

Dipl.-Ing. Eric Groß, Lüneburg

Betriebslastenermittlung, Dimensionierung, struktur- mechanische und fahrwerks- technische Untersuchungen von Mountainbikes

Reihe **12**: Verkehrstechnik/
Fahrzeugtechnik

Nr. **308**

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung	1
1.2	Zielsetzung	2
2	Dimensionierung von Fahrrädern	5
2.1	Die klassische Dimensionierung	5
2.2	Möglichkeiten der Dimensionierung	6
2.2.1	Betriebslastenermittlung	7
2.2.2	Gestaltfestigkeit	7
2.2.3	Betriebsfestigkeit	9
3	Ermittlung der Belastungen von Mountainbikes im Fahrbetrieb	10
3.1	Einsatzbedingungen von Mountainbikes	10
3.2	Anwendung von Dehnungsmeßstreifen	11
3.3	Meßdatenerfassung	12
3.3.1	Telemetrie	12
3.3.2	Data-recording.....	14
3.4	Vorbereiten der Meßfahrten.....	15
3.4.1	Auswahl der Meßstellen	15
3.4.2	Kalibrierung der Meßstellen	18
3.4.3	Auswahl der Meßbedingungen	20
3.5	Meßdatenaufbereitung	22
3.5.1	Zeitsignalnachbearbeitung	22
3.5.2	Interpretation der Meßergebnisse	24
3.6	Ergebnisse der Meßfahrten	26
3.6.1	Lenker	26
3.6.2	Vorbau.....	30
3.6.3	Sattelstütze	31
3.6.4	Gabel	37
3.6.5	Vorderrad	39
3.6.6	Rahmen und Hinterrad	42
3.7	Zusammenfassende Betrachtungen zu den Belastungen von Mountainbikes.....	44
4	Untersuchung der Betriebsfestigkeit von Mountainbikes	45
4.1	Das Verfahren der Betriebsfestigkeitsrechnung	45
4.1.1	Konzepte der Betriebsfestigkeitsrechnung	46
4.1.2	Gewähltes Berechnungskonzept	46
4.1.3	Untersuchte Fahrräder.....	47

4.2	Ermitteln der Bauteilwöhlerlinien.....	48
4.2.1	Statischer Zugversuch	50
4.2.2	Schwingversuche.....	51
4.3	Bestimmen der Beanspruchungen aus den Fahrbetriebsmessungen.....	53
4.3.1	Entstehungsursachen von Belastungen	53
4.3.2	Meßstellen.....	54
4.3.3	Durchführen der Messungen und Kollektivbildung.....	55
4.3.4	Klassiervverfahren	58
4.4	Die Lebensdauer der Mountainbikes	60
4.5	Zusammenfassende Betrachtung zur Betriebsfestigkeit von Mountainbikes	63
5	Dynamische Messungen an Mountainbikes	65
5.1.	Experimentelle Modalanalyse.....	66
5.1.1	Fouriertransformation und Ermittlung der modalen Parameter aus gemessenen Frequenzgängen.....	66
5.1.2	Parameterbestimmung durch Kurvenermittlung	68
5.1.3	Durchführung der Messungen.....	71
5.1.4	Auswertung	73
5.1.5	Ergebnisse der Modalanalyse.....	76
5.2	Betriebsschwingformmessungen.....	82
5.2.1	Wahl der Meßpunkte.....	82
5.2.2	Durchführung der Betriebsschwingformmessung.....	83
5.2.3	Betriebsschwingungen des Mountainbikes	85
5.3	Bestimmung der Dämpfung von Fahrradrahmen.....	88
5.3.1	Allgemeine Bestimmung der Dämpfung.....	88
5.3.2	Dämpfung von Fahrradrahmen	89
5.4	Zusammenfassung der Ergebnisse der dynamischen Messungen.....	93
6	Rechnerische Untersuchungen	94
6.1	Spannungs- und Verformungsanalysen mit der Methode der Finiten Elemente	94
6.1.1	Allgemeines zur Methode der Finiten Elemente.....	94
6.1.2	Geschichte	95
6.1.3	Theorie	95
6.1.4	Elementauswahl für Fahrradbauteile	97
6.1.5	Modellierung der Bauteile	103
6.2	Linear-statische Berechnungen von Fahrrädern	107
6.2.1	Rahmenvarianten.....	108
6.2.2	Berechnung von gefederten Rahmen	113
6.2.3	Berechnungen an Fahrradgabeln.....	114
6.2.4	Klemmungen an Sattelstütze und Lenker	116
6.3	Berechnung des Eigenschwingungsverhaltens des Gesamtfahrzeuges.....	119
6.3.1	Rechnerische Modalanalyse.....	119
6.3.2	Korrelation zwischen FE- und Modalmodell von Fahrradrahmen	120
6.3.3	Zusammenfassung der Ergebnisse der rechnerischen Modalanalyse	123

6.4	Ermittlung der dynamischen Antworten auf Fahrbahnanregungen	123
6.4.1	Grundlagen der verwendeten Analysenmethode	124
6.4.2	Modellbildung für die Gesamtfahrzeuganalyse	128
6.4.3	Durchführung der Simulation	130
6.4.4	Ergebnisse der Simulationsrechnungen	139
7	Federungen an Mountainbikes	140
7.1	Fahrbahnunebenheiten als Schwingungsursache	140
7.2	Anforderungen an Federungen	142
7.2.1	Federung und Dämpfung	143
7.2.2	Stoßrichtung	146
7.2.3	Nachlauf	148
7.2.4	Bremsnickverhalten	150
7.2.5	Antriebseinflüsse	151
7.3	Systeme der Radführung an Vorderrädern	152
7.3.1	Der Nickpol	152
7.3.2	Bremsnickausgleich	153
7.3.3	Konstruktive Lösungen für Vorderradfederungen	159
7.3.4	Bewertung der Vorderradfederungen	163
7.3.5	Kinematische Optimierung von Vorderradfederungen	165
7.4	Systeme der Radführung an Hinterrädern	166
7.4.1	Konstruktive Lösungen für Hinterradfederungen	166
7.4.2	Modellbildung für Hinterradfederungen	168
7.4.3	Bremsnickverhalten	170
7.4.4	Anti-Squat-Effekt	175
7.4.5	Pedalrückschlag	179
7.4.6	Kinematisches Ansprechverhalten	181
7.4.7	Bewertung der Hinterradfederungssysteme	182
7.5	Komfortmessungen an vollgefederten Mountainbikes	186
7.5.1	Schwingungsrezeption und -abwehr	186
7.5.2	Ganzkörperschwingungen	188
7.5.3	Einfluß von Schwingungen auf die visuelle Informationsaufnahme und motorische Informationsumsetzung	189
7.5.4	Hand-Arm-Schwingungen	190
7.5.5	Durchführung der Messungen	190
7.6	Strukturelle Beanspruchung des Rahmens	195
7.6.1	Untersuchte Vorderradgabeln und Durchführung der Messungen	195
7.6.2	Rahmenbeanspruchung und Schwingungsverhalten	195
7.6.3	Bewertung der Rahmenbeanspruchung	199
7.7	Energiebilanzierung bei Federungen	199
7.7.1	Meßkette zur Leistungsermittlung	199
7.7.2	Ergebnisse der Leistungsmessungen	201
7.8	Zusammenfassende Beurteilung von Federungen an Fahrrädern	205

8	Prüfstandsversuche an Rahmen und Gabeln	207
8.1	Prüfstandsversuche an Mountainbikerahmen	207
8.1.1	Rahmenprüfstand	207
8.1.2	Steifigkeitsmessungen an Mountainbikerahmen.....	208
8.1.3	Dauerschwingversuche	215
8.2	Messungen an Fahrradgabeln.....	215
8.2.1	Gabelprüfstand	215
8.2.2	Steifigkeitsmessungen an Fahrradgabeln.....	216
8.2.3	Messungen von Kraft-Weg-Verläufen an Federgabeln	218
8.3	Zusammenfassung der Ergebnisse der Prüfstandsmessungen	220
9	Simulation der Vertikaldynamik gefederter Mountainbikes	221
9.1	Die Motografie als Methode zur experimentellen Untersuchung von Bewegungsabläufen	221
9.1.1	Die Motografie als Wegmeßverfahren.....	221
9.1.2	Auswertung der Motografieaufnahmen	222
9.2	Die Mehrkörpersimulation zur rechnerischen Untersuchung der Fahrdynamik.....	223
9.2.1	Modellbildung für das Mountainbike	223
9.2.2	Modellbildung des Fahrers	224
9.2.3	Bestimmung der Modellparameter.....	225
9.2.4	Durchführen der Simulation.....	227
9.2.5	Vergleich Simulation-Messung.....	228
9.3	Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung der Vertikaldynamik	229
10	Zusammenfassung	230
11	Ausblick	232
	Anhang	233
	Literaturverzeichnis	234