

---

# 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
<b>4</b>	<b>Anforderungen an den Leichtbau im Fahrzeug . . . . .</b>	<b>125</b>
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

<b>5</b>	<b>Anforderungsmanagement und Werkzeuge für Leichtbauweisen auf dem Weg zum Multi-Material-Design . . . . .</b>	<b>183</b>
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
<b>6</b>	<b>Die Leichtbauwerkstoffe für den Fahrzeugbau . . . . .</b>	<b>207</b>
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

<b>7</b>	<b>Werkstoff- und Halbzeugtechnologien für Leichtbau-Anwendungen</b>	<b>451</b>
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	Schwingungsisolation (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
<b>8</b>	<b>Recycling, Life-Cycle-Assessment und Rohstoffverfügbarkeit . . . .</b>	<b>733</b>
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 Fahrzeugleichtbau . . . . .	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
<b>9</b>	<b>Leichtbaukonzepte für heute und morgen . . . . .</b>	<b>773</b>
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 Innenausstattungskomponenten . . . . .	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
	<b>Sachverzeichnis . . . . .</b>	<b>827</b>

Leichtbau in der Fahrzeugtechnik

Friedrich, H.E. (Hrsg.)

2017, XXII, 844 S. 710 Abb., Hardcover

ISBN: 978-3-658-12294-2