

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Stand der Technik	5
2.1	Kohlenstoff und seine Modifikationen.....	5
2.1.1	Diamant	7
2.1.2	Graphit.....	9
2.1.3	Fullerene	11
2.1.4	Kohlenstoff-Nanoröhrchen.....	12
2.1.5	Graphen	14
2.1.6	Amorpher Kohlenstoff.....	16
2.2	Reibungs- und Verschleißmechanismen.....	20
2.3	Oberflächentechnologien	23
2.3.1	Plasmanitrieren	24
2.3.2	Beschichtungsverfahren.....	29
2.3.2.1	PVD-Verfahren.....	31
2.4	DLC als tribologisches Schichtsystem.....	38
2.4.1	Herstellungsvarianten von DLC-Schichten.....	39
2.4.2	Kombination aus Plasmanitrierung und DLC-Beschichtung	41
2.4.3	Multilagiger Aufbau von DLC-Schichten	42
2.4.4	Dotierung der DLC-Schichten.....	43
2.4.4.1	Dotierung mit leichten Elementen.....	44
2.4.4.2	Dotierung mit Metallen (Me-DLC)	44
2.4.5	Einfluss von Wasserstoff auf die DLC-Schichten	45
2.5	Holz.....	50
2.5.1	Holzwirtschaft	50

2.5.2	Holz als Werkstoff.....	53
2.5.2.1	Chemische Zusammensetzung.....	54
2.5.2.2	Physikalische Eigenschaften	55
2.5.2.3	Mechanische Eigenschaften.....	56
2.5.2.4	Holzbearbeitung.....	58
3	Zielsetzung und Vorgehensweise	63
4	Experimentelles.....	67
4.1	Substratmaterial	67
4.2	Probenherstellung	68
4.2.1	Oberflächenpräparation.....	69
4.2.2	Substratnitrierung.....	69
4.2.3	Beschichtung.....	70
4.3	Probencharakterisierung	74
4.3.1	Morphologie und Topographie	74
4.3.2	Strukturanalyse.....	74
4.3.2.1	XRD und XPS.....	75
4.3.2.2	Raman-Spektroskopie	75
4.3.2.3	Wasserstoffanalyse.....	76
4.3.3	Physikalische Eigenschaften.....	81
4.3.4	Tribologische Eigenschaften	84
4.3.4.1	Ritztest.....	84
4.3.4.2	Tribometer.....	86
4.3.5	Bauteilversuche	88
5	Substrateigenschaften	91
5.1	Gefügestruktur des Substratwerkstoffs	91
5.2	Zusammensetzung der Substratoberflächen	93

5.3	Härte und Rauheit der Substratoberflächen	94
5.4	Fazit	96
6	Charakterisierung der Schichtsysteme mit a-C-Decklage	99
6.1	Morphologie und Topographie der a-C-Schichtsysteme	100
6.2	Zusammensetzung und Struktur der a-C-Schichtsysteme	105
6.2.1	Raman-Analyse	106
6.2.2	Röntgenfotoelektronenspektroskopische Analyse (XPS)	112
6.3	Härte und E-Modul der a-C-Schichtsysteme	114
6.4	Haftung der a-C-Schichtsysteme	117
6.5	Tribologisches Verhalten der a-C-Schichtsysteme	123
6.5.1	Reibverhalten der a-C-Schichtsysteme	124
6.5.1.1	Trockene Umgebungsbedingungen	124
6.5.1.2	Feuchte Umgebungsbedingungen	129
6.5.1.3	Fazit	133
6.5.2	Verschleißverhalten der a-C-Schichtsysteme	134
6.5.2.1	Trockene Umgebungsbedingungen	134
6.5.2.2	Feuchte Umgebungsbedingungen	140
6.5.2.3	Fazit	146
7	Charakterisierung der Schichtsysteme mit a-C:H-Decklage	149
7.1	Morphologie und Topographie der a-C:H-Schichtsysteme	149
7.2	Zusammensetzung und Struktur der a-C:H-Schichtsysteme	154
7.2.1	Röntgenfotoelektronenspektroskopische Analyse (XPS)	155
7.2.2	Wasserstoffanalyse	156
7.3	Härte und E-Modul der a-C:H-Schichtsysteme	158
7.4	Haftung der a-C:H-Schichtsysteme	162
7.5	Tribologisches Verhalten der a-C:H-Schichtsysteme	167

7.5.1	Reibverhalten der a-C:H-Schichtsysteme	168
7.5.1.1	Trockene Umgebungsbedingungen.....	168
7.5.1.2	Feuchte Umgebungsbedingungen.....	171
7.5.1.3	Fazit	176
7.5.2	Verschleißverhalten der a-C:H-Schichtsysteme	177
7.5.2.1	Trockene Umgebungsbedingungen.....	177
7.5.2.2	Feuchte Umgebungsbedingungen.....	181
7.5.2.3	Fazit	187
8	Vergleich der tribologischen Eigenschaften der DLC-Schichtsysteme	189
8.1	Vergleich des Reibverhaltens der a-C- und a-C:H-Schichtsysteme	189
8.2	Vergleich des Verschleißverhaltens der a-C- und a-C:H-Schichtsysteme	192
8.3	Tribologisches Verhalten der DLC-Schichtsysteme gegenüber Buchen- und Fichtenholz	196
8.4	Fazit.....	202
9	Bauteilversuche der verschleiß- und reibungsoptimierten DLC-Schichten.....	207
9.1	Auswertung und Diskussion der Bauteilversuche	207
9.2	Fazit.....	215
10	Zusammenfassung und Ausblick	217