

Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik

Heft

1077

2012

Forschungsberichte aus dem Forschungsprogramm
des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung und
der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V.

Dichtemessverfahren mit Lasertechnik

Entwicklung und Ermittlung der Randbedingungen Teile 1 und 2

Prof. Dr.-Ing. Wolfram Kudla
Dipl.-Ing. Wolfgang Gaßner
Dipl.-Ing. Dipl.-Geol. Sebastian Szczyrba
cand.-Ing. Frank Schönstadt
Dipl.-Ing. Martin Uhlig

Technische Universität Bergakademie Freiberg
Institut für Bergbau und Spezialtiefbau

August 2012

Herausgegeben vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und
Stadtentwicklung, Abteilung Straßenbau, Bonn

Inhalt

Teil 1: Entwicklung eines neuen Dichtemessverfahrens unter Verwendung von Lasertechnik – Machbarkeitsstudie

1	Aufgabenstellung	22	5	Volumenbestimmung mit dem Laserscanner	39
1.1	Stand der Technik	22	5.1	Messungen auf ebener Platte	39
1.2	Ziel des Forschungsvorhabens	22	5.2	Messungen in Prüfformen	40
2	Literaturrecherche	23	6	Vergleichsmessungen des Lasermessverfahrens mit klassischen Dichtemessverfahren	41
2.1	Allgemeines zum Laserscanning	23	6.1	Messprogramm	41
2.2	Funktionsweise von 3D-Laserscannern	24	6.2	Versuchsreihe 1, Prüfform 8c	43
2.3	Geräteklassen nach [8]	24	6.2.1	Versuchsbeschreibung	43
2.3.1	Tachymeter	24	6.2.2	Durchführung	43
2.3.2	Lasertracker	24	6.2.3	Auswertung	44
2.3.3	Laserscanner	25	6.3	Versuchsreihe 2, Prüfform 6c	46
2.3.4	Laserradar	26	6.3.1	Versuchsbeschreibung	46
2.3.5	Theodolitmesssystem (auch Industriemesssystem genannt)	26	6.3.2	Durchführung	46
2.4	Beispiele am Markt befindlicher Geräte	26	6.3.3	Auswertung	47
2.5	Genauigkeit bei Messungen mit Laserscannern	27	6.4	Versuchsreihe 3, Kies	48
3	Systembeschreibung des neu entwickelten Gruben-Volumen-Scanners	31	6.4.1	Versuchsbeschreibung	48
3.1	Scaneinheit	31	6.4.2	Durchführung	49
3.2	Steuereinheit	32	6.4.3	Auswertung	50
3.3	Messrechner	33	6.5	Versuchsreihe 4, Sand in Versuchsgrube	51
3.4	Ausblick zu einem serienreifen Gerät	33	6.5.1	Versuchsbeschreibung	51
4	Prüfformen	34	6.5.2	Durchführung	51
4.1	Allgemeines	34	6.5.3	Auswertung	51
4.2	Herstellung der Prüfformen	35	6.6	Versuchsreihe 5, Kies mit großer Prüfgrube	53
4.3	Referenzvolumenermittlung	37	6.6.1	Versuchsbeschreibung	53
			6.6.2	Durchführung	53
			6.6.3	Auswertung	54
			6.7	Gesamtauswertung der Versuchsreihen	55
			6.7.1	Standardabweichungen der Prüfgrubenvoluminamesserien	55
			6.7.2	Mittelwerte der Prüfgrubenvoluminamesserien	56
			6.7.3	Trockendichten	57
			6.7.4	Der Einfluss feuchter Prüfgrubenoberfläche auf die Messergebnisse	57

6.7.5	Erkenntnisse zu anderen Dichtemessverfahren	58
6.7.6	Bewertung des Laserverfahrens in den Versuchsreihen und Ausblick	58
7	Ergebnisse im Überblick	60
8	Literaturstellen, Normen, Richtlinien	62

Anlagen zu Teil 1

Anlage 1:	Zusammenstellung aller Mess- ergebnisse mit dem Grubenvolumen- scanner bis 09.06.2006
Anlage 2:	Messergebnisse von Ober- flächenmessungen zur Einschätzung der Wiederholgenauigkeit
Anlage 3:	Lasermessungen der Versuchsreihen 3, 4 (teilweise) und 5
Anlage 4:	Zusammenstellung aller Prüfformen
Anlage 5:	Ergebnisse der Vergleichsmessungen des Lasermessverfahrens mit klas- sischen Dichtemessverfahren in den 5 Messreihen

Teil 2: Ermittlung der Rand- bedingungen für ein Dichtemess- verfahren mit Lasertechnik		65
1	Aufgabenstellung	66
2	Funktionsweise und Geräte- beschreibung	67
2.1	Überblick	67
2.2	Gerätebeschreibung Prototyp II	67
2.2.1	Scankopf	68
2.2.2	Steuereinheit	69
2.2.3	Messrechner	69
2.2.4	Software	69
2.3	Oberflächenerfassung	69
2.3.1	Winkelschritte	70
2.3.2	Abstandsmessung	70
2.3.3	Punktdichte	71
2.4	Volumenermittlung	73
2.5	Volumenabschätzung von Schattenbereichen	74
3	Prüfformen	76
3.1	Ideale Prüfformen	77
3.1.1	Prüfform HK	77
3.1.2	Prüfform ZY1a und ZY1b	78
3.1.3	Prüfform ZY2	78
3.2	Prüfformen mit angepasster Oberfläche	78
3.2.1	Prüfform Pf6	78
3.2.2	Prüfform Pf8	79
4	Überblick Messprogramm	79
5	Untersuchung zum Lichteinfall	80
5.1	Versuchsordnung	80
5.2	Versuchsdurchführung	82
5.3	Ergebnisse	83

6	Untersuchungen zum Einfluss von Feuchtigkeit auf Oberflächen	86	9.3.2	Versuchsdurchführung	102
6.1	Untersuchung auf Interferometer-messbahn	86	9.3.3	Vergleich zwischen Gipsabdruck und 3D-Darstellung mit dem GVS	104
6.2	Vergleichsmessungen mit befeuchteten Oberflächen	86	9.3.4	Ergebnisse	105
6.2.1	Versuchsordnung	86	10	Gesamtauswertung	108
6.2.2	Versuchsdurchführung	86	10.1	Standardabweichung	108
6.2.3	Ergebnisse	87	10.2	Volumendifferenzen	110
7	Untersuchungen zur Staubeinwirkung	88	10.3	Trockendichten	111
7.1	Versuchsordnung	88	11	Verbesserungspotenzial Prototyp II	112
7.2	Versuchsdurchführung	89	12	Ausblick auf einen Prototypen III ...	113
7.3	Ergebnisse	90	13	Zusammenfassung	114
8	Untersuchungen zum Temperatureinfluss	90	14	Schlussfolgerungen und Empfehlungen	117
8.1	Versuchsordnung	90	15	Literatur	118
8.2	Versuchsdurchführung	91			
8.3	Ergebnisse	92		Anlagen zu Teil 2	
8.3.1	Prüfform HK	92		Anlage 1: Herleitung eines Algorithmus zum Erkennen von Schattenstellen und zur Volumenermittlung	
8.3.2	Prüfform ZY	92		Anlage 2: Übersicht zu den künstlich hergestellten Prüfformen	
8.3.3	Prüfform Pf6	92		Anlage 3: Messungen auf der Interferometerbahn	
8.4	Bewertung der Ergebnisse	94		Anlage 4: Untersuchungsprogramm für Vergleichsmessungen	
9	Vergleichsmessungen	95		Anlage 5: Ergebnisse Messreihe Vgl-1	
9.1	Vergleichsmessverfahren nach DIN 18125-2	95		Anlage 6: Versuchsdurchführung der Vergleichsmessungen in Schotter- und Kiestragschichten	
9.1.1	Ballonverfahren	95		Anlage 7: Ergebnisse Messreihe Vgl-2 Vergleichsmessungen in Schottertragschicht	
9.1.2	Wasserersatzverfahren	95		Anlage 8: Ergebnisse Messreihe Vgl-3 Vergleichsmessungen in Kiestragschicht	
9.1.3	Sandersatzverfahren	96			
9.2	Vergleichsmessungen mit künstlichen Prüfformen	96			
9.2.1	Versuchsordnung	96			
9.2.2	Versuchsdurchführung	96			
9.2.3	Ergebnisse	97			
9.3	Vergleichsmessungen in Kies- und Schottertragschichten	101			
9.3.1	Versuchsordnung	101			

Die Anlagen beider Berichtsteile befinden sich auf der beiliegenden CD.