



Gilda Karbasi (Autor)

Entwicklung eines Schädigungsmodells für den Einsatz in der Steinschlagsimulation



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/7861>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: <https://cuvillier.de>

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Zielsetzung	4
2 Stand des Wissens	6
2.1 Definition von Koordinatensystemen	7
2.1.1 Ortsfestes Koordinatensystem	7
2.1.2 Fahrzeugfestes Koordinatensystem	7
2.2 Präventiver Steinschlagschutz	8
2.2.1 Lackierung und Lackaufbau	8
2.2.2 Steinschlagschutzfolien und PVC-Beschichtungen	9
2.2.3 Konstruktiver Steinschlagschutz	10
2.3 Theorien zum Steinabwurf	11
2.3.1 Aufnahmemechanismus von Steinen am Reifen	11
2.3.2 Kinetik der Steinmitnahme und des Abwurfs vom Reifen	14
2.4 Direkte Einflussparameter auf den Abwurf von Steinen	17
2.4.1 Reifen	18
2.4.2 Parameter des Fahrzustands	19
2.4.3 Einflussfaktor Fahrbahn	20
2.4.4 Auftreffwinkel	21
2.4.5 Umgebungsbedingungen	21
2.5 Theorien zum Steinaufprall und dadurch induzierte Lackschädigung	22
2.5.1 Lackaufbau unterschiedlicher Substrate	22
2.5.2 Belastungsverhältnisse im Schichtsystem beim Stoßvorgang	24
2.5.3 Schädigungsvorgang bei einer Stoßbelastung	27
2.5.4 Kinetische Energie und Schädigung beim Steinaufprall	29
2.5.5 Durchschlagverhalten von Projektilen auf einen Panzer	29
2.6 Numerische Simulation der Steinschlagschädigung	30
3 Gegenstand der Arbeit	32
4 Experimente	34
4.1 Analyse des Steinabwurfs im Fahrbetrieb	34
4.1.1 Versuchsaufbau	34
4.1.1.1 Ortsfester Versuchsaufbau	36

4.1.1.2 Reifen	38
4.1.1.3 Versuchsstrecke und verwendete Projektile	39
4.1.1.4 Versuchsdurchführung.....	39
4.1.1.5 Methodik der Auswertung	41
4.1.2 Fahrzeugfestes Kamerasystem	44
4.1.2.1 Versuchsaufbau.....	44
4.1.2.2 Versuchsreihe	45
4.2 Analyse der Oberflächenschädigung anhand von Steinschlagversuchen	46
4.2.1 Versuchsaufbau	46
4.2.1.1 Berechnung und methodische Beschreibung des Fallturms	48
4.2.1.2 Projektile	50
4.2.2 Versuchsdurchführung.....	53
4.3 Steinschlagsimulation	55
4.3.1 Vergleichsanalyse der Simulationsergebnisse zu realen Schädigungen	56
4.3.2 Methodik zur Quantifizierung von Lackschäden durch Steinschlag	56
4.3.2.1 Visuelle Schadensauswertung.....	56
4.3.2.2 Digitale Schadensauswertung	57
5 Auswertung der Ergebnisse.....	60
5.1 Ergebnisse des Steinabwurfs	60
5.1.1 Ergebnisse der Versuchsfahrten mit ortsfesten Kamerasystem	60
5.1.1.1 Versuchsreihe: Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit	60
5.1.1.2 Versuchsreihe: Beschleunigung	67
5.1.1.3 Versuchsreihe: Verzögerung	74
5.1.1.4 Versuchsreihe: Regenfahrt	76
5.2 Auswertung der Oberflächenschädigung.....	77
5.2.1 Versuchsreihe 1: Einfluss des Auftreffwinkels des Projektils Stein	77
5.2.2 Versuchsreihe 2: Reduzierung der Parameter von Versuchsreihe 1	79
5.2.3 Versuchsreihe 3: Einfluss des Auftreffwinkels mit Dodekaeder-förmigen Projektilen unter definierten Bedingungen	80
5.2.4 Versuchsreihe 4: Reduzierung der Parameter von Versuchsreihe 3	81
5.2.5 Versuchsreihe 5: Einfluss des Auftreffwinkels von 90° mit Dodekaeder-förmigen Projektilen zur Bestimmung des empirischen Faktors k	82
5.3 Schädigungsanalyse für die Steinschlagsimulation	83
5.3.1 Vergleichsanalyse der Oberflächen nach Splitterprobung	83
5.3.2 Methodik zur Schadensauswertung.....	85

6 Diskussion der erzielten Ergebnisse	88
6.1 Analyse des Mechanismus beim Steinabwurf.....	88
6.2 Quantifizierung der Oberflächenschädigung.....	93
6.2.1 Charakterisierung der verschiedenen Einschlagsformen.....	93
6.2.1.1 Einschlagsform 1	94
6.2.1.2 Einschlagsform 2	95
6.2.1.3 Einschlagsform 3	97
6.2.1.4 Einschlagsform 4	97
6.2.1.5 Einschlagsform 5	98
6.2.1.6 Einschlagsform 6	99
6.2.1.7 Einschlagsform 7	100
6.2.1.8 Einschlagsform 8	100
6.2.1.9 Verteilung der Einschlagsformen	101
6.2.2 Anwendung der Panzerformel in der Steinschlagauswertung	103
6.2.2.1 Entwicklung einer Steinschlagformel	105
6.2.2.2 Anwendung der modifizierten Panzerformel beim Projektil Stein.....	105
6.2.2.3 Anwendung der modifizierten Panzerformel bei Dodekaeder-förmigen Projektilen.....	106
6.3 Weiterentwicklung der Steinschlagsimulation	110
6.3.1 Steinschlagsimulationstool.....	110
6.3.1.1 Bewertung der Schädigung.....	111
6.3.1.2 Steinschlagbewertung mithilfe von positionsabhängigen Grenzwerten zum Auftreffwinkel	112
6.3.1.3 Analyse der Abweichung vom Grenzwert	112
6.3.1.4 Darstellung der Abweichung des Auftreffwinkels vom Grenzwert in 3D	113
7 Zusammenfassung und Ausblick	114
8 Quellen- und Literaturverzeichnis	119
9 Anhang	126