

Inhalt

1	Einleitung	1
2	Stand der Technik	3
2.1	Anwendungen lastübertragender Klebverbindungen im Automobilbau und weiteren Anwendungsfeldern	3
2.2	Fügetechniken im Landmaschinenbau	4
2.3	Beanspruchungen von Landmaschinen	7
2.4	Vergleich zwischen Klebungen in Automobilkarosseriebau und Landtechnik	8
2.5	Festigkeitsverhalten und Berechnung von Klebverbindungen	9
2.5.1	Festigkeitsverhalten	9
2.5.2	Berechnung von Metall-Klebverbindungen	12
2.6	Auslegung und Nachweisführung	14
2.6.1	Nachweisführung und Versagensverhalten von Klebverbindungen bei zyklischer Belastung	14
2.6.2	Rechnerischer Festigkeitsnachweis für Maschinenbauteile nach FKM-Richtlinie	16
3	Zielsetzung und Vorgehensweise	23
4	Verwendete Berechnungsprogramme, Prüfkörper, Versuchseinrichtungen und Versuchswerkstoffe	25
4.1	Berechnungsprogramme	25
4.1.1	Analytische Berechnungen	25
4.1.2	FEM-Berechnungen	25
4.2	Prüfkörper und Versuchseinrichtungen	26
4.2.1	Zugversuch an Baustählen nach DIN EN ISO 6892-1	26
4.2.2	Zugversuch an Klebstoffsubstanzproben nach DIN EN ISO 527-2	27
4.2.3	Zugscherversuche an Klebverbindungen in Anlehnung an DIN EN 14869-2	28
4.2.4	Zugscherversuche an Übelappverbindungen in Anlehnung an DIN EN 1465 und Konstruktionsdetail Nr. 612 der FKM-Richtlinie	29
4.3	Werkstoffe	34
4.3.1	Stähle	34
4.3.2	Klebstoffe	35
4.4	Alterungsbeständigkeit und Korrosionsschutz	37

5	Einflussgrößen auf die Festigkeit dickwandiger Klebverbindungen bei quasistatischer Zugscherbelastung	39
5.1	Festlegung einer zweckmäßigen Überlappungslänge	39
5.2	Statistische Versuchsplanung	40
5.3	Detailliertere Betrachtung ausgewählter Einflussgrößen	42
5.3.1	Einfluss des Klebstoffes	42
5.3.2	Einfluss der Fügeteilfließgrenze	43
5.3.3	Einfluss der Fügeteildicke	45
5.3.4	Einfluss der Klebschichtdicke	46
5.4	Abschätzung der quasistatischen Festigkeit der geklebten FKM-Probe	47
5.5	Quasistatische Festigkeit nach Alterung	48
5.6	Festigkeitsvergleich mit geschweißten Verbindungen	50
6	Einflussgrößen auf die Schwingfestigkeit dickwandiger Klebverbindungen.....	53
6.1	Einfluss des Klebstoffes	53
6.2	Einfluss der Fügeteilfließgrenze	56
6.3	Einfluss der Fügeteildicke	57
6.4	Einfluss der Überlappungslänge	58
6.5	Einfluss der Klebschichtdicke	60
6.6	Einfluss der Mittelspannung	60
6.7	Vergleich mit geschweißten Verbindungen	61
6.8	Betriebsfestigkeitsversuche	63
6.9	Schwingfestigkeit nach Alterung	64
6.9.1	Wöhlerversuche nach Alterung	64
6.9.2	Betriebsfestigkeitsversuche nach Alterung	65
7	Konzept zur Ermittlung der Bauteil-Wöhlerlinie und der Bauteilbetriebsfestigkeit mit Nennschubspannungen nach der FKM-Richtlinie	66
7.1	Ermittlung einer Bauteil-Wöhlerlinie	68
7.1.1	Kerbfallklasse, Wöhlerlinienneigung und Knickpunktzyklenzahl	68
7.1.2	Vorgehensweise zur Ermittlung der Bauteil-Wöhlerlinie für Wechselfestigkeit	68
7.1.3	Bestimmung des Mittelspannungsfaktors K_{σ}	69
7.1.4	Ermittlung der Bauteil-Wechselfestigkeit	70
7.1.5	Bestimmung von Sicherheitsfaktoren und Auslastungsgrad	76
7.1.6	Vergleich der berechneten Wöhlerlinie für geschweißte und geklebte Überlappstöße	78
7.2	Verifizierung der entwickelten Methode	80

7.2.1	Vergleich der experimentell ermittelten und der berechneten Wöhlerlinie für zur Methodenentwicklung herangezogenen Klebstoffe	80
7.2.2	Vergleich der experimentell ermittelten und der berechneten Wöhlerlinie für den nicht zur Methodenentwicklung herangezogenen Klebstoff SP 498	84
7.2.3	Berechnung der Bauteil-Betriebsfestigkeit	85
8	Validierung der Vorgehensweise nach FKM-Richtlinie am Konstruktionsdetail Konsolenanschluss	88
9	Hinweise zur Fertigung und Auslegung lastübertragender Klebverbindungen im Landmaschinenbau	95
9.1	Oberflächenvorbehandlung	95
9.2	Beständigkeit und Korrosionsschutz	95
9.3	Werkstoffauswahl im Hinblick auf Leichtbau	95
9.3.1	Klebstoffauswahl	95
9.3.2	Stahlauswahl	96
9.4	Konstruktion	97
9.4.1	Spalttoleranzen	97
9.4.2	Konstruktion der Fügezone	97
9.5	Nachweisführung	98
10	Zusammenfassung	99
11	Literatur	101
12	Formelzeichen und Abkürzungen	110
12.1	Formelzeichen	110
12.2	Abkürzungen	113