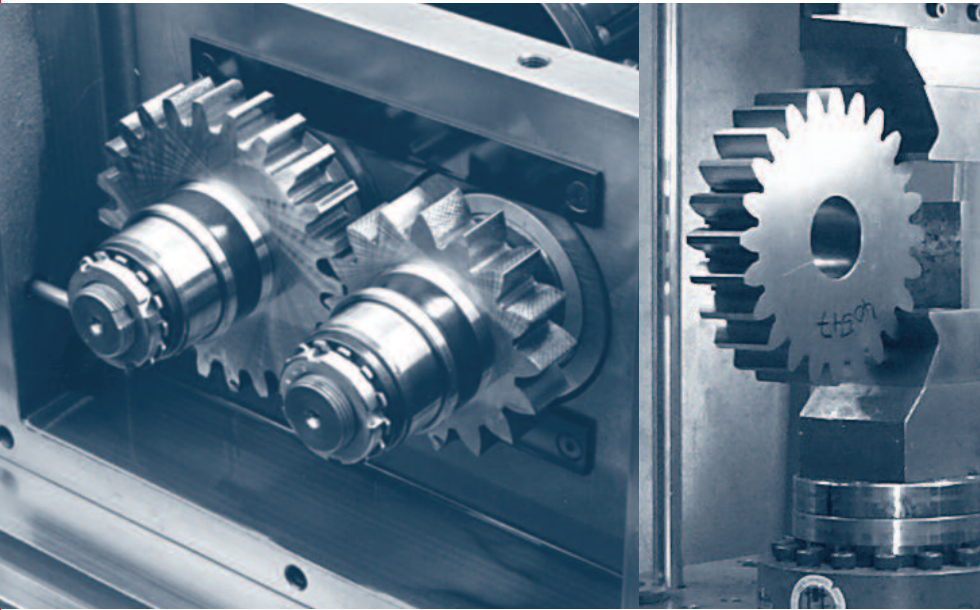




Forschungsvereinigung  
Antriebstechnik e.V.



research, drive & innovation

# FVA-Richtlinie

## Vereinheitlichung von Tragfähigkeitsversuchen

Ausgabe 2012



<b>FVA 563 I</b>	<b>Empfehlungen zur Vereinheitlichung von Tragfähigkeitsversuchen an vergüteten und gehärteten Zylinderrädern</b>	 Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V.
------------------	---	--

**Inhaltsverzeichnis:**

1	Vorwort.....	3
2	I. Teil: Empfehlungen zur Vereinheitlichung von Zahnflankentragfähigkeitsversuchen an vergüteten und gehärteten Zylinderrädern.....	5
2.1	Werkstoffauswahl.....	5
2.2	Prüfkörperauslegung.....	6
2.3	Prüfkörperfertigung / Vorverzahnung.....	6
2.4	Wärmebehandlung.....	7
2.5	Prüfkörperfertigung / Fertigverzahnung.....	8
2.6	Qualitätskontrolle.....	8
2.7	Prüfung des Werkstoffzustandes.....	9
2.8	Prüfstand / Prüfbedingungen.....	9
2.9	Versuchsbeginn.....	10
2.10	Versuchsdurchführung.....	10
2.11	Versuchsauswertung.....	12
2.12	Weitere Vereinbarungen.....	14
3	II. Teil: Empfehlungen zur Vereinheitlichung von Zahnfußtragfähigkeitsversuchen an vergüteten und gehärteten Zylinderrädern.....	16
3.1	Werkstoffauswahl.....	16
3.2	Prüfkörperauslegung.....	17
3.3	Prüfkörperfertigung / Vorverzahnung.....	17
3.4	Wärmebehandlung.....	18
3.5	Prüfkörperfertigung / Fertigverzahnung.....	19
3.6	Qualitätskontrolle.....	19
3.7	Prüfung des Werkstoffzustandes.....	20
3.8	Prüfstand / Prüfbedingungen.....	21
3.9	Versuchsbeginn.....	22
3.10	Versuchsdurchführung.....	22
3.11	Versuchsauswertung.....	23
3.12	Weitere Vereinbarungen.....	24
4	Literaturangaben.....	25
5	Normen.....	26

Die vorliegende Richtlinie ist ein Leitfaden für die Diskussion und Festlegung der Vorgehensweise bei der Durchführung von Flanken- und Fußtragfähigkeitsuntersuchungen zwischen dem Auftragnehmer und dem Auftraggeber.

Diese Richtlinie fasst die Empfehlungen zur Vereinheitlichung von Flankentragfähigkeitsversuchen des FVA-Merkblattes 0/5 (Stand März 1979) sowie die Ergänzung mit entsprechenden Empfehlungen zur Vereinheitlichung von Pulsatorversuchen zur Zahnfußtragfähigkeit (Stand Januar 2009) zusammen.

Die im Vorwort getroffenen Hinweise und Einschränkungen sind dabei in jedem Fall zu beachten.

FVA-Richtlinie 563 I:

Verfasser: Dr.-Ing. T. Tobie,  
Forschungsstelle für Zahnräder und Getriebebau (FZG)  
TU München, Leiter: Prof. Dr.-Ing. K. Stahl (2012)

Dipl.-Ing. P. Matt,  
Forschungsstelle für Zahnräder und Getriebebau (FZG)  
TU München, Leiter: Prof. Dr.-Ing. K. Stahl (2012)

Auf Basis von:

FVA-Merkblatt 0/5 (Stand März 1979)

Verfasser: Dr.-Ing. Th. Hösel,  
Forschungsstelle für Zahnräder und Getriebebau (FZG)  
TU München, Leiter: Prof. Dr.-Ing. H. Winter (1979)

Dipl.-Ing. J. Goebbelet,  
Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre (WZL)  
der RWTH Aachen, Leiter: Prof. Dr. Ing. M. Weck (1979)

Ergänzungen zu FVA-Merkblatt 0/5 (Stand Januar 2009)

Verfasser: Dipl.-Ing. U. Weigand  
Forschungsstelle für Zahnräder und Getriebebau (FZG)  
TU München, Leiter: Prof. Dr.-Ing. B. R. Höhn (1999)

Überarbeitet: Dipl.-Ing. P. Matt,  
Forschungsstelle für Zahnräder und Getriebebau (FZG)  
TU München, Leiter: Prof. Dr.-Ing. K. Stahl (2009)

unter Mitarbeit der FVA-Arbeitskreise:

"Konstruktionsfragen"  
"Öle und Schmierstoffe"  
"Werkstoffe"  
„Berechnung und Simulation“

## 1 Vorwort

Zahnradtragfähigkeitsversuche, insbesondere Flankentragfähigkeitsversuche, sind im Vergleich zu anderen Prüfverfahren im Allgemeinen sehr zeitaufwendig und kostenintensiv.

Bei der Vorbereitung, Durchführung und Auswertung der Versuche muss deshalb hier verstärkt Sorge getragen werden, dass sämtliche Parameter erfasst und in geeigneter Form dokumentiert werden, die für eine reproduzierbare Durchführung der Versuche sowie für den Vergleich einzelner Versuche miteinander unabdingbar sind.

Die vorliegende Empfehlung zur Vereinheitlichung von Flanken- und Fußtragfähigkeitsversuchen versteht sich als chronologische Auflistung dieser Parameter bei gleichzeitiger Beschreibung der Vorgehensweise zu ihrer Ermittlung und Dokumentation, wo dies nicht als bekannt vorausgesetzt werden kann. Sie ersetzt jedoch nicht die detaillierte Absprache und Festlegung der einzelnen Aufgabenschwerpunkte zwischen dem Auftragnehmer und dem Auftraggeber.

Die einzelnen Abschnitte lesen sich zeilenweise von links nach rechts; die in Gestalt kreisförmiger Symbole vorgenommene Gewichtung soll dabei die Punkte herausstellen, die bei der Abwicklung des Versuchsauftrags generell verstärkt zu beachten sind.

Es sind deshalb die mit ● gekennzeichneten Aktivitäten in jedem Falle durchzuführen und in geeigneter Weise zu dokumentieren. Bei den mit ⊙ gekennzeichneten Vorgängen ist dies ggf. mit dem Auftraggeber abzusprechen, wohingegen die mit ○ bezeichneten Punkte im Allgemeinen keiner gesonderten Dokumentation bedürfen.

Es versteht sich von selbst, dass bei bestimmten Versuchsvariablen, wie z. B. bei der Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Wärmebehandlungen, Zahnfehler oder Schleifbearbeitungen auf die Zahnradtragfähigkeit hier ggf. weitere Schwerpunkte mit einzubeziehen sind.

Die Zeitdauer der Versuchsdurchführung wird im Wesentlichen bestimmt durch den Grad der statistischen Belegung einer Wöhlerlinie, wobei insbesondere die Versuchspunkte im Bereich der Dauerfestigkeit ins Gewicht fallen. Die Belegungsdichte der Wöhlerlinie mit Versuchspunkten ist deshalb in Abschnitt 2.10 und 3.10 in mehrere Klassen aufgegliedert, die mit Minimal-, Standard- oder Maximalbelegung bezeichnet sind. Durch die Auswahl einer dieser Belegungsklassen soll die Möglichkeit geschaffen werden, die Tragfähigkeitsuntersuchungen ihrer jeweiligen Bedeutung entsprechend in das betreffende Forschungsvorhaben bzw. Projekt einzugliedern.

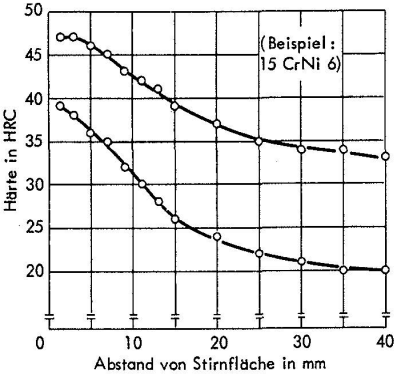
Darüber hinaus führen auch die flankierenden Untersuchungen zur Güteprüfung des Rohwerkstoffes, zum Ergebnis der Wärmebehandlung, zur erzielten Verzahnungsqualität sowie insbesondere zur Veränderung von Werkstoffkennwerten mitunter zu großem Zeitaufwand und vor allem zu erheblichen Kostensteigerungen. Die Vorgehensweise zu den Versuchsabschnitten 2.1, 2.4, 2.6, 2.7 und 2.10 (bzw. 3.1, 3.4, 3.6, 3.7 und 3.10) ist deshalb detailliert mit dem Auftraggeber abzuklären und in der vertraglichen Vereinbarung festzuschreiben.

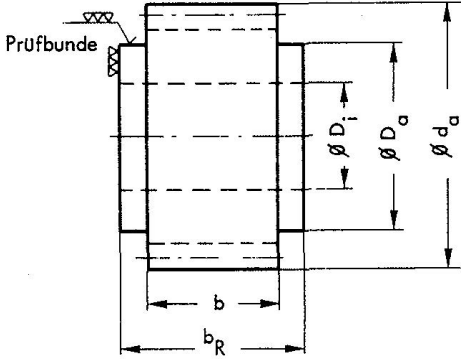
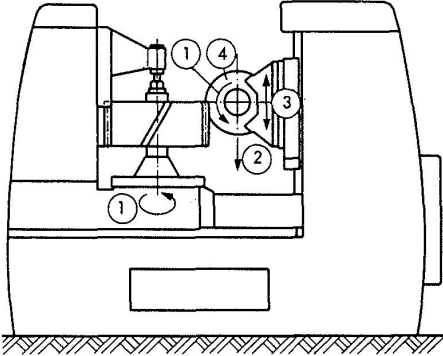
Die vorliegende Richtlinie umfasst zwei unabhängige Teile. Der I. Teil beinhaltet die „Empfehlungen zur Vereinheitlichung von Flankentragfähigkeitsversuchen an vergüteten und gehärteten Zylinderrädern“; der II. Teil die „Empfehlungen zur Vereinheitlichung von Pulsatorversuchen zur Zahnfußtragfähigkeit von vergüteten und gehärteten Zylinderrädern“. Den jeweiligen, verwendeten Kennziffern wurden in beiden Teilen entsprechende Arbeitsschritte zugeordnet. Übereinstimmungen, Änderungen bzw. Ergänzungen zwischen den beiden Teilen wurden im zweiten Teil (Empfehlungen zur Vereinheitlichung von Pulsatorversuchen...) durch die Anmerkungen „wie in Teil I“, „geändert zu Teil I“ oder „ergänzend zu Teil I“ gekennzeichnet.

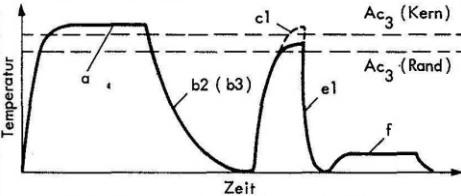
**Teil I:**  
**Empfehlungen zur Vereinheitlichung von Zahn-**  
**flankentragfähigkeitsversuchen an vergüteten**  
**und gehärteten Zylinderrädern**

**2 I. Teil: Empfehlungen zur Vereinheitlichung von Zahnflankentragfähigkeitsversuchen an vergüteten und gehärteten Zylinderrädern**

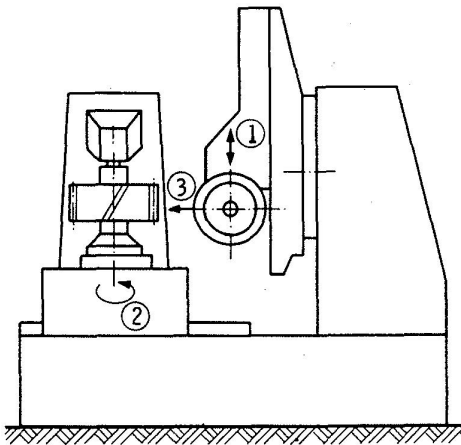
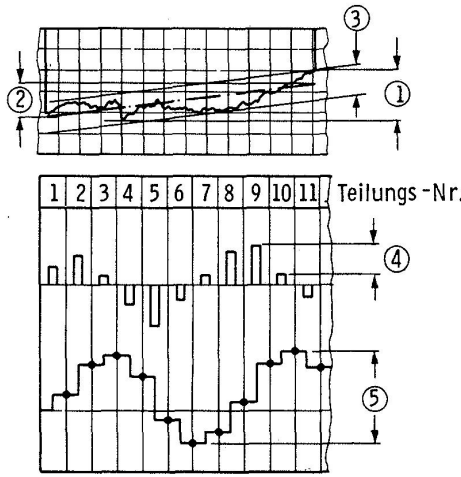
2.1

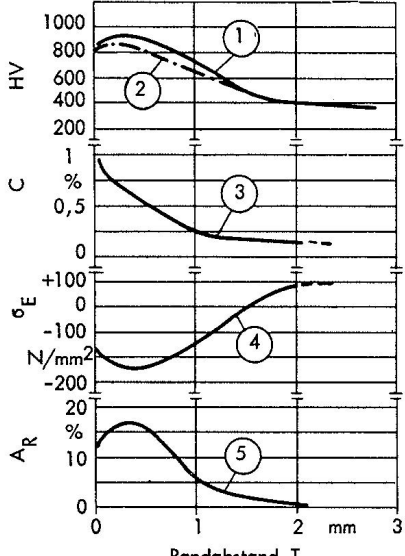
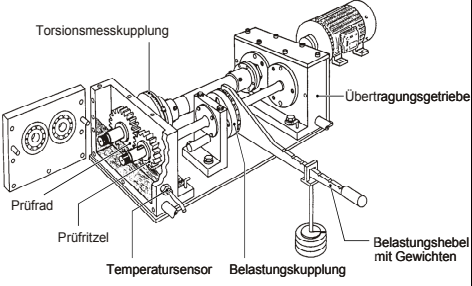
Kennz.	Versuchsabschnitt	Markante Parameter	Bed.	Vorgehensweise und Anmerkungen																						
	<p><b>Werkstoffauswahl</b></p> <p>z. B.</p> <table border="1" data-bbox="152 576 600 699"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>%C</th> <th>%Si</th> <th>%Mn</th> <th>%P</th> <th>%S</th> <th>%Cr</th> <th>%Mo</th> <th>%Ni</th> <th>%V</th> <th>%Al ges</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>130107</td> <td>.16</td> <td>.27</td> <td>1.0</td> <td>.017</td> <td>.02</td> <td>.90</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table> 	Nr.	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo	%Ni	%V	%Al ges	130107	.16	.27	1.0	.017	.02	.90	-	-	-	-	<p>Sortenbezeichnung</p> <p>Erschmelzungsverfahren; Desoxidationsart</p> <p>Lieferart; Behandlungszu- stand</p> <p>Chemische Zusammensetzung</p> <p>Härtbarkeit</p> <p>Mechanische Eigenschaften</p> <p>Technologische Eigenschaften</p> <p>Gefüge; Korngröße</p> <p>Nichtmetallische Einschlüsse</p> <p>Oberflächen- beschaffenheit</p> <p>Faserverlauf</p> <p>Chargengröße (Chargenzeugnis)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●</li> <li>○</li> <li>●</li> <li>●</li> <li>◉</li> <li>◉</li> <li>○</li> <li>●</li> <li>●</li> <li>○</li> <li>◉</li> <li>●</li> </ul>	<p>Kurzname nach DIN 17007; Werkstoffnummer</p> <p>Bezeichnung der Ofenanlage (Siemens-Martin-Ofen; Elektroofen; Sauerstoff-Aufblas-Verfahren)</p> <p>Angabe des Kennbuchstaben nach DIN 17200, 17211, etc.</p> <p>Stückanalyse incl. Spurenelemente; ( ggf. Schmelzanalyse )</p> <p>Härteverlauf nach dem Stirnabschreckversuch nach DIN 50191; Probe für Versuch (Jominyprobe) vereinbaren!</p> <p>Prüfung seitens Stahlhersteller ggf. vereinbaren; ansonsten Proben für Zug- und Kerbschlag- biegeversuch sowie zur Härtebestimmung anfordern.</p> <p>Ggf. Erschmelzung mit geregelttem Schwefelgehalt oder besonderer Wärmebehandlung oder Probe zur Ermittlung der Kaltscherbarkeit fordern.</p> <p>Ggf. Vereinbarungen über Temperaturen und Haltezeiten beginnenden Kornwachstums tref- fen.</p> <p>In Sonderfällen "ESU" ( Elektroschlackeumschmelzverfahren ) mit definiertem Schwefelgehalt fordern. Angabe des Reinheitsgrades nach DIN EN 10247</p> <p>Für gesondert vereinbaren, wenn besondere Anforderungen hinsichtlich spanender Formge- bung bestehen.</p> <p>Für Prüfzahnräder ausschließlich im Durchmesser auf Maß geschmiedete Rohlinge verwen- den.</p> <p>Sämtliche Prüfräder und Probenkörper aus <u>einer</u> Charge; Reserve für Nachfertigung einplanen.</p>
Nr.	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo	%Ni	%V	%Al ges																
130107	.16	.27	1.0	.017	.02	.90	-	-	-	-																

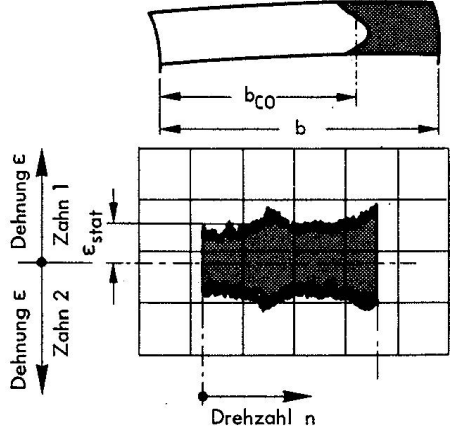
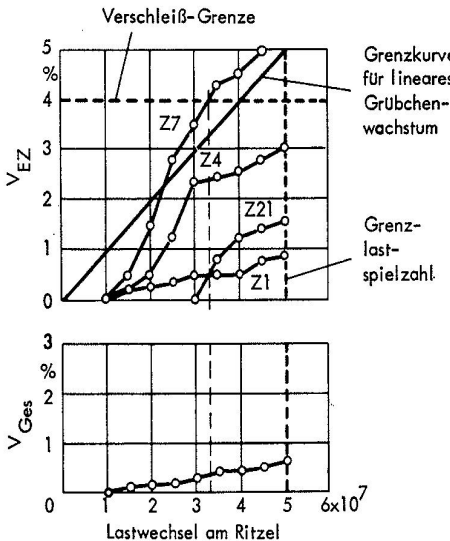
Kennz.	Versuchsabschnitt	Markante Parameter	Bed.	Vorgehensweise und Anmerkungen																
2.2	<p><b>Prüfkörperauslegung</b></p> 	<p>Achsabstand Zähnezahl Profilverschiebung Breitenverhältnis Tragfähigkeit; Sicherheit Wärmebehandlung Geometrie (Allgemein)</p>	<p><input type="radio"/> <input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/></p>	<p>Prüfstandbedingt: <math>a_0 = 91,5 / 112,5 / 125 / 140</math> oder <math>200</math> mm. Möglichst Zähnezahlen ohne gemeinsamen Teiler! Wegen Ausfallkriterium Pittingbildung: <math>x &gt; 0</math>; Eingriff nahe am Grundkreis vermeiden! Zur Vermeidung großer verformungsbedingter Flankenlinienabweichung <math>b/d_1 &lt; 0,4 - 0,5</math> wählen! Nachrechnung nach DIN 3990/ 6336 und ggf. NIEMANN; Überprüfung ob Ausfallkriterium erreicht wird. Auslegung in Anlehnung an / 7 / . Grunddaten der Verzahnung (<math>m_n</math>; <math>\beta</math>; <math>b</math>; <math>z_2/z_1</math> etc.) und der Wärmebehandlung nach Absprache mit dem Arbeitskreis (siehe Vorwort ) so dimensionieren, dass ein Vergleich mit vorhandenen Forschungsergebnissen und Literatur möglich ist. Festlegung von Verzahnungskorrekturen (z.B. Höhen- oder Breitenballigkeit ). Zeichnungserstellung gemäß DIN 3966.</p>																
2.3	<p><b>Prüfkörperfertigung / Vorverzahnung</b></p> 	<p>Maschine; Verfahren  Maschineneinstelldaten  Werkzeugdaten  Schleifaufmaß</p>	<p><input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/></p>	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;"><u>Fräsen</u></td> <td style="text-align: center;"><u>Stoßen</u></td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Angabe von Typ und Hersteller der Werkzeugmaschine</td> </tr> <tr> <td>Wälzgeschwindigkeit</td> <td>① Schnittgeschwindigkeit</td> </tr> <tr> <td>Axialvorschub</td> <td>② Doppelhubzahl</td> </tr> <tr> <td>Fräsrichtung:</td> <td>Hublänge</td> </tr> <tr> <td>Gleichlauf / Gegenlauf</td> <td>③ Anzahl der Schnitte Radialvorschub Wälzvorschub</td> </tr> <tr> <td>Fräsermodul, - gangzahl, - stollenzahl, - protuberanz, - korrektur</td> <td>④ Schneidradtyp Schneidradgeometrie</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Für Prüfkörpergeometrie: Aufmaß = <math>0,2 - 0,3</math> mm</td> </tr> </table>	<u>Fräsen</u>	<u>Stoßen</u>	Angabe von Typ und Hersteller der Werkzeugmaschine		Wälzgeschwindigkeit	① Schnittgeschwindigkeit	Axialvorschub	② Doppelhubzahl	Fräsrichtung:	Hublänge	Gleichlauf / Gegenlauf	③ Anzahl der Schnitte Radialvorschub Wälzvorschub	Fräsermodul, - gangzahl, - stollenzahl, - protuberanz, - korrektur	④ Schneidradtyp Schneidradgeometrie	Für Prüfkörpergeometrie: Aufmaß = $0,2 - 0,3$ mm	
<u>Fräsen</u>	<u>Stoßen</u>																			
Angabe von Typ und Hersteller der Werkzeugmaschine																				
Wälzgeschwindigkeit	① Schnittgeschwindigkeit																			
Axialvorschub	② Doppelhubzahl																			
Fräsrichtung:	Hublänge																			
Gleichlauf / Gegenlauf	③ Anzahl der Schnitte Radialvorschub Wälzvorschub																			
Fräsermodul, - gangzahl, - stollenzahl, - protuberanz, - korrektur	④ Schneidradtyp Schneidradgeometrie																			
Für Prüfkörpergeometrie: Aufmaß = $0,2 - 0,3$ mm																				

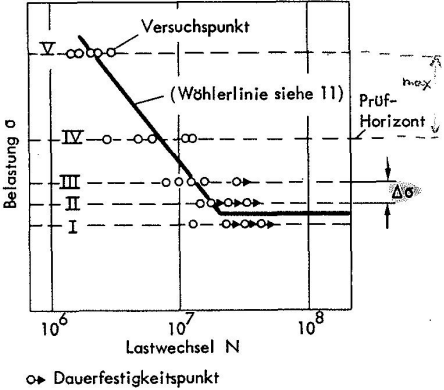
Kennz.	Versuchsabschnitt	Markante Parameter	Bed.	Vorgehensweise und Anmerkungen																																																																											
<p><b>2.4</b></p>	<p><b>Wärmebehandlung</b></p> <table border="1" data-bbox="163 325 593 651"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Vorgang</th> <th>t °C</th> <th>T bmin</th> <th>Anlage</th> <th>Medium</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">a</td> <td>Vorwärmen</td> <td>750</td> <td>50</td> <td>Aichelin-KSGS - 1</td> <td rowspan="3">Carbonateinst.: 0,9 % C</td> </tr> <tr> <td>Aufheizen</td> <td>900</td> <td>100</td> <td>"</td> </tr> <tr> <td>Aufkohlen</td> <td>930</td> <td>300</td> <td>"</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">b</td> <td>Rückkühlen</td> <td>600</td> <td>100</td> <td>"</td> <td rowspan="2">Folienwert: 0,88 % C</td> </tr> <tr> <td>Schnellkühlen</td> <td>150</td> <td>50</td> <td>"</td> </tr> <tr> <td>c</td> <td>Härten</td> <td>840</td> <td></td> <td>Degussa GS540/R2</td> <td>Salzbad</td> </tr> </tbody> </table>  <p>z. B. Einfachhärten nach Abkühlen aus dem Einsatz</p>	Nr.	Vorgang	t °C	T bmin	Anlage	Medium	a	Vorwärmen	750	50	Aichelin-KSGS - 1	Carbonateinst.: 0,9 % C	Aufheizen	900	100	"	Aufkohlen	930	300	"	b	Rückkühlen	600	100	"	Folienwert: 0,88 % C	Schnellkühlen	150	50	"	c	Härten	840		Degussa GS540/R2	Salzbad	<p>Ofenanlage bzw. Härteeinrichtung</p> <p>Verfahren</p> <p>Medien, Temperaturen, Potentiale und Zeiten beim:</p> <p>Wärmebehandlungsergebnis</p> <p>Losgröße</p> <p>Probenstücke</p> <p>Nachbehandlung</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●</li> <li>●</li> <li>●</li> <li>●</li> <li>●</li> <li>⊙</li> <li>●</li> </ul>	<table border="1" data-bbox="1055 193 2199 1037"> <thead> <tr> <th><u>Vergüten</u></th> <th><u>Nitrieren</u></th> <th><u>Einsatzhärten</u></th> <th><u>Flamm- oder Induktionshärten</u></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">Angabe von Typ und Hersteller der Ofenanlage</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Badnitrieren Gasnitrieren...</td> <td>Direkthärten Einfachhärten...</td> <td>Zahnlückenhärten Beidflankenhärten...</td> </tr> <tr> <td>Austenitisieren Abkühlen Anlassen</td> <td>Nitrieren Entspannen</td> <td>Aufkohlen Härten Abschrecken Anlassen</td> <td>Aufheizen Temperaturhalten Abschrecken Anlassen</td> </tr> <tr> <td>Gefüge</td> <td>Gefüge Diffusionsschicht Struktur der Übergangsphase Härteverlauf</td> <td>Gefüge Kohlungsverlauf Härteverlauf</td> <td>Gefüge Härteverlauf Härtekontur über der Zahnhöhe</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">Möglichst sämtliche Prüfräder in <u>einer</u> Ofenreise!</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Ggf. zusätzliche Probenstücke für „Brugger-Probe“, Kohlungsverlaufs- und Härteverlaufsmessung anfordern.</td> <td>Für Härteversuche zur Ermittlung der Einstelldaten der Härteeinrichtung.</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">Sämtliche Probenstücke aus <u>einer</u> Charge ( siehe Kennz. 2.1 )</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Strahlen (auch Reinigungsstrahlen), Beizen oder Bürsten nicht gestattet, wenn keine anschließende Hartfeinbearbeitung erfolgt, die die beeinflusste Randzone an der Zahnflanke wieder abträgt.</td> </tr> </tbody> </table>				<u>Vergüten</u>	<u>Nitrieren</u>	<u>Einsatzhärten</u>	<u>Flamm- oder Induktionshärten</u>	Angabe von Typ und Hersteller der Ofenanlage					Badnitrieren Gasnitrieren...	Direkthärten Einfachhärten...	Zahnlückenhärten Beidflankenhärten...	Austenitisieren Abkühlen Anlassen	Nitrieren Entspannen	Aufkohlen Härten Abschrecken Anlassen	Aufheizen Temperaturhalten Abschrecken Anlassen	Gefüge	Gefüge Diffusionsschicht Struktur der Übergangsphase Härteverlauf	Gefüge Kohlungsverlauf Härteverlauf	Gefüge Härteverlauf Härtekontur über der Zahnhöhe	Möglichst sämtliche Prüfräder in <u>einer</u> Ofenreise!				Ggf. zusätzliche Probenstücke für „Brugger-Probe“, Kohlungsverlaufs- und Härteverlaufsmessung anfordern.			Für Härteversuche zur Ermittlung der Einstelldaten der Härteeinrichtung.	Sämtliche Probenstücke aus <u>einer</u> Charge ( siehe Kennz. 2.1 )				Strahlen (auch Reinigungsstrahlen), Beizen oder Bürsten nicht gestattet, wenn keine anschließende Hartfeinbearbeitung erfolgt, die die beeinflusste Randzone an der Zahnflanke wieder abträgt.			
	Nr.	Vorgang	t °C	T bmin	Anlage	Medium																																																																									
a	Vorwärmen	750	50	Aichelin-KSGS - 1	Carbonateinst.: 0,9 % C																																																																										
	Aufheizen	900	100	"																																																																											
	Aufkohlen	930	300	"																																																																											
b	Rückkühlen	600	100	"	Folienwert: 0,88 % C																																																																										
	Schnellkühlen	150	50	"																																																																											
c	Härten	840		Degussa GS540/R2	Salzbad																																																																										
<u>Vergüten</u>	<u>Nitrieren</u>	<u>Einsatzhärten</u>	<u>Flamm- oder Induktionshärten</u>																																																																												
Angabe von Typ und Hersteller der Ofenanlage																																																																															
	Badnitrieren Gasnitrieren...	Direkthärten Einfachhärten...	Zahnlückenhärten Beidflankenhärten...																																																																												
Austenitisieren Abkühlen Anlassen	Nitrieren Entspannen	Aufkohlen Härten Abschrecken Anlassen	Aufheizen Temperaturhalten Abschrecken Anlassen																																																																												
Gefüge	Gefüge Diffusionsschicht Struktur der Übergangsphase Härteverlauf	Gefüge Kohlungsverlauf Härteverlauf	Gefüge Härteverlauf Härtekontur über der Zahnhöhe																																																																												
Möglichst sämtliche Prüfräder in <u>einer</u> Ofenreise!																																																																															
Ggf. zusätzliche Probenstücke für „Brugger-Probe“, Kohlungsverlaufs- und Härteverlaufsmessung anfordern.			Für Härteversuche zur Ermittlung der Einstelldaten der Härteeinrichtung.																																																																												
Sämtliche Probenstücke aus <u>einer</u> Charge ( siehe Kennz. 2.1 )																																																																															
Strahlen (auch Reinigungsstrahlen), Beizen oder Bürsten nicht gestattet, wenn keine anschließende Hartfeinbearbeitung erfolgt, die die beeinflusste Randzone an der Zahnflanke wieder abträgt.																																																																															



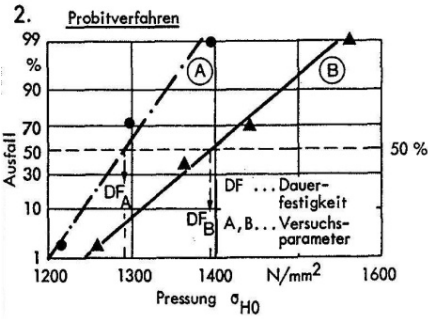
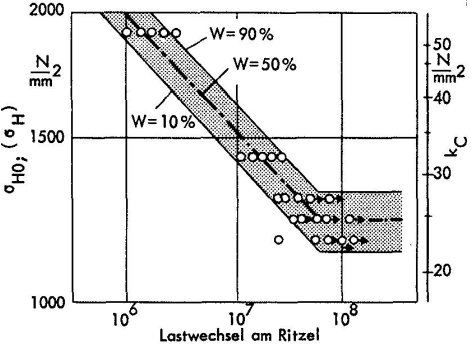
Kennz.	Versuchsabschnitt	Markante Parameter	Bed.	Vorgehensweise und Anmerkungen	
2.5	<p><b>Prüfkörperfertigung / Fertigverzahnung</b></p> 	<p>Maschine; Verfahren</p> <p>Maschineneinstelldaten</p> <p>Werkzeugdaten</p>	<p>●</p> <p>○</p> <p>●</p>	<p><u>Schaben</u></p> <p>Angabe von Typ und Hersteller der Werkzeugmaschine</p> <p>Schabraddrehzahl</p> <p>Tischvorschub</p> <p>Überdeckung</p> <p>Vorschubweg</p> <p>Schabradmodul</p> <p>- eingriffswinkel; - zähnezahl;</p> <p>- schrägungswinkel; - profilverschiebung</p> <p>- korrektur / balligkeit</p>	<p><u>Schleifen</u></p> <p>verfahrensabhängig, z.B.</p> <p>Doppelhubzahl ①</p> <p>Wälzgeschwindigkeit ②</p> <p>Zustellungen ③</p> <p>Anzahl der Umläufe</p> <p>Abrichtverfahren</p> <p>Kühlung</p> <p>DIN – Klassifizierungsschlüssel der Schleifscheibe</p>
2.6	<p><b>Qualitätskontrolle</b></p> 	<p>Teilung</p> <p>Evolvente</p> <p>Flankenlinie</p> <p>Rauheit</p> <p>Gesamtqualität</p>	<p>●</p> <p>●</p> <p>●</p> <p>●</p> <p>●</p>	<p>Teilungs-Gesamtabweichung <math>F_p</math> ⑤</p> <p>Teilungssprung <math>f_u</math> ④</p> <p>Profil-Gesamtabweichung <math>F_f</math> ①</p> <p>Profil-Formabweichung <math>f_f</math> ③</p> <p>Profil-Winkelabweichung <math>f_{H\alpha}</math> ②</p> <p>Flankenlinien-Gesamtabweichung <math>F_{\beta}</math> ①</p> <p>Flankenlinien-Formabweichung <math>f_{\beta f}</math> ③</p> <p>Flankenlinien-Winkelabweichung <math>f_{H\beta}</math> ②</p> <p>Rautiefe <math>R_t</math>; Gemittelte Rautiefe <math>R_z</math></p> <p>Bestimmung nach DIN 3962; Für Flankentragfähigkeitsversuch sollte Q (DIN) i.A. kleiner als 6 sein. (Ausnahme: Untersuchung des Einflusses von Zahnfehlern)</p>	

Kennz.	Versuchsabschnitt	Markante Parameter	Bed.	Vorgehensweise und Anmerkungen
<p><b>2.7</b></p>	<p><b>Prüfung des Werkstoffzustandes</b></p> 	<p>Härteverlauf ①,②                  Kohlenstoffverlauf ③                  Gefügeausbildung                  Eigenspannungsverlauf ④                  Restaustenitverlauf ⑤                  Halbwertsbreite                  Randoxidation                  Schleifbrand; -risse                  Oberfläche</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●</li> <li>●</li> <li>●</li> <li>⊙</li> <li>⊙</li> <li>⊙</li> <li>●</li> <li>●</li> <li>○</li> <li>●</li> </ul>	<p>Vor und nach dem Schleifen; ggf. stichprobenweise</p> <p>Bestimmung am Probestück (siehe Kennz. 2.1, 2.4)</p> <p>Aus Schliiffbild: Randgefüge, Grundgefüge, ggf. definierte Oberflächenschichten (z.B. Übergangsphase beim Nitrieren ); Schliifflage; Angabe des Ätzmediums, der Ätzdauer und der Vergrößerung.</p> <p>Werkstoffkennwerte aus röntgenografischen Messungen; Soweit Veränderungen dieser Kennwerte wie auch des Härteverlaufs durch die Prüfläufe auftreten oder zu erwarten sind und die Kenntnis dieser Veränderungen für die Interpretation der Versuchsergebnisse von übergeordneter Bedeutung ist, ist die Dokumentation ggf. vor, zwischen und nach den Prüfläufen zu wiederholen!</p> <p>Rissprüfung (Ätzung; Magnetpulverprüfung; Eindringverfahren)</p> <p>Elektronenmikroskopische Untersuchung der Oberflächenstruktur.</p> <p>Bestimmung des C -Gehalts an der Oberfläche des Bauteils.</p>
<p><b>2.8</b></p>	<p><b>Prüfstand / Prüfbedingungen</b></p> 	<p>Bauweise                  Funktionsweise                  Schmierungsbedingungen                  Kühlschmiermittelkreislauf                  Schmierstoff                  Wartung</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●</li> <li>●</li> <li>●</li> <li>●</li> <li>●</li> <li>●</li> </ul>	<p>Verspannungsprüfstand nach DIN 51354 Typ FZG (WZL) (Achsabstand <math>a_0 = 91,5; 112,5; 125; 140</math> oder <math>200</math> mm. Standardantrieb mit Asynchronmaschine <math>n = 3000 \text{ min}^{-1}</math></p> <p>Geschlossener Verspannungskreislauf; Drehmomentüberwachung mit Grenzabschaltung.</p> <p>Wahlweise reine Tauchschmierung mit definiertem Füllstand, modifizierte Tauchschmierung mit Ölumlauflauf oder Druckumlauflaufschmierung.</p> <p>Regeleinrichtungen für Ölgesamtmenge, Einspritzmenge, Ölstrom und Öltemperatur mit Grenzabschaltung; Filtereinrichtung; Mittlere Werte: Ölmenge <math>Q_m = 2,5 \text{ l/min}</math>; Öldruck <math>p_m = 1,5 \text{ bar}</math>; Öltemperatur <math>t_m = 50^\circ\text{C}</math> oder vorgegebene Temperatur.</p> <p>Soweit Schmierstoff nicht Versuchsparameter, Auswahl des Öls gemäß FVA – Forschungsheft Nr. 41 mit vorgeschlagenen Additiven, Oxidations-, und Korrosionsinhibitoren je nach Erfordernissen und Absprache mit dem Arbeitskreis (siehe Vorwort).</p> <p>Reinigung der Aggregate nach festzulegenden Zeitintervallen unter gleichbleibenden Bedingungen mit geeigneten Lösungsmitteln. Beobachtung der Veränderungen der chemischen und physikalischen Schmierstoffdaten durch Infrarotspectralanalyse. Bestimmung der Neutralisationszahl und Viskositätsmessungen. In Sonderfällen Messung des Wassergehalts und des Gehalts an festen Fremdstoffen.</p>

Kennz.	Versuchsabschnitt	Markante Parameter	Bed.	Vorgehensweise und Anmerkungen
2.9	<p><b>Versuchsbeginn</b></p> 	<p>Rundlauf- u. Taumelprüfung</p> <p>Tragbildprüfung (Klebebandabzug; Fotografie)</p> <p>Dynamikprüfung (Oszillogramme von Zahn­dehnungs­mes­sun­gen)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊙</li> <li>●</li> <li>●</li> </ul>	<p>Rundlaufmessung (<math>\mu\text{m}</math>-Uhr) an radialem und axialem Prüfbund der Prüfräder.</p> <p>Kontakt- und Lastprüfung mit geeigneten Prüfpasten und Prüflacken; Angabe der Belastung; Berücksichtigung von Taumelfehlern; (Siehe hierzu Berichte zum FVA-Vorhaben Nr. 40 / 1 / sowie / 9 /)</p> <p>Bis zum Erreichen von <math>0,85 \times</math> Versuchs­dreh­zahl darf keine wesentliche Resonanzstelle des Prüfstandes festgestellt werden. Die beim Prüflauf dennoch auftretenden unvermeidlichen dynamischen Zusatzkräfte sollten für die Prüfverzahnungen, Prüflasten und Drehzahlen gemessen werden. Andernfalls ist anzugeben, ob und nach welchem Verfahren sie berechnet wurden.</p>
2.10	<p><b>Versuchsdurchführung</b></p> 	<p>Verschleißentwicklung</p> <p>Schadenskriterium</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●</li> <li>●</li> </ul>	<p>Ausmessen der in Form von Grübchen (Pittings) ausgebrochenen Flankenfläche nach best. Laufzeitintervallen entsprechend dem erwarteten oder festgestellten Schadensfortschritt. Ermittlung der relativen Grübchenflächen <math>V_{EZ}</math> und <math>V_{Ges}</math> an Ritzel (1) und Rad (2) und Auftragung über der Lastspielzahl. (EZ ... Einzelzahn; <math>A_G</math> ... Gesamtfläche der Grübchen in <math>\text{mm}^2</math>; <math>A_A</math> ... Gesamte aktive Flankenfläche in <math>\text{mm}^2</math>)</p> $V = A_G / A_A \cdot 100 (\%)$ <p>Bei <u>vergüteten Rädern</u> treten Grübchen meist an allen Zähnen gleichmäßig auf. Hier: Schadensgrenze: <math>V_{Ges} = V_{1,Ges} + V_{2,Ges} = 2\%</math> Grenzlastspielzahl: i.A. <math>N_{Grenz} = 5 \times 10^7</math> Lastwechsel am Ritzel</p> <p>Bei <u>nitrierten und einsatzgehärteten Rädern</u> und generell beim Vorliegen großer Eingriffsteilungsfehler treten Grübchen nur an wenigen Zähnen auf. Hier: Schadensgrenze: <math>V_{EZ} = 4\%</math> oder <math>V_{Ges} = V_{1,Ges} + V_{2,Ges} = 1\%</math> Grenzlastspielzahl: i.A. <math>N_{Grenz} = 1 \times 10^8</math> Lastwechsel am Ritzel</p> <p>Ein Prüfradpaar wird als dauerhaft gewertet, wenn die festgelegte Grenzlastspielzahl ohne Überschreiten der zugehörigen Schadensgrenze erreicht wird <u>und</u> die Grübchenbildung hierbei <u>nicht progressiv</u> ist!</p>

Kennz.	Versuchsabschnitt	Markante Parameter	Bed.	Vorgehensweise und Anmerkungen
2.10	<p><b>Versuchsdurchführung</b></p> <p>( Beispiel: <u>Maximal</u> - Belegung )</p>  <p>Das Diagramm zeigt ein Koordinatensystem mit der Y-Achse 'Belastung <math>\sigma</math>' (Ebenen I bis V) und der X-Achse 'Lastwechsel N' (Logarithmische Skala von <math>10^6</math> bis <math>10^8</math>). Eine diagonale Linie, die als 'Wöhlerlinie (siehe 11)' bezeichnet wird, verbindet die 'Versuchspunkte'. Ein 'Prüf-Horizont' ist durch gestrichelte Linien an den Ebenen I bis IV dargestellt. Ein 'Dauerfestigkeitspunkt' ist durch einen Pfeil nach rechts an der Ebene I markiert. Ein vertikaler Pfeil nach unten zeigt den Bereich <math>\Delta\sigma</math> an.</p>	<p><u>Fortsetzung:</u></p> <p>Schadenskriterium</p> <p>Versuchsstrategie</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●</li> <li>●</li> </ul>	<p>Treten in einem Prüflauf nicht die typischen Grübchenbildungen, sondern andere Veränderungen der Zahnflanken auf (Auskolkungen, Ablätterungen, Fresser), so sind diese Erscheinungen zu dokumentieren (siehe Kennz. 2.7) und gesondert in der Auswertung zu behandeln!</p> <p>Je nach Versuchsgegenstand und Vereinbarung mit dem Arbeitskreis (siehe Vorwort) wird die Belegung einer Wöhlerlinie mit Versuchspunkten nach folgender Klassierung durchgeführt:</p> <p>A. <u>Maximal – Belegung:</u> Fünf Lasthorizonte I-V (davon zwei im Gebiet der Zeitfestigkeit) mit jeweils mindestens 5 Versuchspunkten. Abstand zwischen Horizont IV und V so groß wie möglich. Niveau III Übergangsbereich zur Dauerfestigkeit mit 5 Punkten abdecken. Auf Niveau I und II sollten mindestens jeweils 3 Dauerfestigkeitspunkte ermittelt werden. Mit größerem Versuchsaufwand ist eine Abdeckung der Dauerfestigkeit nach dem Treppenstufenverfahren möglich / 6 /. Dazu Breite der Belastungsklassen gleich groß wählen! Je nachdem, ob Schädigung oder Dauerfestigkeit erreicht wird, Erniedrigung bzw. Erhöhung der Belastung um eine Stufe etc.. Gesamtzahl der Versuchspunkte ca. 20-25.</p> <p>B. <u>Standard - Belegung:</u> Gesamtzahl der Versuchspunkte ca. 12-16.</p> <p>C. <u>Minimal - Belegung:</u> Gesamtzahl der Versuchspunkte ca. 7 -10.</p> <p>Bei B und C sollte eine dem Versuchszweck angepasste Anzahl von Versuchspunkten den Bereich der Dauerfestigkeit abdecken.</p>



Kennz.	Versuchsabschnitt	Markante Parameter	Bed.	Vorgehensweise und Anmerkungen																									
<p><b>2.11</b></p>	<p><b>Versuchsauswertung</b></p> <p>2. <u>Probitverfahren</u></p>  <table border="1" data-bbox="197 606 526 758"> <thead> <tr> <th>i</th> <th><math>\sigma_{H0} \left[ \frac{N}{mm^2} \right]</math></th> <th><math>f_i</math></th> <th><math>i \cdot f_i</math></th> <th><math>i^2 \cdot f_i</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>1300</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1350</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>1400</td> <td>4</td> <td>8</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>1450</td> <td>2</td> <td>6</td> <td>18</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right; margin-right: 10px;"><u>Treppen-</u> <u>stufen-</u> <u>verfahren</u></p> <p>Darstellung der Ergebnisse</p> 	i	$\sigma_{H0} \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$	$f_i$	$i \cdot f_i$	$i^2 \cdot f_i$	0	1300	1	0	0	1	1350	1	1	1	2	1400	4	8	16	3	1450	2	6	18	<p><u>Fortsetzung:</u></p> <p>Statistische Bewertung</p>		<p>● <u>2. Dauerfestigkeit:</u> Bei geringer Gesamtprobenzahl ( <math>n &lt; 10</math>): "<u>modifiziertes Probitverfahren</u>" geeignet /3, 4, 5, 12/. Auftragung der prozentualen Schadenshäufigkeiten für die Lasthorizonte in das Gauß-Netz (Ordinate) über den zugehörigen Spannungen (Abszisse)          Schadenshäufigkeit = (Ausgefallene Proben) / ( Gesamtproben ) x 100%          Bei größerer Gesamtprobenzahl <math>n &gt; 10</math> auch "Treppenstufenverfahren" möglich /6/. Voraussetzung:  <u>a.</u> Belastungsklassen gleicher Breite, d.h. <math>\Delta\sigma = \text{konst.}</math>; <u>b.</u> Sukzessive Erhöhung bzw. Erniedrigung der Belastung um eine Stufe je nach Schädigung ( siehe Ziffer 2.10 ).</p> <p>Mittelwert: <math>\sigma_M = \sigma_{(i=0)} + \sigma_{(A/F(+)/(-)0,5)}</math>          Streubreite: <math>S = \pm 1,62 \cdot \Delta\sigma \left( \frac{F \cdot B - A^2}{F^2 + 0,029} \right)</math>          ( nach Standardabweichung für <math>W = 14\%</math> und <math>W = 86\%</math> )  <math>i</math> ... Nr. der Belastungsklasse: <math>f</math> ... Merkmalshäufigkeit:</p> <p>Merkmals: <math>\left\{ \begin{array}{l} + \text{ dauerfest} \\ - \text{ Ausfall} \end{array} \right.</math></p> <p><math>F = \sum f_i</math>; <math>A = \sum i \cdot f_i</math>; <math>B = \sum i^2 \cdot f_i</math></p> <p>● 1. Zusammenstellung der errechneten Pressungen <math>\sigma_{H0,50\%}</math> und ggf. <math>k_{C, 50\%}</math> der Lastvergrößerungsfaktoren (Beiwerte) sowie der ermittelten Belastungswerte <math>\sigma_{H0,10\%}</math> (<math>k_{C, 10\%}</math>) und der Dauerfestigkeitskennwerte <math>\sigma_{Hlim}</math> (<math>k_0</math>) in Abhängigkeit der Hauptversuchsparameter zweckmäßigerweise in Form einer Tabelle.</p> <p>2. Wöhlerdiagramm: Auftragung der Hertzischen Pressung <math>\sigma_{H0}</math> bzw. <math>\sigma_H</math> und ggf. der Stribeck Pressung <math>k_C</math> (Ordinate) über der Lastwechselzahl am Ritzel (Abszisse). Einzeichnen der Versuchspunkte sowie der Wöhlerkurve für eine Ausfallwahrscheinlichkeit von 50%.          In Ausnahmefällen, z.B. bei statistisch hoch belegten Referenzwöhlerlinien, kann der Streubereich durch Einzeichnen der Wöhlerlinien für <math>W = 10\%</math> und <math>W = 90\%</math> kenntlich gemacht werden.</p> <p>Bei der Auftragung mehrerer Wöhlerlinien in einem Diagramm kann aus Gründen der Übersichtlichkeit auf das Einzeichnen der Versuchspunkte verzichtet werden.</p>
i	$\sigma_{H0} \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$	$f_i$	$i \cdot f_i$	$i^2 \cdot f_i$																									
0	1300	1	0	0																									
1	1350	1	1	1																									
2	1400	4	8	16																									
3	1450	2	6	18																									

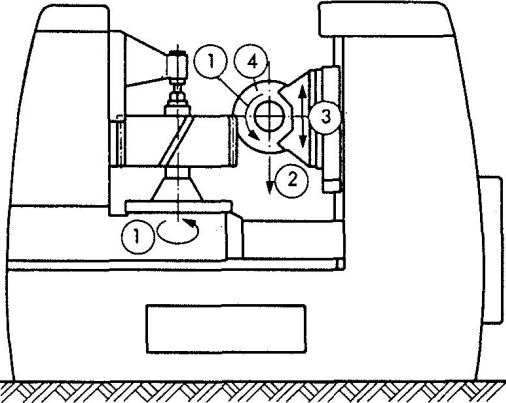
Kennz.	Versuchsabschnitt	Markante Parameter	Bed.	Vorgehensweise und Anmerkungen
<b>2.12</b>	<b>Weitere Vereinbarungen</b>			

## **II. Teil:**

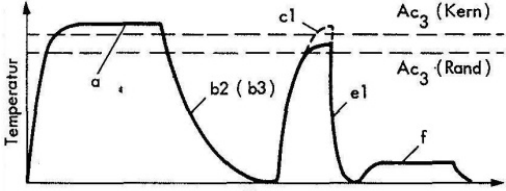
# **Empfehlungen zur Vereinheitlichung von Zahn- fußtragfähigkeitsversuchen an vergüteten und gehärteten Zylinderrädern**





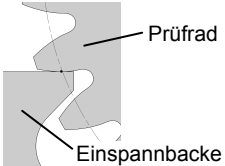
Kennz.	Versuchsabschnitt	Markante Parameter	Bed.	Vorgehensweise und Anmerkungen																								
3.2	<p><b>Prüfkörperauslegung</b></p>	<p><i>Nur für Pulsatorversuche gültig (geändert zu Teil I):</i></p> <p>Zähnezahl</p> <p>Zahnbreite</p> <p>Schrägung</p> <p>Kerbform der Fußrundung</p> <p>Radbohrung</p> <p>Prüfradgeometrie (allgemein)</p> <p>Wärmebehandlung (allgemein)</p>	<p>○</p> <p>○</p> <p>○</p> <p>○</p> <p>○</p> <p>●</p> <p>●</p>	<p>Zähnezahl <math>z = 15 \div 30</math></p> <p>Zahnbreite <math>b = 3 \div 6 \cdot m_n</math></p> <p>Geradverzahnung</p> <p><math>Y_s \approx 2,0</math> oder tragfähigkeitsoptimiert</p> <p>Geeignete Bohrungsgröße ohne Einfluss auf Zahnspannungen wählen (Nachweis mit Messung bzw. Rechnung).</p> <p>Grunddaten der Verzahnung nach Absprache mit dem Arbeitskreis dimensionieren (Angaben zu Standrad-Referenz-Prüfrad. siehe auch DIN 3990, ISO 6336, jeweils Teil 5)</p> <p>Auslegung in Anlehnung an /7/</p>																								
3.3	<p><b>Prüfkörperfertigung / Vorverzahnung</b></p> 	<p><i>wie Teil I:</i></p> <p>Maschine; Verfahren</p> <p>Maschineneinstell-daten</p> <p>Werkzeugdaten</p> <p>Schleifaufmaß</p>	<p>○</p> <p>○</p> <p>○</p>	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center; width: 50%;"><u>Fräsen</u></td> <td style="width: 10%; text-align: center;"> </td> <td style="text-align: center; width: 40%;"><u>Stoßen</u></td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">Angabe von Typ und Hersteller der Werkzeugmaschine</td> </tr> <tr> <td>Wälzgeschwindigkeit</td> <td style="text-align: center;">①</td> <td>Schnittgeschwindigkeit</td> </tr> <tr> <td>Axialvorschub</td> <td style="text-align: center;">②</td> <td>Doppelhubzahl</td> </tr> <tr> <td>Fräsrichtung: Gleichlauf / Gegenlauf</td> <td style="text-align: center;">③</td> <td>Hublänge Anzahl der Schnitte</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Radialvorschub</td> </tr> <tr> <td>Fräsermodul, - gangzahl, - stollenzahl, - protuberanz, - korrektur</td> <td style="text-align: center;">④</td> <td>Wälzvorschub Schneidradtyp Schneidradgeometrie</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Für Prüfkörpergeometrie: Aufmaß = 0,2 - 0,3 mm</td> </tr> </table>	<u>Fräsen</u>		<u>Stoßen</u>	Angabe von Typ und Hersteller der Werkzeugmaschine			Wälzgeschwindigkeit	①	Schnittgeschwindigkeit	Axialvorschub	②	Doppelhubzahl	Fräsrichtung: Gleichlauf / Gegenlauf	③	Hublänge Anzahl der Schnitte			Radialvorschub	Fräsermodul, - gangzahl, - stollenzahl, - protuberanz, - korrektur	④	Wälzvorschub Schneidradtyp Schneidradgeometrie	Für Prüfkörpergeometrie: Aufmaß = 0,2 - 0,3 mm		
<u>Fräsen</u>		<u>Stoßen</u>																										
Angabe von Typ und Hersteller der Werkzeugmaschine																												
Wälzgeschwindigkeit	①	Schnittgeschwindigkeit																										
Axialvorschub	②	Doppelhubzahl																										
Fräsrichtung: Gleichlauf / Gegenlauf	③	Hublänge Anzahl der Schnitte																										
		Radialvorschub																										
Fräsermodul, - gangzahl, - stollenzahl, - protuberanz, - korrektur	④	Wälzvorschub Schneidradtyp Schneidradgeometrie																										
Für Prüfkörpergeometrie: Aufmaß = 0,2 - 0,3 mm																												

3.4

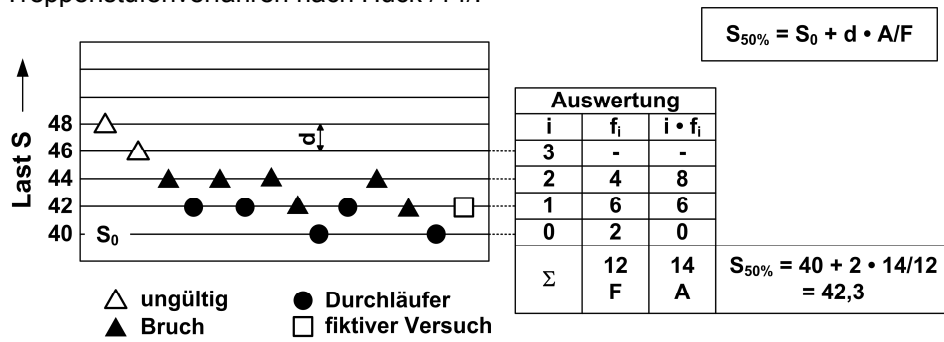
Kennz.	Versuchsabschnitt	Markante Parameter	Bed.	Vorgehensweise und Anmerkungen																																																																											
	<p><b>Wärmebehandlung</b></p> <table border="1" data-bbox="168 263 638 614"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Vorgang</th> <th>t °C</th> <th>T bmin</th> <th>Anlage</th> <th>Medium</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">a</td> <td>Vorwärmen</td> <td>750</td> <td>50</td> <td>Aichelin-KSGS - 1</td> <td rowspan="3">Carbonateinst.: 0,9 % C</td> </tr> <tr> <td>Aufheizen</td> <td>900</td> <td>100</td> <td>"</td> </tr> <tr> <td>Aufkohlen</td> <td>930</td> <td>300</td> <td>"</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">b</td> <td>Rückkühlen</td> <td>600</td> <td>100</td> <td>"</td> <td rowspan="2">Folienwert: 0,88 % C</td> </tr> <tr> <td>Schnellkühlen</td> <td>150</td> <td>50</td> <td>"</td> </tr> <tr> <td>c</td> <td>Härten</td> <td>840</td> <td></td> <td>Degussa GS540/R2</td> <td>Salzbad</td> </tr> </tbody> </table>  <p>z. B. Einfachhärten nach Abkühlen aus dem Einsatz</p>	Nr.	Vorgang	t °C	T bmin	Anlage	Medium	a	Vorwärmen	750	50	Aichelin-KSGS - 1	Carbonateinst.: 0,9 % C	Aufheizen	900	100	"	Aufkohlen	930	300	"	b	Rückkühlen	600	100	"	Folienwert: 0,88 % C	Schnellkühlen	150	50	"	c	Härten	840		Degussa GS540/R2	Salzbad	<p><u>wie Teil I:</u></p> <p>Ofenanlage bzw. Härteeinrichtung</p> <p>Verfahren</p> <p>Medien, Temperaturen, Potentiale und Zeiten beim:</p> <p>Wärmebehandlungsergebnis</p> <p>Losgröße</p> <p>Probenstücke</p> <p>Nachbehandlung <u>ergänzend zu Teil I:</u></p> <p>Nachbehandlung beim Einsatzhärten</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●</li> <li>●</li> <li>●</li> <li>●</li> <li>●</li> <li>⊙</li> <li>●</li> <li>⊙</li> </ul>	<table border="1" data-bbox="1086 167 2195 901"> <thead> <tr> <th data-bbox="1086 167 1310 239"><u>Vergüten</u></th> <th data-bbox="1310 167 1624 239"><u>Nitrieren</u></th> <th data-bbox="1624 167 1825 239"><u>Einsatzhärten</u></th> <th data-bbox="1825 167 2195 239"><u>Flamm- oder Induktionshärten</u></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="4" data-bbox="1086 247 2195 303">Angabe von Typ und Hersteller der Ofenanlage</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1086 311 1310 422">Austenitisieren Abkühlen Anlassen</td> <td data-bbox="1310 311 1624 422">Badnitrieren Gasnitrieren...</td> <td data-bbox="1624 311 1825 422">Direkthärten Einfachhärten...</td> <td data-bbox="1825 311 2195 422">Zahnlückenhärten Beidflankenhärten...</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1086 430 1310 542">Gefüge</td> <td data-bbox="1310 430 1624 542">Nitrieren Entspannen</td> <td data-bbox="1624 430 1825 542">Aufkohlen Härten Abschrecken Anlassen</td> <td data-bbox="1825 430 2195 542">Aufheizen Temperaturhalten Abschrecken Anlassen</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1086 550 1310 710">Möglichst sämtliche Prüfräder in eine Ofenreise!</td> <td data-bbox="1310 550 1624 710">Gefüge; Diffusionsschicht; Struktur der Übergangsphase Härteverlauf</td> <td data-bbox="1624 550 1825 710">Gefüge Kohlungsverlauf Härteverlauf</td> <td data-bbox="1825 550 2195 710">Gefüge Härteverlauf Härtekontur über der Zahnhöhe</td> </tr> <tr> <td colspan="4" data-bbox="1086 718 2195 774">Für Härteversuche zur Ermittlung der Einstelldaten der Härteeinrichtung .</td> </tr> <tr> <td colspan="4" data-bbox="1086 782 2195 837">Sämtliche Probenstücke aus <u>einer</u> Charge ( siehe Kennz. 3.1)</td> </tr> <tr> <td colspan="4" data-bbox="1086 845 2195 901">Strahlen ( auch Reinigungsstrahlen ), Beizen oder Bürsten nicht gestattet.</td> </tr> <tr> <td colspan="4" data-bbox="1086 909 2195 1452">                     Wärmebehandlung mit Reinigungsstrahlen zum Vergleich mit Festigkeitsangaben nach DIN/ISO, Qualität MQ:                      Dokumentation der Strahlbedingungen, evtl. mit Prüfkörper nach FVA-Vorhaben 213/II, und des Eigenspannungszustandes.                      Bei werkstoffkundlichen Grundlagenuntersuchungen oder Sonderwärmebehandlungen ist eine Strahlbehandlung geeignet festzulegen.                 </td> </tr> </tbody> </table>				<u>Vergüten</u>	<u>Nitrieren</u>	<u>Einsatzhärten</u>	<u>Flamm- oder Induktionshärten</u>	Angabe von Typ und Hersteller der Ofenanlage				Austenitisieren Abkühlen Anlassen	Badnitrieren Gasnitrieren...	Direkthärten Einfachhärten...	Zahnlückenhärten Beidflankenhärten...	Gefüge	Nitrieren Entspannen	Aufkohlen Härten Abschrecken Anlassen	Aufheizen Temperaturhalten Abschrecken Anlassen	Möglichst sämtliche Prüfräder in eine Ofenreise!	Gefüge; Diffusionsschicht; Struktur der Übergangsphase Härteverlauf	Gefüge Kohlungsverlauf Härteverlauf	Gefüge Härteverlauf Härtekontur über der Zahnhöhe	Für Härteversuche zur Ermittlung der Einstelldaten der Härteeinrichtung .				Sämtliche Probenstücke aus <u>einer</u> Charge ( siehe Kennz. 3.1)				Strahlen ( auch Reinigungsstrahlen ), Beizen oder Bürsten nicht gestattet.				Wärmebehandlung mit Reinigungsstrahlen zum Vergleich mit Festigkeitsangaben nach DIN/ISO, Qualität MQ: Dokumentation der Strahlbedingungen, evtl. mit Prüfkörper nach FVA-Vorhaben 213/II, und des Eigenspannungszustandes. Bei werkstoffkundlichen Grundlagenuntersuchungen oder Sonderwärmebehandlungen ist eine Strahlbehandlung geeignet festzulegen.			
Nr.	Vorgang	t °C	T bmin	Anlage	Medium																																																																										
a	Vorwärmen	750	50	Aichelin-KSGS - 1	Carbonateinst.: 0,9 % C																																																																										
	Aufheizen	900	100	"																																																																											
	Aufkohlen	930	300	"																																																																											
b	Rückkühlen	600	100	"	Folienwert: 0,88 % C																																																																										
	Schnellkühlen	150	50	"																																																																											
c	Härten	840		Degussa GS540/R2	Salzbad																																																																										
<u>Vergüten</u>	<u>Nitrieren</u>	<u>Einsatzhärten</u>	<u>Flamm- oder Induktionshärten</u>																																																																												
Angabe von Typ und Hersteller der Ofenanlage																																																																															
Austenitisieren Abkühlen Anlassen	Badnitrieren Gasnitrieren...	Direkthärten Einfachhärten...	Zahnlückenhärten Beidflankenhärten...																																																																												
Gefüge	Nitrieren Entspannen	Aufkohlen Härten Abschrecken Anlassen	Aufheizen Temperaturhalten Abschrecken Anlassen																																																																												
Möglichst sämtliche Prüfräder in eine Ofenreise!	Gefüge; Diffusionsschicht; Struktur der Übergangsphase Härteverlauf	Gefüge Kohlungsverlauf Härteverlauf	Gefüge Härteverlauf Härtekontur über der Zahnhöhe																																																																												
Für Härteversuche zur Ermittlung der Einstelldaten der Härteeinrichtung .																																																																															
Sämtliche Probenstücke aus <u>einer</u> Charge ( siehe Kennz. 3.1)																																																																															
Strahlen ( auch Reinigungsstrahlen ), Beizen oder Bürsten nicht gestattet.																																																																															
Wärmebehandlung mit Reinigungsstrahlen zum Vergleich mit Festigkeitsangaben nach DIN/ISO, Qualität MQ: Dokumentation der Strahlbedingungen, evtl. mit Prüfkörper nach FVA-Vorhaben 213/II, und des Eigenspannungszustandes. Bei werkstoffkundlichen Grundlagenuntersuchungen oder Sonderwärmebehandlungen ist eine Strahlbehandlung geeignet festzulegen.																																																																															

Kennz.	Versuchsabschnitt	Markante Parameter	Bed.	Vorgehensweise und Anmerkungen
3.5	<b>Prüfkörperfertigung / Fertigverzahnung</b>	<i>Nur für Pulsator- versuche gültig (geändert zu Teil I):</i>	☉	Standardprüfräder zum Pulsatorversuch: Fräsen oder Stoßen ohne Schleifbearbeitung der Flanken
			☉	Prüfräder zum Pulsatorversuch mit geschliffenen Flanken: Keine Schleifkerbe im Zahnfuß
			●	Prüfräder zum Pulsatorversuch mit geschliffener Fußrundung: Fertigungsparameter dokumentieren. Schleifbrand und Schleifkerben ausschließen.
3.6	<b>Qualitätskontrolle</b>	<i>wie Teil I:</i>		
		Teilung	●	Teilungs-Gesamtabweichung $F_p$ ⑤ Teilungssprung $f_u$ ④
		Evolvente	●	Profil-Gesamtabweichung $F_f$ ① Profil-Formabweichung $f_f$ ③ Profil-Winkelabweichung $f_{H\alpha}$ ②
		Evolvente	●	Profil-Gesamtabweichung $F_f$ ① Profil-Formabweichung $f_f$ ③ Profil-Winkelabweichung $f_{H\alpha}$ ②
		Rauheit	●	Rauhtiefe $R_t$ ; Gemittelte Rauhtiefe $R_z$
	Gesamtqualität	●	Bestimmung nach DIN 3962; Für Flankentragfähigkeitsversuch sollte Q (DIN) i.A. kleiner als 6 sein. (Ausnahme: Untersuchung des Einflusses von Zahnfehlern)	
		<i>ergänzend zu Teil I:</i>		
	Geometrie der Verzahnung incl. Fuß- rundung	●	Kontrolle des Schattenrisses oder der Messprotokolle im Vergleich zum Geometrieplot des FVA-Berechnungsmoduls FVA 241 (STplus)	
	Rauheitsmessung	●	Bestimmung der Rauheit in der Fußrundung (z.B. an abgebrochenem Zahn) evtl. 3-D-Messung der Oberflächentopographie	

Kennz.	Versuchsabschnitt	Markante Parameter	Bed.	Vorgehensweise und Anmerkungen
3.7	<b>Prüfung des Werkstoffzustandes</b>	<p><i>wie Teil I:</i></p> <p>Kohlenstoffverlauf ③</p> <p>Gefügeausbildung</p> <p>Eigenspannungsverlauf ④</p> <p>Restaustenitverlauf ⑤</p> <p>Halbwertsbreite</p> <p>Randoxidation</p> <p>Schleifbrand; Schleifrisse</p> <p>Oberfläche</p> <p><i>geändert zu Teil I:</i></p> <p>Härteverlauf ①,②</p> <p><i>ergänzend zu Teil I:</i></p>	<p>●</p> <p>●</p> <p>○</p> <p>○</p> <p>○</p> <p>●</p> <p>●</p> <p>○</p> <p>●</p> <p>○</p> <p>○</p>	<p>Bestimmung am Probestück (siehe Kennz. 3.1, 3.4)</p> <p>Aus Schliffbild: Randgefüge, Grundgefüge, ggf. definierte Oberflächenschichten (z.B. Übergangsphase beim Nitrieren ); Schlifflage; Angabe des Ätzmediums, der Ätzdauer und der Vergrößerung.</p> <p>Werkstoffkennwerte aus röntgenografischen Messungen; Soweit Veränderungen dieser Kennwerte wie auch des Härteverlaufs durch die Prüfläufe auftreten oder zu erwarten sind und die Kenntnis dieser Veränderungen für die Interpretation der Versuchsergebnisse von übergeordneter Bedeutung ist, ist die Dokumentation ggf. vor, zwischen und nach den Prüfläufen zu wiederholen!</p> <p>Rissprüfung (Ätzung: Magnetpulverprüfung; Eindringverfahren)</p> <p>Elektronen mikroskopische Untersuchung der Oberflächenstruktur.</p> <p>Bestimmung des C -Gehalts an der Oberfläche des Bauteils.</p> <p>Messung des Härteverlaufes und Bestimmung der Härtetiefe in der Fußrundung (z.B. an abgebrochenem Zahn) normal zur 30°-Tangente</p> <p>Untersuchungen nach Möglichkeit im Bereich der Zahnfußrundung durchführen</p>

Kennz.	Versuchsabschnitt	Markante Parameter	Bed.	Vorgehensweise und Anmerkungen
<b>3.8</b>	<b>Prüfstand / Prüfbedingungen</b>	<p><i>Nur für Pulsatorver- suche gültig: (geändert zu Teil I):</i></p> <p>Bauweise</p> <p>Einspannung</p> <p>Belastung</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●</li> <li>●</li> <li>●</li> <li>●</li> <li>●</li> <li>●</li> <li>⊙</li> <li>●</li> </ul>	<p>Pulsator zur Bauteilprüfung Belastung der Zahnpaare durch die Pulsatorkraft über Gegenstücke (Einspannbacken)</p> <p>Bestimmung der Einspannzähnezahl, so dass Kraftangriffspunkt in der Nähe des äußeren Einzeleingriffspunktes üblicher Laufverzahnungen liegt. Üblicherweise symmetrische Einspannung.</p> <p>Einspannbacken sind im Bereich der Zahnauflage eben (evtl. geschliffen) Gesamtform zahnähnlich.</p> <div style="text-align: right;">  <p>Prüfrad Einspannbacke</p> </div> <p>Berücksichtigung der lastabhängigen Veränderung des Hebelarmes in Sonderfällen bei umfassendem Nachweis (Messung / Rechnung) möglich.</p> <p>Für die Ermittlung von Standardfestigkeitswerten sollen Nachbarzähne bereits belasteter Zähne nicht geprüft werden. Bei abweichendem Vorgehen sind diese Ergebnisse zu kennzeichnen.</p> <p>Sicherstellung gleichmäßiger Krafteinleitung über die Verzahnungsbreite, Ausgleich der Flankenlinienfehler durch Einstellung der Einspannbacken.</p> <p>⊙ Kraftverlauf sinusförmig Die Betriebskraft <math>F_{Pn}</math> ist die Differenz zwischen Pulsator-Oberlast und Unterlast. Prüffrequenz &gt; 10 Hz Unterlast kleiner als ca. <math>3 \div 7,5</math> % der Maximalkraft. Dokumentation der Unterlast. Bei Lastkollektivversuchen: Versuchsart (Zufallsfolgeversuch, Blockprogrammversuch, ...); Versuchsparameter (Teilfolgenlänge, ...)</p> <p>● Kontrolle der Messkette Kraftmessdose-Messverstärker-Anzeigegerät, Dokumentation der Abweichung des Soll-Ist-Signals</p>

Kennz.	Versuchsabschnitt	Markante Parameter	Bed.	Vorgehensweise und Anmerkungen
3.9	<b>Versuchsbeginn</b>	<p><i>Nur für Pulsatorversuche gültig (geändert zu Teil I):</i></p> <p>Einspannung</p> <p>Kraftverlauf</p>	<p>●</p> <p>⊙</p>	<p>Kontrolle der geometrischen Bedingungen, Breitenragen</p> <p>Kontrolle des Kraftverlaufes (z. B. mit Oszilloskop)</p>
3.10	<b>Versuchsdurchführung</b>	<p><i>Nur für Pulsatorversuche gültig (geändert zu Teil I):</i></p> <p>Schadenskriterium</p> <p>Versuchsstrategie</p> <p>Bestimmung der mittleren Lebensdauer je Lastniveau im Zeitfestigkeitsgebiet</p>	<p>●</p> <p>●</p> <p>⊙</p>	<p>Zahnbruch im Bereich der Fußrundung (Tangentenwinkel 30°). Brüche an wesentlich anderen Stellen der Fußrundung sind zu dokumentieren und ggf. besonders auszuwerten. Andere Schäden sind zu dokumentieren und zu interpretieren.</p> <p>Möglichst 6 Lasthorizonte, davon 2 im Zeitfestigkeitsgebiet, gleichgroße Breite der Belastungsklassen zur Ermittlung der Dauerfestigkeit</p> <p><b>Maximal-Belegung:</b> Gesamtzahl der Versuchspunkte: 28 ... 38, davon 20 im Dauerfestigkeitsgebiet. Evtl. größere Anzahl Lasthorizonte</p> <p><b>Standard-Belegung:</b> Gesamtzahl der Versuchspunkte: 20 ... 24, davon 12 im Dauerfestigkeitsgebiet</p> <p>Eine erhöhte Belegungsdichte ermöglicht eine zuverlässigere Aussage der Versuchsergebnisse.</p> <p>Rechnerische Abschätzung der 50%-Lebensdauer <math>N_{50\%}</math> aus Lebensdauer der <math>n</math> Einzelversuche:</p> $\lg N_{50\%,n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\lg N_i)$

Kennz.	Versuchsabschnitt	Markante Parameter	Bed.	Vorgehensweise und Anmerkungen																					
3.10	<p><b>Versuchsdurchführung</b></p>	<p><u>Fortsetzung:</u> Bestimmung der mittleren Dauerfestigkeit</p> <p>Grenzlastspielzahl</p>	<p>○</p> <p>●</p>	<p>Treppenstufenverfahren nach Hück /14/:</p>  <p><b>Auswertung</b></p> <table border="1" data-bbox="1601 335 1803 558"> <thead> <tr> <th>i</th> <th>f<sub>i</sub></th> <th>i · f<sub>i</sub></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>4</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>6</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>2</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Σ</td> <td>12</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td></td> <td>F</td> <td>A</td> </tr> </tbody> </table> <p><math>S_{50\%} = S_0 + d \cdot A/F</math></p> <p><math>S_{50\%} = 40 + 2 \cdot 14/12 = 42,3</math></p> <p>Beispiel: Versuchsabfolge im Treppenstufenverfahren wie abgebildet, Hinzufügen des "fiktiven" Versuches, Bestimmung der Versuchszahl f<sub>i</sub> auf Laststufe i; Bilden der Summen F und A. Mit Stufensprung d → S<sub>50%</sub> (im Beispiel S<sub>0</sub> = 40, d = 2) Berechnung der Standardabweichung bei ausreichender Belegung usw. nach Hück /14/, FVA 304 /16/ beachten!</p>	i	f <sub>i</sub>	i · f <sub>i</sub>	3	-	-	2	4	8	1	6	6	0	2	0	Σ	12	14		F	A
i	f <sub>i</sub>	i · f <sub>i</sub>																							
3	-	-																							
2	4	8																							
1	6	6																							
0	2	0																							
Σ	12	14																							
	F	A																							
3.11	<p><b>Versuchsauswertung</b></p>	<p><u>Nur für Pulsatorversuche gültig (geändert zu Teil I):</u> Berechnungsverfahren</p>	<p>●</p> <p>●</p> <p>●</p>	<p>Berechnung der Zahnfuß-Nennspannung <math>\sigma_{F0}</math> für den vorliegenden Kraftangriff nach DIN 3990 /18/ bzw. ISO 6336 /19/ <math>\sigma_{F0\infty}</math> für 50% Ausfallwahrscheinlichkeit nach Kennz. 3.10.</p> $\sigma_{F0} = \frac{F_{Pn} \cdot \cos \alpha_n \cdot Y_F \cdot Y_S \cdot Y_\beta}{b \cdot m_n}$ <p>K-Faktoren meist gleich 1 bei Pulsatorversuchen. (Die Zahnfußnennspannung nach DIN 3990 / ISO 6336 aus dem Nennmoment berücksichtigt auch die Kerbwirkung (Y<sub>S</sub>) und ist von der Nennspannung der allgemeinen Festigkeitslehre zu unterscheiden!)</p> <p>Gaußsches Verteilungsgesetz für Zeit- und Dauerfestigkeit</p> <p>Umrechnung auf Zahnfußfestigkeit im Laufversuch (Berücksichtigung der Unterschiede aus der Statistik zwischen Lauf- und Pulsatorversuch, Berücksichtigung der Änderung des Hebelarms durch Verformung der Zähne im Pulsator sowie der eingestellten Unterlast) mittels repräsentativer Wöhlerlinie (Umrechnungsfaktor für Stahlzahnräder f<sub>p</sub>=0,9 /14/. S.a. FVA 304 /16/)</p>																					



Kennz.	Versuchsabschnitt	Markante Parameter	Bed.	Vorgehensweise und Anmerkungen
3.11	<b>Versuchsauswertung</b>	<u>Fortsetzung:</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●</li> <li>●</li> <li>●</li> </ul>	<p>Umrechnung auf 1% Ausfallwahrscheinlichkeit mit jeweils einheitlichem <math>f_{xF}</math> für ungestrahlte (<math>f_{xF}=0,86</math>) bzw. für gestrahlte (<math>f_{xF}=0,92</math>) nach Niemann/Winter Bd.2 /15/ bzw. FVA 304 /16/</p> <p>Berechnung des Zahnfußfestigkeitswertes <math>\sigma_{Flim}</math> nach DIN 3990 bzw. ISO 6336</p> $\sigma_{Flim} = \frac{\sigma_{F\infty(Lauf)(1\%AW)}}{Y_{\sigma relT} \cdot Y_{RrelT} \cdot Y_{NT} \cdot Y_X \cdot Y_{ST}}$ <p>(Der Lebensdauerfaktor <math>Y_{NT}</math> nach DIN 3990 / ISO 6336 berücksichtigt die höhere Zahnfußtragfähigkeit bei begrenzter Lebensdauer (Anzahl der Lastwechsel). Für den Bereich der Dauerfestigkeit gilt: <math>Y_{NT} = 1,0</math>)</p> <p>Darstellung der Wöhlerlinie für 50% Ausfallwahrscheinlichkeit und Einzeichnen der Versuchspunkte. Angabe der Zahnfußspannung <math>\sigma_{F0}</math> <u>und</u> der Pulsatorzahnkraft. Tabellarische Darstellung der Zahlenwerte der Hauptversuchsergebnisse</p>
3.12	<b>Weitere Vereinbarungen</b>			

#### 4 Literaturangaben

- /1/ Weck, M.;  
Goebbelet, J. Untersuchung der Möglichkeiten reproduzierbarer Tragbildprüfung an Zylinder- und Kegeln, Forschungsreport 1977 der FVA
- /2/ Schreiber, H. H. Zur mathematisch-statistischen Auswertung von Lebensdaueruntersuchungen mit Wälzlagern, Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung 58 (1963) 6, S. 293 und S. 337
- /3/ NN Dauerfestigkeit von Stahl, Düsseldorf: Beratungsstelle für Stahlverwendung, Stahl Nr. 457, 1971
- /4/ Haibach, E. Die Dauerfestigkeit von Schweißverbindungen bei Grenzlastspielzahlen größer als  $2 \cdot 10^6$ , Darmstadt: Laboratorium für Betriebsfestigkeit, Heft Nr. 1973, 1970
- /5/ NN A Guide for Fatigue Testing and the Statistical Analysis of Fatigue Data, ASTM Special Technical Publication, Nr. 91-A, 1963
- /6/ Bühler, H.;  
Schreiber, W. Lösung einiger Aufgaben der Dauerschwingfestigkeit mit Treppenstufenverfahren, Archiv f. Eisenhüttenwesen 28 (1957) Nr. 3, S. 153-156
- /7/ Weck, M.; Winter, H.;  
Börnecke, K.; Rösch, H.;  
Käser, W. Grundlagenversuche zur Ermittlung der richtigen Härtetiefe bei Wälz- und Biegebeanspruchung, Forschungsheft Nr. 36 der FVA, 1976
- /8/ König, W.; Kosche, H. Ursachen und Erscheinungsformen von Schleifschäden an einsatzgehärteten Stirnrädern und ihre Auswirkung auf deren Tragfähigkeit, FVA-Forschungsheft Nr. 29, 1975
- /9/ Niemann, G.;  
Richter, W. Abhängigkeit der Zahnflanken-Tragfähigkeit von Tragbild und Sprungüberdeckung, Konstruktion 12 ( 1960) Heft 7, S. 272 – 278
- /10/ Gaßner, E. Zur Aussagefähigkeit von Ein- und Mehrstufen-Schwingversuchen Materialprüfung Bd. II Nr. 4, 1960, S. 121- 156
- /11/ Niemann, G. Maschinenelemente Bd. II "Getriebe", Springer-Verlag, Berlin 2003
- /12/ Hösel, Th.;  
Joachim, F. J. Zahnflankenwälzfestigkeit unter Berücksichtigung der Ausfallwahrscheinlichkeit, Antriebstechnik, Nr. 12/1978
- /13/ Bergmann, C.;  
Rettig, H. Ermittlung von Zahnfußfestigkeits-Kennwerten auf Verspannungsprüfständen und Pulsatoren - Vergleich der Prüfverfahren und der gewonnenen Kennwerte. Forschungsheft Nr. 159 der Forschungsvereinigung Antriebstechnik, Frankfurt: 1983.
- /14/ Hück, M. Ein verbessertes Verfahren für die Auswertung von Treppenstufenversuchen. Vorträge der 6. Sitzung des Arbeitskreises Betriebsfestigkeit, gehalten am 25./26. Mai 1981. Deutscher Verband für Materialprüfung e.V., Berlin 1983.
- /15/ Niemann, G.;  
Winter, H. Maschinenelemente. Bd.2. Getriebe allgemein, Zahnradgetriebe - Grundlagen, Stirnradgetriebe. 2. Auflage, Berlin: Springer, 1983.
- /16/ Stahl, K. Abschlussbericht zum FVA-Forschungsvorhaben Nr. 304 II: Lebensdauerstatistik. Forschungsheft Nr. 580 der FVA Antriebstechnik, Frankfurt: 1999.

## 5 Normen

In den Abschnitten 2 (I. Teil) und 3 (II. Teil) sind die zur Zeit der Erstellung der Merkblätter 0/5 gültigen Normen angegeben. Soweit diese überarbeitet bzw. ersetzt wurden, werden im Folgenden die aktuell gültigen Normen mit angegeben.

DIN 3960	Begriffe und Bestimmungsgrößen für Zylinderräder und Zylinderradpaare mit Evolventenverzahnung, 1987
DIN 3961 DIN 3962 DIN 3963 DIN 3964	} Toleranzen für Stirnradverzahnungen, 1980
DIN 3966	Angaben für Verzahnungen in Zeichnung, 1978
DIN 3990 ISO 6336	Tragfähigkeitsberechnung von Stirnrädern, 1987/ 1990 Calculation of the load capacity of spur and helical gears, 2003/ 2006.
DIN EN 10247	Metallographische Prüfung des Gehaltes nichtmetallischer Einschlüsse in Stählen mit Bildreihen, 2007
DIN 17007	Werkstoffnummern, 1959 – 2012
DIN 17200	Vergütungsstähle, 1988 ersetzt durch: DIN EN 10083 (2006)
DIN 17210	Einsatzstähle, 1986 ersetzt durch: DIN EN 10084 (2008)
DIN 17211	Nitrierstähle, 1987 ersetzt durch: DIN EN 10085 (2001)
DIN 51354	Prüfung von Schmierstoffen, 1990 ersetzt durch: DIN EN 14635 (2006)



Forschungsvereinigung  
Antriebstechnik e.V.

Postfach 71 08 64

60498 Frankfurt

Lyoner Straße 18

60528 Frankfurt

Tel +49 69.66 03-15 15

Fax +49 69.66 03-14 59

[info@fva-net.de](mailto:info@fva-net.de)

[www.fva-net.de](http://www.fva-net.de)

research, drive & innovation

