

E DIN 3990-16:2026-09 (D)

Erscheinungsdatum: 2026-07-31

Tragfähigkeitsberechnung von Stirnrädern - Teil 16: Bestimmung der Graufleckentragfähigkeit von Schmierstoffen im FZG-Prüfverfahren GT-C/8,3/90

Inhalt	Seite
Vorwort	6
Einleitung	8
1 Anwendungsbereich.....	9
2 Normative Verweisungen	9
3 Begriffe	10
4 Symbole und Abkürzungen	11
5 Kurzbeschreibung des Prüfverfahrens und allgemeine Grundlagen	14
6 Angabe der Präzision	17
6.1 Präzision im Stufentest.....	17
6.2 Präzision im Dauertest	18
7 Prüfmittel.....	18
7.1 Prüfzahnräder	18
7.2 Reinigungsflüssigkeit.....	20
8 Geräte.....	20
8.1 FZG-Zahnrad-Verspannungs-Prüfmaschine	20
8.2 Ölaggregat.....	22
8.3 Evolventenmessgerät.....	22
8.4 Waage.....	22
8.5 Zahnflanken-Lehre	23
8.6 Fotografiereinrichtung.....	23
8.7 Aufheizvorrichtung.....	23
8.8 Entmagnetisierungsgerät	23
9 Vorbereitung der FZG-Zahnrad-Verspannungs-Prüfmaschine	23
9.1 Allgemeines	23
9.2 Reinigung des Prüfgetriebes.....	23
9.3 Reinigung des Ölkreislaufs.....	23
9.4 Prüfung auf Beschädigungen	24
9.5 Vorbereitung der Prüfzahnräder	24
9.6 Montage der Prüfzahnräder	24
9.7 Verspannung der FZG-Zahnrad-Verspannungs-Prüfmaschine	25
10 Aufbau der Prüfung	26
10.1 Allgemeiner Ablauf der Messungen.....	26
10.2 Detaillierter Ablauf der Messungen	27
10.3 Allgemeine Betriebsdaten	28
10.4 Prüfbedingungen des Stufentests	28
10.5 Prüfbedingungen des Dauertests.....	29
11 Dokumentation der Prüfung.....	30
11.1 Zu dokumentierende Werte und Eigenschaften.....	30
11.2 Messverfahren/ Messbedingungen	30
11.2.1 Rauheitsmessung im Neuzustand	30
11.2.2 Auswahl der prüfungsbegleitend zu dokumentierenden Zähnen.....	31

11.2.3	Optische Dokumentation/ mittlere Graufleckenfläche nach jeder Kraftstufe bzw. jedem Prüfintervall	31
11.2.4	Ermittlung der mittleren Profil-Formabweichung.....	31
11.2.5	Ermittlung des Massenverlusts	32
12	Ermittlung des Schadensfortschritts im Stufen- und Dauertest	33
13	Ermittlung der Schadenskraftstufe des Graufleckentests	37
14	Prüfbericht	38
Anhang A (normativ)	Identifikation und Bestimmung der Größe einer Schabemarke.....	39
A.1	Allgemeines.....	39
A.2	Methode A.....	39
A.3	Methode B.....	39
A.4	Methode C	42
Anhang B (informativ)	Beispiel für einen Prüfbericht und eine Wertetabelle.....	43
Anhang C (normativ)	Grenzwerte der Verzahnungsqualität der Prüfzahnräder des Typs „C-GF“	45
Anhang D (informativ)	Ermittlung der Graufleckentragfähigkeitsklasse.....	46
Anhang E (informativ)	Beispielhafte Verläufe der Graufleckenentwicklung	49
Anhang F (informativ)	Beispielhafte Einordnung in eine GF-Klasse.....	52
Anhang G (informativ)	Umwertung von Prüfergebnissen bei abweichender Flankenrauheit nach FVA 54/7	54
Anhang H (informativ)	Beispielhafte Flankenmerkmale für GF-Klassen nach FVA 54/7	55
Anhang I (informativ)	Erläuterungen und Ergänzungen zur Beschreibung der FZG-Zahnrad-Verspannungs-Prüfmaschine	58
Anhang J (informativ)	Checkliste für die Wartung der FZG-Zahnrad-Verspannungs-Prüfmaschine.....	61
J.1	Erkennen einer Funktionsstörung	61
J.1.1	Verteilung der Graufleckigkeit über der Flankenbreite	61
J.1.2	Tragbild	61
J.1.3	Prüfung von Referenzschmierstoffen	61
J.1.4	Weitere Prüfungen	61
J.2	Maschinenteile, die Wartung benötigen	61
J.2.1	Prüfgetriebegehäuse	61
J.2.2	Anschlusswellen und Flansche	63
J.2.3	Übertragungsgetriebe.....	63
J.2.4	Sonstige Einrichtungsteile.....	64
J.3	Ölaggregat.....	64
Literaturhinweise		65

Bilder

Bild 1 — FZG-Zahnform C, Graufleckenausbildungen an den Zahnflanken im Stufentest.....	16
Bild 2 — FZG-Zahnform C, Grübchen- und Graufleckenbildung	17
Bild 3 — FZG-Zahnform C, Grübchen- und Graufleckenbildung	17
Bild 4 — Schema der FZG-Zahnrad-Verspannungs-Prüfmaschine	21
Bild 5 — Markierung und Montage der FZG-Prüfzahnräder des Typs C (Ansicht A aus Bild 4).....	22

Bild 6 — Nummerierung der Zähne der Prüfverzahnung Typ C-GF relativ zur Lage der Passfedernut	26
Bild 7 — Prüfablauf im Stufen- und Dauertest	27
Bild 8 — Schabemarke mit Profilmesssschrieb	33
Bild 9 — Exemplarische Bestimmung der Profil-Formabweichung $f_{f\alpha}$ im Neuzustand.....	34
Bild 10 — Exemplarische Profilmesssschriebe nach den einzelnen Prüfabschnitten	35
Bild 11 — Exemplarische Überlagerung der Profilmesssschriebe nach den einzelnen Prüfabschnitten und dem Profilmesssschrieb im Neuzustand.....	36
Bild 12 — Exemplarische Entwicklung der Profil-Formabweichung $f_{f\alpha}$ über der Prüflaufzeit	37
Bild A.1 — Im Profilmesssschrieb abgrenzbare Schabemarke mit Bestätigung des Vorhandenseins der Schabemarke durch Flankenfoto.....	39
Bild A.2 — Schabemarke, welche im Profilmesssschrieb (nicht) eindeutig, im Flankenfoto aber eindeutig abgrenzbar ist	40
Bild A.3 — Schabemarke, welche weder im Profilmesssschrieb noch im Flankenfoto eindeutig abgrenzbar ist.....	42
Bild E.1 — Mittlere Graufleckenfläche GF in % der aktiven Flanke am Prüfritzel (Beispiele)	49
Bild E.2 — Mittlere Profil-Formabweichung f_{fm} am Prüfritzel in μm (Beispiele).....	50
Bild E.3 — Massenverlust W am Prüfritzel in mg (Beispiele)	51
Bild I.1 — FZG-Zahnrad-Verspannungs-Prüfmaschine.....	58
Bild I.2 — Belastungseinrichtung mit Hebel und Gewichten	59
 Tabellen	
Tabelle 1 — Symbole.....	11
Tabelle 2 — Abkürzungen.....	13
Tabelle 3 — Geometrische Daten der Prüfverzahnung C-GF für den Graufleckentest.....	19
Tabelle 4 — Ausführung der Prüfzahnräder Typ „C-GF“	20
Tabelle 5 — Betriebsdaten im Graufleckentest — GT-C/8,3/90	28
Tabelle 6 — Prüfbedingungen im Graufleckentest –GT-C/8,3/90	28
Tabelle 7 — Prüfbedingungen im Stufentest	29
Tabelle 8 — Prüfbedingungen im Dauertest.....	30
Tabelle 9 — Mess- und Auswertebereich zur Ermittlung der Profil-Formabweichung.....	32

Tabelle A.1 — Startpunkt der Schabemarke bei unterschiedlichen Kraftstufen^a	40
Tabelle B.1 — Mittlere Graufleckenfläche GF, mittlere Profil-Formabweichung f_{fm} und Massenverlust W des Prüfritzels während des Graufleckentests.....	44
Tabelle C.1 — Grenzwerte der Verzahnungsqualität der Prüfzahnräder des Typs „C-GF“	45
Tabelle D.1 — Zuordnung zu GF-Klassen im Graufleckentest.....	47
Tabelle F.1 — Beispielhafter Verlauf der mittleren Graufleckenfläche GF, mittleren Profil-Formabweichung f_{fm} und Materialverlust W.....	52
Tabelle F.2 — Beispielhafter Verlauf der mittleren Graufleckenfläche GF, mittleren Profil-Formabweichung f_{fm} und Materialverlust M.....	53
Tabelle G.1 — Anhaltswerte zur Umwertung von Prüfergebnissen im Graufleckentest	54
Tabelle H.1 — Beispielhafte Flankenmerkmale der GF-Klassen im Stufentest.....	55
Tabelle H.2 — Beispielhafte Flankenmerkmale der GF-Klassen im Stufentest.....	56
Tabelle H.3 — Beispielhafte Flankenmerkmale der GF-Klassen im Dauertest	57
Tabelle I.1 — Drehmomente und Gewichtskräfte der Belastungseinrichtung im Graufleckentest (Hebel und Gewichtsstücke nach DIN ISO 14635-1)	60
Tabelle I.2 — Kraftstufen im Graufleckentest.....	60