
Inhaltsverzeichnis

1	Leichtbau als Treiber von Innovationen	1
1.1	Triumphe durch Leichtgewicht	1
1.2	Roadmap Leichtbau	16
1.2.1	Bauweisen der Karosserie	16
1.2.2	Bauweisen im Antriebsstrang	21
1.2.3	Bauweisen im Fahrwerk	25
	Literatur	30
2	Die Technische Motivation	33
2.1	Fahrwiderstände	33
2.2	Einfluss der Gewichtsreduzierung auf die Fahrdynamik	41
2.3	Gewichtsspirale	42
	Literatur	44
3	Die Leichtbaustrategien	45
3.1	Einteilung der Leichtbau-Strategien und Methoden	45
3.2	Stoff-Leichtbau	54
3.2.1	Wechsel der Werkstoffe	54
3.2.2	Artgleicher Werkstoff	57
3.2.3	Fertigungsleichtbau	59
3.2.4	Leichtbaukennzahlen	62
3.3	Formleichtbau	70
3.4	Konzept-Leichtbau	73
3.4.1	Differenzial- und Integralbauweise	73
3.4.2	Synthese mit Funktionsintegration	75
3.5	Bedingungsleichtbau	76
3.6	Leichtbau im Produktentstehungsprozess der Fahrzeughersteller	78
3.6.1	Leichtbau wird Hygienefaktor	78
3.6.2	Der Strategische Leichtbau (Zielfindungsprozess) in der Produktentstehung der Fahrzeughersteller	82
3.6.3	Der Taktische Leichtbau (Planungs- und Matchingprozess)	98
3.6.4	Der operative Leichtbau (Entwicklungsprozess)	101

3.7	Voraussetzungen und Kriterien für die Auswahl von Leichtbaulösungen	104
3.7.1	Die Leichtbaugüte als Vergleichsmaßstab	106
3.7.2	Wirtschaftlichkeit	107
3.7.3	Organisatorische Voraussetzungen und funktionale Kriterien	116
3.7.4	Betrachtungen zu Gesamtenergiebilanz und Wiederverwertbarkeit	119
	Literatur	122
4	Anforderungen an den Leichtbau im Fahrzeug	125
4.1	Betriebsfestigkeits- und Lebensdauer-Anforderung im Fahrzeugbau	125
4.1.1	Betriebsfestigkeitslastfälle	126
4.1.2	Theoretische Grundlagen der Betriebsfestigkeit	129
4.1.3	Neue Werkstoffe als besondere Herausforderung	129
4.2	Beeinflussung der Betriebseigenschaften durch Herstell- und Produktionsparameter	130
4.2.1	Betriebseigenschaften dynamisch beanspruchter Bauteile . .	130
4.2.2	Beeinflussung der Betriebseigenschaften durch den Herstellprozess	134
4.2.3	Fazit für das Leichtbaupotenzial	143
4.3	Betriebsfeste Dimensionierung von Fahrzeugen	143
4.3.1	Lastkollektiv und Schadensakkumulation	143
4.3.2	Statische Zugfestigkeit und Schwingfestigkeit verschiedener Stahlgrundwerkstoffe	144
4.3.3	Einfluss der Fügeverfahren auf die Schwingfestigkeit einer Prinzip-Probe	146
4.3.4	Beispiel einer abstreckgleitgezogenen Dämpferkonsole aus DC04 mit variabler Blechdicke	148
4.4	Anforderungen an Leichtbauwerkstoffe und Engineering der Betriebsfestigkeit	148
4.4.1	Faserverbundwerkstoffe	148
4.4.2	Thermoplaste	149
4.4.3	Aluminium	150
4.4.4	Simulation – Engineering der Betriebsfestigkeit	152
4.4.5	Beispiel: Betriebsfeste Gestaltung der Fahrzeugkarosserie eines Luxusroadsters	156
4.5	Passive Sicherheit und Crasheigenschaften	158
4.5.1	Passive Sicherheit als Anforderung im Fahrzeugbau	158
4.5.2	Moderne Gestaltung von Fahrzeugstrukturen	163
4.5.3	Werkstoffanforderungen der passiven Sicherheit	166
4.5.4	Herausforderungen bei der Simulation von Leichtbauwerkstoffen	173
	Literatur	181

5	Anforderungsmanagement und Werkzeuge für Leichtbauweisen auf dem Weg zum Multi-Material-Design	183
5.1	Modellbasiertes Anforderungsmanagement	183
5.1.1	Motivation	184
5.1.2	Modellierungsansatz	185
5.1.3	Konzeptmodellierung und -bewertung	190
5.2	Berechnungsverfahren zur Ableitung von Fahrzeugstrukturen	193
5.2.1	Topologieoptimierungsverfahren in der Konzeptentwicklungsphase	193
5.2.2	Konzeptentwicklung am Beispiel von Faserverbundwerkstoffen	197
5.3	Anwendungsbeispiel – Faserverbundintensive Spant-Space-Frame-Bauweise	198
5.3.1	Funktionsprinzip der Schlüsselkomponente Ringspant	200
5.3.2	Entwicklung und Konstruktion	201
	Literatur	203
6	Die Leichtbauwerkstoffe für den Fahrzeugbau	207
6.1	Stähle	208
6.1.1	Grundlagen der Stahlwerkstoffe	208
6.1.2	Stahlsorten und Lieferformen	218
6.1.3	IF- und Bake-Hardening-Stähle	226
6.1.4	Mikrolegierte Stähle zum Kaltumformen	232
6.1.5	Mehrphasenstähle (DP, CP, BS, Restaustenit, MS)	235
6.1.6	Vergütungsstähle	240
6.1.7	Ultrafeinkörnige und Nanopartikelhaltige Stähle	250
6.1.8	Hochmanganhaltige Stähle mit TRIP/TWIP-Effekt	255
6.1.9	Hochaluminiumhaltige Stähle	266
6.2	Leichtmetalle	274
6.2.1	Aluminium-Legierungen	274
6.2.2	Magnesiumlegierungen und -Matrix Verbundwerkstoffe	323
6.2.3	Titan, Titanlegierungen und Titanaluminide	345
6.3	Massivkeramik und Verbundwerkstoffe mit keramischer Matrix	356
6.3.1	Anwendungen im Fahrzeugbau	357
6.3.2	Herstellverfahren	365
6.3.3	Typische Ergebnisse und Eigenschaften	368
6.3.4	Zusammenfassung	369
6.4	Kunststoffe	370
6.4.1	Kunststoffe im Exterieur und Interieur	370
6.4.2	Faserverstärkte Kunststoffe der Fahrzeugstruktur	404
	Literatur	436

7	Werkstoff- und Halbzeugtechnologien für Leichtbau-Anwendungen	451
7.1	Ausgewählte Ur- und Umformtechnologien	452
7.1.1	Einteilung der Verfahren	452
7.1.2	Verfahren zur Herstellung flächiger Bauteile	453
7.1.3	Wirkmedienbasierte Umformverfahren	464
7.1.4	Verfahren zur Herstellung von Profilen und Rohren	474
7.1.5	Biegen von Blechen, Profilen und Rohren	480
7.1.6	Gießverfahren	484
7.2	Metallische Tailored Products (MTPs)	509
7.2.1	Übersicht	509
7.2.2	Kontinuierlich hergestellte Tailored Products	510
7.2.3	Diskontinuierlich hergestellte Tailored Products	516
7.2.4	Metallische Werkstoffverbunde: Plattierte Bänder bzw. Verbundprofile	523
7.2.5	Entwicklungstendenzen	526
7.3	Verbund- und Sandwichlösungen	527
7.3.1	Klassifizierung	528
7.3.2	Aufbau und Tragverhalten von Sandwichlösungen	529
7.3.3	Kern- und Deckschichtwerkstoffe	530
7.3.4	Biege- bzw. Sandwichtheorie	535
7.3.5	Versagensarten und Instabilitäten	537
7.3.6	Fertigungsverfahren und Verbindungstechniken	539
7.3.7	Auswahlverfahren, Anwendungsbeispiele und Funktionsintegrationen	541
7.4	Werkstofftechnologien mit Kunststoffen	546
7.4.1	Werkstofftechnologien mit Thermoplasten	549
7.4.2	Thermoplastische Halbzeuge – Herstellung und Verarbeitung	575
7.4.3	Werkstofftechnologien mit Duroplasten	593
7.4.4	Elastomere	623
7.4.5	Rezyklierungsverfahren für Thermoplaste, Duroplaste und Elastomere	625
7.5	Fügetechnologien in hybriden Leichtbausystemen	628
7.5.1	Einführung	628
7.5.2	Fügetechnische Herausforderungen neuer Leichtbauweisen	630
7.5.3	Fügeverfahren für Multi-Material-Strukturen	632
7.5.4	Ausblick	667
7.6	Oberflächentechnologie und Schichtverbunde	667
7.6.1	Moderne Werkstoffverbundkonzepte für Verbrennungsmotoren	677
7.6.2	Herstellung von thermisch gespritzten Zylinderinnenbeschichtungen	682
7.6.3	Materialauswahl und Werkstoffcharakterisierung	687

7.6.4	Schichtcharakterisierung	688
7.6.5	Zielfelder und Anwendungen für leichte Antriebsstränge	698
7.7	Adaptronik zur Ertüchtigung von Leichtbaulösungen	699
7.7.1	Smart Structures	700
7.7.2	Schwingungsisolierung (Empfängerentstörung)	701
7.7.3	Semi-passive Dämpfung	703
7.7.4	Semi-aktive Konzepte	705
7.7.5	Aktive Schwingungsregelung	710
7.7.6	Aktive Geräusch-Regelung (ANC)/ Aktive Struktur- Akustik-Regelung (ASAC)	713
	Literatur	715
8	Recycling, Life-Cycle-Assessment und Rohstoffverfügbarkeit	733
8.1	Life-Cycle-Assessment als Entscheidungshilfe für Leichtbau	733
8.1.1	Methodische Grundlagen der Ökobilanz	734
8.1.2	Ökologische Bewertung von Leichtbauwerkstoffen	737
8.2	Leichtbau im End-of-Life Konzept	742
8.2.1	Rechtliche Rahmenbedingungen	742
8.2.2	Aufbereitung von Altfahrzeugen	743
8.2.3	End-of-Life eines Leichtbauteils	744
8.2.4	Methodisches Vorgehen zur Bewertung von Recyclingströmen	747
8.3	Verfügbarkeit von Rohstoffen für automobilen Leichtbau	749
8.3.1	Einführung	749
8.3.2	Rohstoffe für den Fahrzeubleichtbau	751
8.3.3	Relevante Kriterien der Verfügbarkeit	753
8.3.4	Beurteilung: Kritisch oder nicht kritisch?	756
8.3.5	Vergleich der Ergebnisse mit aktuellen Studien zu kritischen Rohstoffen	767
8.3.6	Schlussfolgerungen	769
	Literatur	770
9	Leichtbaukonzepte für heute und morgen	773
9.1	Prämissen	773
9.2	Potenzialerschließung durch Systemleichtbau auf Gesamtfahrzeugebene	776
9.2.1	Sekundäreffekte im Gesamtfahrzeug	777
9.2.2	Fahrzeugarchitektur, Fahrzeugabmessungen	778
9.2.3	Laststufenkonzepte	781
9.2.4	Teilsystemübergreifende Optimierung, Modularisierung	783
9.3	Potenziale des Teilsystems Karosserie	784
9.3.1	Topologieoptimierung und Integralbauweisen	784
9.3.2	Werkstoff- und Fertigungsleichtbau	789

9.3.3	Neue Konzepte und Bauweisen	799
9.4	Potenziale des Teilsystems Motor/Antriebsstrang	805
9.4.1	Konzeptleichtbau	805
9.4.2	Werkstoffleichtbau und Leichtbau durch Modularisierung	807
9.4.3	Synthese von Antrieb und Fahrzeugpackage	811
9.5	Potenziale der Fahrwerkskomponenten	813
9.5.1	Konzeptleichtbau	813
9.5.2	Formleichtbau	816
9.5.3	Leichtbau durch Werkstoffe und Bauweisen	816
9.6	Potenziale der Innenausstattungs-komponenten	819
9.6.1	Systemleichtbau/Modulbildung	819
9.6.2	Werkstoffleichtbau und Fertigungsleichtbau	820
9.7	Potenziale des Teilsystems Elektrik/Elektronik	820
9.7.1	Systemleichtbau	820
9.7.2	Werkstoffleichtbau	822
9.8	Trends – Werkstoffe und Bauweisen mischen sich	822
	Literatur	825
	Sachverzeichnis	827