

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Stand der Wissenschaft und Technik	3
2.1	Einführung und Abgrenzung verschiedener Begriffe	3
2.1.1	Schwingung	3
2.1.2	Komfort und Diskomfort	4
2.1.3	Schwingkomfort	5
2.2	Fahrdynamische Einflussgrößen	6
2.2.1	Äußere Störgrößen	7
2.2.2	Fahrverhalten	19
2.2.3	Betriebliche Einflussgrößen	22
2.3	Schwingungssensitivität des Menschen	22
2.3.1	Der Mensch als Schwingungssystem	22
2.3.2	Abgrenzung von fühlbaren und hörbaren Schwingungen	23
2.3.3	Physiologie	24
2.3.4	Wahrnehmung	26
2.3.5	Psychophysik	26
2.4	Objektivierung der Wahrnehmung von Schwingungen	29
2.5	Schwingungsmessung	30
2.6	Schwingkomfortbewertungsmethoden	31
2.6.1	ISO 2631 und VDI 2057	31
2.6.2	Wertziffer Verfahren	33
2.6.3	British Railways Ride Index	36
2.6.4	Ride Comfort Level	37
2.6.5	Ermüdungszeitverfahren	38
2.6.6	EN 12299	39
2.6.7	Maschinelles Lernen zur Komfortbewertung	45
2.7	Grundlagen des Maschinellen Lernens	45
3	Problemstellung und Lösungsansatz	47
3.1	Schwächen der aktuellen Schwingkomfortbewertungsverfahren	47
3.1.1	Allgemeine Inkompatibilitäten mit dem BOStrab-Betrieb	47
3.1.2	Genauigkeit aktueller Frequenzgewichtungsfunktionen	48
3.2	Herleitung der Aufgabenstellung	52
3.3	Methodischer Lösungsansatz	52
4	Analyse des BOStrab-Betriebes	55
4.1	Trassierung	55
4.1.1	Verteilung der Bogenradien in BOStrab-Netzen der DACH-Region	56
4.1.2	Referenzfahrstrecken für Simulationsrechnungen	64
4.2	Betriebsbedingungen	73

4.3	Gleislage	75
4.4	Definition von Referenzfahrstrecken	77
4.4.1	Referenzstrecke A	78
4.4.2	Referenzstrecke B	81
4.4.3	Betriebs- und Randbedingungen	82
4.4.4	Erreichbares Schwingkomfortniveau	84
5	Datenerhebung- und vorverarbeitung	85
5.1	Messkampagne	86
5.1.1	Messmethode	86
5.1.2	Befragte Personen	87
5.1.3	Versuchsaufbau der Beschleunigungssensoren	88
5.1.4	Krümmungsmessung	90
5.1.5	Versuchsdurchführung	93
5.2	Datenvorbereitung und -aggregation	95
5.2.1	Mittleres Subjektivurteil	96
5.2.2	Fensterfunktion und Relevanzfilterung	96
5.2.3	Berechnung der Merkmale	98
5.2.4	Datenbasis	102
5.2.5	Schwingkomfortwahrnehmung und Trassierung	105
5.2.6	Korrelationsbetrachtung	106
5.3	Zwischenfazit	111
6	Maschinelles Lernen	113
6.1	Auswahl der Algorithmen	114
6.2	Train-Test-Split	115
6.3	Multiple Lineare Regression	115
6.4	Entscheidungsbaumalgorithmus	117
6.5	Bewertung und Validierung	120
6.5.1	Streuung der Vorhersagen	120
6.5.2	Genauigkeit der Vorhersagen	123
6.6	Zusammenfassung und Fazit	125
7	Gesamtbewertungsmethodik	127
7.1	Synthese zu einer Gesamtvorgehensweise	127
7.1.1	Versuchsrandbedingungen	127
7.1.2	Modellbasierte Schwingkomfortbewertung	129
7.1.3	Weitergabe und Betrieb komplexer Machine-Learning-Modelle	130
7.2	Exemplarische Anwendung	132
7.2.1	Stehende Haltung	132
7.2.2	Sitzende Haltung	135
8	Zusammenfassung und Ausblick	139
8.1	Ausgangssituation und Forschungsbedarf	139
8.2	Zusammenfassung der Ergebnisse	140

8.3	Zukünftiger Forschungsbedarf	141
Anhang		157
A.1	Koeffizienten verschiedener Gleislagespektren	157
A.1.1	Frederich	157
A.1.2	ERRI	157
A.1.3	FRA	158
A.1.4	Umrechnung Querhöhenlagefehler	158
Eigene Veröffentlichungen		159
Betreute studentische Arbeiten		160
Lebenslauf		165