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 Profilmessschrieb ... 33

Bild 9 — Exemplarische Bestimmung der Profil-Formabweichung $f_{f\alpha}$ im Neuzustand ... 34

Bild 10 — Exemplarische Profilmessschriebe nach den einzelnen Prüfabschnitten ... 35

Bild 11 — Exemplarische Überlagerung der Profilmessschriebe nach den einzelnen Prüfabschnitten und dem Profilmessschrieb im Neuzustand ... 36

Bild 12 — Exemplarische Entwicklung der Profil-Formabweichung $f_{f\alpha}$ über der Prüflaufzeit ... 37

Bild A.1 — Im Profilmessschrieb abgrenzbare Schabemarke mit Bestätigung des Vorhandenseins der Schabemarke durch Flankenfoto ... 39

Bild A.2 — Schabemarke, welche im Profilmessschrieb (nicht) eindeutig, im Flankenfoto aber eindeutig abgrenzbar ist ... 40

Bild A.3 — Schabemarke, welche weder im Profilmessschrieb noch im Flankenfoto eindeutig abgrenzbar ist ... 42

Bild E.1 — Mittlere Graufleckenfläche *G*F 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 *G*F, 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 *G*F, mittleren Profil-Formabweichung f_{fm} und Materialverlust *W* 52

Tabelle F.2 — Beispielhafter Verlauf der mittleren Graufleckenfläche *G*F, 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