

Inhaltsverzeichnis

Teil I Grundlagen, Vorbehandlung, Auslegung, Qualität

1	Grundlagen	3
Henning Gleich, Andreas Hartwig, Hartwig Lohse, David Blass, Tobias Reincke, Stefan Kreling und Klaus Dilger		
1.1	Was Kleber über Kunststoffe wissen sollten	3
1.1.1	Einteilung und Eigenschaften	4
1.1.2	Trennmittel stören	7
1.1.3	Fasern verstärken Kunststoffe	8
1.1.4	Weichmacher	8
1.2	Das Phänomen der Haftung und warum das Vorbehandeln so wichtig ist	9
1.2.1	Kleben von Kunststoffen	9
1.2.2	Phänomen Haftung	10
1.2.3	Adhäsion zwischen Polymeren	11
1.2.4	Oberflächen-/Grenzflächenenergie	12
1.2.5	Grenzflächenenergie und Wechselwirkungsparameter	14
1.2.6	Warum das Vorbehandeln so wichtig ist	15
1.2.7	Vorbehandlung sichert den Prozess	18
1.2.8	Verbundfestigkeit beim Kleben	19
1.3	Welche Klebstoffklassen werden wo eingesetzt?	21
1.4	Duromere und thermoplastische Matrixmaterialien – Welche Anforderungen muss die Klebtechnik erfüllen?	32
1.4.1	Polymere Matrixsysteme	33
1.4.2	Eigenschaften der Matrixsysteme im Vergleich	33
1.4.3	Fertigungsverfahren und Verarbeitungsprozesse	34
1.4.4	Welchen Einfluss haben Additive und Füllstoffe?	35
1.4.5	Anwendungstechnische Anforderungen an Matrixsysteme	36
1.4.6	Herausforderungen beim Kleben	38
1.4.7	Zusammenfassung und Ausblick	41
Literatur		42

2 Vorbehandlung von Kunststoffen	45
Ralph Wilken, Henning Gleich, Christian Buske, Joachim Schüßler, Uwe Lommatsch, Elmar Moritzer, Christian Leister, Jens Krugmann, Eduard Kraus, Lukas Orf, Michael Heilig, Benjamin Baudrit, Peter Heidemeyer, Martin Bastian, Stefan Kreling, David Blass und Klaus Dilger	
2.1 Kunststoffe richtig vorbehandeln	45
2.1.1 Reinigungsverfahren	46
2.1.2 Mechanische Verfahren	48
2.1.3 Strahlverfahren	49
2.1.4 Vakuumsaugstrahlen	49
2.1.5 SaCo-Verfahren	50
2.1.6 CO ₂ -Schneestrahlen/Trockeneisstrahlen	50
2.1.7 Physikalische und chemische Vorbehandlungsverfahren	51
2.1.8 Niederdruckplasmaverfahren	52
2.1.9 Corona-Behandlung	53
2.1.10 Atmosphärendruck-Plasmajets	53
2.1.11 Plasmapolymerisation für haftvermittelnde Beschichtungen	55
2.1.12 Oberflächenaktivierung durch VUV-Strahlung	55
2.1.13 Beflammen	56
2.1.14 Silikatisieren	57
2.1.15 Einsatz von Primern und Aktivatoren	58
2.1.16 Beizen	59
2.1.17 Gasphasenfluorierung	59
2.1.18 Laserverfahren	60
2.1.19 Fazit	61
2.2 Atmosphärendruckplasma – Durchaus „nicht oberflächlich“	62
2.2.1 Plasma, der „Vierte Aggregatzustand“	62
2.2.2 Elektrisch neutraler Plasmastrahl	63
2.2.3 Umweltfreundliche Oberflächenaktivierung	64
2.2.4 Strukturelle Verklebung von Kühlaufläufen	66
2.2.5 Vorbehandlung von Kunststoff-Karosseriebaugruppen	67
2.2.6 In-Line Plasmatechnik im 2-Komponenten Spritzguss	68
2.2.7 Kleben von Türdichtungen im Fertigungsprozess	69
2.2.8 Schlussbemerkung	70
2.3 Vorbehandlung mit Plasma bei Atmosphärendruck – Langzeitstabil kleben	70
2.3.1 Plasmabehandlung und Kleben	71
2.3.2 Aktivierung und Klebfestigkeit	72
2.3.3 Zeitbeständigkeit und Prozessabhängigkeit	73
2.3.4 Mechanismus der Aktivierung	75
2.3.5 Alterungsbeständigkeit und Primer	77

2.3.6	Plasmapolymerisation zur Abscheidung haftvermittelnder Schichten	77
2.3.7	Mechanismus der Haftvermittlung	79
2.3.8	Zusammenfassung	80
2.3.9	Dank	81
2.4	Alterung von plasmabehandelten Kunststoffen – Alles eine Frage der Zeit?	81
2.4.1	Untersuchungsmethode	82
2.4.2	Einfluss der Liegezeit	83
2.4.3	Einfluss der Lagerbedingungen	85
2.4.4	Fazit	86
2.5	UV-Laser-Vorbehandlung von Kunststoffen – Adhäsion per Excimer-Laser verbessern	87
2.5.1	Wirkung des UV-Lasers	88
2.5.2	Benetzungstheorien	89
2.5.3	Verwendete Materialien	91
2.5.4	UV-Laser Vorbehandlung	91
2.5.5	Analysemethoden	92
2.5.6	Ergebnisse der Modifikation mittels UV-Laser-Vorbehandlung	93
2.5.7	Einfluss auf die Oberflächenenergie	93
2.5.8	Zugfestigkeit	94
2.5.9	Fazit und Ausblick	95
2.6	Vorbehandlung von duroplastischem CFK – Laserstrahlung – eine verschleißfreie Alternative für die Serie?	97
2.6.1	Photochemische und -thermische Wechselwirkung	98
2.6.2	Absorption der Laserstrahlung in Matrix und Fasern	98
2.6.3	Exemplarische Ergebnisse kurz zusammengefasst	100
2.6.4	Ausblick: Klebvorbehandlung in Serienprozessen	103
2.7	Faserverbundwerkstoffe unterdruckstrahlen – Sauber und prozesssicher vorbehandeln	104
2.7.1	Technologie des Unterdruckstrahlens	105
2.7.2	Exemplarische Ergebnisse	106
2.7.3	Einsatz alternativer Strahlmittel	112
2.7.4	Herausforderungen im Einsatz für komplexe Bauteile	113
2.7.5	Berührungsloses Unterdruckstrahlen	114
2.7.6	Fazit	116
	Literatur	117
3	Auslegung geklebter Kunststofffügeteile	123
	Marc Wünsche, Katharina Henkel, Dominik Teutenberg, Gerson Meschut und Sebastian Mailänder	
3.1	Multi-Material-Design – Faserverstärkte Kunststoffe strukturell kleben .	123

3.1.1	Prüfkonzept	124
3.1.2	Vergleichbarkeit der Probenformen	125
3.1.3	Unterschiedliches Versagensverhalten	126
3.1.4	Einflussgrößen auf das Verbindungsverhalten	127
3.1.5	Faserarchitektur und -orientierung	128
3.1.6	Beanspruchungsart	130
3.1.7	Matrixsystem	131
3.1.8	Klebstoffsysteem	132
3.1.9	Konstruktive Gestaltung	133
3.2	Stahl mit Kunststoffen kleben – Relativverschiebungen elastisch ausgleichen	134
3.2.1	Auswahl des Klebstoffs	135
3.2.2	Bestimmung der Klebschichtgeometrie	136
3.2.3	Experimentelle Auslegung der Verbindung	137
3.2.4	Fazit	139
	Literatur	140
4	Qualitätssicherung und Prüfverfahren	141
	Andreas Groß, Hartwig Lohse, Henning Gleich, Jens Holtmannspötter, Michael Wetzel, Jürgen von Czarnecki, Rolf Brucksch, Eduard Kraus, Benjamin Baudrit, Peter Heidemeyer, Martin Bastian und Frank Thomsen	
4.1	Qualitätssicherung in der Klebtechnik – Die neue DIN 2304 und ihr Nutzen für die Praxis	141
4.1.1	Kerngedanke der ISO 9001	144
4.1.2	Qualitätssicherung auf Basis der ISO 9001	145
4.1.3	DIN 2304 – eine Norm für Anwender	147
4.1.4	Kernelement 1: Klassifizierung der Klebungen	148
4.1.5	Kernelement 2: Klebaufsichtspersonal (KAP)	150
4.1.6	Kernelement 3: Nachweisführung	150
4.1.7	Perspektive: Zertifizierung gemäß DIN 2304	151
4.1.8	DIN 6701 – ein Erfolgsmodell	152
4.1.9	Fazit	153
4.2	Lebensdauervorhersage – Alterungseffekte im Zeitraffertest	153
4.2.1	Die Idee der Zeitraffertests	154
4.2.2	Exemplarische Tests	155
4.2.3	Grenzen der Zeitraffertests	158
4.2.4	Festlegung von Bedingungen für Zeitraffertests	159
4.2.5	Fazit	161
4.3	Hochauflösende Darstellung von Grenzflächen – Analyse- und Präparationsmethoden gut kombiniert	162
4.3.1	REM-Aufnahmen im Vergleich	164
4.3.2	Analyse nichtleitender Oberflächen	165

4.3.3	Angepasste Probenpräparation	166
4.3.4	Präparation per Ionenstrahl	166
4.3.5	Vorbehandlungsprozesse besser verstehen	168
4.3.6	Fazit	170
4.4	Neue Methoden zur Prüfung geklebter Kunststoffe – Der Festigkeit schnell auf der Spur	170
4.4.1	Zusammenfassung und Ausblick	177
4.5	Benetzung und Haftung normgerecht messen – Was die DIN 55660 regelt	178
4.5.1	Bestimmung der Oberflächenenergie	180
4.5.2	Optische Oberflächenspannungsmessung des Klebstoffs	182
4.5.3	Adhäsionsarbeit – Maß für initiale Klebfestigkeit	183
4.5.4	Grenzflächenspannung: Maß für Langzeitstabilität	184
4.5.5	Fazit	185
	Literatur	185

Teil II Klebstofftechnologien

5	Polyurethanklebstoffe zum Kleben von Kunststoffen	189
	Sergio Grunder, Stefan Schmatloch und Andreas Lutz	
5.1	1K-PUR-Klebstoffe für Mischkonstruktionen – Dynamisch hoch belastbar	189
5.1.1	Eigenschaften im Vergleich	192
5.1.2	Breites Einsatzfeld	194
5.1.3	Maschinell gut zu verarbeiten	195
5.1.4	Fazit und Ausblick	196
5.2	Composites strukturell kleben – Effizient und dauerhaft gefügt mit 2K-PUR-Systemen	196
5.2.1	Allgemeine Eigenschaften	199
5.2.2	Composites vorbehandlungsfrei kleben	202
5.2.3	Mischen und Dosieren	206
6	Epoxidharzklebstoffe zum Kleben von Kunststoffen	207
	Arno Maurer, Christian Lammel, Mathias Beck, Elmar Moritzer, Norman Friedrich und Julian Berger	
6.1	Kleben und Vergießen per Induktionshärtung – Auch Kunststoffe sekundenschnell fügen	207
6.1.1	Bisherige Projekte und Ergebnisse	208
6.1.2	Entwicklung und Qualifizierung induktionsgeeigneter Klebstoffe	209
6.1.3	Bestimmung der Aufheizparameter	211
6.1.4	Schlussfolgerung und Ausblick	212

6.2	Laserdurchstrahlkleben von opaken Kunststoffen – Schnell und zuverlässig	213
6.2.1	Laserdurchstrahlkleben	214
6.2.2	Auswahl der Materialien	214
6.2.3	Untersuchung der Einflussparameter	214
6.2.4	Statistischer Versuchsplan	217
6.2.5	Einfluss der Klebschichtdicke	217
6.2.6	Einfluss der Laserleistung	218
6.2.7	Einfluss der Einwirkzeit	219
6.2.8	Fazit und Ausblick	220
	Literatur	221
7	Acrylatklebstoffe zum Kleben von Kunststoffen	223
	Stefanie Wellmann, Jutta Messering und Nico Nuyts	
7.1	Schnelles Kleben mit UV-Klebstoffen – Lichthärtung auch im Schatten	223
7.1.1	Radikalische Härtung	224
7.1.2	Kationische Härtung	224
7.1.3	Dualhärtung	225
7.1.4	UV-initiierte Katalyse	226
7.1.5	Alterungsverhalten	228
7.1.6	Fazit	230

Teil III Best-Practice-Beispiele

8	Transportwesen und allgemeine Industrieanwendungen	233
	Tobias Reincke, David Blass, Stefan Kreling, Klaus Dilger, Henning Gleich, Manfred Peschka, Andreas Hartwig, Matthias Popp, Andreas Lühring, Sascha Gramsch-Kempkes, Christian Walther, Robert Hailer, Hermann Sedlmaier, Roland Schumacher, Hartwig Lohse, Jens Holtmannspötter, Florian Feucht, Jean Christjan Meyer, Jens Freese und Jürgen von Czarnecki	
8.1	Kleben von Faserverbundwerkstoffen – Beispiele aus dem Flugzeug- und Automobilbau	234
8.1.1	Kleben versus mechanische Verbindungsverfahren	235
8.1.2	Branchentypisches Kleben von FVK	237
8.1.3	Klebstoffsysteme zum Kleben von FVK	237
8.1.4	Einsatzgebiete von Klebstoffen im Flugzeug	239
8.1.5	Herausforderungen beim Kleben von FVK im Flugzeug	241
8.1.6	Prozesskette für das Kleben von FVK im Flugzeug	244
8.1.7	Praxisbeispiel: Kleben im Flugzeug	245
8.1.8	Einsatzgebiete von Klebstoffen im Automobilbau	247
8.1.9	Herausforderungen beim Kleben von FVK im Automobil	248

8.1.10	Prozesskette für das Kleben von FVK im Automobilbau	249
8.1.11	Praxisbeispiel: Kleben im Automobilbau	250
8.1.12	Zusammenfassung und Ausblick	251
8.1.13	Dank	251
8.2	Kunststoffe fügen im Aggregatbereich –	
	Dichtkleben von Motoranbauteilen	252
8.2.1	Dichtkleben unterschiedlicher Werkstoffpaarungen	253
8.2.2	Klebstoffscreening	255
8.2.3	Prozess- und Prüftechnik	257
8.2.4	Zusammenfassung und Ausblick	260
8.3	Multi-Material-Design – Kleben – so einfach wie Bolzenschweißen . . .	261
8.3.1	Klebtechnische Prozessschritte trennen	261
8.3.2	Kein Hantieren und Dosieren	263
8.3.3	Ausblick	266
8.4	Lichthärtung – Transparente Kunststoffe prozesssicher kleben	267
8.4.1	Der Verarbeitungsprozess	268
8.4.2	Mechanische Eigenschaften	270
8.4.3	Duale Härtung	270
8.4.4	Beispiel: Lautsprecherklebung	270
8.4.5	Beispiel: Kleben von mechanischen Befestigungselementen . . .	273
8.4.6	Beispiel: LED-Blitzlicht für Mobiltelefone	275
8.4.7	Fazit	278
8.5	CFK-Dach M3 CSL – Erfolgreiche Leichtbaustrategie dank Klebtechnik	278
8.5.1	Die Idee der verbesserten Fahrdynamik	278
8.5.2	Auswahl des Fügeverfahrens	279
8.5.3	Darstellung der Fügeteile	280
8.5.4	Anforderungen an das Klebstoffsystem	281
8.5.5	Auswahl des Klebstoffs	281
8.5.6	Absicherungsmaßnahmen bei Produkt und Prozess	284
8.5.7	Klebstoff-Einfluss auf die Fahrzeug-Torsionssteifigkeit	284
8.5.8	Umfangreiche mechanische Prüfungen	286
8.5.9	Crashfestigkeit des gesamten Fahrzeuges	287
8.5.10	Klebprozess in der Montage	288
8.5.11	Zusammenfassung	288
8.6	Thermoplastische Systemlösungen im Automobilbau –	
	Langzeitbeständig und wirtschaftlich	289
8.6.1	Richtig vorbehandeln	291
8.6.2	Prüfmethoden	293
8.6.3	Klebstoffauswahl	294
8.6.4	Reduzierte Fertigungskosten	295
8.6.5	Intelligenter Leichtbau	296
8.6.6	Elektromagnetisches Fügen	299

8.6.7	Fazit und Ausblick	301
8.7	Schnelle Reparatur faserverstärkter Kunststoffe –	
	Dauerhaft und wirtschaftlich	301
	8.7.1 Kleben als werkstoffgerechte Fügetechnik für die Reparatur	302
	8.7.2 Stand der Technik	303
	8.7.3 Automatisierung der Reparaturstellenvorbereitung	304
	8.7.4 Fazit	308
	Literatur	309
9	Bauwesen	313
	Till Vallée, Simon Fecht, Cordula Grunwald, Michael Adam und Hartwig Lohse	
9.1	Einsatz von Faserverbundwerkstoffen im Bauwesen – Tragend geklebt	313
9.1.1	Geklebte Anschlüsse	314
9.1.2	Rechnerische Auslegung geklebter Anschlüsse	315
9.1.3	Geklebte Anschlüsse und deren Auslegung	316
9.1.4	Bemessung unter Berücksichtigung der lokalen Spannungsspitzen	319
9.1.5	Anwendung	320
9.1.6	Zusammenfassung	320
9.2	Faserverbundstrukturen im Baubereich –	
	Klebstoffe ermöglichen neue Wege	321
9.2.1	Fügeverfahren für Faserverbundwerkstoffe	322
9.2.2	Beispiel 1: Geklebte Brücke	324
9.2.3	Kleben der Fachwerkstruktur	327
9.2.4	Beispiel 2: Restaurierung von Stuckdecken mit GFK	329
9.2.5	Beispiel 3: Kleben von Fassadenelementen	330
9.2.6	Zusammenfassung und Ausblick	332
	Literatur	332
10	Verpackungsindustrie	335
	Hermann Onusseit, Zbigniew Czech, Agnieszka Kowalczyk und Adrian K. Antosik	
10.1	Kleben in der Verpackungsindustrie –	
	Kunststoffe ökonomisch und ökologisch fügen	335
10.1.1	Tüten, Beutel und Säcke	338
10.1.2	Kunststoffflaschen/Etikettierung	339
10.1.3	Faltschachteln	342
10.1.4	Ausgießer von Getränkeverpackungen	345
10.1.5	Palettensicherung	346
10.1.6	Ausblick	346
10.2	Siliconhaftklebebänder – Ohne Ende im fliegenden Wechsel	347
	10.2.1 Aufbau der Siliconspleißbänder	348

10.2.2 Herstellung von Siliconhaftklebstoffen	351
10.2.3 Peroxidische Vernetzung	352
10.2.4 Platin-katalysierte Vernetzung	354
10.2.5 Fazit	355
Literatur	356
11 Elektronikindustrie	357
Ralf Hose	
11.1 Warmhärtende Klebstoffe – Temperaturempfindliche Kunststoffe kleben	357
11.1.1 Schwierige Umgebungsbedingungen im Automobil	358
11.1.2 Schnelle Prozesse trotz Niedertemperaturhärtung	358
11.1.3 Schnelle Prozesse durch Dualhärtung	361
11.1.4 Anwendungen im Automobil	362
11.1.5 Zusammenfassung	363
Literatur	363
12 Holz- und Möbelindustrie	365
Eduard Kraus, Benjamin Baudrit, Peter Heidemeyer, Martin Bastian, Hartmut Henneken, Ingo Horsthemke und Christian Terfloth	
12.1 Geklebte Holz-Kunststoff-Verbunde Im Außeneinsatz –	
Wie sind beste Langzeiteigenschaften erreichbar?	365
12.1.1 Zielsetzung	366
12.1.2 Theoretische Grundlagen	366
12.1.3 Experimentelles	367
12.1.4 Ergebnisse	368
12.1.5 Fazit	372
12.2 Möbelkanten kleben mit PUR-Schmelzklebstoffen –	
State of the Art auf dem Weg in die Zukunft	373
12.2.1 Methoden zur Kantenklebung	375
12.2.2 Klebstoff als Funktionsschicht	377
12.2.3 Steigende Qualitätsansprüche	377
12.2.4 PUR-Schmelzklebstoffe für jedermann	378
12.2.5 Monomerarme bzw. monomerreduzierte Systeme	380
12.2.6 Nachwachsende Rohstoffe liegen im Trend	381
12.3 Folieren statt Lackieren –	
Produktveredelung durch innovative Klebtechnik	384
12.3.1 Folierte Holzwerkstoff-Oberflächen	384
12.3.2 Folierte Metalltafeln	386
12.3.3 Neues Verfahren zur Metallkaschierung	387
12.3.4 Einsatzbeispiele für folierte Bleche	388
12.3.5 Folierte Bedruckstoffe	389
12.3.6 Neues Verfahren zur Effekt-Veredelung	390

12.3.7 Ausblick	391
Literatur	392
13 Schiffbau	395
Nikolai Glück, Linda Fröck, Markus Brede, Oliver Klapp, Christof Nagel, Andreas Wulf, Thomas Reinert und Sven Exner	
13.1 Fügen im Schiffbau – Kleben statt schweißen	395
13.1.1 Kleben auf Beschichtungen	396
13.1.2 Analyse geeigneter Oberflächenbehandlungsverfahren	397
13.1.3 Mögliche Verschmutzungen identifizieren	397
13.1.4 Geeignete Reinigungsverfahren auswählen	398
13.1.5 Zusätzliche Oberflächenaktivierung	399
13.1.6 Prüfmatrix	400
13.1.7 Bestimmung der Reinigungswirkung	400
13.1.8 Ermittlung potentieller Schädigungen	402
13.1.9 Fazit	406
13.1.10 Ausblick	406
13.2 Mit Klebstoffen konstruieren – „Easy-to-use“-Dimensionierung im Schiffbau	407
13.2.1 Berechnungsbeispiel: geklebte Stahl-Sandwich-Platten	407
13.2.2 Berechnungsbeispiel: Montageklebung Polycarbonat-Fensterscheibe	410
13.2.3 Fazit	411
Literatur	413
14 Medizintechnik	415
Astrid Wagner	
14.1 Kleben in der Medizintechnik – Sterilisationsfest und spaltfrei verbunden	415
14.1.1 Identifikation von Anforderungsprofilen	416
14.1.2 Welche Belastungen liegen vor?	417
14.1.3 Prüfung der chemischen Stabilität	418
14.1.4 Prüfung der thermomechanischen Stabilität	419
14.1.5 Einfluss von Kontamination und Alterung	420
14.1.6 Zusammenfassung und Ausblick	421
Literatur	422
Sachverzeichnis	423