

# Inhalt

Autorenvorwort zur dritten Auflage .....	16
Häufig verwendete Formelzeichen und Abkürzungen .....	18
a) Großbuchstaben .....	18
b) Kleinbuchstaben .....	20
c) Griechische Buchstaben .....	21
d) Indices .....	22
e) Abkürzungen (siehe auch Indices) .....	23
 1 Einführung .....	28
1.1 Problemstellung und Lösungsansätze .....	28
1.2 Forschung und Entwicklung (FuE) .....	31
1.2.1 Überblick .....	31
1.2.2 Projekte .....	33
1.3 Betroffenheiten .....	34
1.3.1 Frequenzbewertung .....	34
1.3.2 Überblick .....	35
1.3.3 Lärm .....	38
1.3.4 Straßenverkehrslärm vs. Schienenverkehrslärm .....	39
1.3.5 Erschütterungen .....	41
1.4 Wirtschaftlicher Faktor, Schall-Verursacher .....	42
1.5 Straßenbahn versus Eisenbahn .....	44
1.6 Literaturhinweise .....	46
1.6.1 Literatur zu Kapitel 1 .....	46
1.6.2 BMFT-Forschungsberichte (Nahverkehr) .....	48
1.6.3 Sonstige Literatur zum Thema Schall- und Erschütterungen an Schienenwegen .....	49
 2 Physikalische Grundlagen – Anwendungen im Schienenverkehr .....	51
2.1 Einführung in die Schwingungslehre .....	51
2.1.1 Periodische Schwingungen .....	51
2.1.2 Schwingungsüberlagerung .....	55
2.1.3 Elemente eines Schwingungssystems .....	61
2.1.4 Freie gedämpfte Schwingungen .....	63
2.1.5 Gedämpfte erzwungene Schwingungen .....	66
2.1.6 Nichtperiodische und stochastische Schwingungen .....	69
2.1.7 Übertragungsfunktion und Modalanalyse .....	70
2.2 Grundlagen der Wellenlehre und Akustik .....	73
2.2.1 Wellenarten und Wellenausbreitungsgeschwindigkeiten .....	74
2.2.2 Eigenschaften von Wellen .....	77

2.2.3	Schallfeldgrößen . . . . .	78
2.2.4	Beziehungen zwischen Körper- und Luftschall . . . . .	80
2.2.5	Längenbezogener Schalleistungspegel . . . . .	83
2.3	Ausbreitung von Erschütterungen und Luftschall . . . . .	89
2.4	Literatur zu Kapitel 2 . . . . .	91
3	<b>Schall- und Schwingungspegel, Umgang mit Pegelwerten . . . . .</b>	<b>94</b>
3.1	Einführung . . . . .	94
3.2	Schallpegelmaße . . . . .	95
3.3	Mittelungspegel . . . . .	97
3.4	Addition, Mittelung und Subtraktion von Pegeln . . . . .	98
3.4.1	Pegeladdition und Pegelmittelung . . . . .	98
3.4.2	Energetische Pegelsubtraktion . . . . .	104
3.5	Schallfeld- und Schwingungsgrößen . . . . .	105
3.6	Pegelberechnungen . . . . .	107
3.7	Pegel in der Schall- und Schwingungsmesstechnik . . . . .	111
3.8	Umrechnung von Pegelwerten . . . . .	113
3.9	Addition von Pegeln – Herleitung . . . . .	114
3.10	Pegelabhängigkeit von der Geschwindigkeit . . . . .	115
3.11	Literatur zu Kap. 3 . . . . .	115
4	<b>Schienenfahrzeuge . . . . .</b>	<b>117</b>
4.1	Unterscheidung der Schienenverkehrssysteme . . . . .	117
4.1.1	Vorbemerkungen . . . . .	117
4.1.2	Unterscheidung aus gesetzlicher/rechtlicher Sicht . . . . .	117
4.1.3	Unterscheidung aus technischer/betrieblicher Sicht . . . . .	119
4.2	Fahrzeug-Projektierung unter akustischen Gesichtspunkten . . . . .	122
4.2.1	Vorbemerkungen . . . . .	122
4.2.2	Allgemeine Randbedingungen . . . . .	122
4.2.3	Akustisch relevante Teilsysteme und Bauteile . . . . .	123
4.3	Akustik-Management bei der Fahrzeugbeschaffung . . . . .	133
4.3.1	Einführung . . . . .	133
4.3.2	Verfahrensablauf/Einzelschritte . . . . .	134
4.4	Instandhaltung . . . . .	139
4.5	Literatur zu Kapitel 4 . . . . .	140
5	<b>Luft- und Körperschallanregung . . . . .</b>	<b>142</b>
5.1	Grundlagen der Schallanregung und -abstrahlung . . . . .	142
5.2	Dominante Schallquellen . . . . .	143
5.3	Dominante Anregungsfrequenzen . . . . .	146
5.4	Schallanregung im Rad/Schiene-Kontaktbereich . . . . .	148
5.4.1	Überblick . . . . .	148
5.4.2	Rollgeräusche . . . . .	149
5.4.3	Stoßgeräusche . . . . .	164

5.4.4	Kurvengeräusche .....	166
5.4.5	Sonstige Geräusche .....	173
5.5	Impedanzen und Admittanzen .....	173
5.6	Literatur zu Kapitel 5 .....	178
6	<b>Messung von Luft- und Körperschall – Messergebnisse .....</b>	<b>180</b>
6.1	Schallmessungen – Übersicht .....	180
6.2	Messgeräte .....	183
6.2.1	Schallpegelmesser .....	183
6.2.2	Zusatzgeräte .....	185
6.2.3	Umwelteinflüsse und allgemeine Vorgehensweise .....	185
6.2.4	Statistische Sicherheit .....	187
6.3	Messung von Außengeräuschen .....	189
6.3.1	Randbedingungen, Messpunkte .....	189
6.3.2	Messgrößen .....	191
6.3.3	Längenbezogener Schallleistungspegel .....	195
6.3.4	Zusammenhang zwischen verschiedenen Schallpegelgrößen .....	198
6.4	Messergebnisse Außengeräusche – Beispiele .....	200
6.4.1	Vorbeifahrgeräusche Stadtbahnen .....	200
6.4.2	Rundummessungen .....	204
6.5	Messung von Innengeräuschen .....	206
6.6	Sonstige Schallmessungen .....	211
6.6.1	Nachhallzeit .....	211
6.6.2	Schalldämmung .....	213
6.6.3	Intensitätsmessungen .....	214
6.7	Beispiel für eine Schallpegelauswertung – Außengeräusche .....	217
6.7.1	Vorgaben .....	217
6.7.2	Festlegungen für eine Analyse der Vorbeifahrgeräusche .....	218
6.7.3	Ergebnisse .....	219
6.7.4	Zusammenhang verschiedener Schallpegelgrößen .....	224
6.8	Ergänzende Messungen .....	226
6.8.1	Vorbemerkungen .....	226
6.8.2	Strukturuntersuchungen .....	227
6.8.3	Rauheit von Schiene und Rad .....	228
6.8.4	Ermittlung des Körperschallverhaltens von Bauteilen .....	230
6.8.5	Gleisabklingrate TDR .....	230
6.8.6	Anfahrwinkel eines Rades an der Schiene .....	231
6.8.7	Schallentwicklung beim Anfahren eines Fahrzeugs .....	232
6.9	Akustische Überwachung von Fahrzeugen und Gleisen .....	234
6.9.1	Überblick .....	234
6.9.2	Automatische Erkennung einer Vorbeifahrt .....	236
6.9.3	Überwachung von Rädern .....	237
6.10	Literatur zu Kapitel 6 .....	238

7	Schallminderungsmaßnahmen .....	241
7.1	Allgemeine Grundlagen .....	241
7.1.1	Überblick .....	241
7.1.2	Primäre Maßnahmen .....	241
7.1.3	Sekundäre Maßnahmen .....	242
7.2	Grundlagen des „Schallarmen Konstruierens“ .....	245
7.3	Betriebszustände und Anhaltwerte .....	248
7.3.1	Standardbetriebszustände .....	248
7.3.2	Sonderbetriebszustände .....	249
7.4	Schallminderungsmaßnahmen im Schienenverkehr .....	250
7.4.1	Überblick .....	250
7.5	Schallminderungsmaßnahmen Fahrzeug – Außengeräusche .....	253
7.5.1	Einführung .....	253
7.5.2	Anfahr- und Bremsgeräusche .....	253
7.5.3	Konstante Geschwindigkeit .....	254
7.5.4	Radbauart .....	255
7.5.5	Radschürzen, Radblenden .....	256
7.5.6	Radschallabsorber .....	257
7.5.7	Komponentenerprobungsträger „Leiser Güterzug“ .....	259
7.5.8	Messergebnisse „Leiser Stadtbahnwagen“ .....	259
7.6	Maßnahmen im Bereich Rad/Schiene .....	260
7.6.1	Die glatte Radlauffläche .....	260
7.6.2	Glatte, riffelfreie Schienenfahrfläche .....	262
7.6.3	Schlupfriffeln auf geraden Streckenabschnitten durch Anfahrt von Zügen .....	265
7.6.4	Schlupfwellen in Kurven .....	266
7.6.5	Minderungsmaßnahmen im Rad-/Schienenbereich .....	266
7.7	Schallschutzmaßnahmen am Fahrweg .....	267
7.7.1	Einführung .....	267
7.8	Schallminderungsmaßnahmen im Bereich der Ausbreitung .....	269
7.8.1	Schallschutzwände und -wälle .....	269
7.8.2	Wirkung .....	272
7.8.3	Passiver Schallschutz in Gebäuden .....	276
7.9	Schallminderungsmaßnahmen Streckenführung .....	276
7.9.1	Gleisbögen .....	276
7.9.2	Gleise auf Brücken/Viadukten und in Einschnitten .....	277
7.10	Besonders überwachtes Gleis .....	280
7.11	Fahrzeuggengeräusche – Schalldämmung Wagenkasten .....	281
7.11.1	Überblick .....	281
7.11.2	Einflüsse auf den Innenschallpegel .....	281
7.12	Einrichtungen in Tunnel-Haltestellen .....	284
7.13	Kurvengeräusche .....	287
7.13.1	Übersicht .....	287
7.13.2	Radsatzzwangssteuerung .....	290
7.13.3	Maßnahmen in einem Gleisbogen .....	291
7.13.4	Reibwertbeeinflussung zwischen Rad und Schiene .....	293

7.13.5	Rad-/Schiene-Materialpaarung .....	295
7.13.6	Absorber und Dämpfung .....	296
7.13.7	Schienendämpfungselemente .....	298
7.13.8	Asymmetrische Schienenprofile .....	299
7.13.9	Beobachtungen zum Auftreten von Quietschgeräuschen .....	300
7.13.10	Schallschutzmaßnahmen für Anwohner .....	301
7.13.11	Geschwindigkeitsabhängigkeit – Vorbeifahrpegel versus Stundenpegel ..	303
7.13.12	Schallarme Fahrzeuge – konstruktive Vorgaben .....	304
7.14	Beispiel für eine Rekonstruktion von Straßenbahnfahrzeugen .....	305
7.15	Fazit .....	307
7.15.1	Vorbemerkungen .....	307
7.15.2	Fahrzeug .....	307
7.15.3	Ausbreitung .....	311
7.15.4	Maßnahmen speziell bei Eisenbahnen und deren Wirkung .....	311
7.15.5	Maßnahmen gegen Kurvengeräusche .....	312
7.15.6	Maßnahmen gegen Rollgeräusche .....	315
7.16	Literatur zu Kapitel 7 .....	317
7.16.1	Ergänzende Literatur zum Thema Schallminderung .....	321
8	Prognose- und Bewertungsverfahren für Luftschall .....	322
8.1	Überblick .....	322
8.2	Verkehrslärmschutzverordnung .....	323
8.2.1	Anwendungsbereich .....	323
8.2.2	Vergleich Eisenbahn – Straßenbahn .....	324
8.2.3	Basis für die Angaben in der 16. BImSchV .....	327
8.3	Einflüsse auf dem Ausbreitungsweg und Bahnhöfe .....	329
8.4	Durchführung einer schalltechnischen Untersuchung nach 16. BImSchV ..	329
8.4.1	Überblick .....	329
8.4.2	Wesentliche Änderung .....	330
8.4.3	Erheblicher baulicher Eingriff .....	330
8.4.4	Vorgehensweise .....	330
8.4.5	Untersuchungsgebiet .....	332
8.4.6	Beurteilung .....	333
8.5	Literatur zu Kapitel 8 .....	335
8.5.1	Weitergehende Literatur zum Thema .....	335
9	Rechtsschutz der Anwohner vor Lärm des Schienenverkehrs .....	337
9.1	Einleitung .....	337
9.1.1	Thematische Abgrenzungen .....	337
9.1.2	Beeinträchtigung der Bevölkerung durch Schienenverkehrslärm .....	338
9.1.3	Zielwerte des Schutzes vor Lärm .....	340
9.2	Grundsätzliche Strategien zum Schutz vor Schienenverkehrslärm in Deutschland .....	342
9.2.1	Grundsätzliche Minderungskonzepte .....	342

9.2.2	Instrumentarien des Schutzes . . . . .	343
9.2.3	Zuständigkeiten . . . . .	344
9.3	Ordnungsrechtliche Vorschriften zum Schutz der Bevölkerung vor Schienenverkehrslärm . . . . .	344
9.3.1	Verwaltungsrecht . . . . .	345
9.3.2	Verfassungs- und Privatrecht . . . . .	346
9.4	Vorschriften für die Geräuschemissionen von Schienenfahrzeugen . . . . .	347
9.4.1	Anwendungsbereich . . . . .	348
9.4.2	Messverfahren . . . . .	349
9.4.3	Geräuschgrenzwerte und Vorbeifahrgeräusch . . . . .	349
9.4.4	Anfahrgeräusch . . . . .	350
9.4.5	Standgeräusch . . . . .	351
9.5	Geräuschemindernde Vorschriften für die Fahrwege . . . . .	351
9.6	Vorgaben für die Geräuschemissionen in Nahverkehrsplänen . . . . .	352
9.7	Vorschriften für die Geräuschemissionen neuer bzw. wesentlich geänderter Schienenwege . . . . .	353
9.7.1	Grundsätzliches . . . . .	353
9.7.2	Die Umweltverträglichkeitsprüfung . . . . .	353
9.7.3	Prüfung auf Lärmvorsorgeansprüche nach 16. BImSchV . . . . .	354
9.8	Schutz vor Schienenverkehrslärm im Rahmen der Bauleitplanung: Problemfeld Heranrückende Wohnbebauung . . . . .	362
9.9	Betriebsbeschränkungen . . . . .	363
9.9.1	Das Schienenlärmgesetz von 2017 . . . . .	364
9.9.2	Die Europäischen Betriebsbeschränkungen ab 2024 . . . . .	364
9.10	Lärmsanierung an Schienenwegen . . . . .	365
9.10.1	Das nationale Lärmsanierungsprogramm . . . . .	366
9.10.2	Die EU-Richtlinie zum Umgebungslärm . . . . .	368
9.10.3	Das nationale Umrüstprogramm für Güterwagen . . . . .	371
9.11	Bewertung der Schutzregelungen . . . . .	374
9.11.1	Deutliche Verbesserungen der Schutzregelungen . . . . .	374
9.11.2	Lücken und Mängel im gegenwärtigen Regelwerk . . . . .	375
9.11.3	Vorschläge für einen verbesserten Schutz vor Straßen- und Schienenverkehrslärm . . . . .	378
9.12	Fazit . . . . .	379
9.13	Literatur . . . . .	380
10	Oberbau im Schienenverkehr . . . . .	386
10.1	Anforderungen an den Oberbau . . . . .	386
10.2	Begriffsbestimmungen . . . . .	387
10.3	Bestandteile des Oberbaus . . . . .	387
10.3.1	Überblick . . . . .	387
10.3.2	Schienen . . . . .	388
10.3.3	(Schienen-) Kammerfüllelement . . . . .	389
10.3.4	Schwellen . . . . .	390
10.3.5	Spurstangen . . . . .	391

10.3.6	Schienenbefestigung .....	392
10.3.7	Gleis und Weichen .....	393
10.3.8	Flachrille/Tiefrille .....	394
10.3.9	Schienenauszugsvorrichtung und -entwässerungskasten .....	395
10.4	Oberbau-Arten .....	396
10.4.1	Offener Oberbau .....	396
10.4.2	Geschlossener Oberbau .....	397
10.4.3	Oberbau mit planmäßiger Vegetation .....	397
10.5	Oberbau-Formen .....	398
10.6	Akustisch wirksame Instandhaltungsmaßnahmen .....	400
10.7	Literatur zu Kapitel 10 .....	402
11	Erschütterungsanregung .....	403
11.1	Schwingungsanregung – Überblick .....	403
11.2	Schwingungsanregung – Schienenverkehr .....	404
11.2.1	Grundlagen .....	404
11.2.2	Spezielle Fragestellungen zur Anregung und Ausbreitung bei der Eisenbahn .....	409
11.3	Erregerspektren – Schwinggeschwindigkeit .....	414
11.4	Ermittlung von Erregerkraftspektren .....	416
11.5	Literatur zu Kapitel 11 .....	421
12	Messung von Erschütterungen und Sekundärschall .....	422
12.1	Schwingungs- und Sekundärschallmessungen – Überblick .....	422
12.2	Erschütterungsmessungen .....	422
12.2.1	Aufnehmer, Messsystem .....	422
12.2.2	Messpunkte .....	424
12.2.3	Ankopplung .....	427
12.2.4	Triggerung .....	429
12.3	Auswertung von Schwingungsmessungen .....	430
12.3.1	Überblick .....	430
12.3.2	Ermittlung von Beurteilungsgrößen .....	431
12.3.3	Grundlage für Prognosen .....	435
12.3.4	Bewertung von schwingungsmindernden Maßnahmen .....	437
12.3.5	Messungen zur Ermittlung von Einflussgrößen .....	438
12.4	Sekundärschallmessungen .....	440
12.4.1	Messung .....	440
12.4.2	Auswertung .....	441
12.5	Bodenkennwerte .....	441
12.6	Literatur zu Kapitel 12 .....	443
13	Schwingungsminderung im Schienenverkehr .....	446
13.1	Einführung .....	446
13.2	Minderung der Anregung – Überblick .....	448

13.3	Elastische Lagerungen im Oberbau .....	452
13.3.1	Einführung .....	452
13.3.2	Minderungsmaßnahmen – aktive / passive .....	454
13.3.3	Wirkprinzipien .....	455
13.3.4	Grundkonzepte und Ausführungsvarianten .....	457
13.4	Beispiele und Ausführungsvarianten .....	458
13.4.1	Einführung .....	458
13.4.2	Elastische Schienenlagerungen .....	458
13.4.3	Elastische Schwellenlager .....	462
13.4.4	Schotteroberbau mit Unterschottermatten .....	463
13.4.5	Masse-Feder-Systeme mit Elastomerlagern .....	465
13.4.6	Masse-Feder-Systeme mit Stahlfedern .....	470
13.5	Klassifizierung der Wirksamkeit .....	474
13.6	Mess- und Rechenverfahren, Prognosen .....	476
13.7	Wirksamkeit und Messergebnisse .....	477
13.8	Masse-Feder-Systeme mit elastischer Flächenlagerung – Berechnung der Minderung .....	479
13.8.1	Prinzip .....	479
13.8.2	Theoretische Betrachtung .....	480
13.8.3	Gleiskinematik .....	481
13.8.4	Gleisdynamik- Einfügungsdämm-Maß .....	486
13.9	Einbauten im Boden .....	495
13.10	Elastische Lagerung von Gebäuden .....	496
13.10.1	Allgemeines .....	496
13.10.2	Auslegung der elastischen Gebäudelager .....	496
13.11	Elastische Materialien, Baudurchführung, Sanierung, Gebäudeabfederung – Beispiele .....	497
13.11.1	Verwendete Materialien für elastische Elemente .....	497
13.11.2	Masse-Feder-Systeme im Straßenbereich – Herstellung und Bauausführung .....	499
13.11.3	Gleis-Umbaumöglichkeiten zur erschütterungstechnischen Sanierung ..	501
13.11.4	Elastische Gebäudelagerung .....	503
13.12	Literatur zu Kapitel 13 .....	510
	Literatur zu Kapitel 13 .....	511
14	Prognoseverfahren für Erschütterungen und Sekundärschall .....	512
14.1	Einleitung .....	512
14.2	Systemidentifikation .....	516
14.2.1	Direktes Problem .....	517
14.2.2	Entwurfsproblem .....	517
14.2.3	Eingangsproblem .....	518
14.2.4	Identifikationsproblem .....	518
14.3	Beschreibung einzelner Prognose-Verfahren .....	523
14.3.1	Überblick .....	523
14.3.2	Statistische Verfahren – Einzahlberücksichtigung .....	525

14.3.3	Spektrale Prognose-Verfahren .....	533
14.3.4	Modelluntersuchungen .....	550
14.3.5	Ersatzerreger .....	553
14.3.6	Sekundärschall .....	554
14.3.7	Vergleichende Betrachtung der Verfahren .....	560
14.4	Zusammenhang verschiedener Immissionsgrößen .....	561
14.4.1	Zusammenhang zwischen Erschütterungen und Sekundärschall .....	561
14.4.2	Abschätzung des $KB_{FTi,z}$ – Wertes von alternativen Bewertungsgrößen ..	563
14.5	Literatur zu Kapitel 14 .....	565
15	Rechtsprechung zum Schienenverkehrslärm, Erschütterungen und Sekundärschall mit Hinweisen zur Planfeststellung .....	568
15.1	Planfeststellung .....	568
15.2	Einleitung zum Schienenverkehrslärm .....	570
15.3	Exemplarische Verwaltungsrechtsprechung durch ausgewählte Entscheidungen des BVerwG zum Schienenverkehrslärm .....	575
15.3.1	Besonders überwachtes Gleis (büG), Verhältnismäßigkeitsprüfung, Verhältnismäßigkeitschwelle, Sprungkosten .....	575
15.3.2	Neubau oder Änderung eines Schienenwegs? .....	576
15.3.3	Methodik, Prognosen, Betriebsprogramm, Schall 03 1990 .....	577
15.3.4	Betrachtung der Kosten je Schutzfall, Schutzabschnitte, Betriebsprogramm	579
15.3.5	Verkehrsprognosen, Bedarfsplan, plangegebene Vorbelastung .....	580
15.3.6	Grundrechte: Recht auf körperliche Unversehrtheit, Eigentumsgarantie, Inhalts- und Schrankenbestimmungen durch Gesetz .....	583
15.4	Einleitung zu Erschütterungen und sekundärem Luftschall .....	584
15.4.1	Exkurs zu den Regelungen der DIN 4150 [15.16]: .....	586
15.4.2	Exkurs zu Schutzmaßnahmen [15.17]: .....	587
15.5	Exemplarische Verwaltungsrechtsprechung durch ausgewählte Entscheidungen des BVerwG zu Erschütterungen und sekundärem Luftschall .....	587
15.5.1	DIN4150, Teil 2, Anhaltswerte, sekundärer Luftschall, 24. BImSchV, „Immissionsrichtwerte“ .....	587
15.5.2	Ausbauvorhaben, Streckenertüchtigung, relevante Zunahme? Anhaltswerte DIN 4150 Teil 2, Entscheidungsvorbehalt bei Prognoseunsicherheit, Erheblichkeitsschwelle .....	590
15.5.3	Betriebsbedingte Erschütterungen, Kostengesichtspunkte, Schutzmaßnahmen, Entscheidungsvorbehalt .....	591
15.5.4	Betriebsbedingte Erschütterungen, plangegebene Vorbelastung, Zumutbarkeitsschwelle für Erschütterungsbelastungen .....	593
15.6	Literatur und Rechtsprechung zu Kapitel 15 .....	594
16	Prüftechnik .....	595
16.1	Einführung .....	595
16.2	Schallemissionen – Typprüfungen Fahrzeugeinheiten .....	596
16.3	Schallemissionen – Oberbaueinfluss .....	599

16.4	Erschütterungsemisionen – Einfügedämmung .....	601
16.5	In-situ Messungen .....	602
16.5.1	Fahrzeuganregung .....	602
16.5.2	Simulation der dyn. Radsatzkräfte .....	604
16.5.3	Admittanzmessungen Tunnel .....	606
16.6	Steifigkeitsermittlung von elastischen Schienenlagern .....	608
16.6.1	Ermittlung im Labor .....	608
16.6.2	Steifigkeits-Ermittlung bei einer Festen Fahrbahn .....	610
16.6.3	Steifigkeits-Ermittlung bei einem Rillenschienengleis .....	611
16.6.4	Eigenschwingungen – Radsatz-Gleis .....	612
16.7	Literatur zu Kapitel 16 .....	614
16.7.1	Zitierte Literatur .....	614
16.7.2	Ergänzende Literatur .....	615
17	Fahrkomfort .....	616
17.1	Einführung .....	616
17.2	Werteziffer (WZ)-Verfahren .....	618
17.3	Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen – VDI 2057	620
17.4	Fahrkomfort für Fahrgäste – ENV 12299 (ERRI C 116-Rp 3) .....	620
17.4.1	Durchführung der Messungen und Auswertungen .....	621
17.4.2	Ergebnisse .....	622
17.5	Zusammenhang zwischen den drei Komfortwerten .....	623
17.6	Abhängigkeiten .....	624
17.6.1	Abhängigkeit von der Fahrbahnart / dem Fahrbahnzustand .....	624
17.6.2	Abhängigkeit von der Geschwindigkeit .....	626
17.6.3	Komfortwerte im normalen Betrieb .....	626
17.7	Literatur zu Kapitel 17 .....	628
Anhang	.....	629
A	Begriffe .....	629
B	Normen und Richtlinien .....	653
B.1	Vorbemerkungen .....	653
B.2	DIN-Normen .....	653
B.3	DIN (EN)-Normen .....	656
B.4	ISO (DIN)-Normen .....	658
B.5	VDI-Richtlinien .....	658
B.6	IEC-Richtlinien .....	660
B.7	EU-Normen und Richtlinien .....	660
B.8	Vorschriften der Deutschen Bahn AG .....	661
B.9	Sonstige Vorschriften .....	662
C	Datensammlung .....	664
C.1	Allgemeine Daten und Beispiele für Messergebnisse .....	664
C.2	Messergebnisse – Erschütterungen und Admittanzen .....	674
C.3	Schalldruckpegel-Terzspektren – Beispiele .....	688
C.4	Vertikale Eigenfrequenzen – Beispiele .....	690

C.5	Formeln zur rechnerischen Abschätzung der Einfügedämmung .....	692
C.6	Steifigkeit elastischer Schienenlager .....	698
C.7	Schallausbreitung – Fahrwegeinfluss .....	703
C.8	Psychoakustische Größen .....	708
C.9	Körperschallspektren – Gleise im Tunnel .....	709
C.10	Prognose von Erschütterungen und Sekundärschall .....	713
C.11	Zusammenhang zwischen verschiedenen Messwerten – Beispiele .....	718
C.12	Wellenausbreitung im Boden und Kräfte von Ersatzerregern .....	722
C.13	Simulation – Stoßanregung Schiene .....	723
C.14	Gesamtschall .....	727
C.15	Literatur zu Anhang C .....	730
Register .....	732	
Abbildungsverzeichnis .....	748	
Tabellenverzeichnis .....	769	