

# Inhalt

<b>Vorwort .....</b>	.V
<b>1 Allgemeine Grundlagen .....</b>	1
<b>1.1 Verbindungen .....</b>	3
1.1.1 Stoffschlüssige Verbindungen .....	4
1.1.2 Stoffschlüssige Verbindungstechniken .....	5
1.1.3 Verbindungsformen beim Kleben .....	6
1.1.4 Tragfähigkeit von Verbindungen .....	6
1.1.5 Spannungsverteilung in Verbindungen .....	7
1.1.6 Fügetechnik und Kerbwirkung .....	10
1.1.7 Gestaltung stoffschlüssiger Verbindungen .....	14
1.1.8 Vergleich des Klebens mit anderen Fügeverfahren .....	17
1.1.9 Praxisbeurteilung des Klebens .....	17
<b>1.2 Kurzabriß der geschichtlichen Entwicklung der Klebtechnik .....</b>	19
<b>1.3 Anwendungen der Klebtechnik .....</b>	21
1.3.1.1 Maschinen- und Apparatebau .....	21
1.3.1.2 Feinwerktechnik und Elektronik .....	21
1.3.1.3 Fahrzeugbau .....	21
1.3.1.4 Bauindustrie .....	21
1.3.1.5 Holz- und Möbelindustrie .....	22
1.3.1.6 Bekleidung, Leder etc. ....	22
1.3.1.7 Papier- und Verpackungsindustrie .....	22
1.3.1.8 Medizinischer Bereich .....	22
1.3.1.9 Einige interessante Anwendungen der Klebtechnik .....	22
<b>1.4 Vor- und Nachteile der Klebtechnik .....</b>	23
1.4.1 Vorteile der Klebtechnik .....	23
1.4.2 Nachteile der Klebtechnik .....	24
<b>1.5 Arbeits- und Umweltschutz beim Kleben .....</b>	26
1.5.1 Anforderungen der Gefahrstoffverordnung an den Klebstoffanwender .....	28
1.5.1.1 Informationsermittlung und Gefährdungsbeurteilung .....	28
1.5.1.2 Schutzstufen .....	29
1.5.1.3 Grenzwerte beim Arbeitsschutz .....	29
1.5.2 Schutzmaßnahmen beim Kleben .....	30
1.5.2.1 Der Klebarbeitsplatz .....	30

1.5.2.2	Persönliche Schutz .....	30
1.5.3	Umweltschutz beim Kleben .....	31
<b>1.6</b>	<b>Zusammenstellung klebtechnischer Normen.....</b>	<b>32</b>
1.6.1	Begriffsbestimmungen der Klebtechnik sowie allgemeine physikalische und chemische Prüfverfahren .....	32
1.6.1.1	Deutsche Normen .....	32
1.6.1.2	Europäische Normen.....	32
1.6.1.3	Internationale Normen .....	33
1.6.2	Normen für Strukturklebstoffe: .....	33
1.6.2.1	Deutsche Normen .....	33
1.6.2.2	Europäische Normen.....	33
1.6.2.3	Internationale Normen .....	34
1.6.3	Normen für Klebstoffe für thermoplastisch Rohrsysteme.....	34
1.6.3.1	Europäische Normen.....	34
1.6.3.2	Internationale Normen .....	34
1.6.4	Normen für Klebstoffe im Bereich Holz und Nutzholzprodukte .....	35
1.6.4.1	Europäische Normen.....	35
1.6.5	Normen für Klebstoffe im Bereich Leder- und Schuhwerkstoffe.....	35
1.6.5.1	Europäische Normen.....	35
1.6.6	Normen für Klebebänder .....	36
1.6.6.1	Europäische Norm .....	36
1.6.7	Normen für den Einsatz von Klebstoffen im Bereich Papier, Pappe, Verpackungen und Hygieneprodukte .....	37
1.6.7.1	Europäische Normen.....	37
1.6.8	Normen für Klebstoffe im Bereich Haushalt, Hobby und Büro.....	37
1.6.8.1	Europäische Normen.....	37
1.6.8.2	Internationale Normen .....	38
1.6.9	Normen für Bauklebstoffe .....	38
1.6.9.1	Europäische Normen.....	38
1.6.10	Normen für Mörtel und Klebstoffe für Fliesen und Platten .....	38
1.6.10.1	Europäische Normen.....	38
1.6.11	Normen bez. der Qualität der Innenluft .....	39
<b>1.7</b>	<b>Die Klebbarkeit von Bauteilen .....</b>	<b>40</b>
1.7.1	Die Klebeignung der Werkstoffe .....	41
1.7.2	Die Klebeignung eines Werkstoffes wird beeinflusst durch: .....	41
1.7.3	Die Klebmöglichkeit.....	41
1.7.4	Die Klebstoffe beeinflussen die Klebfestigkeit durch: .....	42
1.7.5	Klebsicherheit .....	42
<b>1.8</b>	<b>Lösen von Klebaufgaben .....</b>	<b>43</b>
<b>1.9</b>	<b>Die Reparaturklebung .....</b>	<b>50</b>

<b>2</b>	<b>Adhäsion und Haftfestigkeit.....</b>	55
<b>2.1</b>	<b>Haftung an Oberflächen.....</b>	55
2.1.1	Hauptvalenzbindungen .....	59
2.1.2	Nebenvalenzbindungen .....	60
2.1.3	Mechanische Verklammerung .....	60
2.1.4	Diffusion.....	61
2.1.5	Elektrische Doppelschichten .....	62
2.1.6	Dynamische Adhäsion .....	62
2.1.7	Benetzungstheorie.....	62
2.1.8	Kohäsion .....	63
2.1.9	Adhäsion, Haftung, Haftfestigkeit, Kleb- bzw. Abreißfestigkeit .....	63
<b>2.2</b>	<b>Veränderung der Haftung durch Alterung (Enthaftungsvorgänge) .....</b>	66
2.2.1	Alterungsmechanismen .....	70
2.2.2	Alterung des Klebstoffs oder der Beschichtung .....	72
2.2.3	Alterungsvorgänge in der Adhäsionszone .....	73
2.2.4	Blasenbildung .....	74
2.2.5	Bondlinekorrosion .....	75
2.2.6	Alterung der beschichteten bzw. geklebten Werkstoffe.....	77
<b>2.3</b>	<b>Einflussfaktoren auf die Alterung .....</b>	79
2.3.1	Beschichtungs- bzw. Klebstoffeinfluss .....	79
2.3.2	Oberflächeneinfluss .....	82
2.3.3	Werkstoffeinfluss.....	84
2.3.4	Umgebungseinfluss.....	86
2.3.4.1	Luftfeuchtigkeit und Wasser .....	86
2.3.4.2	Temperatureinfluss .....	89
2.3.4.3	Medieneinfluss.....	90
2.3.4.4	Einfluss mechanischer Belastung .....	90
2.3.4.5	Energieriche Strahlen .....	90
2.3.4.6	Kombinierter Umgebungseinfluss.....	91
<b>2.4</b>	<b>Nassfestigkeit.....</b>	93
<b>2.5</b>	<b>Besteht ein Zusammenhang zwischen Haftung und Benetzung? .....</b>	97
2.5.1.1	Benetzungstheoretische Ansätze .....	97
2.5.1.2	Oberflächenspannung und Haftung .....	98
2.5.1.3	Einfluss des benetzenden Mediums .....	102
2.5.1.4	Erweiterte Anforderungen: gleiche Oberflächenspannungen .....	103
2.5.1.5	Polare und disperse Oberflächenspannungsanteile .....	104
2.5.1.6	Erweiterte Anforderungen nach Wu .....	108
2.5.1.7	Auswertung der Ergebnisse .....	110
2.5.1.8	Problematik der Haftungsmessung .....	111
2.5.1.9	Ansätze der Adhäsionstheorie .....	111
2.5.1.10	Benetzungsmessung .....	111
2.5.1.11	Übertragbarkeit der Benetzungsergebnisse .....	112
2.5.1.12	Zeitabhängige Benetzbarkheit .....	112
2.5.1.13	Oberflächenspannung des Klebstoffs .....	113
2.5.1.14	Oberflächenspannung des Fügeteils .....	114
2.5.1.15	Oberflächenspannung des Klebstoffs .....	114
2.5.1.16	Temperatureinfluss auf die Oberflächenspannung .....	115
2.5.1.17	Berücksichtigung anderer Adhäsionstheorien .....	115

2.5.1.18	Anfangshaftung und Alterung .....	115
2.5.1.19	Resümee.....	115
2.5.1.20	Qualitätssicherung.....	116
<b>3</b>	<b>Haftungsverbesserung durch Vorbehandlung.....</b>	<b>119</b>
3.1	Warum Vorbehandeln?.....	121
3.2	Oberflächenvorbehandlungen.....	125
3.2.1	Beurteilungskriterien für die Oberflächenvorbehandlung.....	130
3.2.2	Liegezeit.....	132
3.2.3	Entwicklungstendenzen .....	135
3.2.4	Charakterisierung der Oberflächenvorbehandlung.....	135
3.3	Die Oberfläche .....	136
3.3.1	Metalloberflächen.....	136
3.3.2	Kunststoffoberflächen .....	137
3.3.3	Oberflächen verstärkter und gefüllter Kunststoffe .....	138
3.3.4	Glasoberflächen .....	140
3.3.5	Mit der Zeit veränderliche Oberflächen.....	140
3.3.6	Beschichtete Oberflächen .....	141
3.3.7	Geometrische Struktur der Oberfläche.....	141
3.4	Reinigen.....	142
3.4.1	Reinigungsverfahren .....	144
3.4.1.1	Lappenreinigung .....	144
3.4.1.2	Badreinigung.....	145
3.4.1.3	Reinigen im Ultraschallbad .....	146
3.4.1.4	Spritzreinigen .....	147
3.4.1.5	Reinigen mit Reinigungssprays .....	147
3.4.1.6	Dampfentfetten .....	147
3.4.2	Reinigungsmittel .....	148
3.4.2.1	Reinigungsmittel für Kunststoffe .....	149
3.4.2.2	Umweltproblematik der Reinigungsmittel .....	151
3.4.2.3	Arbeitsschutz beim Umgang mit Reinigungsmitteln .....	152
3.4.2.4	Organische Lösemittel .....	153
3.4.2.5	Wässrige Reiniger .....	153
3.4.2.6	Regeneration und Beseitigung erschöpfter Reinigungsmittel .....	155
3.4.3	Reinigen im Plasma .....	156
3.4.4	Reinigen mit CO <sub>2</sub> bzw. Trockeneis.....	157
3.4.5	Reduzieren von Oxyden im Niederdruckplasma .....	157
3.4.6	Entstauben .....	158
3.4.7	Bewertung der gereinigten Oberfläche .....	158
3.4.8	Betaute Oberflächen.....	159
3.5	Mechanische Vorbehandlung.....	161
3.5.1	Wirkungsmechanismus.....	162
3.5.2	Weitere Effekte der mechanischen Vorbehandlung.....	163
3.5.3	Zusammenhang zwischen Haftfestigkeit und Rauhtiefe .....	163
3.5.4	Werkstoffeinfluss.....	165
3.5.5	Umwelt- und Arbeitsschutz .....	165
3.5.6	Schmirgeln.....	166

3.5.7	Bürsten .....	166
3.5.8	Strahlen .....	167
3.5.9	Einflussparameter beim Strahlen .....	169
3.5.10	Strahlmittel .....	169
3.5.11	Trockeneisstrahlen .....	171
3.5.12	Rocatec-Verfahren, Saco-Verfahren .....	172
3.5.13	Strahlanlagen .....	174
3.5.14	Mechanische Bearbeitung .....	175
<b>3.6</b>	<b>Chemische Vorbehandlung .....</b>	<b>177</b>
3.6.1	Beizen .....	177
3.6.2	Verfahrensablauf .....	178
3.6.3	Beizen von Polymeren .....	178
3.6.4	Das Beizen von Metall .....	182
3.6.5	Beizen anderer Werkstoffe .....	185
3.6.6	Beizmittel .....	185
3.6.7	Reaktive Gase .....	185
<b>3.7</b>	<b>Thermische Vorbehandlung .....</b>	<b>191</b>
3.7.1	Verfahrensablauf .....	192
3.7.2	Wirkungsmechanismen .....	192
3.7.3	Beflammungsanlagen .....	194
3.7.4	Brenner .....	195
3.7.5	Das Silicoater-Verfahren .....	195
<b>3.8</b>	<b>Elektrische Vorbehandlung .....</b>	<b>197</b>
3.8.2	Niederdruckplasmabehandlung .....	202
3.8.2.1	Aufbau einer Niederdruckplasmaanlage .....	202
3.8.2.2	Ablauf der Niederdruckplasmabehandlung .....	203
3.8.2.3	Einflussfaktoren auf das Ergebnis einer Niederdruckplasmabehandlung .....	204
3.8.2.4	Einfluss der Behandlungsdauer .....	204
3.8.2.5	Werkstoffabtrag von der Oberfläche .....	206
3.8.2.6	Einfluss der Gasart .....	207
3.8.2.7	Erregerfrequenz .....	208
3.8.2.8	Plasmaleistung .....	209
3.8.2.9	Kammerdruck und Gasdurchfluss .....	209
3.8.2.10	Spaltgängigkeit .....	209
3.8.2.11	Kosten .....	210
3.8.2.12	Vor- und Nachteile .....	210
3.8.2.13	Geeignete Werkstoffe .....	210
3.8.2.14	Plasmapolymerisation .....	211
3.8.2.15	Plasmapolymerisation eines Primers .....	211
3.8.3	Coronaentladung .....	212
3.8.3.1	Verfahrensablauf .....	212
3.8.3.2	Einflussparameter .....	214
3.8.3.3	Behandlungsenergie .....	214
3.8.3.4	Elektrodenform und -werkstoff .....	216
3.8.3.5	Umgebungseinfluss .....	218
3.8.3.6	Formelektrode .....	219
3.8.3.7	Freistrahlelektrode .....	219
3.8.3.8	Nachführelektrode .....	222
3.8.4	Behandlung im Plasmastrom .....	222
3.8.5	Vorbehandelbare Werkstoffe .....	226

3.8.6	Coronabeschichten .....	227
<b>3.9</b>	<b>Beschichten .....</b>	<b>230</b>
3.9.1	Metallische Beschichtungen .....	231
3.9.2	Anorganische Beschichtungen (Phosphatieren) .....	232
3.9.3	Passivieren .....	232
3.9.4	Organische Beschichtungen (Farbe, Lack) .....	233
3.9.5	Haftvermittler, Primer .....	233
<b>3.10</b>	<b>Energieriche Strahlen .....</b>	<b>239</b>
<b>3.11</b>	<b>Kombinierte Vorbehandlungsverfahren .....</b>	<b>245</b>
<b>3.12</b>	<b>Peel-Ply oder Abreißgewebe.....</b>	<b>246</b>
<b>3.13</b>	<b>Einarbeiten klebfähiger Bereiche in Bauteile .....</b>	<b>247</b>
<b>3.14</b>	<b>Weitere Oberflächenvorbehandlungsmöglichkeiten .....</b>	<b>248</b>
<b>3.15</b>	<b>Möglichkeiten und Grenzen des Klebens unsauberer (verölderter) Oberflächen.....</b>	<b>249</b>
<b>3.16</b>	<b>Werkstoffbezogene Vorbehandlungsverfahren und Möglichkeiten des Diffusionsklebens .....</b>	<b>255</b>
3.16.1	Vorbehandlung von Metallen .....	256
3.16.2	Vorbehandlung von Kunststoffen .....	261
3.16.3	Vorbehandlung von Holz und Papier .....	268
3.16.4	Vorbehandlung von Glas und Keramik Etc .....	269
3.16.5	Vorbehandlung von Naturstoffen.....	270
<b>4</b>	<b>Klebstoffe .....</b>	<b>273</b>
<b>4.1</b>	<b>Allgemeines .....</b>	<b>275</b>
<b>4.1.1</b>	<b>Kriterien zur Klebstoffauswahl .....</b>	<b>275</b>
4.1.2	Klebstoffkenndaten .....	277
4.1.3	Klebfestigkeiten .....	278
4.1.4	Vergleiche von mechanischen Klebstoffeigenschaften .....	279
4.1.5	Haftungs- und Abbindevorgänge beim Kleben.....	279
4.1.6	Abbindeverhalten und Klebstoffverarbeitung .....	281
4.1.7	Zusammensetzung der Klebstoffe .....	283
4.1.8	Schrumpfen beim Abbinden der Klebstoffe.....	284
4.1.9	Wärmebeständigkeit.....	285
4.1.11	Klebstoffviskosität .....	286
4.1.12	Klebstoffsteifigkeit .....	286
4.1.13	Toxizität .....	287
4.1.14	Elastische Klebstoffe .....	287
<b>4.2</b>	<b>Diffusionskleben .....</b>	<b>289</b>
4.2.1	Ablauf des Diffusionsklebens .....	289
4.2.2	Lösemittelhaltige Diffusionsklebstoffe .....	290
4.2.3	Diffusionskleben mit Reaktionsklebstoffen .....	294
4.2.4	Werkstoffe zum Diffusionskleben .....	294
4.2.5	Spannungsrissbildung .....	294

<b>4.3</b>	<b>Adhäsionsklebstoffe.....</b>	296
4.3.1	Haftklebstoffe.....	296
4.3.2	Schmelzklebstoffe .....	301
4.3.3	Lösemittel- und Dispersionsklebstoffe.....	311
4.3.4	Kontaktklebstoffe .....	312
4.3.5	Plastisole.....	314
<b>4.4</b>	<b>Reaktionsklebstoffe.....</b>	316
4.4.1	Cyanacrylatklebstoffe .....	316
4.4.2	Anaerobe Klebstoffe .....	321
4.4.3	Methacrylat- und „No-mix“ Klebstoffe.....	324
4.4.4	Strahlen- und strahleninduziert abbindende Klebstoffe.....	326
4.4.5	Epoxidharzklebstoffe .....	330
4.4.5.1	Allgemeines.....	330
4.4.5.2	Abbindemechanismus .....	330
4.4.5.3	Eigenschaften.....	332
4.4.5.4	Klebstofflieferform .....	333
4.4.5.5	Klebstoffverarbeitung .....	333
4.4.5.6	Arbeits- und Umweltschutz .....	334
4.4.6	Polyurethan-Klebstoffe .....	334
4.4.7	Phenolharzklebstoffe .....	339
4.4.8	Polyimidklebstoffe.....	339
4.4.9	Silikonklebstoffe .....	339
4.4.10	MS-Polymerne .....	342
4.4.11	Polysulfidklebstoffe .....	343
4.4.12	Klebstoffe auf natürlicher Basis .....	343
4.4.13	Anorganische Klebstoffe .....	344
4.4.15	Flüssigmetall, Plastikstahl, Epoxi-Flüssigmetall usw.....	347
4.4.16	Holzleime .....	348
4.4.17	Sonderformen der Klebstoffe.....	349
<b>5</b>	<b>Klebstoffverarbeitung .....</b>	351
<b>5.1</b>	<b>Begriffe zur Klebstoffverarbeitung.....</b>	353
5.1.1	Topfzeit.....	353
5.1.2	Offene Zeit, Nassklebzeit, Kontaktklebzeit, offene Wartezeit.....	353
5.1.3	Abbindezeit .....	354
5.1.4	Viskosität, Thixotropie, Auftragverhalten .....	354
5.1.5	Nassklebfestigkeit .....	357
5.1.6	Klebrigkeit .....	358
<b>5.2</b>	<b>Lagern von Klebstoffen .....</b>	359
5.2.1	Lagerdauer.....	359
5.2.2	Entmischen (Sedimentieren, Separieren) .....	359
<b>5.3</b>	<b>Auftragsverfahren für Klebstoffe .....</b>	361
5.3.1	Spatelauftrag .....	362
5.3.2	Pinselauftrag .....	362
5.3.3	Rakelauftrag .....	362
5.3.4	Auftrag aus dem Liefergebinde .....	363
5.3.5	Kartuschenauftrag.....	363
5.3.6	Rund- und Schlitzdüsenauftrag.....	364

5.3.7	Spritz- oder Sprühaufrag .....	364
5.3.8	Roboteraufrag.....	366
5.3.9	Stempeltechnik .....	366
5.3.10	Siebdruck.....	367
5.3.11	Walzenaufrag .....	369
<b>5.4</b>	<b>Bauelemente von Klebstoffverarbeitungsanlagen.....</b>	<b>370</b>
5.4.1	Klebstoffbehälter .....	370
5.4.2	Behälterpumpen .....	371
5.4.3	Klebstoffförderpumpen.....	372
5.4.4	Pumpenantriebe .....	373
5.4.5	Klebstoffauftragsventile .....	373
5.4.6	Auftragsdüsen .....	373
5.4.7	Innenbenetzung von Bohrungen .....	374
5.4.8	Steuereinrichtungen .....	374
5.4.9	Mechanisierter Klebstoffauftrag .....	374
5.4.10	Überwachungseinrichtungen.....	375
<b>5.5</b>	<b>Verarbeiten von Klebebändern .....</b>	<b>376</b>
<b>5.6</b>	<b>Verarbeiten von Diffusionsklebstoffen .....</b>	<b>378</b>
<b>5.7</b>	<b>Verarbeiten von Schmelzklebstoffen .....</b>	<b>381</b>
5.7.1	Verarbeitung von Schmelzklebstoffen .....	381
5.7.2	Auftragseinheiten.....	385
5.7.3	Verarbeiten von Schmelzklebstoffpulvern .....	386
5.7.4	Verarbeiten von Schmelzklebstofffolien und -netzen..	388
5.7.5	Verarbeiten von feuchtigkeitsnachvernetzenden Schmelzklebstoffen.....	392
5.7.6	Verarbeiten von Haftschmelzklebstoffen.....	392
5.7.7	Foam-Melt.....	393
5.7.8	Fügen durch Wiederaufschmelzen des Klebstoffes .....	393
5.7.9	Fügen durch HF-Schweißen.....	393
<b>5.8</b>	<b>Verarbeiten von 1-K-Klebstoffen .....</b>	<b>394</b>
5.8.1	Klebstoffförderung aus dem Liefergebinde.....	394
5.8.2	Tankdosiergeräte .....	395
5.8.3	Kartuschendosiergerät .....	396
5.8.4	Reaktionsklebstofffolien.....	397
5.8.5	Klebstoffformstücke .....	398
5.8.6	Reaktionsklebstoffpulver.....	398
5.8.7	Strahlenhärtende Klebstoffe .....	399
<b>5.9</b>	<b>Verarbeiten von 2-K-Klebstoffen.....</b>	<b>401</b>
5.9.1	Abbindevorgang.....	402
5.9.2	Topfzeit.....	403
5.9.3	Zusammenhang zwischen Abbindezeit und Topfzeit.....	407
5.9.4	Manuelles Mischen von 2-K-Klebstoffen .....	407
5.9.5	Maschinelles Mischen von 2-K-Klebstoffen .....	408
5.9.6	Statische und dynamische Mischer.....	410
5.9.7	Misch- und Dosieranlagen für 2-K-Klebstoffe .....	413
<b>5.10</b>	<b>Klebstoffauftragskontrolle .....</b>	<b>417</b>

<b>5.11</b>	<b>Druckanwendung beim Kleben .....</b>	418
5.11.1	Pressdruck.....	418
5.11.2	Kontaktdruck .....	419
5.11.3	Aufbringen des Druckes.....	419
<b>5.12</b>	<b>Das Warmabbinden von Klebstoffen .....</b>	420
5.12.1	Abbindebedingungen und Klebfestigkeit.....	420
5.12.2	Wärmezufuhr .....	422
5.12.3	Erwärmungsmöglichkeiten.....	424
5.12.4	Warmabbinden beim Kleben unterschiedlicher Werkstoffe .....	427
5.12.5	Auswirkungen auf die Klebstoffauswahl.....	428
<b>5.13</b>	<b>Positionieren und Fixieren der Fügeteile beim Kleben .....</b>	429
<b>5.14</b>	<b>Reinigen von Klebstoffverarbeitungsgeräten .....</b>	430
<b>5.15</b>	<b>Trennen von Klebverbindungen.....</b>	431
<b>5.16</b>	<b>Kosten von Klebverbindungen.....</b>	432
<b>5.17</b>	<b>Vibrationskleben oder Schmelzkleben ohne Klebstoff.....</b>	433
<b>6</b>	<b>Prüftechnik .....</b>	435
<b>6.1</b>	<b>Einführung in die Haftungsprüfung .....</b>	437
6.1.1	Problematik der Haftungsprüfung .....	437
6.1.2	Allgemeine Grundsätze .....	443
6.1.3	Versuchsprotokoll für den Zugscherversuch (Muster).....	445
<b>6.2</b>	<b>Der Zugscherversuch.....</b>	446
6.2.1	Einführung .....	446
6.2.2	Probenanordnung, Prüftechnik, Auswertung.....	446
6.2.3	Einflussfaktoren.....	446
6.2.4	Vergleich von Klebfestigkeiten.....	448
6.2.5	Spannungsverteilung in der Zugscherprobe .....	449
6.2.6	Oberflächenprüfung mit dem Zugscherversuch .....	451
6.2.7	Verformung der Fügeteile .....	451
6.2.8	Verformungsfähige Klebverbindungen .....	451
6.2.9	Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Anwendungen .....	451
6.2.10	Zusammenfassung und Ausblick.....	452
6.2.11	Genormte Scherversuche .....	452
<b>6.3</b>	<b>Bestimmung des Scherverhaltens struktureller Klebungen.....</b>	454
<b>6.4</b>	<b>Schälversuche .....</b>	458
6.4.1	Einführung .....	458
6.4.2	Schälmöglichkeiten .....	458
6.4.3	Schälwinkel .....	460
6.4.4	Schälkraftverlauf und Auswertung .....	460
6.4.5	Spannungsverteilung.....	461
6.4.6	Einflüsse auf das Prüfergebnis.....	462
6.4.7	Probenherstellung .....	466

6.4.8	Nasser Schälversuch .....	466
6.4.9	Biegeschälversuch .....	467
6.4.10	Keileintreibtest.....	469
6.4.11	Zusammenfassung .....	469
6.4.12	Genormte Schälversuche.....	470
<b>6.5</b>	<b>Druckscherversuche .....</b>	<b>471</b>
<b>6.6</b>	<b>Der Torsionsscherversuch.....</b>	<b>473</b>
<b>6.7</b>	<b>Bestimmung der Drehfestigkeit von anaeroben Klebstoffen auf Befestigungselemente mit Gewinde .....</b>	<b>474</b>
<b>6.8</b>	<b>Zugversuche .....</b>	<b>475</b>
<b>6.9</b>	<b>Abreißversuch .....</b>	<b>476</b>
<b>6.10</b>	<b>Schlagfestigkeitsprüfung.....</b>	<b>477</b>
<b>6.11</b>	<b>Haftungsprüfung bei Klebebändern und Haftklebstoffen .....</b>	<b>479</b>
<b>6.12</b>	<b>Falt-, Biege- und Umformversuche .....</b>	<b>480</b>
<b>6.13</b>	<b>Haftungsprüfung durch Ritz- und Schnittverfahren.....</b>	<b>481</b>
<b>6.14</b>	<b>Keilberstprüfung.....</b>	<b>482</b>
6.14.1	Einführung .....	482
6.14.2	Probenform und Prüftechnik.....	482
6.14.3	Spannungsverteilung und Belastungsänderung in der Probe.....	483
6.14.4	Prüfergebnis .....	484
6.14.5	Prüfung von Polymeren mit der Keilberstprüfung .....	486
6.14.6	Versuchsbewertung.....	486
<b>6.15</b>	<b>Langzeitbeständigkeit, Zeitstandsversuche .....</b>	<b>488</b>
<b>6.16</b>	<b>Alterungs- und Beständigkeitsprüfung .....</b>	<b>489</b>
6.16.1	Alterung unter realen Bedingungen .....	489
6.16.2	Verkürzte Alterungsprüfung (Adhäsionsbeständigkeitsprüfungen).....	490
6.16.3	Prüfung bei erhöhter Temperatur.....	494
6.16.4	Temperaturwechseltest.....	495
6.16.5	Lagerung bei erhöhter Luftfeuchtigkeit.....	496
6.16.6	Wasserlagerung, Schwitzwassertest .....	496
6.16.7	Kataplasmatest.....	497
6.16.8	Lagerung bei erhöhter Medienbelastung .....	497
6.16.9	Salznebelprüfung .....	497
6.16.10	Klimawechseltest .....	497
6.16.11	Normung .....	498
<b>6.17</b>	<b>Bruchflächenuntersuchung .....</b>	<b>500</b>
6.17.1	Adhäsionsbruch .....	502
6.17.2	Kohäsionsbruch .....	503
6.17.3	Fügeteilbruch .....	503
6.17.4	Mischbrüche.....	505

6.17.5 Klebfehler .....	505
6.17.6 Repräsentative Bruchbilder .....	506
<b>6.18 Nichtzerstörende Prüfungen .....</b>	<b>508</b>
6.18.1 Ultraschallprüfung .....	508
6.18.2 Akustische Prüfung.....	511
6.18.3 Durchstrahlungsprüfung.....	511
6.18.4 Thermografie.....	512
6.18.5 Shearografie .....	513
6.18.6 Schwingungsprüfung.....	513
<b>6.19 Benetzungsprüfung.....</b>	<b>515</b>
<b>6.20 Dynamisch-Mechanische-Analyse .....</b>	<b>516</b>
<b>6.21 Differential Thermoanalyse .....</b>	<b>518</b>
<b>6.22 Pressure-Cooker-Test .....</b>	<b>519</b>
<b>6.23 Welche Prüfung wofür?.....</b>	<b>520</b>
6.23.1 Klebstoffkennwerte .....	520
6.23.2 Klebfestigkeitsprüfungen.....	520
6.23.3 Spannungs-Dehnungs-Diagramme von Klebschichten.....	521
6.23.4 Adhäsionsprüfungen mit Schälversuchen .....	521
6.23.5 Alterungsprüfung.....	521
6.23.5 Festigkeiten von Beschichtungen etc.....	522
<b>6.24 Geprüfte Klebstoffe .....</b>	<b>523</b>
<b>7 Festigkeit von Klebverbindungen .....</b>	<b>525</b>
<b>7.1 Festigkeitsvergleich konventioneller und geklebter Verbindungen .....</b>	<b>527</b>
7.1.1 Festigkeitsvergleich bei quasistatischer Belastung.....	528
7.1.2 Festigkeitsvergleich bei dynamischer Belastung.....	529
<b>7.2 Einflüsse auf das Tragverhalten von Klebverbindungen .....</b>	<b>533</b>
<b>7.3 Mechanische Belastungen von Klebverbindungen .....</b>	<b>534</b>
7.3.1 Grundsätzliches Klebstoffsichtverhalten .....	534
7.3.2 Tragverhalten unterschiedlicher Klebverbindungen.....	536
7.3.3 Einfluss der Belastungsrichtung.....	537
7.3.4 Einfluss der Belastungsgeschwindigkeit.....	538
7.3.5 Statische Langzeitbelastung .....	539
7.3.6 Dynamische Belastung .....	541
<b>7.4 Verhalten unter Umgebungseinflüssen .....</b>	<b>544</b>
7.4.1 Temperatureinfluss .....	544
7.4.2 Feuchtigkeitseinfluss .....	545
7.4.3 Medieneinfluss.....	547
<b>7.5 Kombination aus mechanischer- und Umweltbelastung .....</b>	<b>548</b>

<b>7.6</b>	<b>Das Kleben unterschiedlicher Werkstoffe .....</b>	550
7.6.1	Kleben von Werkstoffen mit unterschiedlichen mechanischen Eigenschaften .....	550
7.6.2	Kleben von Werkstoffen mit unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten .....	554
7.6.3	Dynamische Belastungen von Klebverbindungen durch Temperaturwechsel.....	557
7.6.4	Resümee.....	558
<b>7.7</b>	<b>Kleben kombiniert mit anderen Verbindungstechniken .....</b>	560
7.7.1	Kleben kombiniert mit Falzen.....	560
7.7.2	Punktschweißkleben.....	565
7.7.3	Kleben kombiniert mit dem Nieten, Stanznieten oder Durchsetzfügen.....	567
7.7.4	Schrumpfkleben .....	570
<b>7.8</b>	<b>Einfluss der Klebschichtdicke .....</b>	572
<b>7.9</b>	<b>Umformverhalten und akustische Eigenschaften geklebter Bleche.....</b>	574
<b>7.10</b>	<b>Kunststoffklebverbindungen.....</b>	579
<b>7.11</b>	<b>Klebverbindungen mit Faserverbundwerkstoffen .....</b>	581
<b>8</b>	<b>Konstruktion und Dimensionierung von Klebverbindungen .....</b>	585
<b>8.1</b>	<b>Konstruktionen von Klebverbindungen.....</b>	587
8.1.1	Flachverbindungen .....	588
8.1.2	Rundverbindungen.....	590
8.1.3	Vermeiden von abschälenden Effekten.....	591
8.1.4	Eckstöße (Eckverbindungen) und T-Stöße.....	592
8.1.5	Versteifungskonstruktionen.....	592
8.1.6	Schichtbauweise mit Blechen .....	592
8.1.7	Korrosionsschutz von Klebverbindungen .....	593
8.1.8	Konstruktionshinweis.....	593
<b>8.2</b>	<b>Dimensionierung von Klebverbindungen.....</b>	595
8.2.1	Berechnungsproblematik .....	595
8.2.2	Dimensionieren von Stahlteilen.....	595
8.2.3	Dimensionieren von Kunststoffteilen.....	595
8.2.4	Problematik der Berechnung von Klebverbindungen .....	597
8.2.5	Berechnungsansätze für überlappte Klebverbindungen .....	599
8.2.6	Berechnung mit Abminderungsfaktoren.....	600
8.2.7	Buchse Bolzen Klebverbindungen .....	603
8.2.8	Berechnung gegen maximal zulässige Dehnung .....	604
8.2.9	Berechnung mit Restfestigkeiten nach einer Lagerung.....	604
8.2.10	Finite Elemente Methode (FEM) .....	604
8.2.11	Berechnung der notwendigen Dehnung .....	604
8.2.12	Vergleichsspannungen .....	605
8.2.13	Resümee.....	605
<b>Stichwortverzeichnis .....</b>		607