
Inhaltsverzeichnis

1 Leichtbau als Treiber von Innovationen	1
1.1 Triumphe durch Leichtgewicht	1
1.2 Roadmap Leichtbau	14
1.2.1 Bauweisen der Karosserie	14
1.2.2 Bauweisen im Antriebsstrang	18
1.2.3 Bauweisen im Fahrwerk	24
Literatur	29
2 Die Technische Motivation	31
2.1 Fahrwiderstände	31
2.2 Einfluss der Gewichtsreduzierung auf die Fahrdynamik	39
2.3 Gewichtsspirale	40
Literatur	42
3 Die Leichtbaustrategien	43
3.1 Einteilung der Leichtbau- Strategien und Methoden	43
3.2 Stoff-Leichtbau	52
3.2.1 Wechsel der Werkstoffe	52
3.2.2 Artgleicher Werkstoff	55
3.2.3 Fertigungsleichtbau	58
3.2.4 Leichtbau-Kennzahlen	60
3.3 Formleichtbau	64
3.4 Konzeptleichtbau	68
3.4.1 Differential- und Integralbauweise	68
3.4.2 Synthese mit Funktionsintegration	69
3.5 Bedingungsleichtbau	71
3.6 Leichtbau im Produktentstehungsprozess der Fahrzeughersteller	72
3.6.1 Leichtbau wird Hygienefaktor	72
3.6.2 Der Strategische Leichtbau (Zielfindungsprozess) in der Produktentstehung der Fahrzeughersteller	77
3.6.3 Der Taktische Leichtbau (Planungs- und Matchingprozess)	93
3.6.4 Der operative Leichtbau (Entwicklungsprozess)	95

3.7	Voraussetzungen und Kriterien für die Auswahl von Leichtbaulösungen	99
3.7.1	Die Leichtbaugüter als Vergleichsmaßstab	101
3.7.2	Wirtschaftlichkeit	102
3.7.3	Organisatorische Voraussetzungen und funktionale Kriterien	112
3.7.4	Betrachtungen zu Gesamtenergiebilanz und Wiederverwertbarkeit	114
	Literatur	117
4	Anforderungen an den Leichtbau im Fahrzeug	119
4.1	Betriebsfestigkeits- und Lebensdauer-Anforderung im Fahrzeugbau	119
4.1.1	Betriebsfestigkeitslastfälle	120
4.1.2	Theoretische Grundlagen der Betriebsfestigkeit	121
4.1.3	Neue Werkstoffe als besondere Herausforderung	121
4.2	Beeinflussung der Betriebseigenschaften durch Herstell- und Produktionsparameter	122
4.2.1	Betriebseigenschaften dynamisch beanspruchter Bauteile	122
4.2.2	Beeinflussung der Betriebseigenschaften durch den Herstellprozess	126
4.2.3	Fazit für das Leichtbaupotential	135
4.3	Betriebsfeste Dimensionierung von Fahrzeugen	135
4.3.1	Lastkollektiv und Schadensakkumulation	135
4.3.2	Statische Zugfestigkeit und Schwingfestigkeit verschiedener Stahlgrundwerkstoffe	136
4.3.3	Einfluss der Fügeverfahren auf die Schwingfestigkeit einer Prinzip-Probe	138
4.3.4	Beispiel einer abstreckgleitgezogenen Dämpferkonsole aus DC04 mit variabler Blechdicke	140
4.4	Anforderungen an Leichtbauwerkstoffe und Engineering der Betriebsfestigkeit	140
4.4.1	Faserverbundwerkstoffe	141
4.4.2	Thermoplaste	141
4.4.3	Aluminium	142
4.4.4	Simulation – Engineering der Betriebsfestigkeit	144
4.4.5	Beispiel: Betriebsfeste Gestaltung der Fahrzeugkarosserie eines Luxusroadsters	148
4.5	Passive Sicherheit und Crasheigenschaften	151
4.5.1	Passive Sicherheit als Anforderung im Fahrzeugbau	151
4.5.2	Moderne Gestaltung von Fahrzeugstrukturen	156
4.5.3	Werkstoffanforderungen der passiven Sicherheit	159

4.5.4	Herausforderungen bei der Simulation von Leichtbauwerkstoffen	166
	Literatur	173
5	Anforderungsmanagement und Werkzeuge für Leichtbauweisen auf dem Weg zum Multi-Material-Design	177
5.1	Modellbasiertes Anforderungsmanagement	177
5.1.1	Motivation	178
5.1.2	Modellierungsansatz	179
5.1.3	Konzeptmodellierung und -bewertung	185
5.2	Berechnungsverfahren zur Ableitung von Fahrzeugstrukturen	187
5.2.1	Topologieoptimierungsverfahren in der Konzeptentwicklungsphase	188
5.2.2	Konzeptentwicklung am Beispiel von Faserverbundwerkstoffen	192
5.3	Anwendungsbeispiel – Faserverbundintensive Spant-Space-Frame-Bauweise	193
5.3.1	Funktionsprinzip der Schlüsselkomponente Ringspant	193
5.3.2	Entwicklung und Konstruktion	196
	Literatur	198
6	Die Leichtbauwerkstoffe für den Fahrzeugbau	199
6.1	Stähle	200
6.1.1	Grundlagen der Stahlgüten	200
6.1.2	Stahlorten und Lieferformen	208
6.1.3	IF- und Bake- Hardening- Stähle	216
6.1.4	Mikrolegierte Stähle zum Kaltumformen	222
6.1.5	Mehrphasenstähle (DP, CP, BS, Restaustenit, MS)	226
6.1.6	Vergütungsstähle	231
6.1.7	Ultrafeinkörnige und Nanopartikelhaltige Stähle	241
6.1.8	Hochmanganhaltige Stähle mit TRIP/TWIP-Effekt	247
6.1.9	Hochaluminiumhaltige Stähle	258
6.2	Leichtmetalle	266
6.2.1	Aluminium-Legierungen	266
6.2.2	Magnesiumlegierungen und -Matrix Verbundwerkstoffe	314
6.2.3	Titan, Titanlegierungen und Titanaluminide	336
6.3	Massivkeramik und Verbundwerkstoffe mit keramischer Matrix	347
6.3.1	Anwendungen im Fahrzeugbau	348
6.3.2	Herstellverfahren	357
6.3.3	Typische Ergebnisse und Eigenschaften	360
6.3.4	Zusammenfassung	361

6.4	Kunststoffe	362
6.4.1	Kunststoffe im Exterieur und Interieur	362
6.4.2	Faserverstärkte Kunststoffe der Fahrzeugstruktur	396
	Literatur	430
7	Werkstoff- und Halbzeugtechnologien für Leichtbau-Anwendungen	443
7.1	Ausgewählte Ur- und Umformtechnologien	444
7.1.1	Einteilung der Verfahren	444
7.1.2	Verfahren zur Herstellung flächiger Bauteile	445
7.1.3	Wirkmedienbasierte Umformverfahren	456
7.1.4	Verfahren zur Herstellung von Profilen und Rohren	467
7.1.5	Biegen von Blechen, Profilen und Rohren	473
7.1.6	Gießverfahren	477
7.2	Metallische Tailored Products (MTPs)	502
7.2.1	Übersicht	502
7.2.2	Kontinuierlich hergestellte Tailored Products	502
7.2.3	Diskontinuierlich hergestellte Tailored Products	509
7.2.4	Metallische Werkstoffverbunde: Plattierte Bänder bzw. Verbundprofile	515
7.2.5	Entwicklungstendenzen	518
7.3	Verbund- und Sandwichlösungen	519
7.3.1	Klassifizierung	520
7.3.2	Aufbau und Tragverhalten von Sandwichlösungen	522
7.3.3	Kern- und Deckschichtwerkstoffe	523
7.3.4	Biege- bzw. Sandwichtheorie	528
7.3.5	Versagensarten und Instabilitäten	529
7.3.6	Fertigungsverfahren und Verbindungstechniken	531
7.3.7	Auswahlverfahren, Anwendungsbeispiele und Funktionsintegrationen	533
7.4	Werkstofftechnologien mit Kunststoffen	538
7.4.1	Werkstofftechnologien mit Thermoplasten	542
7.4.2	Thermoplastische Halbzeuge – Herstellung und Verarbeitung	568
7.4.3	Werkstofftechnologien mit Duroplasten	586
7.4.4	Elastomere	618
7.4.5	Rezyklierungsverfahren für Thermoplaste, Duroplaste und Elastomere	620
7.5	Fügeverfahren in hybriden Leichtbausystemen	622
7.5.1	Einführung	622
7.5.2	Fügetechnische Herausforderungen neuer Leichtbauweisen	624
7.5.3	Fügeverfahren für Multi-Material-Strukturen	626
7.5.4	Ausblick	662

7.6	Oberflächentechnologie und Schichtverbunde	663
7.6.1	Moderne Werkstoffverbundkonzepte für Verbrennungsmotoren	673
7.6.2	Herstellung von thermisch gespritzten Zylinderinnenbeschichtungen	678
7.6.3	Materialauswahl und Werkstoffcharakterisierung	683
7.6.4	Schichtcharakterisierung	685
7.6.5	Zielfelder und Anwendungen für leichte Antriebsstränge	693
7.7	Adaptronik zur Ertüchtigung von Leichtbaulösungen	694
7.7.1	Smart Structures	695
7.7.2	Schwingungsisoliation (Empfängerentstörung)	696
7.7.3	Semi-passive Dämpfung	697
7.7.4	Semi-aktive Konzepte	700
7.7.5	Aktive Schwingungsregelung	705
7.7.6	Aktive Geräusch-Regelung (ANC)/Aktive Struktur-Akustik-Regelung (ASAC)	710
	Literatur	711
8	Recycling, Life-Cycle-Assessment und Rohstoffverfügbarkeit	727
8.1	Life-Cycle-Assessment als Entscheidungshilfe für Leichtbau	727
8.1.1	Methodische Grundlagen der Ökobilanz	728
8.1.2	Ökologische Bewertung von Leichtbauwerkstoffen	731
8.2	Leichtbau im End-of-Life Konzept	736
8.2.1	Rechtliche Rahmenbedingungen	736
8.2.2	Aufbereitung von Altfahrzeugen	737
8.2.3	End-of-Life eines Leichtbauteils	739
8.2.4	Methodisches Vorgehen zur Bewertung von Recyclingströmen	742
8.3	Verfügbarkeit von Rohstoffen für automobilen Leichtbau	744
8.3.1	Einführung	744
8.3.2	Rohstoffe für den Fahrzeugleichtbau	745
8.3.3	Relevante Kriterien der Verfügbarkeit	748
8.3.4	Beurteilung: Kritisch oder nicht kritisch?	751
8.3.5	Vergleich der Ergebnisse mit aktuellen Studien zu kritischen Rohstoffen	761
8.3.6	Schlussfolgerungen	763
	Literatur	764
9	Leichtbaukonzepte für heute und morgen	767
9.1	Prämissen	767
9.2	Potenzialerschließung durch Systemleichtbau auf Gesamtfahrzeugebene	770
9.2.1	Sekundäreffekte im Gesamtfahrzeug	771
9.2.2	Fahrzeugarchitektur, Fahrzeugabmessungen	772

9.2.3	Laststufenkonzepte	776
9.2.4	Teilsystemübergreifende Optimierung, Modularisierung	778
9.3	Potenziale des Teilsystems Karosserie	779
9.3.1	Topologieoptimierung und Integralbauweisen	779
9.3.2	Werkstoff- und Fertigungsleichtbau	780
9.3.3	Neue Konzepte und Bauweisen	791
9.4	Potenziale des Teilsystems Motor/Antriebsstrang	798
9.4.1	Konzeptleichtbau	798
9.4.2	Werkstoffleichtbau und Leichtbau durch Modularisierung	799
9.4.3	Synthese von Antrieb und Fahrzeugpackage	804
9.5	Potenziale der Fahrwerkskomponenten	806
9.5.1	Konzeptleichtbau	806
9.5.2	Formleichtbau	808
9.5.3	Leichtbau durch Werkstoffe und Bauweisen	809
9.6	Potenziale der Innenausstattungs-komponenten	811
9.6.1	Systemleichtbau/Modulbildung	811
9.6.2	Werkstoffleichtbau und Fertigungsleichtbau	812
9.7	Potenziale des Teilsystems Elektrik/Elektronik	812
9.7.1	Systemleichtbau	812
9.7.2	Werkstoffleichtbau	813
9.8	Trends – Werkstoffe und Bauweisen mischen sich	814
	Literatur	817
Sachverzeichnis		819