verfügt, wie die Folie.

5.1.3.4 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PA6 Carbon mit 3M Wrap Folie Serie 2080 (110µm)

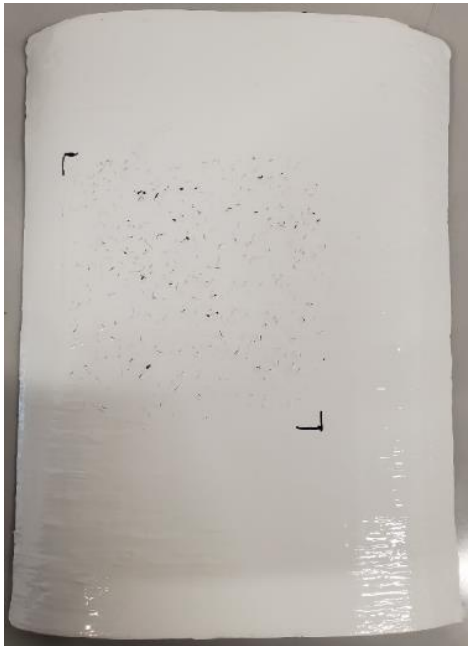


Abbildung 135: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PA6 Carbon mit 3M Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_#1



Abbildung 136: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PA6 Carbon mit 3M Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_#2

- Ebenso wie bei der Hexis Folie, hat der Beschuss diese Folie (3M, 110µm) durchgeschlagen, sodass das darunterliegende schwarz des UD-Tapes zum Vorschein kommt.
- Einen optischen Unterschied zwischen der 300µm und der 110µm starken Folie ist kaum ersichtlich.
- Durch den Aufbau der Versuchsanlage, trifft das Beschussmaterial im Winkel von 60° auf die Proben. Da unsere Probenbauteile aus Kunststoff gefertigt sind, werden die einzelnen Hartgussgranulat-Teilchen nicht sofort abgelenkt, sondern dringen etwas in das Bauteil ein (elastische Verformung) und verschieben dabei die Folie im Bereich der Einschlagstellen zur Seite. Dadurch kommt die Oberfläche des Grundbauteils, optisch noch stärker zum Vorschein. Bei der Verwendung einer einzelnen Folie, sollte dementsprechend darauf geachtet werden, dass das darunterliegende Bauteil über die selbe Farbe verfügt, wie die Folie.

5.1.3.5 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax mit Upol Raptor, schwarz



Abbildung 137: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax mit Upol Raptor, schwarz_#1



Abbildung 138: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax mit Upol Raptor, schwarz_#1

- Von allen getesteten Beschichtungen erwies sich dieser Raptor-Lack als am widerstandsfähigsten gegen Beschuss.
- Das Beschussmaterial hat die Beschichtung nicht durchschlagen. Im Vergleich zu dem LECHSYS-Lack scheint hier die Eindringtiefe noch geringer zu sein.
- Weiters werden durch die schwarze Farbe und der an sich unebenen Oberfläche der Beschichtung, die Einschlagsstellen relativ gut kaschiert.

5.2 Das Bewitterungsverfahren

Dies ist ein nach der ASTM standardisiertes Prüfungsverfahren (Operating Fluorescent Light Apparatus for UV Exposure of Nonmetallic Materials, ASTM G154-06, Cycle 2), bzw. in vereinfachter Form entsprechend eigener Labornorm (VLN 049) der Firma (Name bleibt unerwähnt).

Dieses Verfahren dient der Prüfung der Beständigkeit gegen Bewitterung. Dabei wird ein Bauteil unter bestimmten Umgebungsbedingungen, abwechselnd mit UVB-Strahlung und Taufeuchte, innerhalb eines sogenannten Kurzbewitterungsgerät, beansprucht.¹⁹

Auch wenn dieser Test eigentlich dazu dient, den Glanzabfall einer Beschichtung nach einer gewissen Bewitterungsdauer zu untersuchen, kann diese Anlage uns hinsichtlich des Haftungsvermögens der Folie bzw. des Lacks auf unseren Bauteilen etwas Aufschluss geben.

5.2.1 Die Versuchsanlage

Die Versuchsanlage, auch Kurzbewitterungsgerät genannt, ist vereinfacht gesagt, ein beheizter Schrank mit UVB-Lampen, sowie kleinen Sprühdüsen.

Die Dauer der Bestrahlung, die Wassermenge und Temperatur im Kurzbewitterungsgerät kann dabei entsprechend eingestellt werden, um die Bewitterung an verschiedenen Orten zu simulieren.



Abbildung 139: Kurzbewitterungsgerät

¹⁹ Vgl. ASTM International G 154-06, June 05, 2006, S.1., (Norm im Anhang vorhanden)

Die Testbauteile werden dabei in eigene Probehalterungen eingespannt (2 Testbauteile pro Probehalterung) und samt Halterung in das Gerät gegeben.



Abbildung 140: Kurzbewitterungsgerät, Aufnahme aller Probehalterungen



Abbildung 141: Probehalterung mit zwei eingespannten Standardproben

Da diese Anlage darauf ausgelegt ist, mit flachen Probeteilen, anstelle mit Dreidimensionalen Bauteilen bestückt zu werden, müssen unsere Teile erst zugeschnitten/angepasst werden, um überhaupt in das Gerät zu passen.

Die Öffnung für die Proben in der Probehalterung beträgt 94mm x 63mm. Die maximale Dicke der Probe ist auf 25mm beschränkt.

5.2.2 Die verwendeten Testbauteile

Für die Durchführung des Bewitterungstest wurden drei Probehalterungen zur Verfügung gestellt. Damit können also 6 Bauteile geprüft werden.

Folgende Testbauteile werden für diesen Test ausgewählt um einen möglichst guten Überblick, über das Haftverhalten der Folien und der Lackierungen zu erhalten:

Testbauteile für Bewitterungsverfahren			
Stück	Bauteil	Material	Beschichtung
1	1_Allgemeines Muster_UD Tape_1	PP Plax	3M Wrap Folie Serie 2080 (110µm)
1	2_Allgemeines Muster_UD Tape_2	PA6 Carbon	Upol Raptor
1	3_Allgemeines Muster_FFF_Quader	PA6 (0,4mm)	3M Wrap Folie Serie 2080 (110µm)
1	4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder	PA6 (0,4mm)	Hexis CARPRO300 (300µm)
1	5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse	PP (0,4mm)	Hexis CARPRO300 (300µm)
1	5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse	PP (0,6mm)	LECHSYS LS155, weiß

Tabelle 7: Testbauteile für Bewitterungstest

Unten angeführt sind die 6 Bauteile, einmal in Ihrer folierten/lackierten Ursprungsform und einmal zurechtgeschnitten, um in die Probenhalterung zu passen.

Beim Zuschnitt der Bauteile wurde darauf geachtet einen möglichst sauberen Schnitt zu gewährleisten um die Folierung/Lackierung im Bereich des Schnitts nicht zu sehr zu beschädigen.

Als Werkzeug wurde ein Dremel mit einem feinen Kreissägeblatt genommen.

Bei den folierten Bauteilen wurde zusätzlich als erster Schritt die Folie mit einem Teppichmesser aufgeschnitten und erst nachträglich mit dem Dremel das Bauteil selbst zerschnitten.



Abbildung 142: Testbauteile in Probenhalter_Vorderseite



Abbildung 143: Testbauteile in Probenhalter_Rückseite



Abbildung 144: Proben eingespannt



Abbildung 145: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax 50 mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm)



Abbildung 146: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax 50 mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_zuge-schnitten



Abbildung 147: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in MCP1223 PA6 CF mit Raptor, schwarz



Abbildung 148: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in MCP1223 PA6 CF mit Raptor, schwarz_zugeschnitten



Abbildung 149: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA (0,4mm) mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm)



Abbildung 150: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA (0,4mm) mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_zuge-schnitten



Abbildung 151: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,4mm) mit Hexis CARPRO300 (300µm)



Abbildung 152: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,4mm) mit Hexis CARPRO300 (300µm)_zuge-schnitten



Abbildung 153: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm) mit Hexis CARPRO300 (300µm)



Abbildung 154: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm) mit Hexis CARPRO300 (300µm)_zuge-schnitten



Abbildung 155: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,6 mm) mit LECHSYS LS155, weiß



Abbildung 156: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,6 mm) mit LECHSYS LS155, weiß_zugeschnitten

5.2.3 Die Ergebnisse des Bewitterungsverfahrens

Die alle Kurzbewitterungsgeräte über die nächsten Monate verplant waren, konnte nur diese Anlage für unsere Tests verwendet werden, bei welcher noch die drei Probenhalter frei waren.

So war es nicht möglich eigene Einstellungen für den Testzyklus zu wählen, sondern es mussten die bereits voreingestellten Einstellungen mitverwendet werden.

Die Testbauteile wurden etwa 6 Tage lang (143h) in der Anlage belassen.

Der Bewitterungszyklus betrug dabei abwechselnd alle 4 Stunden UVB Bestrahlung bei 0,71Watt/m² Strahlungsintensität und 60°C Temperatur, anschließend 4 Stunden Dunkelheit, bei einer Luftfeuchte von 100% und einer Temperatur von 50°C.

Unten angeführt, sind die Bauteile nach dem Test zu sehen:

5.2.3.1 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax 50 mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm)



Abbildung 157: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax 50 mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_vor Bewitterung_#1



Abbildung 158: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax 50 mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_nach Bewitterung_#1



Abbildung 159: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax 50 mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_vor Bewitterung_#2



Abbildung 160: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax 50 mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_nach Bewitterung_#2



Abbildung 161: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax 50 mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_nach Bewitterung_#3

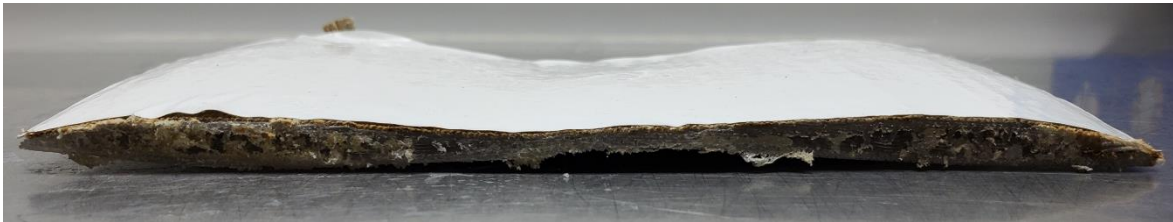


Abbildung 162: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax 50 mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_nach Bewitterung_#4

- Wie zu erkennen ist, hat sich Folie auf dem PP-Flax-UD-Tape an zwei Stellen etwas angehoben.
- Es scheint, dass sich die Flachsfasern über die Dauer Tests, etwas mit Wasser angereichert hat und dadurch etwas aufgequollen sind.
- Das Bauteil selbst (gefertigt aus PP) ist entlang der Längskante etwas aufgebogen, was sich entweder auf die Feuchte zurückzuführen lässt oder die Temperatur der Testumgebung (4h mit 50° und Feuchte, 4h mit 60° und UVB-Strahlung).

5.2.3.2 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PA6 Carbon mit Upol Raptor



Abbildung 163: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in MCP1223 PA6 CF mit Raptor_vor **Bewitterungstest_#1**



Abbildung 164: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in MCP1223 PA6 CF mit Raptor_nach Bewitterungstest_#1

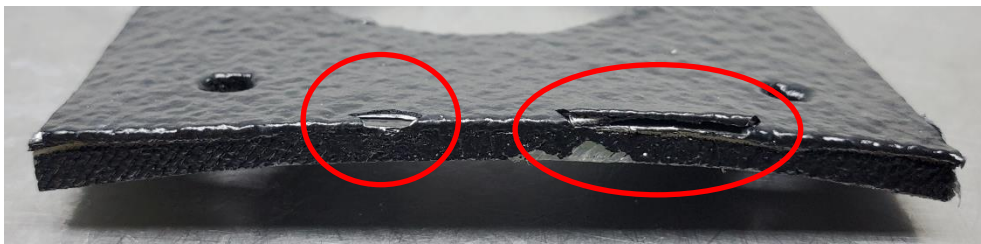


Abbildung 165: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in MCP1223 PA6 CF mit Raptor_nach Bewitterungstest_#2

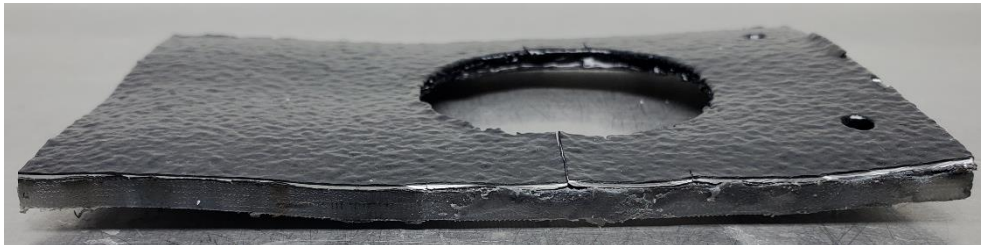


Abbildung 166: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in MCP1223 PA6 CF mit Raptor_nach Bewitterungstest_#3

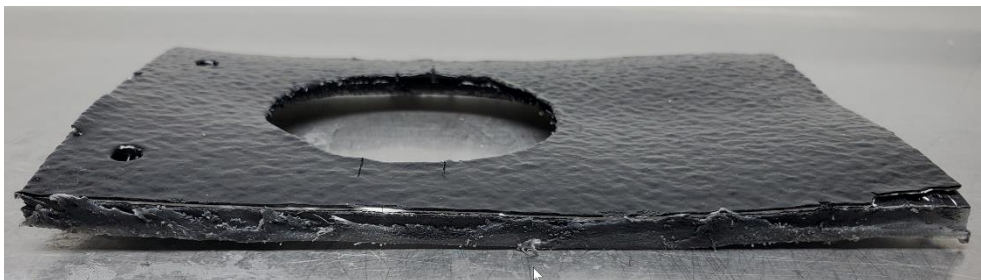


Abbildung 167: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in MCP1223 PA6 CF mit Raptor_nach Bewitterungstest_#4



Abbildung 168: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in MCP1223 PA6 CF mit Raptor_nach Bewitterungstest #5

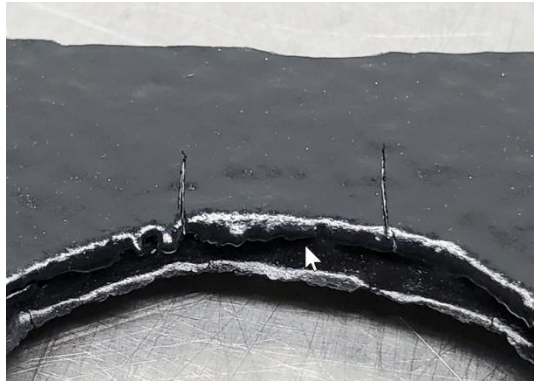


Abbildung 169: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in MCP1223 PA6 CF mit Raptor_nach Bewitterungstest #6

- An einer der beiden Oberkanten ist die Beschichtung etwas abgeplatzt.
- Weiters ist die Lackierung an drei Stellen gerissen/gebrochen.
- Das Bauteil selbst (gefertigt aus PP) ist entlang der Längskante etwas aufgebo-gen, was sich entweder auf die Feuchte zurückzuführen lässt oder die Temperatur der Testumgebung (4h mit 50° und Feuchte, 4h mit 60° und UVB-Strahlung).

5.2.3.3 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA6 (0,4mm) mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm)



Abbildung 170: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA (0,4mm) mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_vor Bewitterung_#1

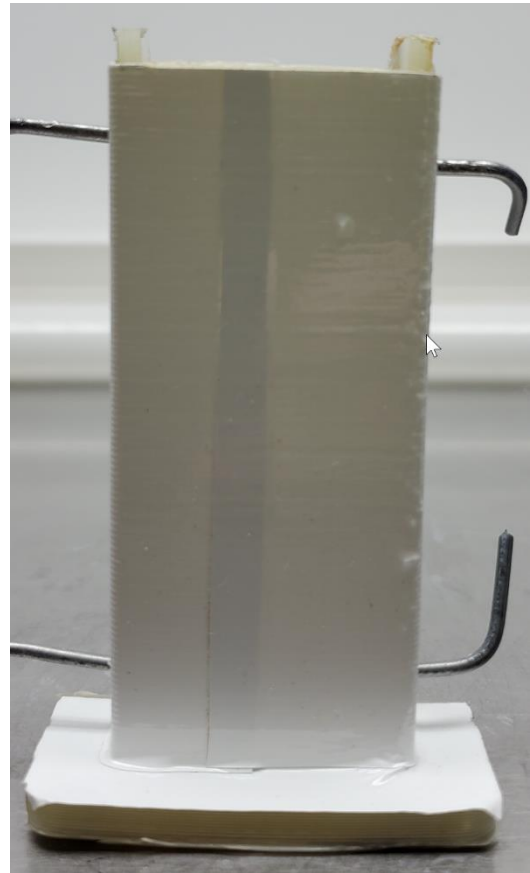


Abbildung 171: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA (0,4mm) mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_nach Bewitterung_#1



Abbildung 172: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA (0,4mm) mit Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_nach Bewitterung_#2

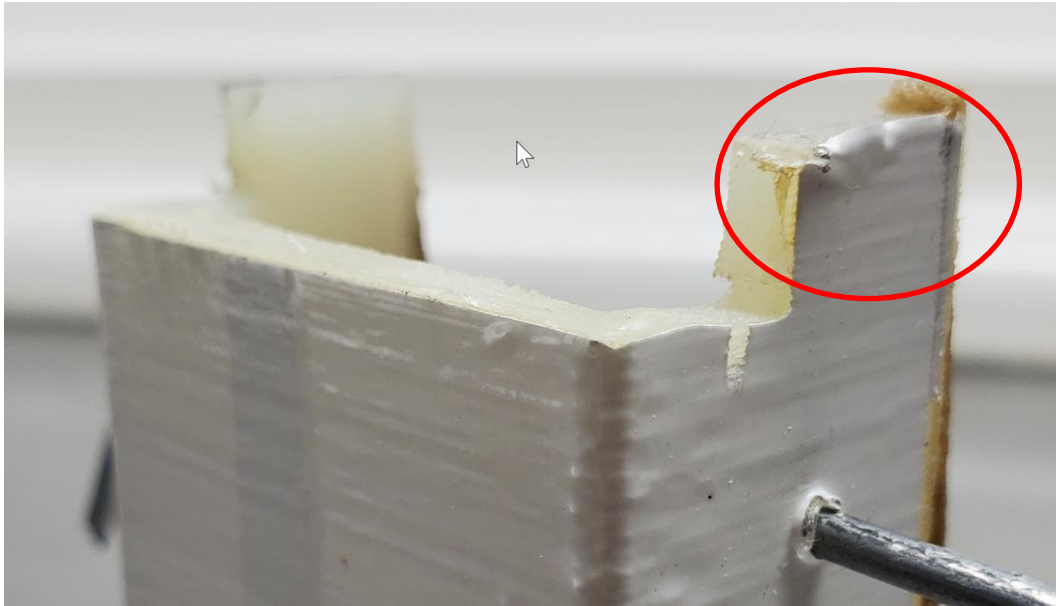


Abbildung 173: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA (0,4mm) mit Wrap Folie Serie 2080 (110 μ m) nach Bewitterung_#3

- Ein Ablösen der Folie erfolgte hier nur auf der Oberkante des Bauteils (Abbildung 173).
- Die vorhandenen Bereiche, bei denen die Folie über Unebenheiten des Bauteils gespannt wurde und dort nur bedingt eine Haftung aufwies, scheinen nach der Bewitterung etwas stärker ausgeprägt zu sein.
Es wird vermutet, dass an diesen Stellen, an denen es in kleinen Bereichen keine Haftung der Folie am Bauteil gab, sich die Folie während der Bewitterung weiter abgelöst hat.
- Abgesehen von einer leichten Verfärbung des Bauteils, konnte keine Beschädigung oder Verformung, weder an der Folie, noch am Bauteil selbst, erkannt werden.

5.2.3.4 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,4mm) mit Hexis CARPRO300 (300µm)



Abbildung 174: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,4mm) mit Hexis CARPRO300 (300µm)_vor Bewitterung_#1



Abbildung 175: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,4mm) mit Hexis CARPRO300 (300µm)_nach Bewitterung_#1

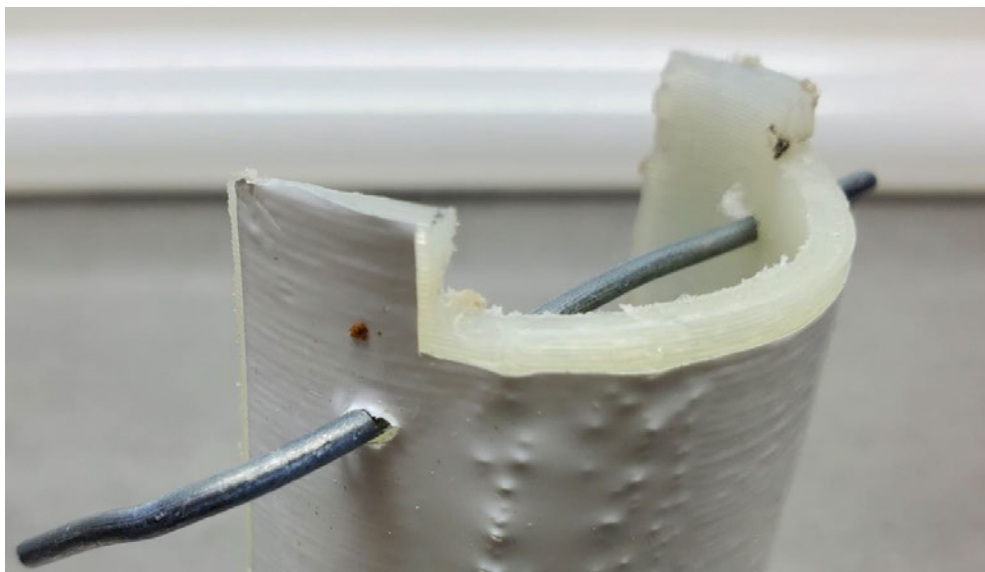


Abbildung 176: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,4mm) mit Hexis CARPRO300 (300µm)_nach Bewitterung_#2



Abbildung 177: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,4mm) mit Hexis CARPRO300 (300µm)_nach Bewitterung_#3



Abbildung 178: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,4mm) mit Hexis CARPRO300 (300µm)_nach Bewitterung_#4

- Hier gab es am Rand der Basis des Bauteils (Abbildung 177) ein Ablösen der Folie. Beim Vergleich mit dem Bauteil vor der Bewitterung, ist in diesem Bereich eine Fehlstelle der Folierung ersichtlich, was ein Ablösen der Folie durch die Wechselwirkung von UV/Wasser/Temperatur, beschleunigt hat.
- Ansonsten konnte keine Beschädigung oder Verformung, weder an der Folie noch am Bauteil selbst, erkannt werden.

5.2.3.5 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm) mit Hexis CARPRO300 (300µm)



Abbildung 179: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm) mit Hexis CARPRO300 (300µm)_vor Bewitterung_#1



Abbildung 180: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm) mit Hexis CARPRO300 (300µm)_nach Bewitterung_#1

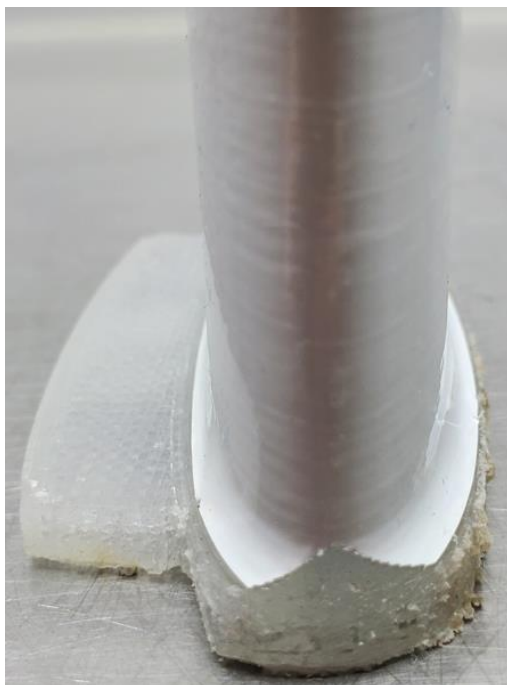


Abbildung 181: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm) mit Hexis CARPRO300 (300µm)_nach Bewitterung_#2

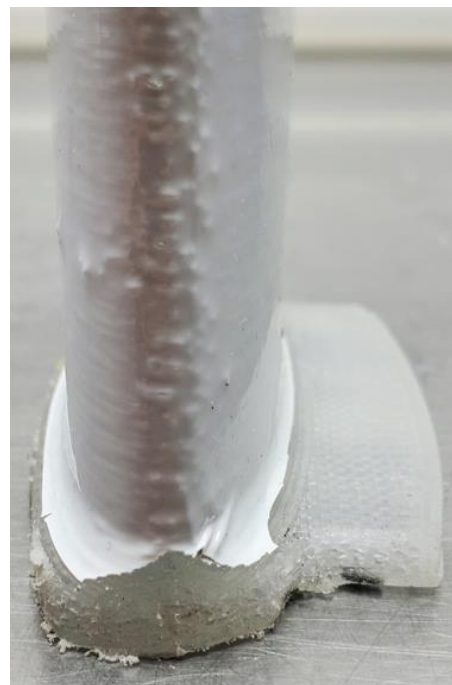


Abbildung 182: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm) mit Hexis CARPRO300 (300µm)_nach Bewitterung_#3

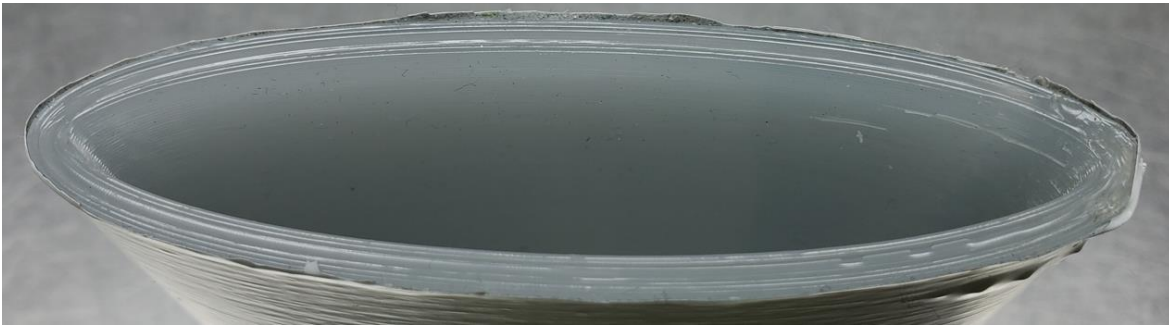


Abbildung 183: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm) mit Hexis CARPRO300 (300µm)_nach Bewitterung_#4

- An diesem Bauteil konnte weder eine Beschädigung oder Verformung der Folie, noch am Bauteil selbst erkannt werden.

5.2.3.6 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,6 mm) mit LECHSYS LS155, weiß

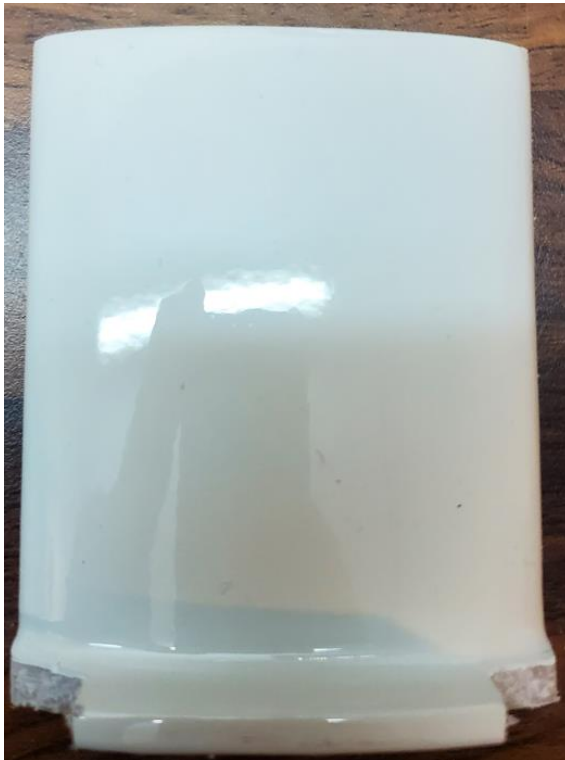


Abbildung 184: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,6 mm) mit LECHSYS LS155, weiß_vor Bewitterung_#1



Abbildung 185: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,6 mm) mit LECHSYS LS155, weiß_nach Bewitterung_#1



Abbildung 186: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,6 mm) mit LECHSYS LS155, weiß_nach Bewitterung_#2



Abbildung 187: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,6 mm) mit LECHSYS LS155, weiß_nach Bewitterung_#3



Abbildung 188: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,6 mm) mit LECHSYS LS155, weiß_nach Bewitterung_#4



Abbildung 189: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,6 mm) mit LECHSYS LS155, weiß_nach Bewitterung_#4

- Die Beschichtung ist an der Oberkante der Ellipse stark gesprungen/abgeplatzt.
- Weiters ist an der Seite der Ellipse, die Beschichtung ebenfalls über die gesamte Länge des Bauteils gesprungen.
- Am Übergang zwischen Bauteil und Lackierung, lässt sich kein Ablösen feststellen.
- An der flachen Seite der Ellipse lassen sich keine Fehlstellen erkennen.

5.3 Das Schlagzähigkeitsverfahren

Dies ist ein genormtes Verfahren gemäß der ASTM D 2794:1993 [Prüfung von organischen Beschichtungen auf Beständigkeit gegen schnelle Verformung; Schlagbeanspruchung].

Bei diesem Verfahren wird eine schnelle mechanische Beanspruchung (wie zum Beispiel eine Kollision) simuliert.

Hintergrund hierbei ist, dass sich viele Beschichtungen, welche mittels des Prinzips der Polymerisation hergestellt werden, mechanische Beanspruchung, abhängig von der Einwirkzeit, unterschiedlich aufnehmen.²⁰

Da die Basis unserer Bauteile aus Kunststoff besteht, ist dieses Verfahren auch indirekt für uns interessant, da hier das Zusammenspiel zwischen dem Kunststoffbauteil und der jeweiligen Beschichtung bei Schlägen überprüft wird.

5.3.1 Die Versuchsanlage

Die Testanlage besteht aus einem vertikalen Rohr, versehen mit Inch-Markierungen. Innerhalb dieses Rohrs, wird händisch ein Gewicht (1 Pfund, 453.592 Gramm) nach oben bewegt und anschließend nach unten fallen gelassen. Das Gewicht ist mit einer definierten Spitze (Kugel mit 15,9 mm Durchmesser) versehen und schlägt, abhängig von der Höhe (1-80 Inch/Pfund), mit unterschiedlichen Kräften auf das Testbauteil.



Abbildung 190: Schlagzähigkeits-Testanlage_#1



Abbildung 191: Schlagzähigkeits-Testanlage_#2

²⁰ Vgl. ASTM International D 2794-93, 2004, S.1., (Norm im Anhang vorhanden)

Der Ablauf ist dabei folgender:

- Es wird beginnend mit einem Abstand von einem Inch, das Gewicht auf das Bauteil fallen gelassen.
- Der Abstand wird so lange um einen Inch erhöht, bis die erste Beschädigung an der Beschichtung zu erkennen ist.
- Ist diese Bruchdistanz erreicht, müssen 5 Messserien, bestehend aus je drei Schlagtests gemacht werden.
Einmal knapp unter der Bruchdistanz, einmal exakt auf der Bruchdistanz und einmal knapp über der Bruchdistanz.

5.3.2 Die verwendeten Testbauteile

Für diesen Test, sowie für die im folgenden Kapitel beschriebenen Gitterschnittprüfung ([5.4 Die Gitterschnittprüfung](#)) wurden größtenteils dieselben Bauteile verwendet. Dies hat den Hintergrund, dass vor allem die Gitterschnittprüfung nicht viel Platz benötigt und so, wo es flächenmäßig möglich war, beide Tests auf demselben Bauteil durchgeführt wurden.

Unten angeführt eine Liste mit den hier verwendeten Testbauteilen:

Testbauteile für Schlagzähigkeitsverfahren & Gitterschnittprüfung			
Stück	Bauteil	Material	Beschichtung
1	1_Allgemeines Muster_UD Tape_1	PP Flax	Hexis CARPRO300 (300µm)
1	2_Allgemeines Muster_UD Tape_2	PA6 Carbon	LECHSYS LS155, weiß
1	2_Allgemeines Muster_UD Tape_2	PP Plax	3M Wrap Folie Serie 2080 (110µm)
1	2_Allgemeines Muster_UD Tape_2	PP Plax	3M (110µm) & Hexis (300µm)
1	3_Allgemeines Muster_FFF_Quader	PP 0,4	Hexis CARPRO300 (300µm)
1	3_Allgemeines Muster_FFF_Quader	PP 0,6	Upol RAPTOR, schwarz
1	4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder	PP 0,4	3M (110µm) & Hexis (300µm)
1	4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder	PP 0,4	LECHSYS LS155, weiß
1	5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse	PA 0,6	Hexis CARPRO300 (300µm)
1	5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse	PA 0,4	3M Wrap Folie Serie 2080 (110µm)
1	5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse	PP 0,4	3M Wrap Folie Serie 2080 (110µm)
1	5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse	PP 0,4	3M (110µm) & Hexis (300µm)
1	5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse	PA 0,6	LECHSYS LS155, weiß
1	5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse	PP 0,4	Upol RAPTOR, schwarz

Tabelle 8: Testbauteile für Schlagzähigkeitsverfahren & Gitterschnittprüfung

5.3.3 Die Ergebnisse des Schlagzähigkeitsverfahren

Die oben erwähnte Norm, nennt dabei folgende Vergleichsergebnisse:

- Als "spröde" werden Beschichtung bezeichnet, welche unter 6 Inch/Pfund brechen.
- Als "durchschnittlich" werden Beschichtung bezeichnet, welche zwischen 6-140 Inch/Pfund brechen.
- Alles darüber wird als "flexible Beschichtung" bezeichnet.²¹

Anzumerken ist noch, dass sich die Norm nicht ganz auf unsere Bauteile anwenden lässt, da die zu testende Beschichtungen, normalerweise auf genau definierten Blechen aufgetragen werden muss.

Die drei Bauteilgeometrien (Quader, Zylinder, Ellipse), sind durch Ihre Form, als auch durch Ihr Herstellverfahren (FFF-Verfahren mit 80%-Infill) in sich federnd und verfälschen so die Tatsächlichen Werte der Beschichtung.

Weiters kann aufgrund der beschränkten Oberfläche der jeweiligen Bauteilgeometrien (vor allem bei dem Quader, Zylinder, Ellipse), nicht fünf Messserien durchgeführt werden.

Nichtsdestotrotz können die durch die Tests erhaltenen Ergebnisse, Aussagen über das Zusammenspiel zwischen Kunststoff-Grundbauteil und der jeweiligen Beschichtung bieten.

Unten angeführt, befinden sich einige Bauteile vor der Prüfung und daneben/darunter nach der Prüfung:

²¹ Vgl. ASTM International D 2794-93, 2004, S.2., Kap. 12

5.3.3.1 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax mit Hexis (300µm)

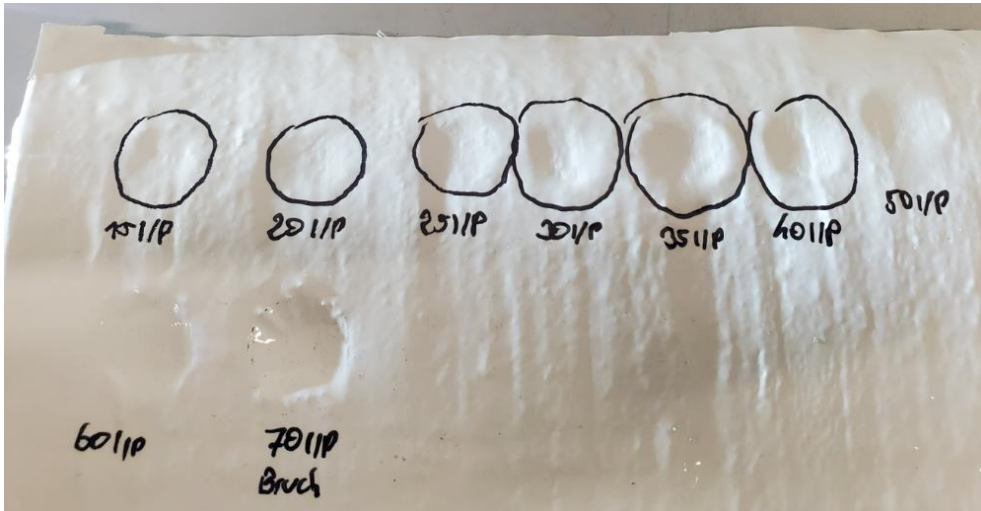


Abbildung 192: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax mit Hexis (300µm)_Vorderseite



Abbildung 193: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax mit Hexis (300µm)_Rückseite

- Bei diesem Bauteil wurde beginnend mit 15 Inch, in 5-Inch Schritten die Schlagdistanz erhöht.
- Deformierungen des Bauteils sind hier ab 15 Inch erkennbar.
- Ein Bruch der Folie erfolgte bei einem Abstand von 70 Inch/Pound
- Ebenso wurde bei dieser Distanz der PP-Grundkörper so stark verformt, dass ein Bruch an der Rückseite des Bauteils erkennbar ist.
- Ein Ablösen der Folie trat hier nirgends auf.

5.3.3.2 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PA6 Carbon mit LECHSYS LS155, weiß

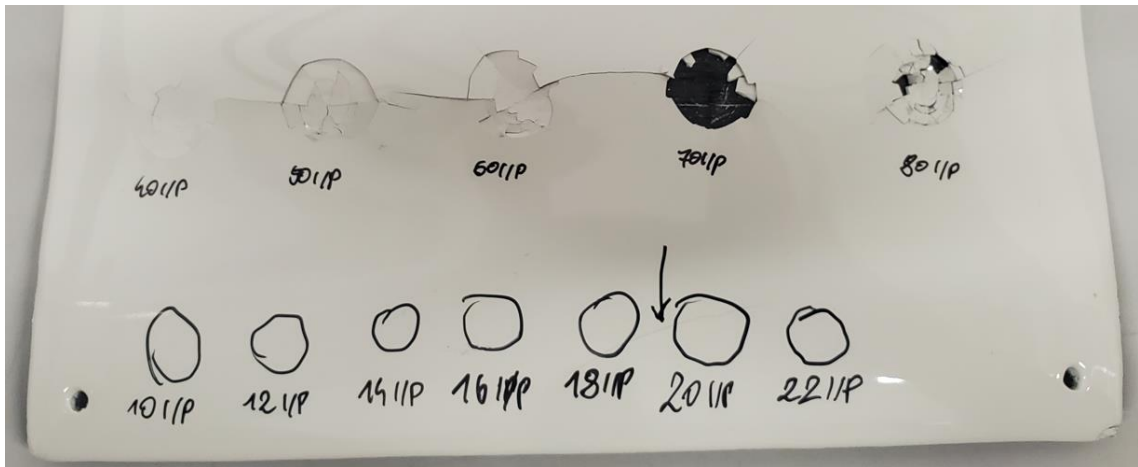


Abbildung 194: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PA6 Carbon mit LECHSYS LS155, weiß_Vorderseite_#1



Abbildung 195: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PA6 Carbon mit LECHSYS LS155, weiß_Vorderseite_#2



Abbildung 196: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PA6 Carbon mit LECHSYS LS155, weiß_Rückseite_#1

-
- Bei diesem Bauteil wurde bei der ersten Testreihe die Schlagdistanz bei 10 Inch/Pound begonnen und in 2-Inch Schritten erhöht.
 - Bei 20 Inch/Pound entstand ein Riss in der Lackierung, die Schlagstelle an sich blieb jedoch in Takt.
 - Die zweite Testreihe wurde mit 40 Inch/Pound begonnen und in 10 Inch Schritten erhöht.
 - Interessant hier ist, dass die Beschädigung der Lackierung bei 70 Inch größer ausfällt als bei der 80 Inch/Pound Schlagstelle.
Es wird angenommen, dass sich das Ergebnis bei 70 Inch/Pound drastischer darstellt als bei 80 Inch/Pound, da die 80 Inch-Schlagstelle etwas weiter entfernt war als die anderen und dort die Oberflächenspannung noch "mehr intakt" war als bei den relativ eng beieinanderliegenden 40-70 Inch/Pound- Schlagstellen.
 - Auch hier erfolgte eine so starke Verformung des Grundkörpers, dass eine Beschädigung an der Rückseite des Bauteils aufgetreten ist. Im Gegensatz zu dem Bauteil aus PP mit Flachs jedoch, scheinen diese Beschädigungen weniger stark ausgeprägt zu sein. Dies liegt an den besseren mechanischen Eigenschaften des PA6 gegenüber dem PP.

5.3.3.3 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax mit 3M (110 μ m) & Hexis (300 μ m)

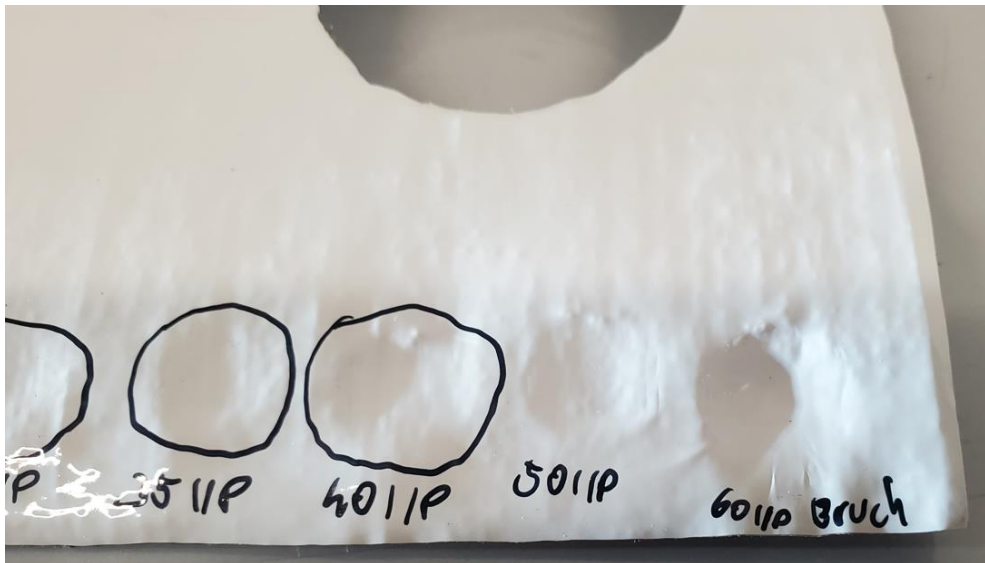


Abbildung 197: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax mit 3M (110 μ m) & Hexis (300 μ m)_Vorderseite_#1

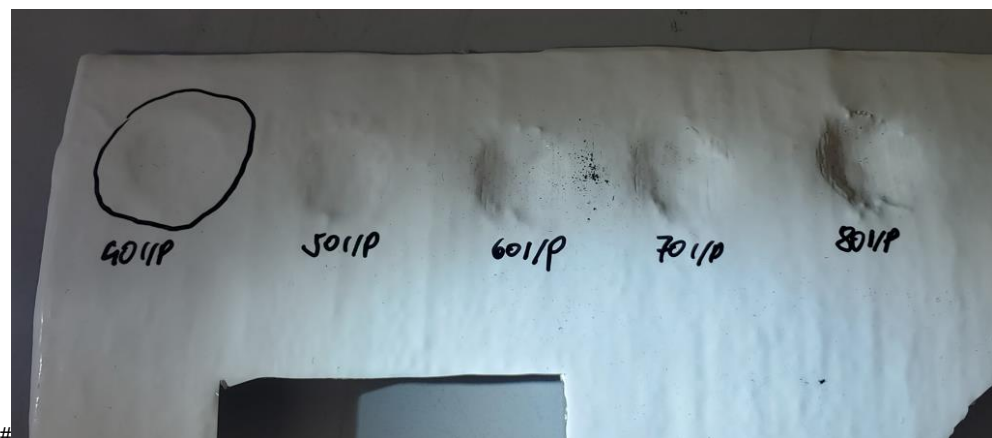


Abbildung 198: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax mit 3M (110 μ m) & Hexis (300 μ m)_Vorderseite_#2

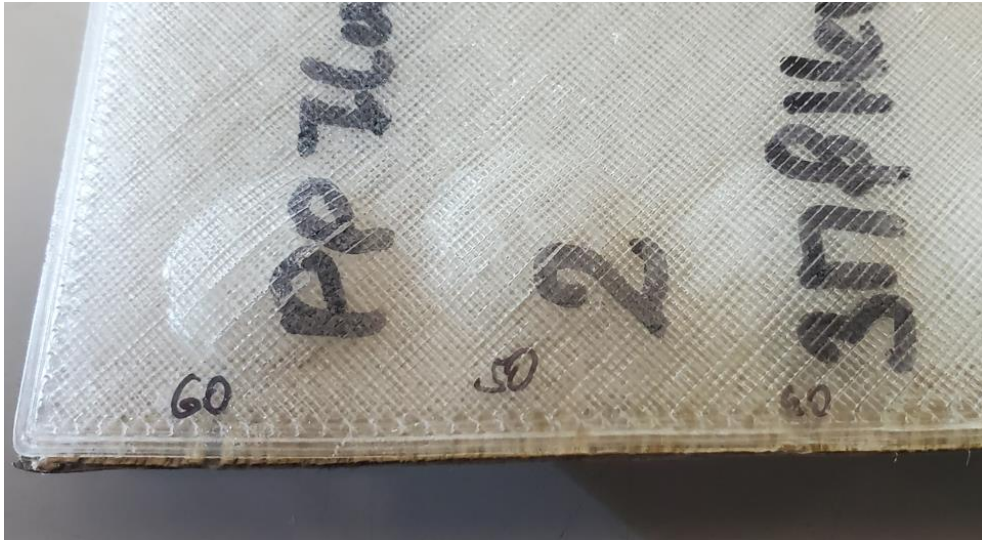


Abbildung 199: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax mit 3M (110µm) & Hexis (300µm)_Rückseite_#1

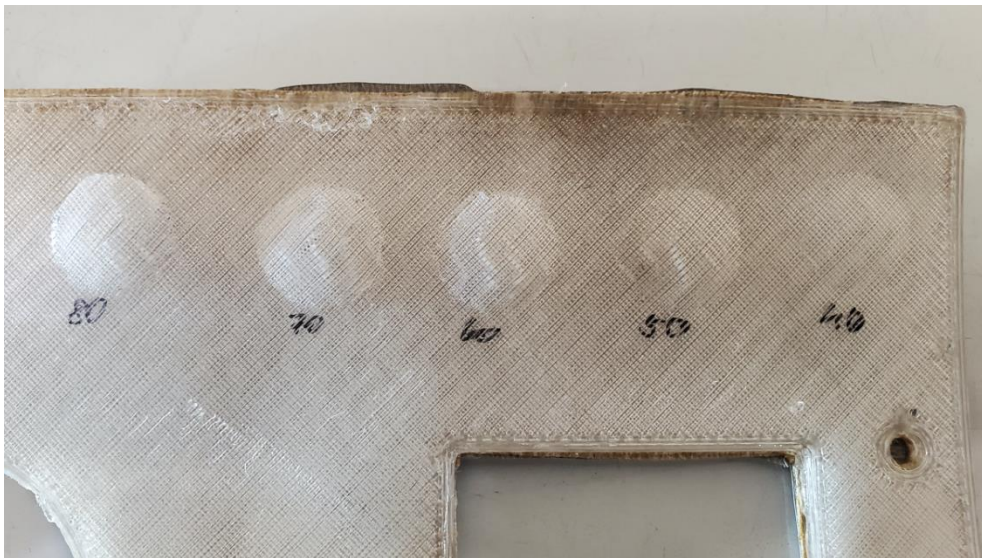


Abbildung 200: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax mit 3M (110µm) & Hexis (300µm)_Rückseite_#2

- Bei diesem Bauteil wurde beginnend mit 10 Inch, in 5-Inch Schritten die Schlagdistanz erhöht.
- Deformierungen des Bauteils sind hier ab 15 Inch erkennbar.
- Ein Bruch der Folie erfolgte hier bei 80 Inch/Pound.
- Bei einer Distanz von 50-60 Inch/Pound wurde der PP-Grundkörper so stark verformt, dass ein Bruch an der Rückseite des Bauteils erkennbar ist.
- Ein Ablösen der Folie trat hier nirgends auf.

5.3.3.4 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,4) mit Hexis (300µm)

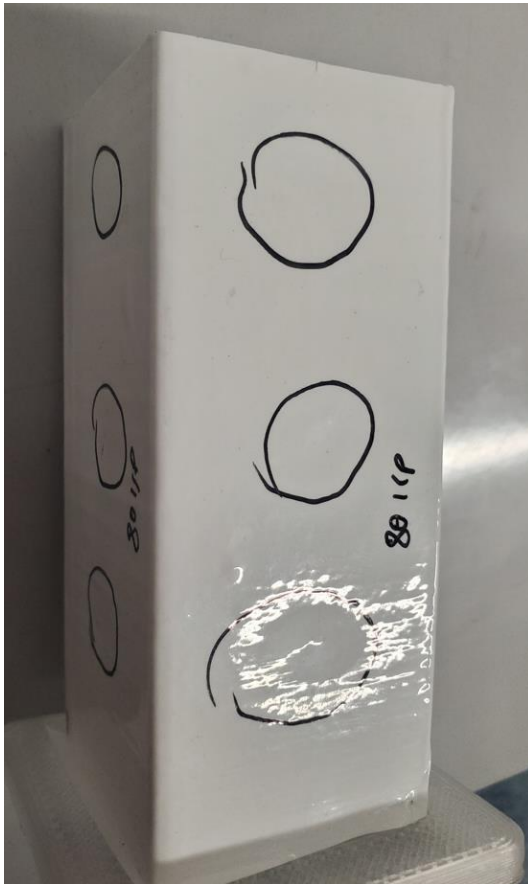


Abbildung 201: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,4) mit Hexis (300µm)_#1



Abbildung 202: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,4) mit Hexis (300µm)_#2

- Bei diesem Bauteil wurde zwar mit 10 Inch/Pound Schlagdistanz begonnen, da jedoch weder eine Deformation des Bauteils noch der Folie erkennbar war, wurde das Bauteil mit 80 Inch/Pound (maximum der verfügbaren Testanlage) beansprucht.
- An der Basis des Bauteils ist eine Deformierung des Bauteils erkennbar.
- Deformierungen des Bauteils sind hier ab 15 Inch erkennbar.
- Ein Bruch der Folie ist nicht erfolgt.
- Am oberen Teil des Bauteils ist nur eine leichte Abnutzung der Folierung erkennbar, eine Deformierung hingegen nicht.
- Ein Ablösen der Folie trat hier nirgends auf.
- Eine Beschädigung an der Innenseite des Quaders wurde nicht erkannt.
- Durch den 3-dimensionalen Aufbau des Bauteils erfolgte selbst bei 80 Inch/Pound eine so starke Dämpfung des Schlages, dass die Grenzen dieses Bauteils in Kombination mit der Hexis (300µm) Folie nicht erreicht werden konnten.

5.3.3.5 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,6) mit Upol Raptor, schwarz



Abbildung 203: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,6) mit Upol Raptor, schwarz_#1



Abbildung 204: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,6) mit Upol Raptor, schwarz_#2

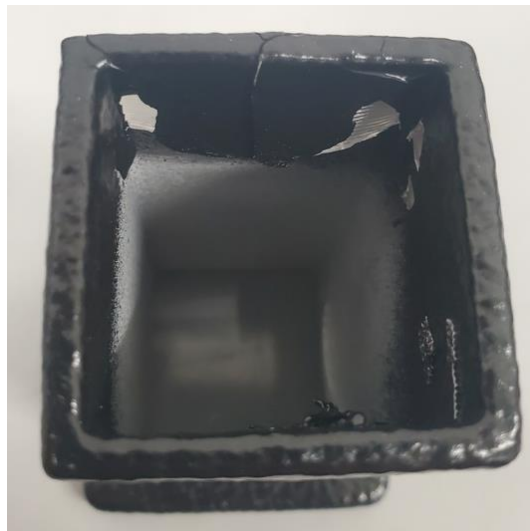


Abbildung 205: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,6) mit Upol Raptor, schwarz_#3

-
- Aufgrund der zuvor erhaltenen Testergebnisse wurde bei diesem Bauteil gleich mit 80 Inch/Pound Schlagdistanz begonnen.
 - Bereits bei der ersten Teststelle (an der Unterseite des Bauteils) gab es eine Zerstörung der Beschichtung.
 - Ebenfalls wurde bei genauerer Betrachtung der Grundkörper selbst beschädigt (Bruch entlang des Layers).
 - Aufgrund der dämpfenden Eigenschaften der Geometrie (insbesondere an der offenen Oberseite des Bauteils) wurde ein weiterer Test mit 80 Inch/Pound an der Oberseite des Bauteils durchgeführt. Auch hier kam es jedoch zu einer Beschädigung der Beschichtung, sowie des darunter liegenden Grundkörpers.
 - Obwohl durch den 3-dimensionalen Aufbau des Bauteils eine starke Dämpfung des Schlages erfolgte, brach die Raptor-Beschichtung an mehreren Stellen. Es besteht die Annahme, dass durch die Eigenschaften dieser Beschichtung, eine Hülle um das Bauteil erstellt wurde, welche sich wie ein eigenes Bauteil verhält. Durch die Schläge löste sich diese äußere Hülle vom Bauteil ab und konnte so den darauffolgenden Schlägen keinen nennenswerten Widerstand mehr leisten.

5.3.3.6 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PP (0,4mm) mit 3M (110µm) & Hexis (300µm)

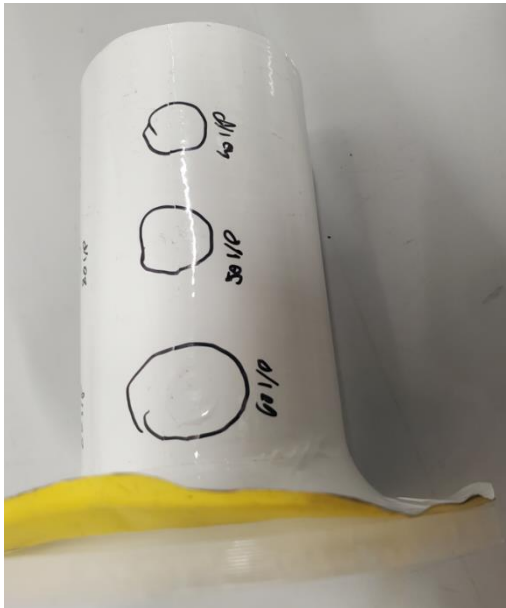


Abbildung 206: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PP (0,4mm) mit 3M (110µm) & Hexis (300µm)_#1

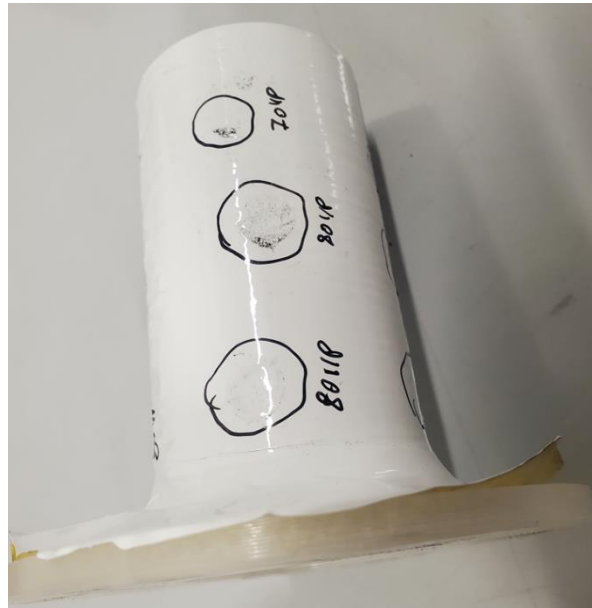


Abbildung 207: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PP (0,4mm) mit 3M (110µm) & Hexis (300µm)_#1

- Bei diesem Bauteil wurde mit 40 Inch/Pound Schlagdistanz begonnen und in 10 Inch/Pound-Schritten erhöht.
- Bei 60 Inch/Pound konnte eine leichte Deformation des Bauteils (an der Basis) erkannt werden.
- Ebenso wurde bei 60 Inch/Pound die Folie im Bereich der Teststelle (an der Basis) etwas zu Seite geschoben.
- Da im weiteren Verlauf mit 70 Inch/Pound getestet wurde (im oberen Bereich) und keine Deformation erkannt wurde, kann man daraus schließen, dass auch hier die Dämpfung, bedingt durch die Geometrie (vor allem im oberen, offenen Bereich des Zylinders) zu stark war.
- Bei 80 Inch/Pound ist an der Basis des Bauteils eine Deformierung wieder erkennbar.
- Ein Bruch der Folie ist nicht erfolgt.
- Im Bereich der Teststellen sind leichte Abnutzung der Folierung erkennbar.
- Bis auf das leichte Verschieben, trat ein Ablösen der Folie hier nirgends auf.
- Eine Beschädigung an der Innenseite des Quaders wurde nicht erkannt.
- Durch den 3-dimensionalen Aufbau des Bauteils erfolgte selbst bei 80 Inch/Pound eine so starke Dämpfung des Schlages, dass die Grenzen dieses Bauteils in Kombination mit der Hexis (300µm) Folie nicht erreicht werden konnten.

5.3.3.7 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PP (0,4mm) mit LECHSYS LS155, weiß

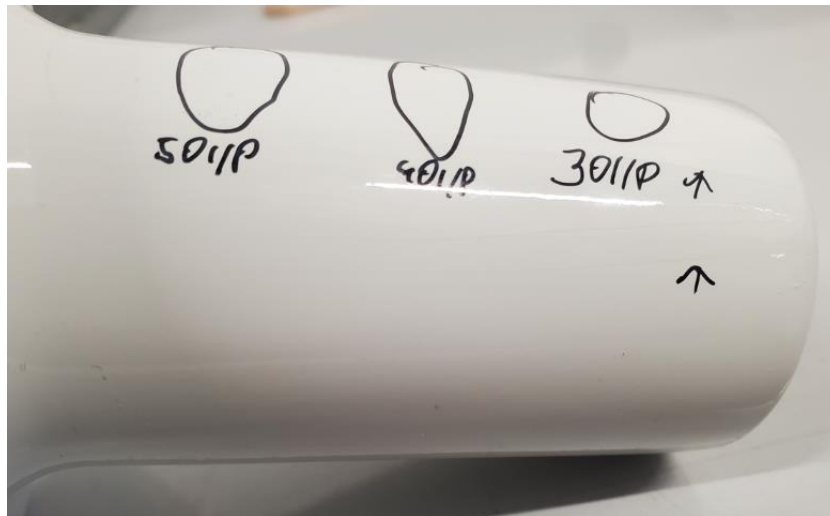


Abbildung 208: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PP (0,4mm) mit LECHSYS LS155, weiß_#1



Abbildung 209: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PP (0,4mm) mit LECHSYS LS155, weiß_#2

- Bei diesem Bauteil wurde mit einer Schlagdistanz von 30 Inch/Pound begonnen und in 10-Inch Schritten erhöht.
- Bei 50 Inch/Pound entstanden Risse in der Lackierung rund um das Bauteil, die Schlagstelle an sich blieb jedoch in Takt.
- Ebenfalls platze die Lackierung im Bereich des oberen Randes, sowie der Innenseite ab.
- Eine Beschädigung des Grundkörper konnte keine erkannt werden.

5.3.3.8 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PA (0,4mm) mit Hexis (300µm)



Abbildung 210: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PA (0,4mm) mit Hexis (300µm)_#1

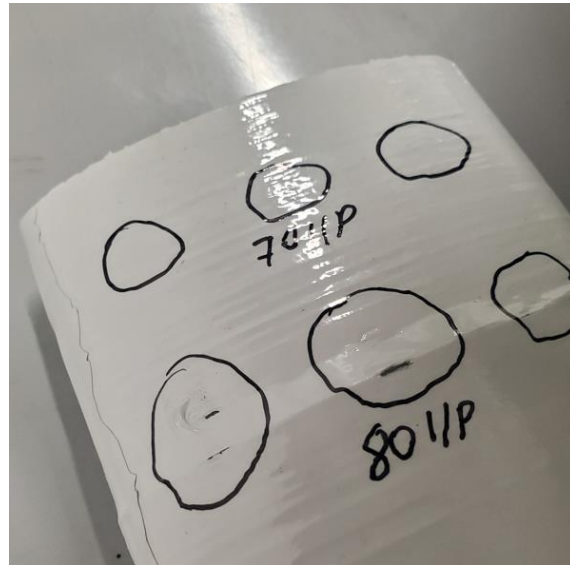


Abbildung 211: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PA (0,4mm) mit Hexis (300µm)_#2

- Bei diesem Bauteil wurde mit 40 Inch/Pound Schlagdistanz begonnen und in 10 Inch/Pound-Schritten erhöht.
- Bei 60 Inch/Pound konnte eine leichte Deformation des Bauteils (an der Basis) erkannt werden.
- Da im weiteren Verlauf mit 70 Inch/Pound getestet wurde (im oberen Bereich) und keine Deformation erkannt wurde, kann man daraus schließen, dass auch hier die Dämpfung, bedingt durch die Geometrie (vor allem im oberen, offenen Bereich der Ellipse) zu stark war.
- Bei 80 Inch/Pound ist an der Teststelle in der Mitte des Bauteils, dieses entlang des Layers gebrochen. Am Bruch entlang fand eine Ablösung der Folie statt.
- Ein Bruch der Folie ist nicht erfolgt.
- Im Bereich der Teststellen sind leichte Abnutzung der Folierung erkennbar.
- Durch den 3-dimensionalen Aufbau des Bauteils erfolgte selbst bei 80 Inch/Pound eine so starke Dämpfung des Schlages, dass die Grenzen dieses Bauteils in Kombination mit der Hexis (300µm) Folie nicht erreicht werden konnten.

5.3.3.9 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm) mit Upol Raptor, schwarz



Abbildung 212: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm) mit Upol Raptor, schwarz_#1



Abbildung 213: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm) mit Upol Raptor, schwarz_#2

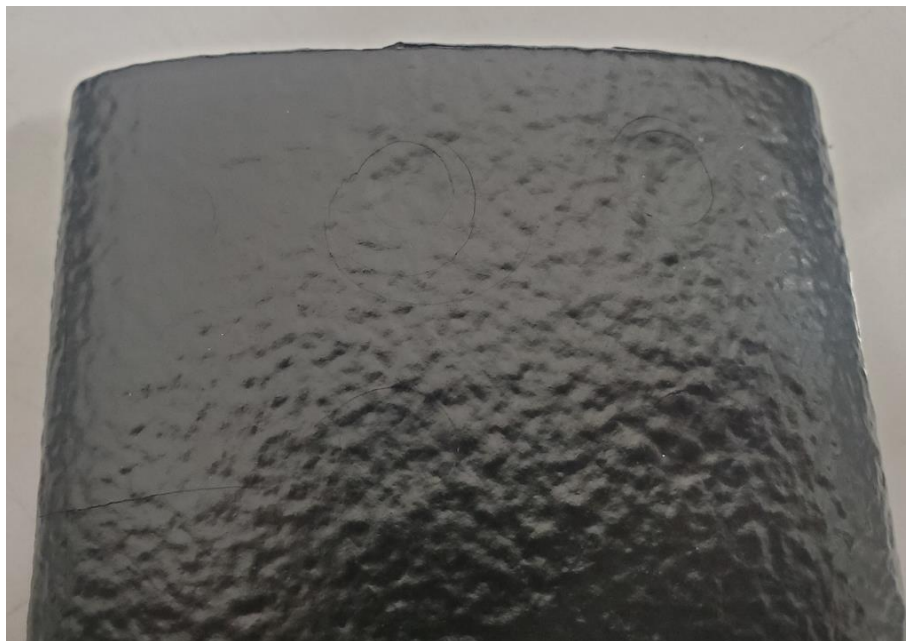


Abbildung 214: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm) mit Upol Raptor, schwarz_#3

-
- Aufgrund der zuvor erhaltenen Testergebnisse wurde bei diesem Bauteil gleich mit 80 Inch/Pound Schlagdistanz begonnen.
 - Bei allen Teststellen (an der Oberseite, sowie im Mittelbereich des Bauteils) konnte bei dieser Distanz ein Bruch der Beschichtung erkannt werden.
 - Obwohl hier keine Tests an der Basis des Bauteils durchgeführt wurde, gab es einen Bruch der Beschichtung in diesem Bereich.
 - Weiters Platze an der Oberkante die Beschichtung ab.
 - Eine Deformation des Bauteils an sich wurde nicht erkannt.
 - Obwohl durch den 3-dimensionalen Aufbau des Bauteils eine starke Dämpfung des Schlages erfolgte, brach die Raptor-Beschichtung an mehreren Stellen. Es besteht die Annahme, dass durch die Eigenheit dieser Beschichtung, eine Hülle um das Bauteil erstellt wurde, welche sich wie ein eigenes Bauteil verhält. Durch die Schläge löste sich diese äußere Hülle vom Bauteil ab und konnte so den darauffolgenden Schlägen keinen nennenswerten Widerstand mehr leisten.

5.4 Die Gitterschnittprüfung

Dies ist ein genormtes Verfahren gemäß der DIN EN ISO 2409:2013 [Beschichtungsstoffe- Gitterschnittprüfung].

Dieses Verfahren dient der Ermittlung der Haftfestigkeit einer Beschichtung auf einem Substrat.

Dabei wird mit einem Messer oder speziellen Schneidgerät, ein definiertes Gittermuster in die zu prüfende Beschichtung geschnitten. Diese kleinen Rauten, welche sich durch den Gitterschnitt bilden, werden anschließend optisch darauf überprüft, ob sie sich vom Substrat ablösen.²²

5.4.1 Die Versuchsanlage

Für unsere Versuche wird ein "Mehrschneidengerät mit Handgriff", sowie ein Cuttermesser zur Verfügung gestellt.



Abbildung 215: Mehrschneidengerät mit Handgriff



Abbildung 216: Mehrfachschneidkopf 1mm Abstand

²² Vgl. EN ISO 2409:2013, 2013, S.4., (Norm im Anhang vorhanden)

Die Kante des Schneidgeräts wird dabei mit Kraft auf die Probe aufgedrückt und anschließend entlang der gewünschten Richtung gezogen. Im zweiten Schritt wird 90° zur ersten Schnittrichtung ein weiterer Schnitt durchgeführt, um ein Kreuzmuster zu erhalten. Das Schnittmuster muss anschließend begutachtet und alle etwaigen losen Teile entfernt werden (entweder mit einer Bürste, Druckluft oder bei Wunsch auch mit einem Klebeband).

Da für die Verwendung dieses Mehrschneidengeräts eine relativ ebene Oberfläche notwendig ist, hat sich im Laufe dieses Tests herausgestellt, dass dieses Werkzeug nicht auf allen unsere Bauteile anwendbar ist.

Bei diesen Bauteilen wurde auf ein Cuttermesser zurückgegriffen. Die oben erwähnte Norm lässt die Verwendung eines solchen zu.²³








Abbildung 217: Cuttermesser

Das Ergebnis dieser Prüfung kann auf zwei unterschiedliche Arten, abhängig vom gewünschten Ziel, interpretiert werden:

1. Vergleich des Schnittmusters und der Beschädigung der Folie/Lacks mit einer Tabelle laut Norm (Tabelle 9). Hier gibt zum Beispiel der Kunde vor, dass eine Beschädigung bis zu jeweiligen Stufe 3 vertretbar ist. Alles darüber gilt als nicht zulässig.

²³ Vgl. EN ISO 2409:2013, 2013, S.5., Kap. 3.2.2.3,

Gitterschnitt-Kennwert	Beschreibung	Aussehen der Oberfläche im Bereich des Gitterschnittes, an der Abplatzung aufgetreten ist ^a (Beispiel für sechs parallele Schnitte)
0	Die Schnittländer sind vollkommen glatt; keines der Quadrate des Gitters ist abgeplatzt.	
1	An den Schnittpunkten der Gitterlinien sind kleine Splitter der Beschichtung abgeplatzt. Abgeplatzte Fläche nicht größer als 5 % der Gitterschnittfläche.	
2	Die Beschichtung ist längs der Schnittländer und/oder an den Schnittpunkten der Gitterlinien abgeplatzt. Abgeplatzte Fläche größer als 5 %, aber nicht größer als 15 % der Gitterschnittfläche.	
3	Die Beschichtung ist längs der Schnittländer teilweise oder ganz in breiten Streifen abgeplatzt, und/oder einige Quadrate sind teilweise oder ganz abgeplatzt. Abgeplatzte Fläche größer als 15 %, aber nicht größer als 35 % der Gitterschnittfläche.	
4	Die Beschichtung ist längs der Schnittländer in breiten Streifen abgeplatzt, und/oder einige Quadrate sind ganz oder teilweise abgeplatzt. Abgeplatzte Fläche größer als 35 %, aber nicht größer als 65 % der Gitterschnittfläche.	
5	Jedes Abplatzen, das nicht mehr als Gitterschnitt-Kennwert 4 eingestuft werden kann.	—

^a Die Bilder sind Beispiele für einen Gitterschnitt innerhalb der Kennwertstufe. Die Prozentangaben beruhen auf dem durch die Bilder vermittelten visuellen Eindruck, und dieselben Prozentangaben werden mittels digitaler Bildanalyse nicht unbedingt wiedergegeben.

Tabelle 9: Einstufung der Prüfergebnisse gemäß DIN EN ISO 2409:2013-06²⁴

2. Verwendung des Ergebnisses als Ja/Nein Prüfung. Sprich bei der kleinsten Ablösung der Beschichtung vom Substrat, gilt diese als nicht verwendbar.

Für unsere Auswertung wird hauptsächlich die Variante 2 angewandt. Es wird also überprüft, ob die jeweilige Beschichtung überhaupt auf unseren Grundkörpern, nach der Beschädigung haftet.

²⁴ Vgl. EN ISO 2409:2013, 2013, S.13.,

5.4.2 Die verwendeten Testbauteile

Wie bereits im Kapitel (5.3.2) erwähnt, werden für diesen Test, wo möglich, dieselben Testbauteile wie bei der Schlagzähigkeitsprüfung verwendet. Unten angeführt eine Liste mit den hier verwendeten Testbauteilen:

Testbauteile für Schlagzähigkeitsverfahren & Gitterschnittprüfung			
Stück	Bauteil	Material	Beschichtung
1	1_Allgemeines Muster_UD Tape_1	PP Flax	Hexis CARPRO300 (300µm)
1	2_Allgemeines Muster_UD Tape_2	PA6 Carbon	LECHSYS LS155, weiß
1	2_Allgemeines Muster_UD Tape_2	PP Plax	3M Wrap Folie Serie 2080 (110µm)
1	2_Allgemeines Muster_UD Tape_2	PP Plax	3M (110µm) & Hexis (300µm)
1	3_Allgemeines Muster_FFF_Quader	PP 0,4	Hexis CARPRO300 (300µm)
1	3_Allgemeines Muster_FFF_Quader	PP 0,6	Upol RAPTOR, schwarz
1	4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder	PP 0,4	3M (110µm) & Hexis (300µm)
1	4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder	PP 0,4	LECHSYS LS155, weiß
1	5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse	PA 0,6	Hexis CARPRO300 (300µm)
1	5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse	PA 0,4	3M Wrap Folie Serie 2080 (110µm)
1	5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse	PP 0,4	3M Wrap Folie Serie 2080 (110µm)
1	5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse	PP 0,4	3M (110µm) & Hexis (300µm)
1	5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse	PA 0,6	LECHSYS LS155, weiß
1	5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse	PP 0,4	Upol RAPTOR, schwarz

Tabelle 10: Testbauteile für Schlagzähigkeitsverfahren & Gitterschnittprüfung

5.4.3 Die Ergebnisse der Gitterschnittprüfung

Auch hier sind für ein normgerechtes Durchführen der Prüfung, einige Vorgaben zu beachten, welche wir durch die Verwendung unserer Bauteile/Beschichtung nicht einhalten können (Verwendung vordefinierter Platten als Substrat für die Beschichtung, Schichtdicken, usw.).

- So soll der Gitterschnittabstand für eine Beschichtungsdicke von 61µm bis 120µm (gilt für unsere Bauteile mit der 110µm dicken 3M Folie) 2mm betragen.
- Für eine Schichtdicke von 121µm bis 250µm soll der Gitterschnittabstand 3mm betragen.
- Weiters soll diese Prüfung nur für Schichtdicken bis maximal 250µm angewendet werden (theoretisch können also unsere Bauteile mit der LECHSYS LS155- und der UPOL-Raptor-Lackierung, sowie für die Bauteile mit der 300µm dicken Hexis Folierung, sowie die Bauteile, welche mit beiden Folien foliert wurden, nicht geprüft werden).

Da hier, neben dem Cuttermesser, leider nur das Mehrschneidengerät mit 1mm Schneidenabstand erhältlich ist, werden alle Tests mit diesen beiden Werkzeugen durchgeführt. Die Versuche auf den jeweiligen Testbauteilen werden deshalb entweder mit "Cutter" für die Verwendung des Cuttermessers oder "MSG" für Verwendung des Mehrschneidengerät verwendet.

Unten angeführt, die Ergebnisse der Gitterschnittprüfung:

5.4.3.1 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax mit Hexis (300µm)

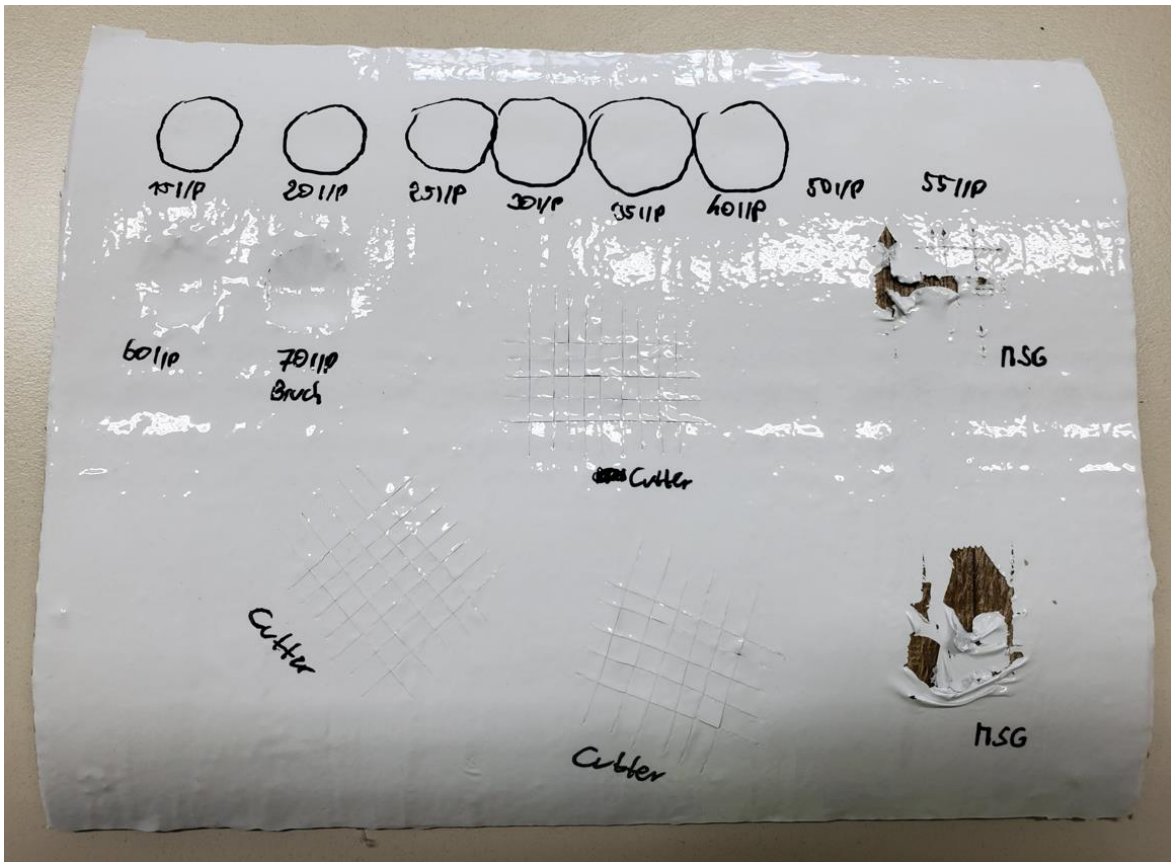


Abbildung 218: 1_Allgemeines Muster_UD-Tape_1 in PP Flax mit Hexis (300µm)

- Wie hier zu erkennen ist, hat die Verwendung des MSG bei der Hexis 300µm Folie keine verwertbaren Ergebnisse gebracht. Vielmehr hat durch die geringe Schnitttiefe der Messer, in Kombination mit dem aufbrachten Druck der Klingen auf dem Bauteil, die Folie weggeschoben. Dies lässt auf eine eher schlechte Haftung der Folie (Hexis 300µm) auf der PP Flax Oberfläche des Tapes schließen.
- Die Verwendung des Cutters hat hier bessere Ergebnisse erzielt. So hat hier kaum eine Ablösung der Rauten zwischen den Schnitten stattgefunden.
- Dies hat sich auch beim Einschneiden in verschiedenen Winkeln bestätigt, um sicherzustellen, dass die Haftung der Folie nicht abhängig von der Layerrichtung ist.

5.4.3.2 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax mit 3M (110µm) & Hexis (300µm)

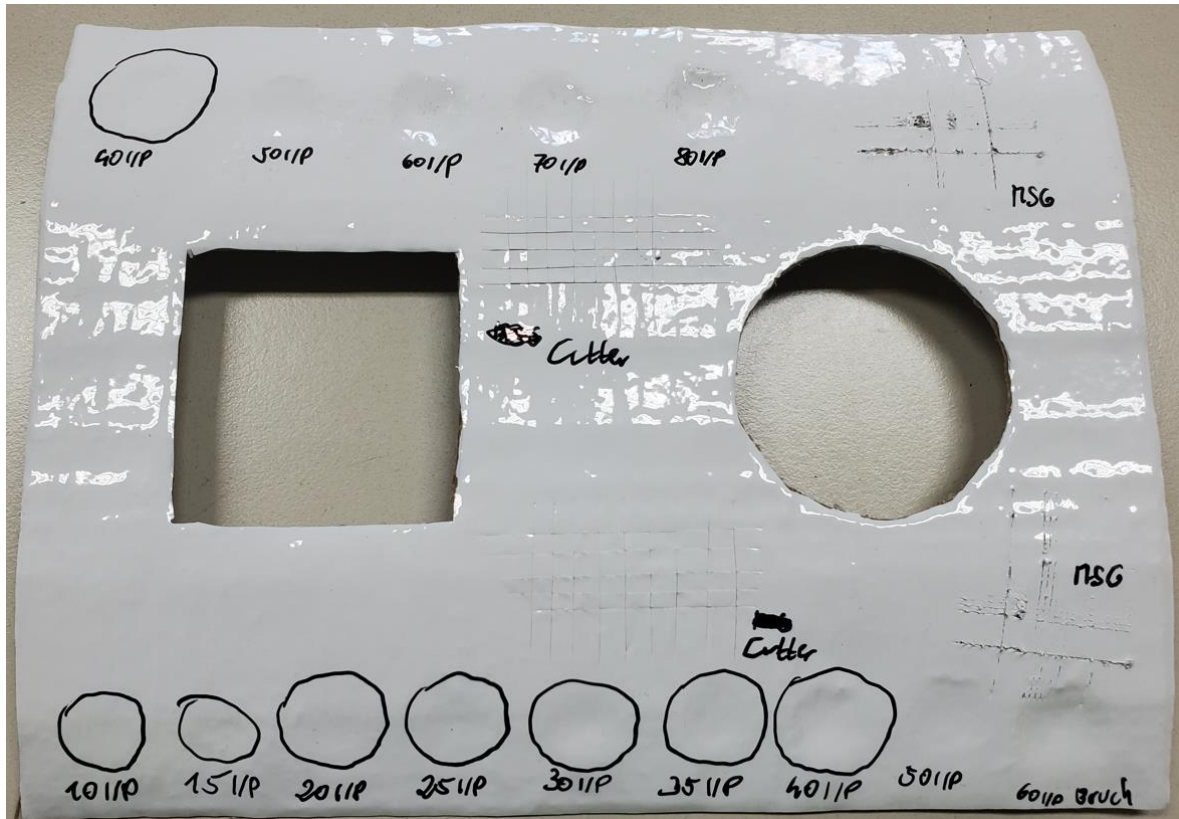


Abbildung 219: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax mit 3M (110µm) & Hexis (300µm)

- Wie hier zu erkennen ist, hat die Verwendung des MSG in Kombination mit beiden Folien (3M, 110µm und Hexis 300µm) besser Ergebnisse geliefert als nur mit der Hexis 300µm.
Das MSG hat hier die obere Folie teils zerschnitten ohne dabei diese (Hexis 300µm) von der unten Folie (3M, 110µm) nennenswert abzulösen.
- Die Verwendung des Cutters hat hier die gleichen Ergebnisse erzielt.
So hat hier kaum eine Ablösung der Rauten zwischen den Schnitten oder auch zwischen den beiden Folien, stattgefunden.

5.4.3.3 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PA6 Carbon mit LECHSYS LS155, weiß

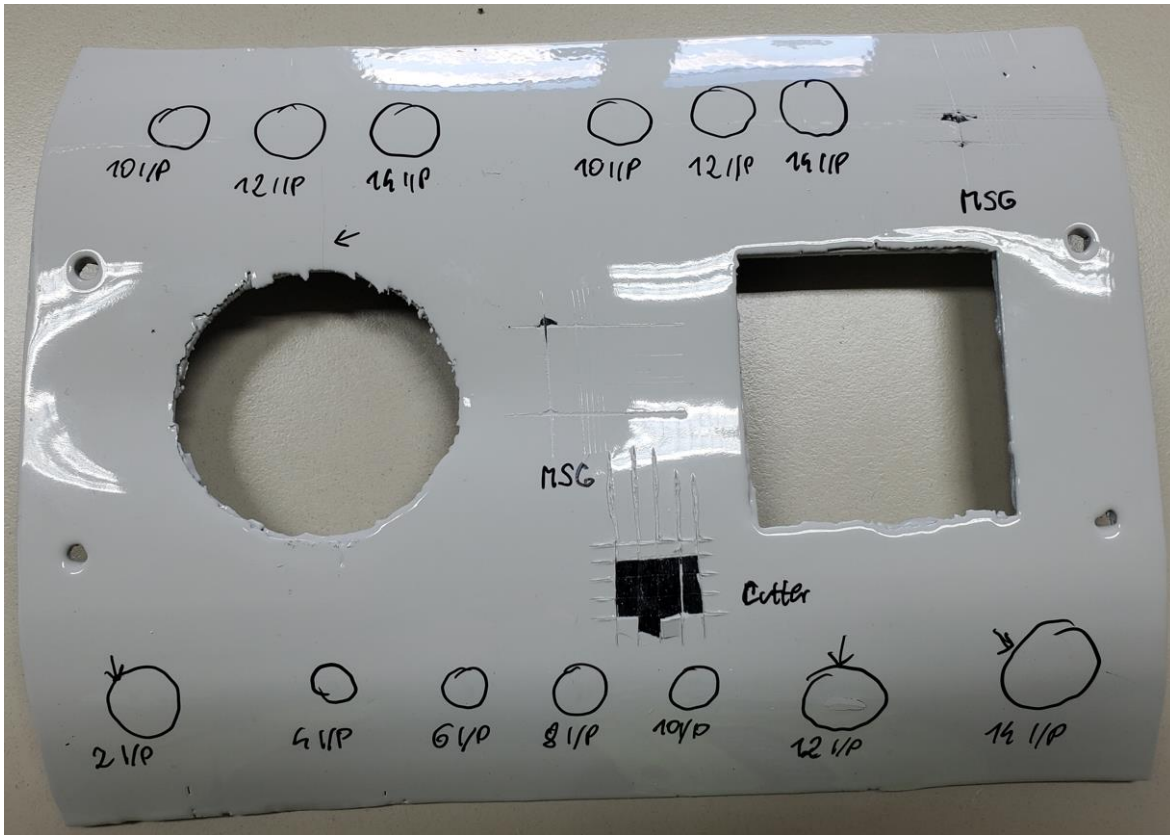


Abbildung 220: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PA6 Carbon mit LECHSYS LS155, weiß

- Das MSG war hier nicht in der Lage die Lackierung zu Durchdringen. Trotzdem ist die Beschichtung im Bereich der Überschneidungen teils abgelöst/abgesprungen. Dies hat vermutlich den Hintergrund, dass durch den teilweisen einschneiden der Lackierung, in Kombination mit dem Anpressen des MSG, die geschwächte Oberfläche mehr gesprungen als durchschnitten wurde.
- Mit dem Cutter konnte die Lackierung durchschnitten werden. Wie gut zu erkennen ist, haben sich die Rauten des Gitterschnitts beinahe vollständig von der PA6 Carbon UD-Tape abgelöst. Dies lässt auf schlechte Haftigenschaften der Lackierung auf diesem Tape (zumindest in kleinen Bereichen (auf denen zuvor eine massive Krafteinwirkung stattgefunden hat) schließen.

5.4.3.4 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,4) mit Hexis (300µm)



Abbildung 221: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,4) mit Hexis (300µm)_#1



Abbildung 222: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,4) mit Hexis (300µm)_#2

- Auch hier hat das MSG kaum verwertbare Ergebnisse geliefert. Die Folie wurde im Bereich der Teststellen mehr weggedrückt als geschnitten was auf eine eher schlechte Haftung der Folie (Hexis 300µm) auf der PP Oberfläche schließen lässt.
- Die eher schlechte Haftung der Folie auf der PP Oberfläche hat sich nochmals bei der Verwendung des Cuttermesser bestätigt. Im Bereich zwischen den Schnitten haben sich diese kleinen Folienstücke teils abgelöst. Mit etwas Druck ließen sich die verbliebenen Teilstücke teils ohne Widerstand wegschieben.

5.4.3.5 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PP (0,4mm) mit 3M (110µm) & Hexis (300µm)

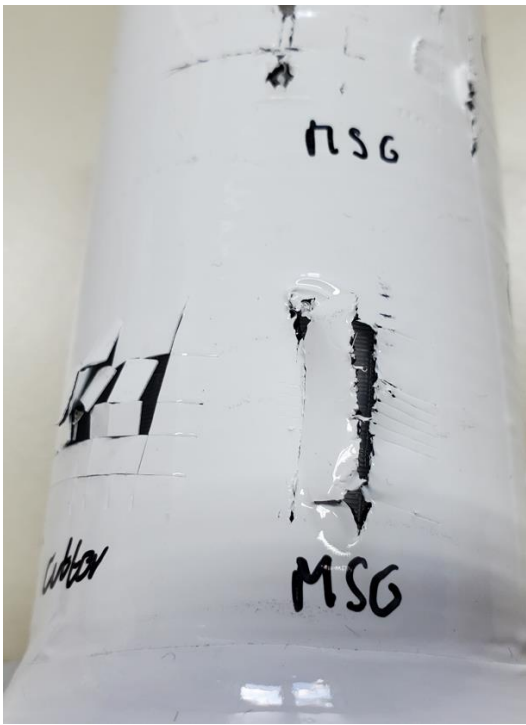


Abbildung 223: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PP (0,4mm) mit 3M (110µm) & Hexis (300µm)_#1

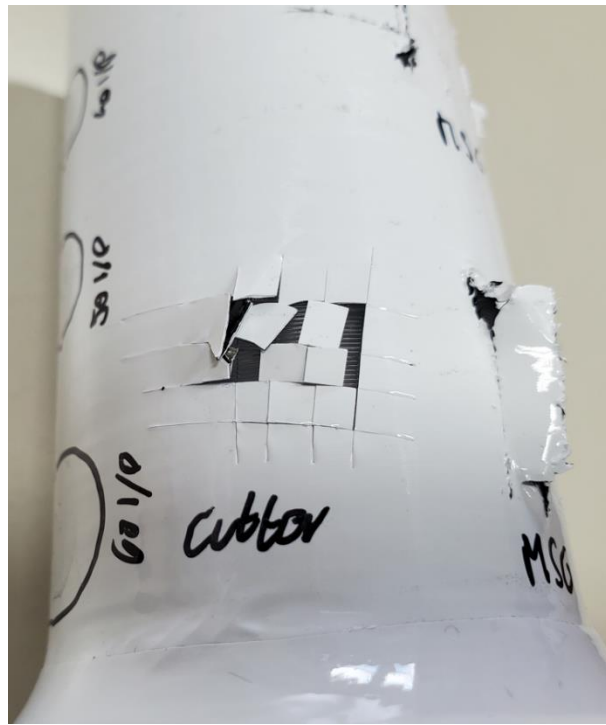


Abbildung 224: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PP (0,4mm) mit 3M (110µm) & Hexis (300µm)_#2

- Die Verwendung des MSG war bei diesem Bauteil durch dessen Geometrie relativ schwierig. So haben die Klingen in der Mitte des Schneidkopfs gut aufgesetzt werden können, die beiden Klingen an den Seiten hatten jedoch, abhängig von der Schnittrichtung keinen Kontakt zur Oberfläche.
- Im Bereich des Gitterschnitts hat auch hier das MSG beide Folien zur Seite gedrückt, was auf eine eher schlechte Haftung auf der PP Oberfläche schließen lässt.
- Die eher schlechte Haftung der Folie auf der PP Oberfläche hat sich nochmals bei der Verwendung des Cuttermesser bestätigt. Im Bereich zwischen den Schnitten haben sich diese kleinen Folienstücke teils abgelöst.

5.4.3.6 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PP (0,4mm) mit LECHSYS LS155, weiß

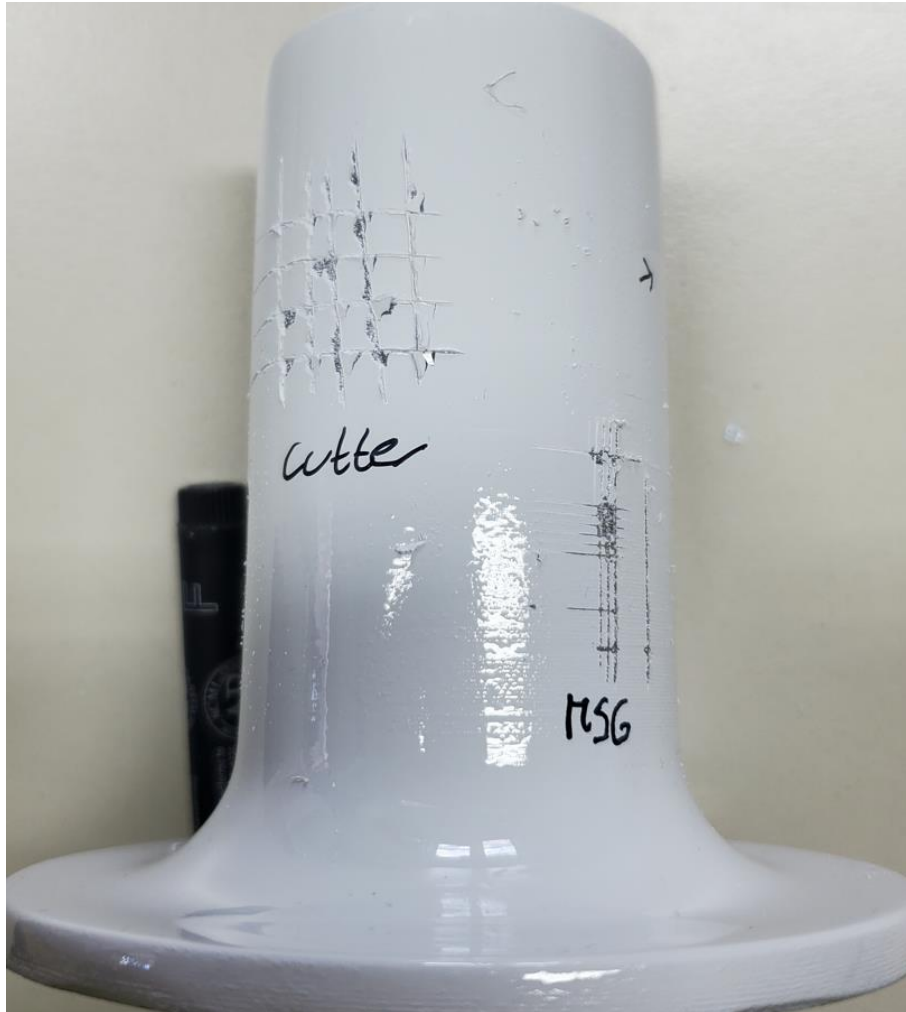


Abbildung 225: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PP (0,4mm) mit LECHSYS LS155, weiß

- Das MSG war hier nicht in der Lage die Lackierung zu Durchdringen. Trotzdem ist die Beschichtung im Bereich der Überschneidungen teils abgelöst/abgesprungen. Dies hat vermutlich den Hintergrund, dass durch den teilweisen einschneiden der Lackierung, in Kombination mit dem Anpressen des MSG, die geschwächte Oberfläche mehr gesprungen als durchschnitten wurde.
- Mit dem Cutter konnte die Lackierung durchschnitten werden. Wie gut zu erkennen ist, haben sich die Rauten des Gitterschnitts beinahe vollständig von der PA6 Carbon UD-Tape abgelöst. Dies lässt auf schlechte Hafteigenschaften der Lackierung auf diesem Tape (zumindest in kleinen Bereichen (auf denen zuvor eine massive Krafteinwirkung stattgefunden hat) schließen.

5.4.3.7 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm) mit 3M (110µm)



Abbildung 226: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm) mit 3M (110µm)

- Im Bereich des Gitterschnitts hat auch hier das MSG die Folien zur Seite gedrückt, was auf eine eher schlechte Haftung auf der PP Oberfläche schließen lässt. Ein Schnitt, selbst bei der dünneren 110µm dicken 3M Folie war hier kaum möglich.
- Die eher schlechte Haftung der Folie auf der PP Oberfläche hat sich nochmals bei der Verwendung des Cuttermesser bestätigt. Im Bereich zwischen den Schnitten haben sich diese kleinen Folienstücke teils abgelöst.

5.4.3.8 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm) mit Upol Raptor, schwarz



Abbildung 227: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm) mit Upol Raptor, schwarz_#1

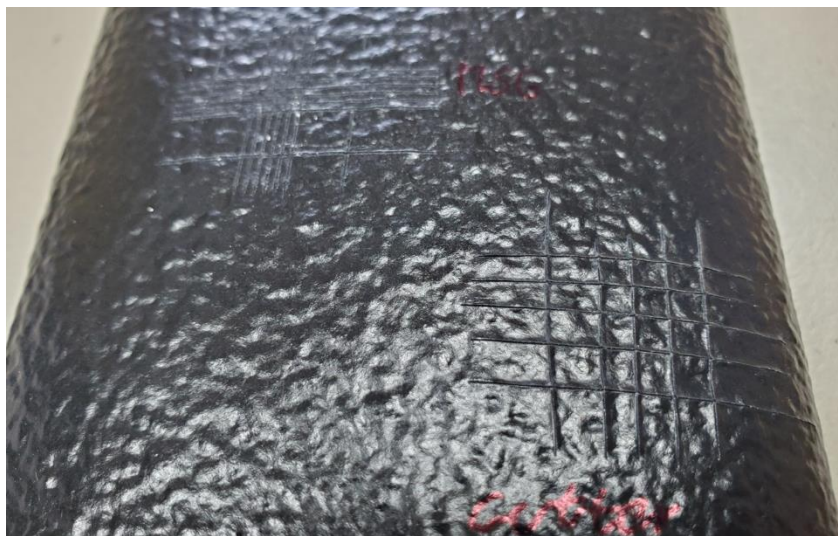


Abbildung 228: 5_Allgemeines Muster_FFF_Ellipse in PP (0,4mm) mit Upol Raptor, schwarz_#2

- Das MSG war hier nicht in der Lage die Lackierung zu Durchdringen. Es fand hier auch keine Ablösung der Beschichtung statt.
 - Mit dem Cutter konnte die Lackierung durchschnitten werden. Jedoch kam es auch hier zu keiner Ablösung der Beschichtung.
- Anzumerken ist jedoch, dass bei einem weiteren, mit dem Raptor-Lack veredelten Bauteil, diese kleinen Elemente zwischen dem Gitterschnitt, sich auch abgelöst haben. Dieses, in den Bildern ersichtliche Bauteil, stellt damit eine Ausnahme dar.

5.5 Die Salzsprühnebelprüfung

Dies ist ein genormtes Verfahren gemäß der DIN 53167 (aktuell DIN EN ISO 9227: 2006-10) [Salzsprühnebelprüfung an Beschichtungen].

Leider wurde uns hier nur die veraltete Norm DIN 53167 zur Verfügung gestellt.

Dieses Verfahren dient der Ermittlung von Haftungsverminderungen/Haftungsverlusten von Beschichtungen unter Einfluss einer Natrium-Chlorid-Lösung. Im Detail dient dieses Verfahren dazu, kleine Fehlstellen in der Beschichtung zu unterwandern und so den Bereich zwischen Substrat und Beschichtung anzugreifen.²⁵

5.5.1 Die Versuchsanlage

Die Anlage besteht aus einer Testkammer, in welcher eine 5%ige NaCl-Lösung verdampft wird, um einen Salzwassernebel zu erzeugen. Die Temperatur im Inneren der Anlage beträgt dabei konstant 35°C bei ca. 47% Luftfeuchte.



Abbildung 229: Salzsprühnebelanlage #1



Abbildung 230: Salzsprühnebelanlage #2

Im Inneren der Anlage werden auf verschiedenen Halterungen die jeweiligen Testbauteile platziert.

Bei der Prüfung werden Bauteile zuvor angeritzt und für eine gewünschte Dauer in die Testkammer gegeben. Nach abgelaufener Zeit werden die Bauteile im Bereich des Ritzes genauer betrachtet, um festzustellen, wie groß der Bereich der Unterwanderung der Beschichtung ist. Je nach Beschichtungstyp, Anwendung, usw. werden die erfolgt eine Interpretation der Ergebnisse.

Da unsere Testbauteile nicht vollständig von der Beschichtung/Folie umhüllt sind, wird eine Unterwanderung zwangsläufig stattfinden. Dieser Test dient vielmehr dazu herauszufinden, wie stark sich die jeweilige Beschichtung nach 6 Tagen ablöst.

²⁵ Vgl. DIN 53167, 1985, S.1., (Norm im Anhang vorhanden)

5.5.2 Die verwendeten Testbauteile

Insgesamt werden 14 Bauteile auf die Auswirkungen des Salznebels getestet. Es wurde darauf geachtet, dass eine größtmögliche Anzahl an Materialpaarungen (Grundkörpermaterial mit Beschichtungsmaterial) getestet wurde, um mögliche Stärken und Schwächen herauszufinden.

Unten angeführt befindet sich eine Liste den getesteten Bauteilen, sowie Bilder der Testbauteile, eingelegt in der Testkammer:

Testbauteile für Salzsprühnebelprüfung			
Stück	Bauteil	Material	Beschichtung
1	2_Allgemeines Muster_UD Tape_2	PA6 Carbon	LECHSYS LS155, weiß
1	2_Allgemeines Muster_UD Tape_2	PA6 Carbon	3M Wrap Folie Serie 2080 (110µm)
1	2_Allgemeines Muster_UD Tape_2	PP Plax	LECHSYS LS155, weiß
1	2_Allgemeines Muster_UD Tape_2	PP Plax	3M Wrap Folie Serie 2080 (110µm)
1	2_Allgemeines Muster_UD Tape_2	PP Plax	3M (110µm) & Hexis (300µm)
1	3_Allgemeines Muster_FFF_Quader	PA 0,4	Hexis CARPRO300 (300µm)
1	3_Allgemeines Muster_FFF_Quader	PA 0,4	LECHSYS LS155, weiß
1	3_Allgemeines Muster_FFF_Quader	PP 0,4	LECHSYS LS155, weiß
1	3_Allgemeines Muster_FFF_Quader	PP 0,4	3M Wrap Folie Serie 2080 (110µm)
1	4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder	PA 0,4	3M Wrap Folie Serie 2080 (110µm)
1	4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder	PA 0,4	Upol RAPTOR, schwarz
1	4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder	PA 0,6	LECHSYS LS155, weiß
1	4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder	PP 0,4	Hexis CARPRO300 (300µm)
1	4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder	PP 0,6	LECHSYS LS155, weiß

Tabelle 11: Testbauteile für Salzsprühnebelprüfung



Abbildung 231: Testbauteile im Inneren der Prüfkammer #1



Abbildung 232: Testbauteile im Inneren der Prüfkammer #2

5.5.3 Die Ergebnisse der Salzsprühnebelprüfung

Nach etwa 2 Tagen, mussten unsere Testbauteile für etwa 5 Minuten aus der Kammer herausgeholt werden, da Bauteile aus einem anderen Prüfvorgang entfernt werden mussten. Direkt danach wurden unsere Bauteile wieder in die Testkammer gegeben. Eine schnelle Begutachtung ergab, dass sich weder Folien noch die Lacke nach diesen zwei Tagen, von unseren Testbauteilen abgelöst hatten.

Unsere Bauteile wurden insgesamt für knapp 6 Tage (143h) in der Anlage, bei 47% Luftfeuchte und einer Temperatur von 35°C belassen.

Anmerkung: Nach dem die Testbauteile nach 6 Tagen aus der Testkammer herausgenommen wurde, fehlte das Bauteil "2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PA6 Carbon mit 3M (110µm) & Hexis (300µm)". Dies konnte leider nicht mehr gefunden werden. Es wird angenommen, dass Dieses aus Versehen mit den Testbauteilen der anderen Prüfserie nach dem zweiten Tag mitgenommen wurde.

Unten angeführt einige der Bauteile nach der Salzsprühnebelprüfung:

5.5.3.1 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax mit 3M Wrap Folie Serie 2080 (110µm)

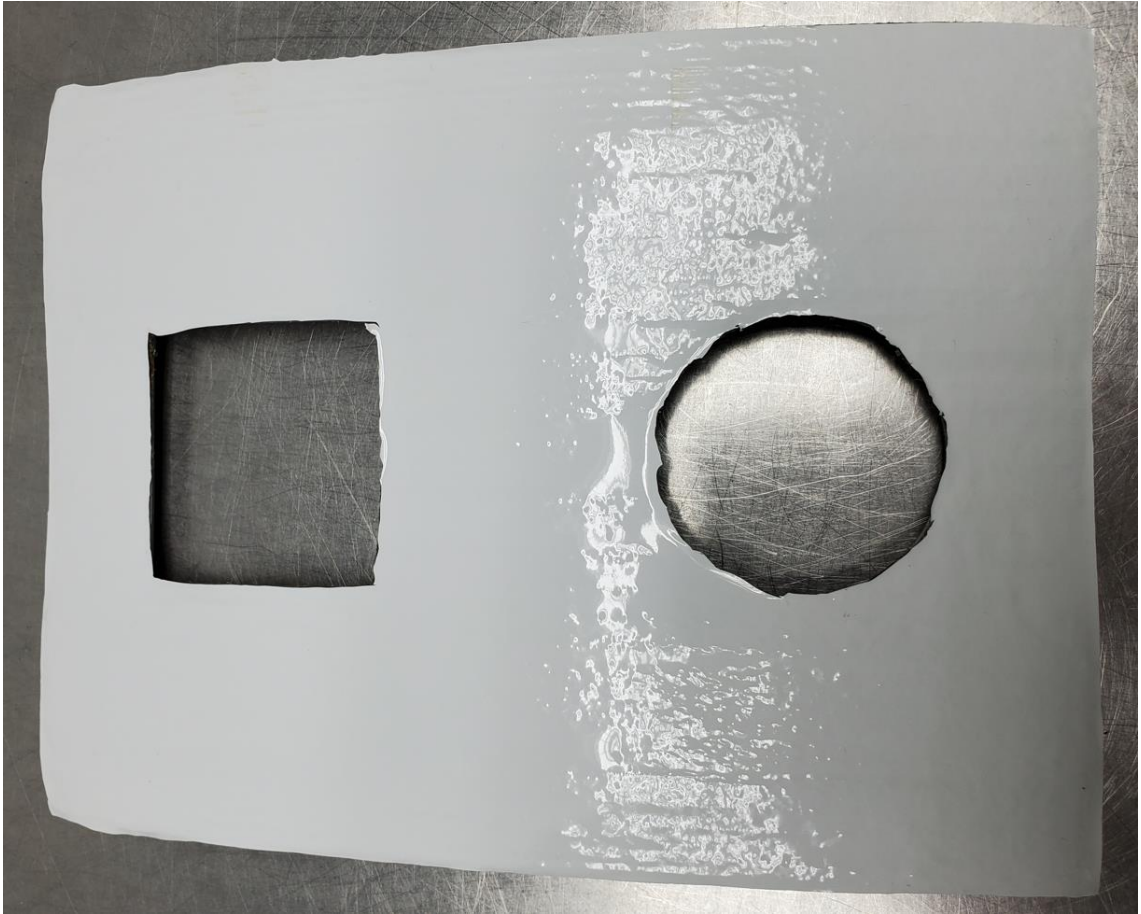


Abbildung 233: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax mit 3M Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_nach Test_#1



Abbildung 234: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax mit 3M Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_nach Test_#2

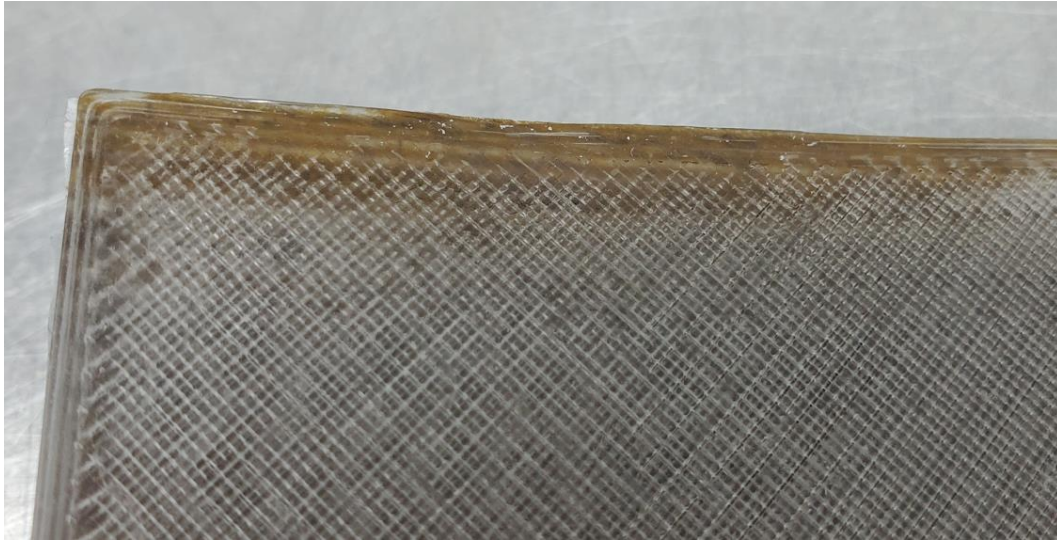


Abbildung 235: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax mit 3M Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_nach Test_#3

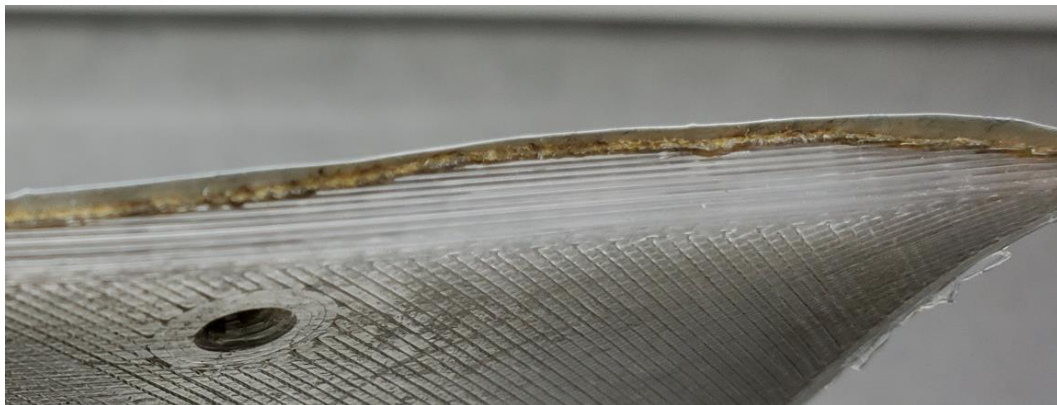


Abbildung 236: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax mit 3M Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_nach Test_#4

- An keiner Stelle unseres Bauteils, lässt sich ein Ablösen der Folie erkennen.
- Die einzige, optische Veränderung am Bauteil ist an der Rückseite zu finden. Hier ist das PP des Grundbauteils, an der Seite beinahe transparent geworden (Abbildung 235).

5.5.3.2 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax mit LECHSYS LS155, weiß

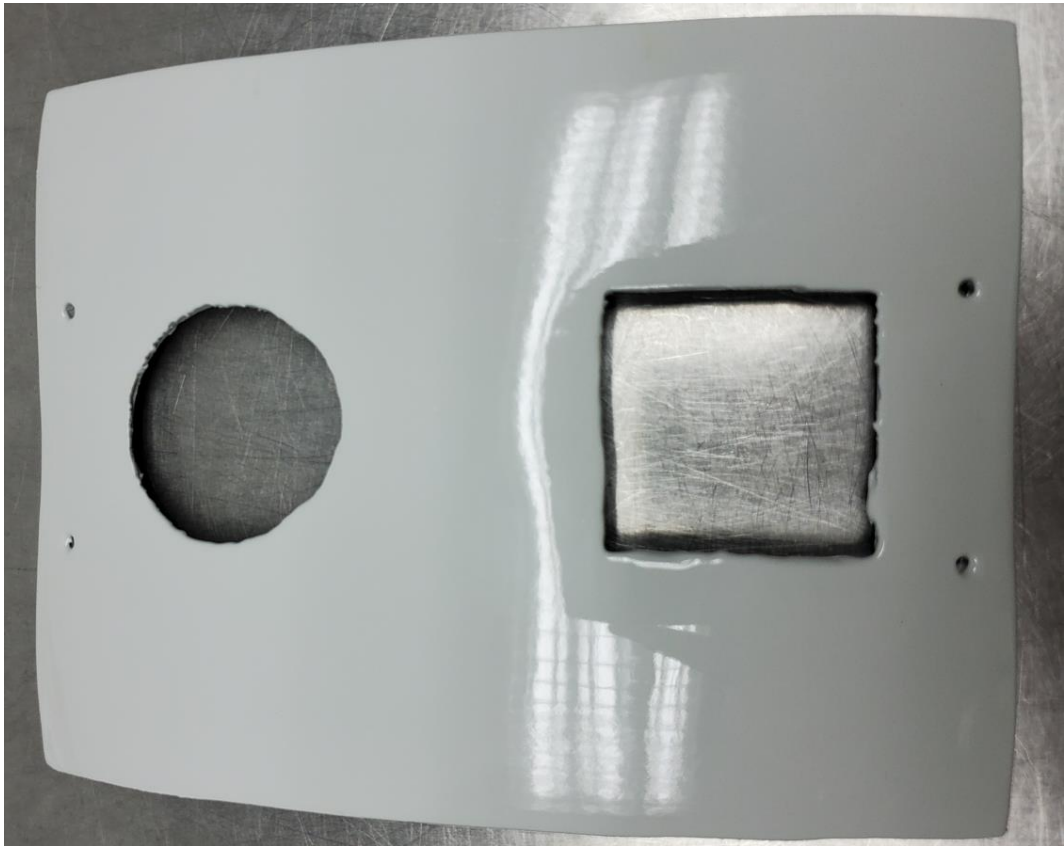


Abbildung 237: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax mit LECHSYS LS155, weiß_nach Test #1



Abbildung 238: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax mit LECHSYS LS155, weiß_nach Test #2



Abbildung 239: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PP Flax mit LECHSYS LS155, weiß_nach Test_#3

- Auch bei der Lackierung mit Lechsys LS155 konnten keine Beschädigungen an der Beschichtung, hervorgerufen durch den Test erkannt werden.
- Ein Ablösen der Lackierung konnte ebenfalls nicht festgestellt werden.
- Einzig an der Oberfläche gibt es zwei kleine Druckstellen, welche von der Halterung, in der das Bauteil eingespannt war, stammen (Abbildung 232).

5.5.3.3 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PA6 Carbon mit 3M Wrap Folie Serie 2080 (110µm)

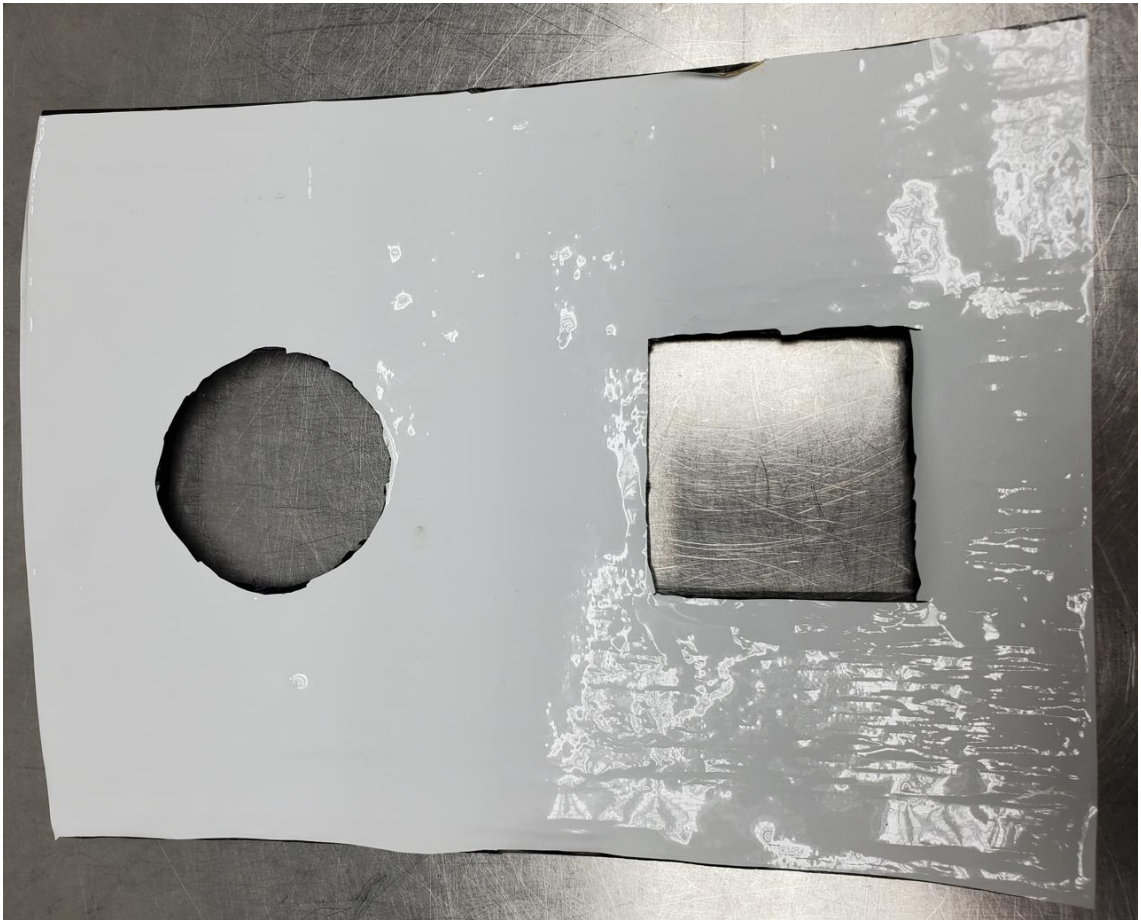


Abbildung 240: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PA6 Carbon mit 3M Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_nach Test_#1



Abbildung 241: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PA6 Carbon mit 3M Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_nach Test_#2



Abbildung 242: 2. Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in
PA6 Carbon mit 3M Wrap Folie Serie 2080
(110µm)_nach Test_#3



Abbildung 243: 2. Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in
PA6 Carbon mit 3M Wrap Folie Serie 2080
(110µm)_nach Test_#4

- An der Folie selbst konnten keine Beschädigungen erkannt werden.
- Ein Ablösen der Folie konnte, bedingt durch das Testverfahren, nirgends erkannt werden.
- Die beiden Stellen, an denen sich die Folie in der Mitte der Fläche abgelöst hat, sind durch die Bauteilhalterung entstanden (Abbildung 232).
Da beide Fehlstellen genau gegenüber liegen, wird hier angenommen, dass diese Beschädigungen durch die Bauteilhalterung entstanden sind. Eine Seite beim erstmaligen Einspannen, die andere Seite, nachdem die Bauteile nach zwei Tagen entfernt und wieder eingesetzt worden sind.
- Eine leichte Verformung des Grundkörpers konnte festgestellt werden.

5.5.3.4 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PA6 Carbon LECHSYS LS155, weiß

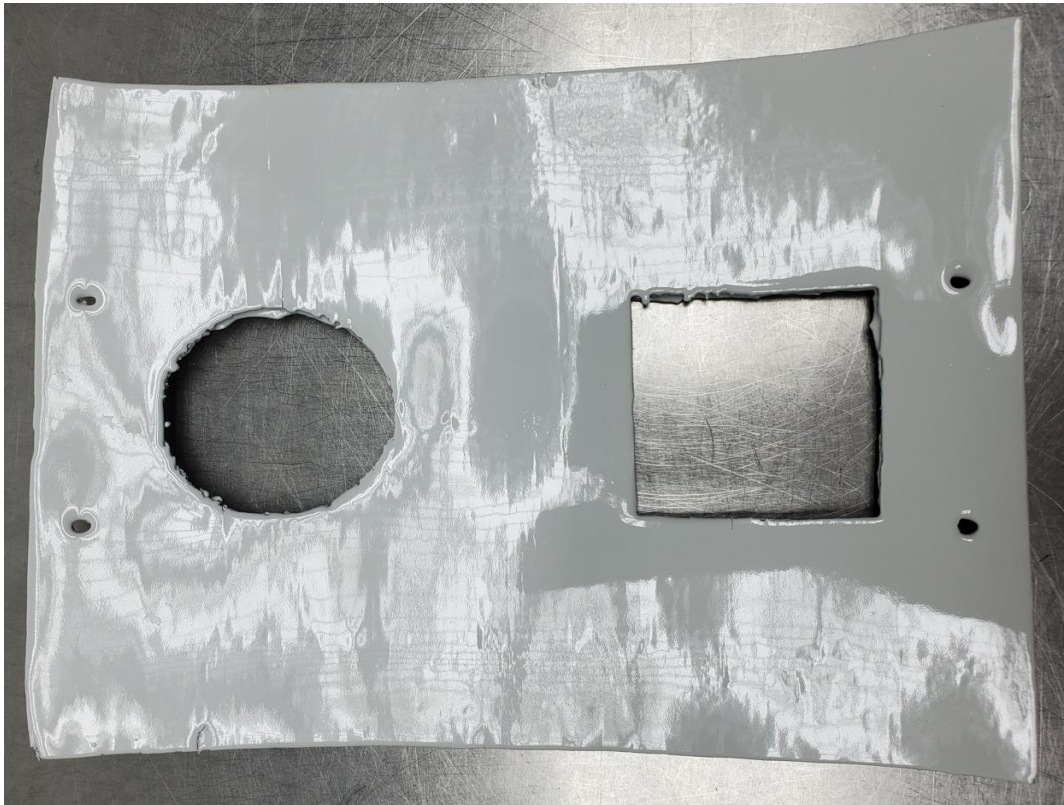


Abbildung 244: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PA6 Carbon LECHSYS LS155, weiß_nach Test_#1

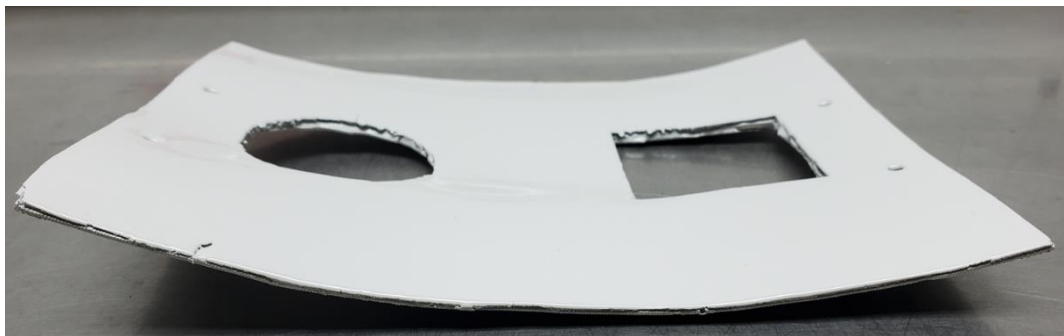


Abbildung 245: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PA6 Carbon LECHSYS LS155, weiß_nach Test_#2



Abbildung 246: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PA6 Carbon LECHSYS LS155, weiß_nach Test_#3

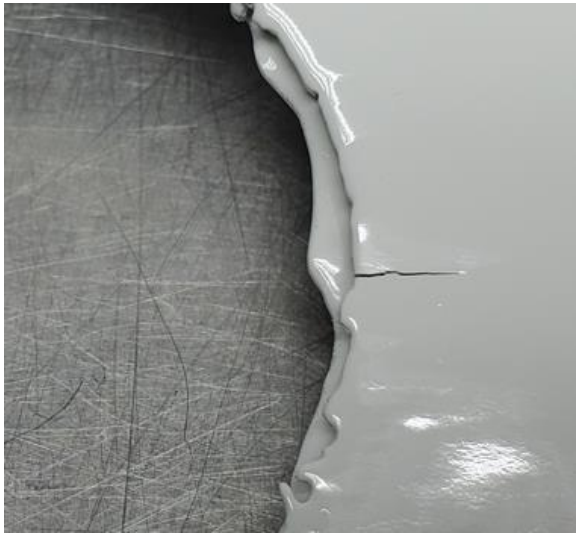


Abbildung 247: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PA6 Carbon LECHSYS LS155, weiß_nach Test_#4



Abbildung 248: 2_Allgemeines Muster_UD-Tape_2 in PA6 Carbon LECHSYS LS155, weiß_nach Test_#5

- Die Beschichtung (Lechsys LS155 Lack) ist bei diesem Bauteil an zwei Stellen gerissen. Beide Stellen befinden sich an den Aussparungen (Kreis, Rechteck).
- Das Grundbauteil selbst, verformte sich im Laufe des Tests relativ stark (Krümmung nach oben).
- Ein Ablösen der Lackschicht konnte nirgends festgestellt werden.

5.5.3.5 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,4mm) mit 3M Wrap Folie Serie 2080 (110µm)

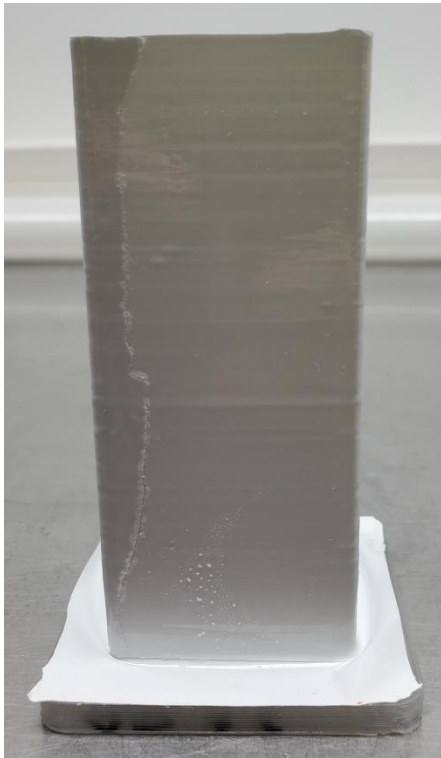


Abbildung 249: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,4mm) mit 3M Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_nach Test_#1

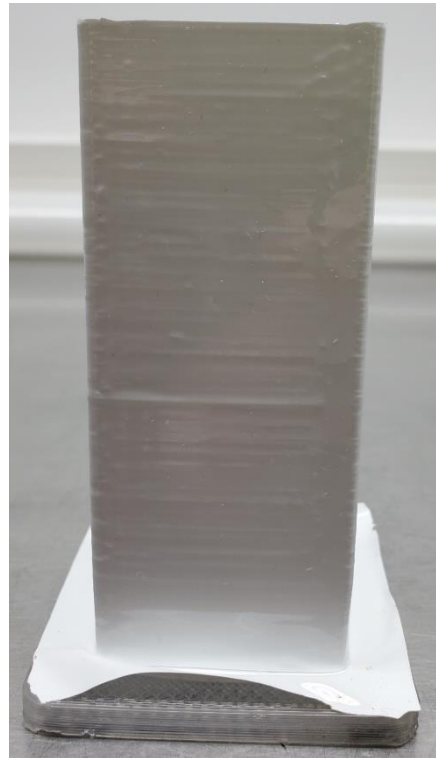


Abbildung 250: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,4mm) mit 3M Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_nach Test_#2



Abbildung 251: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,4mm) mit 3M Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_nach Test_#3



Abbildung 252: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PP (0,4mm) mit 3M Wrap Folie Serie 2080 (110µm)_nach Test_#4

- Im Vergleich zum Bauteil vor dem Testverfahren, hat sich hier die Folie etwas weiter an der Basis abgelöst.
- Eine Beschädigung an der Folie konnte nirgends erkannt werden.
- Am Quader, sowie an dessen Oberseite wurde kein weiteres Ablösen der Folie erkannt.

5.5.3.6 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA6 (0,4mm) mit Hexis (300µm)



Abbildung 253: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA6 (0,4mm) mit Hexis (300µm)_nach Test_#1

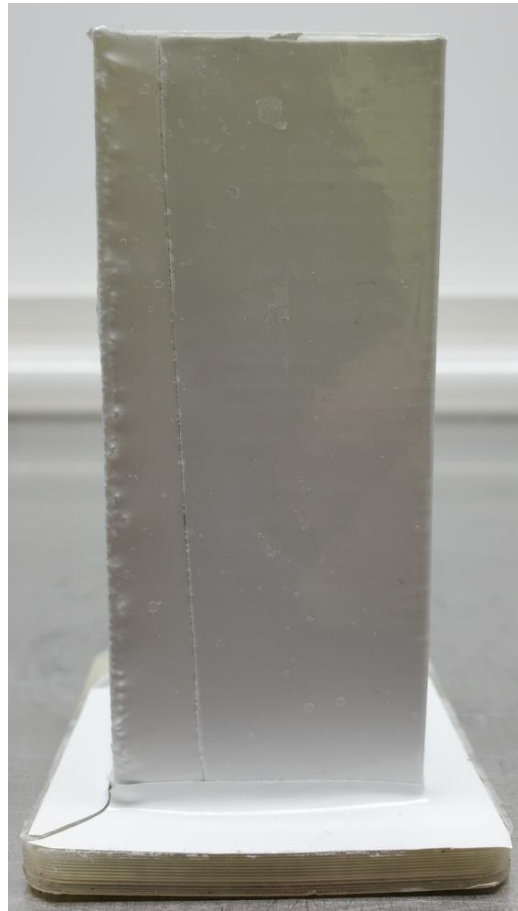


Abbildung 254: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA6 (0,4mm) mit Hexis (300µm)_nach Test_#2

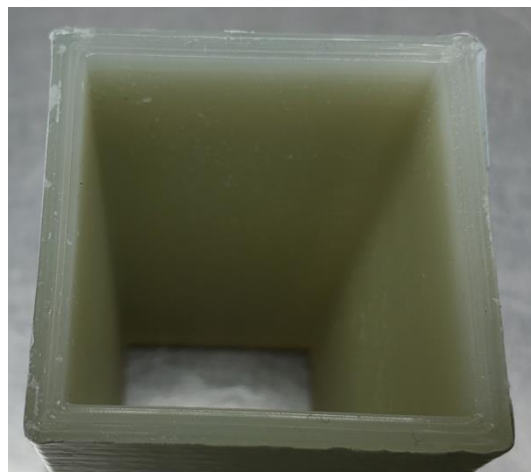


Abbildung 255: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA6 (0,4mm) mit Hexis (300µm)_nach Test_#3

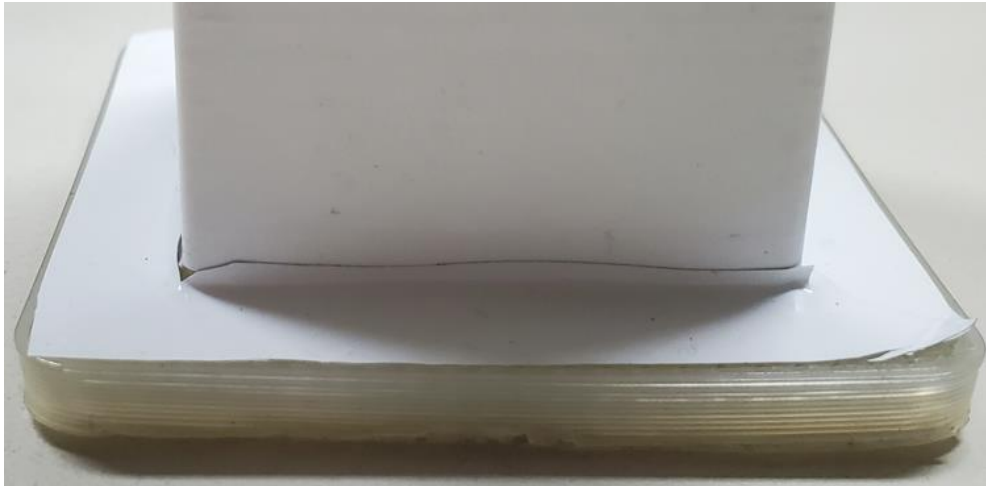


Abbildung 256: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA6 (0,4mm) mit Hexis (300µm)_vor Test_#1



Abbildung 257: 3_Allgemeines Muster_FFF_Quader in PA6 (0,4mm) mit Hexis (300µm)_nach Test_#4

- Im Vergleich zum Bauteil vor dem Testverfahren (Abbildung 256, Abbildung 257), hat sich hier die Folie etwas weiter an der Basis abgelöst.
- Eine Beschädigung an der Folie konnte nirgends erkannt werden.
- Am Quader, sowie an dessen Oberseite wurde kein weiteres Ablösen der Folie erkannt.

5.5.3.7 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,4mm) mit Upol RAPTOR, schwarz



Abbildung 258: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,4mm) mit Upol RAPTOR, schwarz_nach Test_#1



Abbildung 259: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,4mm) mit Upol RAPTOR, schwarz_nach Test_#2



Abbildung 260: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,4mm) mit Upol RAPTOR, schwarz_nach Test_#3



Abbildung 261: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,4mm) mit Upol RAPTOR, schwarz_nach Test_#4

- Es konnte keine Beschädigung der Beschichtung erkannt werden.
- Ein Ablösen der der Beschichtung konnte ebenfalls nicht erkannt werden
- Die Basis des Bauteils selbst, hat sich leicht nach oben gekrümmt.

5.5.3.8 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,6mm) mit LECHSYS LS155, weiß



Abbildung 262: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,6mm) mit LECHSYS LS155, weiß_nach Test_#1



Abbildung 263: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,6mm) mit LECHSYS LS155, weiß_nach Test_#2



Abbildung 264: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,6mm) mit LECHSYS LS155, weiß_nach Test_#3



Abbildung 265: 4_Allgemeines Muster_FFF_Zylinder in PA6 (0,6mm) mit LECHSYS LS155, weiß_nach Test_#4

- Die Beschichtung dieses Bauteils ist an mehreren Stellen gerissen.
- Am Zylinderkörper scheinen die Risse entlang der jeweiligen Layerhöhe des FFF-Bauteils zu verlaufen.
- Auch rund um die Basis sind durch den Test div. Risse entstanden.
- Entlang der Risse hat sich begonnen, der Lackschicht abzulösen.
- Ein Ablösen/Abplatzen der Beschichtung konnte an der Oberseite/Innenseite nicht erkannt werden.

6 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die durchgeführten Tests haben gezeigt, dass eine jede Beschichtung, in Kombination mit den verschiedenen Testbauteilen (sei es betreffend die Geometrie oder das verwendete Material des Grundkörpers) je nach durchgeführtem Test, verschiedene Stärken und Schwächen aufweisen.

Eine "klaren Sieger", gibt es hier nicht, sondern viel mehr die Notwendigkeit einer Auswahl der entsprechenden Materialpaarung, abgestimmt für einen bestimmten Anwendungsfall.

- So weist etwa der Upol Raptor- Lack den besten Schutz gegen Steinschlag oder Schnittbeanspruchungen auf, ist jedoch für Bauteile, welche eine ansprechende, glatte Oberfläche haben muss, ungeeignet.
- Die Oberfläche von folierten Bauteilen hingegen, ist am widerstandsfähigsten gegen wiederkehrende Kollisionen (wie leichte Zusammenstöße mit anderen Flächen).
- Die optisch besten Ergebnisse in Hinblick auf das Kaschieren von fertigungsbedingten, groben Oberflächen, wies wiederum der Lechsys LS155 Lack, in weiß auf.
- In Hinblick auf Witterungsbeständigkeit (UV als auch Salzwasser) scheinen die folierten Bauteile (Grundkörpermaterial- oder Geometrieunabhängig) am widerstandsfähigsten zu sein.

Unten angeführt noch eine Tabelle (Für Ansicht in groß → im Word-File rechte Maustaste → Objekt öffnen):

	UPOL RAPTOR	LECHSYS LS155	UPOL RAPTORG	LECHSYS LS155G	UPOL RAPTORS	LECHSYS LS155S	UPOL RAPTORM	LECHSYS LS155M	UPOL RAPTORS	LECHSYS LS155S	UPOL RAPTORM	LECHSYS LS155M
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												
21												
22												
23												
24												
25												
26												
27												
28												
29												
30												
31												
32												
33												
34												
35												
36												
37												
38												
39												
40												
41												
42												
43												
44												
45												
46												
47												
48												
49												
50												
51												
52												
53												
54												
55												
56												
57												
58												
59												
60												
61												
62												
63												
64												
65												
66												
67												
68												
69												
70												
71												
72												
73												
74												
75												
76												
77												
78												
79												
80												
81												
82												
83												
84												
85												
86												
87												
88												
89												
90												
91												
92												
93												
94												
95												
96												
97												
98												
99												
100												

Tabelle 12: Zusammenfassung der Ergebnisse

Literatur

- Abbildung 1 https://www.leichtbauwelt.de/wp-content/uploads/2021/10/Bild_2_Bildrechte_Hexagon.jpg (zuletzt aufgerufen am 17.12.23)
- Abbildung 2 <https://empowerax.dlr.de/images/UD-tape.PNG> (zuletzt geöffnet am 17.12.23)
- Abbildung 3 https://www.trelleborg.com/seals/-/media/tss-media-repository/tss_website/products/advanced-composites/ad_afp_torch.jpg?h=450&iar=0&w=800&rev=-1&extension=webp&hash=871727CAF52AA2360FCB5AB1312CB997 (zuletzt geöffnet am 17.12.23)
- Abbildung 4 <https://www.researchgate.net/profile/Volker-Altstaedt/publication/317374574/figure/fig1/AS:504587404955648@1497314420100/Illustration-of-the-scrap-reduction-by-using-UD-tapes-Benchmark-A-two-dimensional.png> (zuletzt geöffnet am 17.12.23)
- Abbildung 5 <http://www.insta3dp.com/Content/upload/2022548574/202206091139325503489.png> (zuletzt geöffnet am 17.12.23)
- Abbildung 8 <https://i.all3dp.com/workers/images/fit=scale-down,w=1920,h=1080,gravity=0.5x0.5,format=auto/wp-content/uploads/2021/07/22135217/5ucqu7ycjwh21.jpg> (zuletzt geöffnet am 17.12.23)

Abbildung 9 https://s1.raise3d.com/2020/12/Raise3D-Academy_Info-Pic_Support-Structure-1-900x300.jpg (zuletzt geöffnet am 17.12.23)

Abbildung 10 https://uploads-ssl.webflow.com/573cd7e2103e63f747b02780/5c7300dedc46ccf8811ec091_layers-difference-01.png (zuletzt geöffnet am 17.12.23)

Datenblatt-
UD PP Flax
50 (siehe Ka-
pitel 3.2) BÜFA Thermoplastic Composites GmbH & Co. KG, https://thermoplasticcomposites.de/de/wp-content/uploads/sites/2/2021/04/PTDS_BUeFA_PP-Flax-UD50.pdf (zuletzt geöffnet am 17.12.23)

Datenblatt-
MCP1223 -
PA6 CF - 170
µm (siehe Ka-
pitel 3.2) BÜFA Thermoplastic Composites GmbH & Co. KG, https://thermoplasticcomposites.de/de/wp-content/uploads/sites/2/2023/01/TDS_UD-Tape_CF-PA6_170-%C2%B5m.pdf (zuletzt geöffnet am 17.12.23)

Datenblatt-
Formfutura
STYX PA6,
Farbe Natural
(siehe Kapitel
3.2) Formfutura, <https://formfutura.com/datasheets/formfutura-tds-styxp6.pdf> (zuletzt geöffnet am 17.12.23)

Datenblatt-
Formfutura
Centaur PP,
Farbe Natural
(siehe Kapitel
3.2) Formfutura, <https://formfutura.com/datasheets/formfutura-tds-centaurpp.pdf> (zuletzt geöffnet am 17.12.23)

Fehlstellen durch Tape- Lege-Maschinen	Minh Hoang Nguyen (2021); Experimental and numerical study on the tensile failure behavior of toughened-interlayer composite laminates with automated fiber placement (AFP) induced gap and overlap defects; https://www.researchgate.net/figure/Automated-fiber-placement-AFP-process-and-schematics-of-the-consolidation-phenomenon-of_fig1_343726178 ; (zuletzt geöffnet am 17.12.23)
UD-Tape Ver- schnitt	Malnati, Peggy (2019); Zero-waste: New process, equipment re- cycles prepreg, tape offal; https://www.compositesworld.com/articles/zero-waste-new-process-equipment-recycles-prepreg-tape-offal ; (zuletzt geöffnet am 17.12.23)
Norm- Steinschlag- prüfverfahren (siehe Kapitel 5.1)	EN ISO 20567-1:2017 [Beschichtungsstoffe - Prüfung der Stein- schlagfestigkeit von Beschichtungen - Teil 1: Multischlagprüfung]
Verfahrens- anweisung- Bewitterungs- verfahren (siehe Kapitel 5.2)	ASTM G154-06, Cycle 2 [Operating Fluorescent Light Apparatus for UV Exposure of Nonmetallic Materials]
Verfahrens- anweisung- Schlagzähig- keitsverfahren (siehe Kapitel 5.3)	ASTM D 2794:1993 [Prüfung von organischen Beschichtungen auf Beständigkeit gegen schnelle Verformung; Schlagbeanspru- chung]

Norm-
Gitterschnitt-
prüfung (siehe
Kapitel 5.4)

DIN EN ISO 2409 [Beschichtungsstoffe- Gitterschnittprüfung]

Norm-
Salzsprühne-
belprüfung
(siehe Kapitel
5.53.2)

DIN EN ISO 9227: 2006-10 (DIN 53167) [Salzsprühnebelprüfung
an Beschichtungen]

Anlagen

Teil 1 A-I

Anlagen, Teil 1

- Norm für das **Steinschlagprüfverfahren:**
EN ISO 20567-1:2017 [Beschichtungsstoffe - Prüfung der Steinschlagfestigkeit von Beschichtungen - Teil 1: Multischlagprüfung]



DIN_EN_ISO_20567-
1_2017_07_DE_Steins

- Verfahrensanweisung für das **Bewitterungsverfahren:**
ASTM G154-06, Cycle 2 [Operating Fluorescent Light Apparatus for UV Exposure of Non-metallic Materials]



ASTM G154-06 Cycle
2 UV-B Test.pdf

- Verfahrensanweisung für das **Schlagzähigkeitsverfahren:**
ASTM D 2794:1993 [Prüfung von organischen Beschichtungen auf Beständigkeit gegen schnelle Verformung; Schlagbeanspruchung]



ASTM D
2794_Schlagzähigkeit

- Norm für die **Gitterschnittprüfung:**
DIN EN ISO 2409 [Beschichtungsstoffe- Gitterschnittprüfung]



DIN EN ISO
2409_Gitterschnitt.pdf

- Norm für die **Salzsprühnebelprüfung:**
DIN EN ISO 9227: 2006-10 (DIN 53167) [Salzsprühnebelprüfung an Beschichtungen]



DIN 53167
Salsprühtest.pdf

- Tabelle 1 bis Tabelle 12:



Div.
Tabellen_Folieren und

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Gleisdorf, Österreich, den 29.12.2023



Christoph Feichtinger