
Materialien

Nr. 22

Erschütterungen und Körperschall
des landgebundenen Verkehrs
– Prognose und Schutzmaßnahmen –

Verfasser: Dr. rer. nat. Joachim Melke

Essen 1995

INHALTSVERZEICHNIS

	ZUSAMMENFASSUNG	12
1.	EINFÜHRUNG	13
1.1	Bedeutung und Zielsetzung	13
1.1.1	Gesellschaftspolitische Bedeutung.....	13
1.1.2	Gesamtziel.....	14
1.1.3	Förderpolitisches Ziel.....	15
1.1.4	Technisch - wissenschaftliches Ziel.....	16
1.2	Verkehrsentwicklung - Status und Prognose	18
1.3	Wirkungsuntersuchungen	21
1.3.1	Umweltbelastungen aus dem Verkehr.....	21
1.3.2	Straßenverkehr.....	23
1.3.3	Schienerverkehr.....	24
1.3.3.1	Eisenbahn.....	24
1.3.3.2	Öffentlicher Nahverkehr.....	26
1.3.4	Zusammenfassung.....	27
2.	GRUNDLAGEN EINER PROGNOSE	29
2.1	Gesetzliche Grundlagen und Regelwerke	29
2.1.1	Bundes - Immissionsschutzgesetz.....	29
2.1.2	Umweltverträglichkeitgesetz.....	29
2.1.3	Regelwerke.....	30
2.2	Wissensstand nach LIS-Bericht Nr. 107 [1-1]	33
2.2.1	Planungssituationen und Prognose - Kenngrößen.....	33
2.2.2	Emission.....	34
2.2.2.1	Merkmale.....	34
2.2.2.2	Theoretische Abschätzungen.....	35
2.2.2.3	Schwingungsmessungen.....	36
2.2.3	Transmission.....	37
2.2.4	Immission.....	38
2.2.4.1	Bodenerschütterungen und Gebäudeschwingungen.....	38
2.2.4.2	Körperschall und sekundäre Effekte.....	41
3.	LITERATURRECHERCHE	43
3.1	Mögliche Quellen	43
3.2	Durchführung der Recherche	44

3.3	Auswertung	45
4.	EMISSION ODER ERSCHÜTTERUNGSQUELLEN STRASSENVERKEHR	47
4.1	Einleitung und Abgrenzung	47
4.2	Fahrzeugbeschreibung	48
4.2.1	Typen, Lasten, Geschwindigkeiten.....	48
4.2.2	Achsenkonstruktion, Federung, Reifen.....	49
4.3	Fahrwegbeschreibung	50
4.3.1	Typen, Oberfläche, Konstruktion.....	50
4.3.2	Unebenheiten der Fahrbahnoberfläche.....	50
4.3.2.1	Gleichmäßig regellose Grundunebenheiten.....	51
4.3.2.2	Periodische Unebenheit.....	53
4.3.2.3	Einzelhindernisse.....	53
4.4	Erregermechanismus	54
4.4.1	Statische Lasten.....	54
4.4.2	Dynamische Lasten.....	55
4.5	Modellbildung	58
4.5.1	Fahrzeug.....	58
4.5.2	Fahrweg.....	61
4.5.3	Ingenieurbauwerke.....	66
4.5.4	Wechselwirkungen.....	67
4.6	Meßtechnischer Befund bei direkter Straßengründung	68
4.6.1	Emission und Fahrzeugparameter.....	68
4.6.1.1	Fahrzeuggeschwindigkeit.....	68
4.6.1.2	Fahrzeugkonstruktion - Gewicht und Federung.....	69
4.6.2	Emission und Fahrwegparameter.....	70
4.6.2.1	Oberflächenbeschaffenheit.....	70
4.6.2.2	Fahrwegkonstruktion oder Unterbau.....	71
4.6.2.3	Untergrund.....	72
4.6.3	Zusammenfassung.....	73
4.7	Meßtechnischer Befund bei Ingenieurbauwerken	74
4.7.1	Emission bei Brücken und aufgeständerten Straßen.....	74
4.7.2	Emission bei Straßentunneln.....	76
4.8	Abgrenzung des Emissionsbereiches - Bezugsabstand	78
4.9	Tieffrequente Schallemissionen	79

5.	EMISSION ODER ERSCHÜTTERUNGSQUELLEN SCHIENENVERKEHR	81
5.1	Einleitung und Abgrenzung	81
5.2	Fahrzeugbeschreibung	82
5.2.1	Eisenbahn	82
5.2.2	Öffentlicher Personen-Nahverkehr (ÖPNV).....	85
5.2.3	Sonstige spurgebundene Fahrzeuge.....	87
5.3	Fahrwegbeschreibung	89
5.3.1	Schienengebundene Systeme.....	89
5.3.1.1	Schienenbeschaffenheit und Gleisgeometrie.....	89
5.3.1.2	Schotter - Schwellen - Oberbau.....	90
5.3.1.3	Feste Fahrbahn.....	92
5.3.1.4	Schwingungsisolierte Oberbauformen.....	93
5.3.2	Sonstige spurgebundene Fahrwege.....	94
5.4	Erregermechanismus	95
5.4.1	Statische Lasten	95
5.4.2	Dynamische Lasten Rad/Schiene - Technik.....	96
5.4.2.1	Fahrzeug.....	97
5.4.2.2	Fahrweg.....	98
5.4.3	Dynamische Lasten Magnetschwebe - Technik.....	100
5.5	Modellbildung	102
5.5.1	Fahrzeug.....	102
5.5.2	Fahrweg.....	104
5.5.3	Ingenieurbauwerke.....	110
5.5.3.1	Brücken und aufgeständerte Fahrwege.....	110
5.5.3.2	Tunnel	112
5.5.4	Wechselwirkungen.....	117
5.6	Meßtechnischer Befund bei schienengebundenen Systemen direkt auf dem Baugrund	119
5.6.1	Emission und Fahrzeugparameter.....	120
5.6.1.1	Fahrzeuggeschwindigkeit und Zuglänge	120
5.6.1.2	Fahrzeugkonstruktion - Gewicht und Federung.....	122
5.6.2	Emission und Fahrwegparameter	126
5.6.2.1	Schienenbeschaffenheit und Gleislage	126
5.6.2.2	Oberbaukonstruktion und Trassierung.....	127
5.6.2.3	Untergrund.....	130
5.7	Meßtechnischer Befund bei schienengebundenen Systemen und Ingenieurbauwerken	132
5.7.1	Emission bei Brücken und aufgeständerten Strecken.....	132
5.7.2	Emission bei unterirdischen Strecken.....	133

5.8	Zusammenfassung	140
5.9	Meßtechnischer Befund bei sonstigen spurgebundenen Systemen	142
5.10	Abgrenzung des Emissionsbereiches - Bezugsabstand	142
6.	TRANSMISSION ODER ERSCHÜTTERUNGS-AUSBREITUNG	145
6.1	Meßtechnischer Befund	145
6.1.1	Straßenverkehr.....	145
6.1.1.1	Direkt gegründete Straßen.....	145
6.1.1.2	Brücken und Tunnel.....	148
6.1.2	Schienenverkehr.....	149
6.1.2.1	Eisenbahn.....	149
6.1.2.2	Öffentlicher Nahverkehr.....	157
6.1.2.3	Sonstige spurgebundene Systeme.....	160
6.2	Ausbreitungsmodelle	161
6.2.1	Allgemeine Hinweise.....	161
6.2.2	Straßenverkehr.....	163
6.2.2.1	Ortsfeste Erschütterungsquellen.....	163
6.2.2.2	Bewegte Erschütterungsquellen.....	164
6.2.2.3	Verkehrsflußmodelle.....	166
6.2.3	Schienenverkehr.....	171
6.2.3.1	Nutzung von Dateien.....	171
6.2.3.2	Analytische Verfahren.....	175
6.2.3.3	Analytisch- meßtechnische Verfahren.....	180
6.2.3.4	Modelluntersuchungen.....	185
6.2.3.5	Mathematisch - numerische Verfahren.....	186
6.3	Zusammenfassung	190
6.3.1	Meßtechnischer Befund zur Ausbreitung.....	190
6.3.2	Modellbildung.....	191
6.3.2.1	Straßenverkehr.....	191
6.3.2.2	Schienenverkehr.....	192
7.	IMMISSION ODER ERSCHÜTTERUNGSEINWIRKUNGEN	195
7.1	Einleitung und Abgrenzung	195
7.2	Bodenerschütterungen und Gebäudeschwingungen	198
7.2.1	Straßenverkehr.....	198
7.2.2	Schienenverkehr.....	199
7.2.2.1	Eisenbahn.....	199

7.2.2.2	Öffentlicher Nahverkehr	202
7.3	Körperschall und Sekundäreffekte	205
7.3.1	Straßenverkehr	205
7.3.2	Schienenverkehr.....	205
7.4	Tieffrequenter Schall und Sekundäreffekte.....	208
7.4.1	Straßenverkehr	208
7.4.2	Schienenverkehr.....	210
8.	SCHUTZMASSNAHMEN	213
8.1	Allgemeine Grundsätze.....	213
8.2	Emission Straßenverkehr.....	214
8.2.1	Verkehrsregelungen	214
8.2.2	Fahrzeugparameter.....	215
8.2.3	Fahrwegparameter.....	216
8.2.4	Baugrundverbesserung.....	218
8.3	Emission Schienenverkehr	220
8.3.1	Verkehrsregelungen	220
8.3.2	Fahrzeugparameter.....	220
8.3.3	Fahrwegparameter.....	221
8.3.3.1	Wartung und Gleis.....	221
8.3.3.2	Oberbaumaßnahmen und Grenzen.....	222
8.3.3.3	Elastische Schienen- und Schwellenlager.....	225
8.3.3.4	Elastische Flächenlager - Unterschottermatten	227
8.3.3.5	Masse - Feder - Systeme	230
8.3.4	Baugrundverbesserung bei niveaugleichen Trassen.....	232
8.3.5	Maßnahmen bei Ingenieurbauwerken.....	233
8.3.5.1	Tunnel	233
8.3.5.2	Brückenkonstruktionen	233
8.4	Ausbreitungsweg	234
8.4.1	Grundlagen zur Abschirmung und Dämpfung.....	234
8.4.2	Schlitze und Schirme an Verkehrswegen.....	238
8.4.2.1	Straßen	238
8.4.2.2	Schienenwege	238
8.4.3	Sperrmassen an Verkehrswegen.....	240
8.5	Empfängerstruktur	242
8.5.1	Hindernisse im Baugrund.....	242
8.5.2	Dynamische Dimensionierung Gebäude und Bauteile.....	244
8.5.3	Elastische Lagerung des Gesamtgebäudes.....	245
8.5.3.1	Rechnerische Auslegung.....	246
8.5.3.2	Bautechnische Umsetzung	248

9.	BELASTUNGEN UND BEWERTUNGEN	251
9.1	Kriterien	251
9.1.1	Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden	252
9.1.2	Einwirkungen auf die Struktur eines Gebäudes	255
9.1.2.1	Schäden - Verminderung des Gebrauchswertes	255
9.1.2.2	Baugrundsetzungen	256
9.1.2.3	Bauteilermüdung und Schadensauslösung	258
9.1.3	Einwirkungen auf die Inhalte eines Gebäudes	259
9.2	Straßenverkehr	260
9.2.1	Einwirkungen auf Gebäude und Bauteile	260
9.2.2	Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden	262
9.3	Schieneverkehr	263
9.3.1	Einwirkungen auf Gebäude und Bauteile	263
9.3.2	Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden	265
9.4	Zusammenfassung	268
10.	STAND DER TECHNIK UND SCHLUSSFOLGERUNGEN	271
10.1	Ausgangssituation	271
10.1.1	Einsatzbereiche der Prognose	271
10.1.2	Komplexität und Unsicherheit der Prognose	272
10.2	Verfügbare Prognosemöglichkeiten	275
10.2.1	Verfahren und Anwendungskriterien	275
10.2.2	Lücken	277
10.3	Weiteres Vorgehen	279
10.3.1	Themenstellungen zur Verbesserung der Prognose	279
10.3.2	Durchführung von Immissionsprognosen	281
10.3.2.1	Differenziertes Vorgehen	282
10.3.2.2	Pauschale Obergrenzen - Bemessungsdiagramme	283
10.3.2.3	Revision des Beurteilungsschemas	284
10.4	Schlußfolgerungen	285
10.4.1	Bewertung der Umweltverträglichkeit	285
10.4.2	Künftige Entwicklungen	286
10.4.2.1	Straßenverkehr	286
10.4.2.2	Spurbundener Verkehr	287
10.4.3	Konsequenzen	288

11.	VERZEICHNISSE	293
11.1	Verzeichnis der Institutionen	293
11.2	Literaturverzeichnis	295
11.2.1	Kapitel 1	295
11.2.2	Kapitel 2	298
11.2.3	Kapitel 4	298
11.2.4	Kapitel 5	304
11.2.5	Kapitel 6	311
11.2.6	Kapitel 7	316
11.2.7	Kapitel 8	318
11.2.8	Kapitel 9	324
11.3	Tabellenverzeichnis	325
11.3.1*	Kapitel 4	325
11.3.2	Kapitel 5	325
11.3.3	Kapitel 6	326
11.3.4	Kapitel 7	326
11.3.5	Kapitel 8	326
11.3.6	Kapitel 9	327
11.4	Bildverzeichnis	327
11.4.1	Kapitel 1	327
11.4.2	Kapitel 3	328
11.4.3	Kapitel 4	328
11.4.4	Kapitel 5	332
11.4.5	Kapitel 6	336
11.4.6	Kapitel 7	339
11.4.7	Kapitel 8	341
11.4.8	Kapitel 9	343
12.	ANHANG	345
12.1	Tabellen	345
	42 Tabellen (Nr.4.1 bis Nr.9.4)	346 bis 387
12.2	Bilder	389
	267 Bilder (Nr.1.1 bis Nr.9.7)	390 bis 656