

HANSER

Inhaltsverzeichnis

Manfred Rasche

Handbuch Klebtechnik

ISBN (Buch): 978-3-446-42402-9

ISBN (E-Book): 978-3-446-43198-0

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-42402-9>

sowie im Buchhandel.

Inhalt

Vorwort	V
1 Allgemeine Grundlagen	1
1.1 Verbindungen	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 Fügechnik 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
1.2 Kurzabriss der geschichtlichen Entwicklung der Klebtechnik	19
1.3 Anwendungen der Klebtechnik	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
1.4 Vor- und Nachteile der Klebtechnik	23
1.4.1 Vorteile der Klebtechnik.....	23
1.4.2 Nachteile der Klebtechnik.....	24
1.5 Arbeits- und Umweltschutz beim Kleben	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
1.6	Zusammenstellung klebtechnischer Normen.....	32
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
1.7	Die Klebbarkeit von Bauteilen	40
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
1.8	Lösen von Klebaufgaben	43
1.9	Die Reparaturklebung	50

2	Adhäsion und Haftfestigkeit	55
2.1	Haftung an Oberflächen	55
2.1.1	Hauptvalenzbindungen	59
2.1.2	Nebervalenzbindungen	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
2.2	Veränderung der Haftung durch Alterung (Enthaftungsvorgänge)	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
2.3	Einflussfaktoren auf die Alterung	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	Energiereiche Strahlen	90
2.3.4.6	Kombinierter Umgebungseinfluss	91
2.4	Nassfestigkeit	93
2.5	Besteht ein Zusammenhang zwischen Haftung und Benetzung?	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 Benetzbarkeit	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
3	Haftungsverbesserung durch Vorbehandlung	119
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 ₂ 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
3.6	Chemische Vorbehandlung	177
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
3.7	Thermische Vorbehandlung	191
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
3.8	Elektrische Vorbehandlung	197
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
3.9	Beschichten	230
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
3.10	Energereiche Strahlen	239
3.11	Kombinierte Vorbehandlungsverfahren	245
3.12	Peel-Ply oder Abreißgewebe	246
3.13	Einarbeiten klebfähiger Bereiche in Bauteile	247
3.14	Weitere Oberflächenvorbehandlungsmöglichkeiten	248
3.15	Möglichkeiten und Grenzen des Klebens unsauberer (verölter) Oberflächen	249
3.16	Werkstoffbezogene Vorbehandlungsverfahren und Möglichkeiten des Diffusionsklebens	255
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
4	Klebstoffe	273
4.1	Allgemeines	275
4.1.1	Kriterien zur Klebstoffauswahl	275
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
4.2	Diffusionskleben	289
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	Spannungsrisssbildung	294

4.3	Adhäsionsklebstoffe	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
4.4	Reaktionsklebstoffe	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-Polymere.....	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
5	Klebstoffverarbeitung	351
5.1	Begriffe zur Klebstoffverarbeitung	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
5.2	Lagern von Klebstoffen	359
5.2.1	Lagerdauer.....	359
5.2.2	Entmischen (Sedimentieren, Separieren).....	359
5.3	Auftragsverfahren für Klebstoffe	361
5.3.1	Spatelauftrag.....	362
5.3.2	Pinselauftrag.....	362
5.3.3	Rakelauftrag.....	362
5.3.4	Auftrag aus dem Liefergebilde.....	363
5.3.5	Kartuschenauftrag.....	363
5.3.6	Rund- und Schlitzdüsenauftrag.....	364

5.3.7	Spritz- oder Sprühauftrag	364
5.3.8	Roboterauftrag.....	366
5.3.9	Stempeltechnik	366
5.3.10	Siebdruck	367
5.3.11	Walzenauftrag	369
5.4	Bauelemente von Klebstoffverarbeitungsanlagen	370
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
5.5	Verarbeiten von Klebebändern	376
5.6	Verarbeiten von Diffusionsklebstoffen	378
5.7	Verarbeiten von Schmelzklebstoffen.....	381
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 Haftschemelzklebstoffen.....	392
5.7.7	Foam-Melt	393
5.7.8	Fügen durch Wiederaufschmelzen des Klebstoffes	393
5.7.9	Fügen durch HF-Schweißen.....	393
5.8	Verarbeiten von 1-K-Klebstoffen.....	394
5.8.1	Klebstoffförderung aus dem Liefergebäude.....	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
5.9	Verarbeiten von 2-K-Klebstoffen.....	401
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
5.10	Klebstoffauftragskontrolle	417

5.11	Druckanwendung beim Kleben	418
5.11.1	Pressdruck	418
5.11.2	Kontaktdruck	419
5.11.3	Aufbringen des Druckes	419
5.12	Das Warmabbinden von Klebstoffen	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
5.13	Positionieren und Fixieren der Füge­teile beim Kleben	429
5.14	Reinigen von Klebstoffverarbeitungsgeräten	430
5.15	Trennen von Klebverbindungen	431
5.16	Kosten von Klebverbindungen	432
5.17	Vibrationskleben oder Schmelzkleben ohne Klebstoff	433
6	Prüftechnik	435
6.1	Einführung in die Haftungsprüfung	437
6.1.1	Problematik der Haftungsprüfung	437
6.1.2	Allgemeine Grundsätze	443
6.1.3	Versuchsprotokoll für den Zugscherversuch (Muster)	445
6.2	Der Zugscherversuch	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
6.3	Bestimmung des Scherverhaltens struktureller Klebungen	454
6.4	Schälversuche	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
6.5	Druckscherversuche	471
6.6	Der Torsionsscherversuch.....	473
6.7	Bestimmung der Drehfestigkeit von anaeroben Klebstoffen auf Befestigungselemente mit Gewinde	474
6.8	Zugversuche	475
6.9	Abreißversuch	476
6.10	Schlagfestigkeitsprüfung.....	477
6.11	Haftungsprüfung bei Klebebändern und Haftklebstoffen	479
6.12	Falt-, Biege- und Umformversuche.....	480
6.13	Haftungsprüfung durch Ritz- und Schnittverfahren.....	481
6.14	Keilberstprüfung.....	482
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
6.15	Langzeitbeständigkeit, Zeitstandsversuche	488
6.16	Alterungs- und Beständigkeitsprüfung	489
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	Kataplasatetest.....	497
6.16.8	Lagerung bei erhöhter Medienbelastung	497
6.16.9	Salznebelprüfung	497
6.16.10	Klimawechseltest.....	497
6.16.11	Normung.....	498
6.17	Bruchflächenuntersuchung	500
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
6.18	Nichtzerstörende Prüfungen	508
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
6.19	Benetzungsprüfung	515
6.20	Dynamisch-Mechanische-Analyse	516
6.21	Differential Thermoanalyse	518
6.22	Pressure-Cooker-Test	519
6.23	Welche Prüfung wofür?	520
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
6.24	Geprüfte Klebstoffe	523
7	Festigkeit von Klebverbindungen	525
7.1	Festigkeitsvergleich konventioneller und geklebter Verbindungen	527
7.1.1	Festigkeitsvergleich bei quasistatischer Belastung.....	528
7.1.2	Festigkeitsvergleich bei dynamischer Belastung.....	529
7.2	Einflüsse auf das Tragverhalten von Klebverbindungen	533
7.3	Mechanische Belastungen von Klebverbindungen	534
7.3.1	Grundsätzliches Klebstoffschichtverhalten	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
7.4	Verhalten unter Umgebungseinflüssen	544
7.4.1	Temperatureinfluss	544
7.4.2	Feuchtigkeitseinfluss	545
7.4.3	Medieneinfluss.....	547
7.5	Kombination aus mechanischer- und Umweltbelastung	548

7.6	Das Kleben unterschiedlicher Werkstoffe	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
7.7	Kleben kombiniert mit anderen Verbindungstechniken	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
7.8	Einfluss der Klebschichtdicke	572
7.9	Umformverhalten und akustische Eigenschaften geklebter Bleche	574
7.10	Kunststoffklebverbindungen	579
7.11	Klebverbindungen mit Faserverbundwerkstoffen	581
8	Konstruktion und Dimensionierung von Klebverbindungen	585
8.1	Konstruktionen von Klebverbindungen	587
8.1.1	Flachverbindungen	588
8.1.2	Rundverbindungen.....	590
8.1.3	Vermeiden von abschälenden Effekte	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
8.2	Dimensionierung von Klebverbindungen	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
	Stichwortverzeichnis	607