

Inhaltsverzeichnis	Seite
Formelzeichen, Abkürzungen und Dimensionen.....	V
1 Einleitung.....	1
2 Stand der Technik.....	5
2.1 Tragfähigkeit PVD-beschichteter Zahnflanken	7
2.1.1 Adhäsiver/abrasiver Verschleiß	7
2.1.2 Oberflächenermüdung	10
2.2 Tragfähigkeit PVD-beschichteter Wälzkontakte im Analogieversuch	11
2.3 Zwischenstoff im PVD-beschichteten Kontakt	15
3 Aufgabenstellung und Zielsetzung.....	17
4 Prüfeinrichtungen, Versuchsmaterialien und Analysemethoden.....	19
4.1 Prüfstände	19
4.2 Prüfkörper, Beschichtungssysteme und Schmierstoffe	21
4.3 Analysemethoden	24
5 Eigenschaften PVD-beschichteter Grund-/Gegenkörper unter Wälzbeanspruchung.....	27
5.1 Einfluss des PVD-Beschichtungsprozesses auf den Substratwerkstoff	27
5.1.1 Einsatzgehärteter Werkstoff	28
5.1.1.1 Härte und Eigenspannungszustand	28
5.1.1.2 Wälzfestigkeit im Analogieversuch	32
5.1.1.3 Optimale Zeit-/Temperaturführung	34
5.1.2 Vergüteter Werkstoff	35
5.1.3 Warmfester Werkstoff	38
5.2 Verschleißverhalten PVD-beschichteter Zahnflankenkontakte	41
5.2.1 Adhäsiver Verschleiß	41
5.2.2 Abriebverschleiß	44
5.2.2.1 Einfluss des Beschichtungssystems	44
5.2.2.2 Einfluss des Schmierstoffes	46
5.3 Oberflächenermüdung PVD-beschichteter Zahnflankenkontakte	48
5.3.1 Laufversuche und Schädigungsanalysen	49
5.3.1.1 Analysen im Mikrobereich	51
5.3.1.2 Analysen im Nanobereich	54
5.3.2 Spannungsanalysen	57
5.3.2.1 Bestimmung des Reibungsverhaltens	57

5.3.2.2	FEM Spannungsanalyse	59
5.3.2.3	Röntgenographische Spannungsanalyse	61
5.3.3	Oberflächenermüdung der Kombinationen „unbeschichtet/beschichtet“	62
5.4	Zwischenfazit	64
6	Einfluss der Oberflächenfeingestalt auf das Verschleiß- und Ermüdungsverhalten PVD-beschichteter Wälzkontakte.....	67
6.1	Oberflächenrauheit	67
6.1.1	Einfluss der Rauheit auf das Verschleißverhalten PVD-beschichteter Wälzkontakte	67
6.1.1.1	Qualitative Betrachtung	68
6.1.1.2	Quantitative Betrachtung	71
6.1.2	Flankenrauheit und das Graufleckigkeitsverhalten PVD-beschichteter Zahnflankenkontakte	75
6.1.2.1	Prüfstandsversuche	75
6.1.2.2	Theoretische Betrachtung des Spannungszustandes	77
6.2	Oberflächenstruktur	82
6.2.1	Einfluss des Mikrostrahlens auf die Zahnflankentragfähigkeit	82
6.2.2	Einsatz glatter, PVD-beschichteter Oberflächen im Zahnflankenkontakt	85
6.3	Zwischenfazit	89
7	Rolle des Schmierstoffes im PVD-beschichteten Wälzkontakt.....	91
7.1	Benetzungsverhalten von Getriebschmierstoffen auf PVD-beschichteten Oberflächen	91
7.1.1	Oberflächenspannung gängiger Getriebschmierstoffe	92
7.1.2	Oberflächenenergie unbeschichteter und PVD-beschichteter Oberflächen	93
7.1.3	Benetzungsverhalten untersuchter Schmierstoff/Oberfläche Kombinationen	95
7.1.4	Einfluss der Temperatur auf das Benetzungsverhalten	98
7.2	Temperaturverhalten und Schmierungszustand im PVD-beschichteten Wälzkontakt	100
7.3	Wirkung der oberflächenaktiven Additive in PVD-beschichteten Zahnflankenkontakten	103
7.4	Zwischenfazit	106
8	Tragfähigkeit PVD-beschichteter Serienverzahnungen am Beispiel einer Automobilverzahnung.....	107
8.1	Beschichtung im Standardprozess	108
8.2	Einfluss des Beschichtungsprozesses auf die Zahnfußtragfähigkeit	112
8.3	Beschichtung im angepassten Prozess	113

9	PVD-beschichtungsgerechte Zahnflankengeometrie am Beispiel einer Industrieverzahnung	117
9.1	Betrachtung der beschichtungsgerechten Gestaltung der Verzahnungsgeometrie	117
9.2	Berechnung der Schichtdickendifferenz über der Zahnflankenhöhe	118
9.3	PVD-Beschichtungsgerechte Optimierung einer Verzahnungsgeometrie	123
9.3.1	Einflussparameter	123
9.3.2	Geometrieoptimierung	124
9.3.3	Validierung	128
10	Zusammenfassung und Ausblick.....	131
11	Literatur	139