

Untersuchungen zum Verformungs- und Festigkeits-Langzeitverhalten von PC/GV-St-Klebverbindungen unter Klimaeinfluß

Inhaltsverzeichnis	Seite
1. Einleitung und Zielsetzung	1
2. Stand der Erkenntnisse	3
2.1. Spannungsermittlung	3
2.1.1. Experimentelle Verfahren	3
2.1.2. Geschlossene Rechenverfahren	4
2.1.3. Numerische Rechenverfahren	5
2.2. Spannungsverteilung in Klebverbindungen	6
2.3. Mathematische Beschreibung von Werkstoffkennwerten und -funktionen	8
2.4. Bemessungsverfahren	9
2.5. Kurzzeitverhalten	10
2.6. Langzeitverhalten	15
2.6.1. Alterung	15
2.6.1.1. Feuchtigkeit	15
2.6.1.2. Temperatur	16
2.6.1.3. Metall-Klebverbindungen	16
2.6.1.4. Kunststoff-Metall-Klebverbindungen	18
2.6.1.5. Kunststoff-Klebverbindungen	18
2.6.2. Statische Belastung	19
2.6.3. Dynamische Belastung	20
3. Versuchsbeschreibung	21
3.1. Versuchswerkstoffe	21
3.1.1. Metalle	21
3.1.2. Kunststoffe	22
3.1.3. Klebstoffe	22
3.2. Probenform	24
3.2.1. Probenform zur Ermittlung des Zeitstandverhaltens von PC/GV-St-Klebverbindungen	24
3.2.2. Zugscherproben zur Ermittlung der Schubgleitungs-Zeit-Diagramme	25
3.2.3. Zugproben zur Ermittlung der Dehnungs-Zeit-Diagramme	26
3.3. Verbundherstellung	26
3.3.1. PC/GV-St-Klebverbindungen	26
3.3.2. Dicke Zugscherproben nach DIN 54451	29
3.4. Versuchseinrichtungen und Belastungsbedingungen	29

3.4.1.	Versuche zur Ermittlung des Beanspruchungszustands von PC/GV-St-Klebverbindungen	29
3.4.2.	Versuche zur Ermittlung von Schubgleitungs-Zeit-Diagrammen	30
3.4.3.	Versuche zur Ermittlung von Dehnungs-Zeit-Diagrammen	30
3.5.	Prüf- und Meßverfahren	31
3.5.1.	PC/GV-St-Klebverbindungen	31
3.5.1.1.	Klebschichtverformung	31
3.5.1.2.	Fügeteildehnungen	32
3.5.2.	Schubgleitungs-Zeit-Diagramme von dicken Zugscherproben nach DIN 54451	32
3.5.3.	Dehnungs-Zeit-Diagramme von PC/GV-Grundwerkstoff	34
4.	Mathematische Modellierung des Zeitstandverhaltens von Klebverbindungen	35
4.1.	Mathematische Modellierung mittels empirischer Ansätze	35
4.1.1.	Ermittlung von Ansatzparametern für den Nuttingansatz	35
4.1.2.	Vergleich der Approximationsgüte des Nuttingansatzes mit experimentellen Werten	38
4.1.3.	Diskussion der Ergebnisse	43
4.2.	Spannungsberechnung mittels Finite-Elemente-Methode	43
4.3.	Schlußfolgerungen	46
5.	Einfluß des Klebstoffs und der Belastungshöhe auf das Zeitstandverhalten von PC/GV-St-Klebverbindungen	47
5.1.	Aufgabenstellung	47
5.2.	Zeitstandverhalten im Normalklima	47
5.2.1.	Klebschichtbeanspruchung	47
5.2.1.1.	EP-Klebstoff (EP)	47
5.2.1.2.	PU-Klebstoff (PU 1)	48
5.2.1.3.	Vergleich zwischen EP- und PU-Klebstoff (EP, PU 1)	51
5.2.2.	Bruchverhalten	51
5.2.2.1.	EP-Klebstoff (EP)	51
5.2.2.2.	PU-Klebstoff (PU 1)	53
5.2.2.3.	Vergleich zwischen EP- und PU-Klebstoff (EP, PU 1)	53
5.2.3.	Fügeteilbeanspruchung	54
5.2.3.1.	EP-Klebstoff (EP)	54
5.2.3.2.	PU-Klebstoff (PU 1)	54
5.2.3.3.	Vergleich zwischen EP- und PU-Klebstoff (EP, PU 1)	54
5.3.	FEM-Berechnungen für EP-Klebstoff (EP)	56
5.3.1.	Klebschichtschubgleitungen	56
5.3.2.	Schubspannungen in der Klebschicht	56
5.3.3.	Normalspannungen in der Klebschicht	57

5.4. FEM-Berechnungen für PU-Klebstoff (PU 1)	61
5.4.1. Klebschichtschubgleitungen	61
5.4.2. Schubspannungen in der Klebschicht	61
5.4.3. Normalspannungen in der Klebschicht	62
5.5. Vergleich zwischen Klebverbindungen mit EP- und PU-Klebstoff (EP, PU 1)	66
5.6. Fügeteilbeanspruchungen von Klebverbindungen mit EP- und PU-Klebstoff (EP, PU 1)	68
5.7. Vergleich zwischen FEM-Berechnungen und experimentellen Ergebnissen	73
5.8. Schlußfolgerungen	74
6. Einfluß der Überlappungslänge auf das Zeitstandverhalten von PC/GV-St-Klebverbindungen	75
6.1. Aufgabenstellung	75
6.2. Zeitstandverhalten im Normalklima	75
6.2.1. Klebschichtbeanspruchung	75
6.2.2. Fügeteilbeanspruchung	76
6.2.3. Bruchverhalten	78
6.3. Zeitstandverhalten unter Freibewitterung	78
6.3.1. PU-Klebstoff (PU 1)	79
6.3.2. EP-Klebstoff (EP)	80
6.4. Vergleich zwischen Kurzzeit- und Normalklima-Belastung	80
6.5. Vergleich zwischen Normalklima- und Freibewitterungs-Belastung	81
6.6. FEM-Berechnungen für EP-Klebstoff (EP)	83
6.6.1. Klebschichtschubgleitungen	83
6.6.2. Schubspannungen in der Klebschicht	84
6.6.3. Normalspannungen in der Klebschicht	85
6.7. FEM-Berechnungen für PU-Klebstoff (PU 1)	89
6.7.1. Klebschichtschubgleitungen	89
6.7.2. Schubspannungen in der Klebschicht	89
6.7.3. Normalspannungen in der Klebschicht	90
6.8. Vergleich zwischen Klebverbindungen mit EP- und PU-Klebstoff (EP, PU 1)	94
6.9. Fügeteilbeanspruchungen von Klebverbindungen mit EP- und PU-Klebstoff (EP, PU 1)	95
6.10. Vergleich zwischen FEM-Berechnungen und experimentellen Ergebnissen	100
6.11. Schlußfolgerungen	101
7. Einfluß der Klebschichtdicke auf das Zeitstandverhalten von PC/GV-St-Klebverbindungen	102
7.1. Aufgabenstellung	102
7.2. Zeitstandverhalten im Normalklima	102
7.2.1. Klebschichtbeanspruchung	102
7.2.2. Fügeteilbeanspruchung	105

7.2.3.	Bruchverhalten	106
7.3.	Zeitstandverhalten unter Freibewitterung	107
7.3.1.	PU-Klebstoff (PU 1)	107
7.3.2.	EP-Klebstoff (EP)	109
7.4.	Vergleich zwischen Kurzzeit- und Normalklima-Belastung	109
7.5.	Vergleich zwischen Kurzzeit- und Freibewitterungs-Belastung	110
7.6.	Vergleich zwischen Normalklima- und Freibewitterungs-Belastung	110
7.7.	FEM-Berechnungen für EP-Klebstoff (EP)	112
7.7.1.	Klebschichtschubgleitungen	112
7.7.2.	Schubspannungen in der Klebschicht	113
7.7.3.	Normalspannungen in der Klebschicht	116
7.8.	FEM-Berechnungen für PU-Klebstoff (PU 1)	116
7.8.1.	Klebschichtschubgleitungen	116
7.8.2.	Schubspannungen in der Klebschicht	118
7.8.3.	Normalspannungen in der Klebschicht	120
7.9.	Vergleich zwischen Klebverbindungen mit EP- und PU-Klebstoff (EP, PU 1)	123
7.10.	Fügeteilbeanspruchungen von Klebverbindungen mit EP- und PU-Klebstoff (EP, PU 1)	125
7.11.	Vergleich zwischen FEM-Berechnungen und experimentellen Ergebnissen	130
7.12.	Schlußfolgerungen	131
8.	Einfluß der Stoßform auf das Zeitstandverhalten von PC/GV-St-Klebverbindungen	133
8.1.	Aufgabenstellung	133
8.2.	Zeitstandverhalten im Normalklima	133
8.2.1.	Klebschichtbeanspruchung von zweischnittig überlappten Klebverbindungen	133
8.2.2.	Klebschichtbeanspruchung von geschäfteten Klebverbindungen	134
8.2.3.	Bruchverhalten von zweischnittig überlappten Klebverbindungen	136
8.2.4.	Bruchverhalten von geschäfteten Klebverbindungen	136
8.2.5.	Fügeteilbeanspruchung von zweischnittig überlappten Klebverbindungen	137
8.2.6.	Fügeteilbeanspruchung von geschäfteten Klebverbindungen	137
8.2.7.	Diskussion der zweischnittig überlappten Klebverbindungen	138
8.2.8.	Diskussion der geschäfteten Klebverbindungen	139
8.2.9.	Vergleich zwischen Kurzzeit- und Normalklima-Belastung	139
8.2.9.1.	Zweischnittig überlappte Klebverbindungen	139
8.2.9.2.	Geschäftete Klebverbindungen	140
8.3.	Zeitstandverhalten unter Freibewitterung	140
8.3.1.	Zweischnittig überlappte Klebverbindungen	140
8.3.2.	Geschäftete Klebverbindungen	142
8.3.3.	Vergleich zwischen zwei- und einschnittig überlappten Klebverbindungen	142

8.3.4. Vergleich zwischen geschäfteten und einschnittig überlappten Klebverbindungen	142
8.4. Vergleich zwischen Normalklima- und Freibewitterungs-Belastung	142
8.4.1. Zweischnittig überlappte Klebverbindungen	142
8.4.2. Geschäftete Klebverbindungen	143
8.5. Vergleich zwischen Kurzzeit- und Freibewitterungs-Belastung	143
8.5.1. Zweischnittig überlappte Klebverbindungen	143
8.5.2. Geschäftete Klebverbindungen	143
8.6. FEM-Berechnungen zum Einfluß des Klebwulstes	143
8.6.1. Klebschichtschubgleitungen	143
8.6.2. Schubspannungen in der Klebschicht	146
8.6.3. Normalspannungen in der Klebschicht	149
8.6.4. Fügeteilbeanspruchungen von Klebverbindungen mit EP- und PU-Klebstoff (EP, PU 1)	150
8.7. FEM-Berechnungen zum Einfluß der Stoßform	155
8.7.1. Klebschichtschubgleitungen von zweischnittig überlappten Klebverbindungen	155
8.7.2. Klebschichtschubgleitungen von geschäfteten Klebverbindungen	157
8.7.3. Schubspannungen in der Klebschicht von zweischnittig überlappten Klebverbindungen	161
8.7.4. Schubspannungen in der Klebschicht von geschäfteten Klebverbindungen	165
8.7.5. Normalspannungen in der Klebschicht von zweischnittig überlappten Klebverbindungen	166
8.7.6. Normalspannungen in der Klebschicht von geschäfteten Klebverbindungen	169
8.7.7. Fügeteilbeanspruchungen von Klebverbindungen mit EP- und PU-Klebstoff (EP, PU 1)	169
8.7.8. Vergleich zwischen FEM-Berechnungen und experimentellen Ergebnissen	175
8.8. Schlußfolgerungen	176
9. Schlußfolgerungen und Vorschlag zur Vorgehensweise beim Auslegen von langzeitbeanspruchten Kunststoff-Metall-Klebverbindungen	177
9.1. Vergleich zwischen statischer Untersuchungen und Alterungstest	177
9.2. Beurteilungskriterien	178
9.3. Vorschlag für die Bemessung von Kunststoff-Metall-Klebverbindungen	179
10. Ausblick	187
11. Zusammenfassung	189
12. Literatur	192