

[MGK] Lehrstuhl für
Maschinenelemente, Getriebe und Kraftfahrzeuge

Bericht

G 930

Fakultät für Maschinenbau

RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM

Bericht G 930

Graufleckentest RVS Technology Gel

Inhalt

1	Auftraggeber.....	2
2	Unterlagen	2
3	Aufgabenstellung	2
4	FVA-Graufleckentests.....	2
5	Schichtauftrag.....	13
6	Zusammenfassung	16
7	Anhang	17

Dieser Bericht enthält 17 Seiten Text, 5 Tafeln und 8 Bilder.

Bochum, 28.07.2004



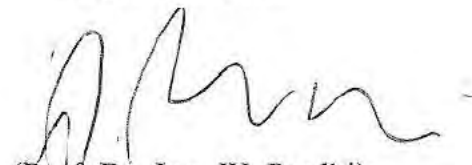
(Dipl.-Ing. A. Rhode)

Sachbearbeiter



(Dipl.-Ing. G. Lützig)

Sachbearbeiter



(Prof. Dr.-Ing. W. Predki)

Institutsleiter

Auftraggeber

Firma
Oy RVS Technology Ltd
Pulttitie 2
00880 Helsinki
Finnland

2 Unterlagen

- FVA-Informationenblatt zu den Forschungsvorhaben Nr. 54/I-JV

3 Aufgabenstellung

In einem Vergleichsversuch ist die Auswirkung der RVS-Technologie auf die Graufleckentragfähigkeit zu untersuchen. Dazu wird ein Grauflecken-Stufentest in Anlehnung an FVA-Informationenblatt Nr. 54/I-JV durchgeführt. Dieser Test erfolgt zunächst mit einem Mineralöl mit ungünstigem Graufleckenverhalten. Dabei wird die Graufleckentragfähigkeit des Schmierstoffs unter den Bedingungen des Standard-Graufleckenstests dokumentiert. Anschließend erfolgen mit einem weiteren Radsatz zwei Versuchsläufe mit demselben Schmierstoff unter Zugabe des RVS-Mineralöls. Die Schmierstofftemperatur beträgt 90°C. Zum Einsatz kommt eine Standard-FZG-C-Verzahnung für Graufleckenstests.

4 FVA-Graufleckenstests

4.1 Testablauf des Standardtests

Der Graufleckenstest nach FVA-Informationenblatt 54/J-IV dient zur Ermittlung der Graufleckentragfähigkeit von Schmierstoffen. Graufleckigkeit ist ein Flankenschaden bei Zahnrädern. Hierbei treten auf der Zahnflanke eine Vielzahl mikroskopischer

Ausbrüche auf der Zahnflanke auf. Diese Ausbrüche erscheinen mit bloßem Auge als mattgraue Fläche. Der Schaden tritt bevorzugt in Bereichen der Zahnflanke auf, an denen negatives Gleiten vorliegt. Dies ist bei der verwendeten Verzahnung im Bereich unterhalb des Wälzkreises des Ritzels der Fall. Beim Test kommt eine standardisierte Prüfverzahnung zum Einsatz, die FZG-C-Verzahnung. Die wichtigsten Verzahnungsdaten zeigt Tafel 1.

Tafel 1: Verzahnungs- und Prüfstandsdaten

Verzahnung		FZG-“C“
Achsabstand	a	91,5 mm
Normalmodul	m_n	4,5 mm
Zähnezahlverhältnis	z_2/z_1	24/16
Profilverschiebungsfaktor	x_1	0,1817
Profilverschiebungsfaktor	x_2	0,1715
Gemeinsame Zahnbreite	b	14 mm
Schrägungswinkel	β	0°

Der FVA-Graufleckentest ist ein Stufentest. Hierbei wird die Belastung in sechs Laststufen gesteigert (Laststufe 5 bis Laststufe 10, die Laststufen 1-4 werden beim Graufleckentest nicht gefahren). Jede Laststufe weist einer Laufzeit von jeweils 16 Stunden auf, dies entspricht 2,1 Millionen Lastwechseln am Ritzel. Die Ritzeldrehzahl beträgt 2250 1/min, dies ergibt eine Umfangsgeschwindigkeit am Wälzkreis von 4,5 m/s. Nach Ende des Stufentests erfolgt ein zweiter, analoger Stufentest auf der zweiten Flankenseite des Radsatzes. Vorher wird das Prüföl getauscht. Es steht somit ein zweiter unabhängiger Testlauf als Reproduktionsversuch zur Verfügung. Im Anschluss an den Stufentest kann ein Dauertest erfolgen, hierbei schließen sich noch sechs Testläufe bei hoher Last mit jeweils 80 Stunden Laufzeit an.

Der Test erfolgt bei Umlaufschmierung, es kommt eine Ölmenge von ca. 25 Litern zum Einsatz. Die Öleinspritztemperatur beträgt 90°C.

Nach jeder Laststufe erfolgt eine Demontage und Vermessung des Prüfritzels. Die mittlere Profilformabweichung f_{fm} , gemessen an 3 gleichmäßig am Umfang des Prüfritzels verteilten Zahnflanken, stellt das wichtigste Beurteilungskriterium dar. Die Profilmessung stellt Abweichungen der Prüfverzahnung von einer fehlerfreien, theoretischen Verzahnung dar. Im Vergleich zum Messschrieb der Verzahnung vor dem Testlauf kann somit die Auskolkung, d.h. der Materialverlust aufgrund der Graufleckigkeit, ermittelt werden. Die Messung der Profilformabweichung erfolgt in Zahnhöhenrichtung auf halber Breite des Ritzels an einem Verzahnungsmesszentrum Klingenberg PNC 65. Weiterhin werden nach jedem Lauf der Gewichtsverlust und der Anteil der von Grauflecken betroffenen Flankenfläche bestimmt.

Das Ergebnis des Stufentests ist eine Schadenskraftstufe. Die Schadenskraftstufe ist die Laststufe, in der die maximale Auskolkungstiefe einen Betrag von $7,5\mu\text{m}$ überschreitet. Bleibt die Auskolkungstiefe nach Testende unterhalb dieser Schadensgrenze, spricht man von einer Schadenskraftstufe >10 . Im Dauertest beträgt die Schadensgrenze $20\mu\text{m}$. Neben der Auswertung der Profilformmessung (Methode EVOL) kann zusätzlich der Gewichtsverlust und die Graufleckenfläche ausgewertet werden. Hierdurch lässt sich eine Einteilung in die Graufleckentragfähigkeitsklassen niedrig, hoch und mittel ableiten (Methode GF-Klasse). Untersuchungen zeigen, dass die Methode EVOL eine deutlich höhere Zuverlässigkeit als die Methode GF-Klasse aufweist.

4.2 Versuchsparemeter der Tests mit RVS-Gel

Zur Bestimmung der Auswirkungen des RVS-Gels auf die Graufleckentragfähigkeit wurden drei Graufleckentests durchgeführt. Bei allen Tests wurde der gleiche Schmierstoff verwendet, ein Mineralöl mit niedriger Graufleckentragfähigkeit, ISO Viskositätsklasse 220.

Der erste Test erfolgte unter Standardbedingungen. Dieser Test belegt die Schadenskraftstufe des verwendeten Öls und dient als Vergleichsbasis. In diesem Bericht ist nur das Ergebnis eines Testlaufs mit dem Versuchsöl aufgeführt. Im Rahmen

anderer Forschungsarbeiten liegen jedoch weitere gleichartige Testläufe vor, die die genannten Ergebnisse bestätigen und absichern.

Die eigentlichen Testläufe mit dem RVS-Gel erfolgten unter leicht abgewandelten Bedingungen. Beim ersten Testlauf erfolgte zunächst ein 60-stündiger Einlauf mit geringer Belastung und halbiertes Drehzahl. Durch die reduzierte Drehzahl sinkt die Schmierfilmhöhe, vgl. Kapitel 5. Dieser Einlauf erfolgte mit Tauchschmierung, wobei dem Schmierstoff (ca. 1,25 Liter) 10ml RVS-Gel zugesetzt wurden. Hierbei sollte sich die RVS-Schicht ausbilden. Der Graufleckentest fand mit Umlaufschmierung ohne Zusatz des RVS-Gels statt. Der zweite Testlauf auf der Rückflanke des Testradsatzes fand komplett mit Tauchschmierung statt. Auch hier wurden 1,25 Liter Schmierstoff unter Zugabe von 10ml RVS-Gel benutzt, ein besonderer Einlauf fand nicht statt. Die Tafel 2 zeigt das Versuchsprogramm für die Graufleckentests in der Übersicht.

Tafel 2: Versuchsprogramm Graufleckentest

Bezeichnung	Raddrehzahl	Belastung (Rad)	Schmierungsart	Laufzeit
Standardtest	1500 min ⁻¹	100-400Nm	Umlaufschmierung	6x16h
Einlauf RVS	750 min ⁻¹	50Nm	Tauchschmierung mit RVS-Gel	60h
RVS-Lauf 1	1500 min ⁻¹	100-400Nm	Umlaufschmierung ohne RVS-Gel	6x16h
RVS-Lauf 2	1500 min ⁻¹	100-400Nm	Tauchschmierung mit RVS-Gel	6x16h

Wichtigen Einfluss auf die Graufleckentragfähigkeit haben die Rauheiten der Zahnflanken von Prüfritzel und Prüfrad. Die arithmetischen Mittenrauheiten R_a von beiden Zahnrädern sollen im Anlieferungszustand 0,4 bis 0,6 μm betragen. Die folgende Tafel 3 enthält die arithmetischen Mittenrauheiten vor dem Versuch in Zahnhöhenrichtung und ihren Mittelwert.

Tafel 3: Mittenrauheit der Prüfäder für den Lauf mit RVS-Beschichtung

Arithmetische Mittenrauheiten [μm]	Standardtest	Prüflauf 1		Prüflauf 2
		Vor Einlauf	Nach Einlauf	
Prüfritzel R_{a1}	0,52	0,54	0,42	0,44
Prüfrad R_{a2}	0,44	0,39	0,38	0,60
Mittelwert $R_a = \frac{R_{a1} + R_{a2}}{2}$	0,48	0,47	0,40	0,52

4.3 Versuchsergebnisse

Die Bilder 1 bis 3 zeigen die Messergebnisse des Graufleckentests mit dem Getriebeöl RVS-Gel. Die Bilder 4 bis 6 zeigen Abbildungen der Flanken von 3 Zähnen, die gleichmäßig am Umfang verteilt sind. Der Standardtest belegt die relativ schlechte Graufleckentragfähigkeit des Versuchsöls, hier ergibt sich eine Schadenskraftstufe (SKS) von 8. Beim Testlauf mit Einlauf mit RVS-Gel verbesserte sich die Graufleckentragfähigkeit um eine Schadenskraftstufe auf SKS 9, beim Testlauf mit RVS-Tauchschmierung um eine weitere Stufe auf SKS 10. Zwar zeigen auch die Läufe mit RVS-Gel deutliche Graufleckigkeit auf den Zahnflanken und einen deutlichen Verschleiß, die Graufleckenfläche und der Gewichtsverlust wachsen jedoch etwas langsamer als beim Standardtest ohne RVS-Gel.

Tafel 4: Ergebnisse Graufleckentest

Bezeichnung	Schadenskraftstufe	Messwerte nach Laststufe 10		
		Profilformabweichung [μm]	Graufleckenfläche [%]	Gewichtsverlust [mg]
Standardtest	8	14,5	60	54
RVS-Lauf 1	9	13,3	60	48
RVS-Lauf 2	10	9,2	55	38

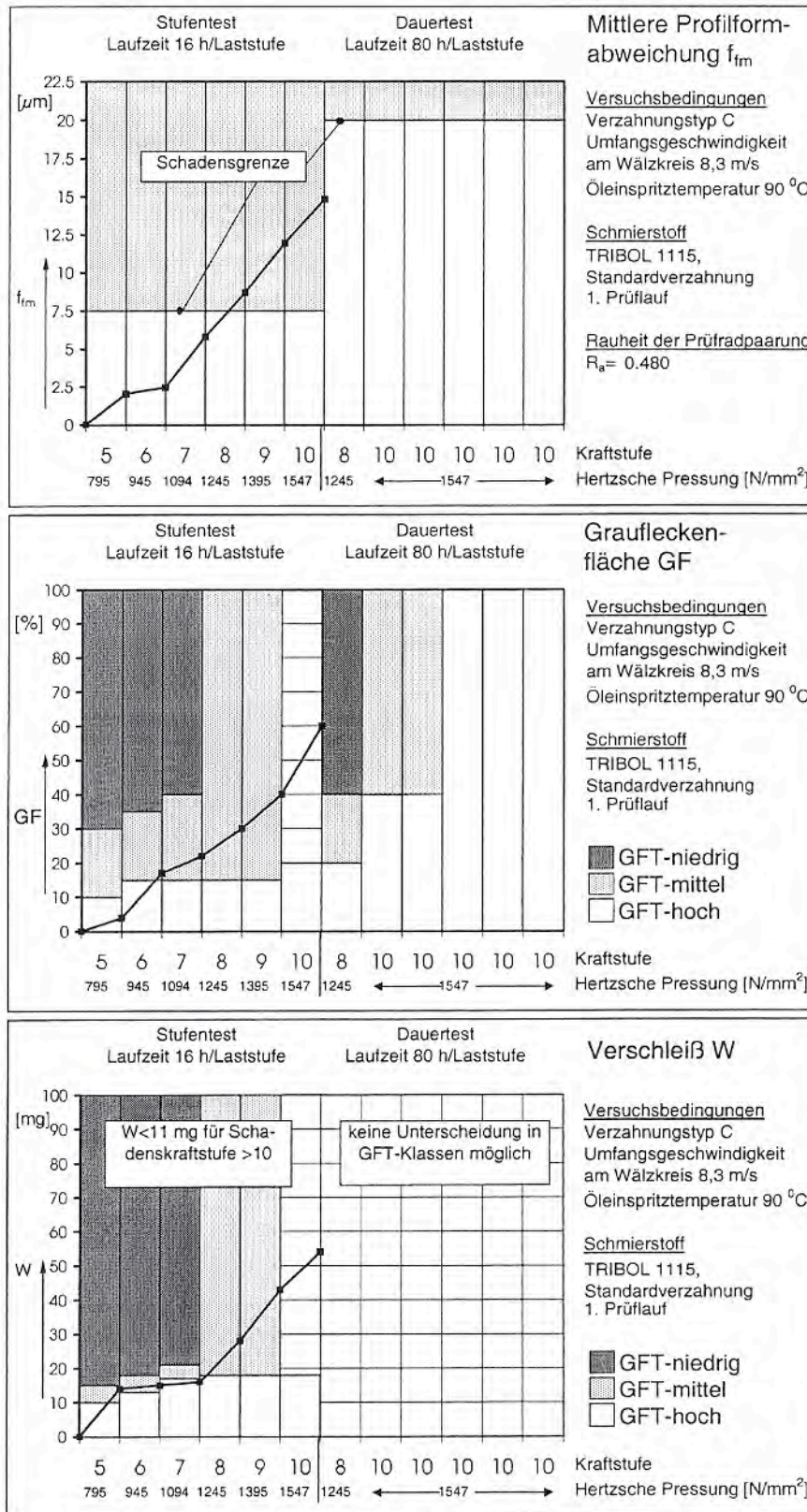


Bild 1: Messergebnisse des Vergleichsversuchs ohne RVS-Zusatz

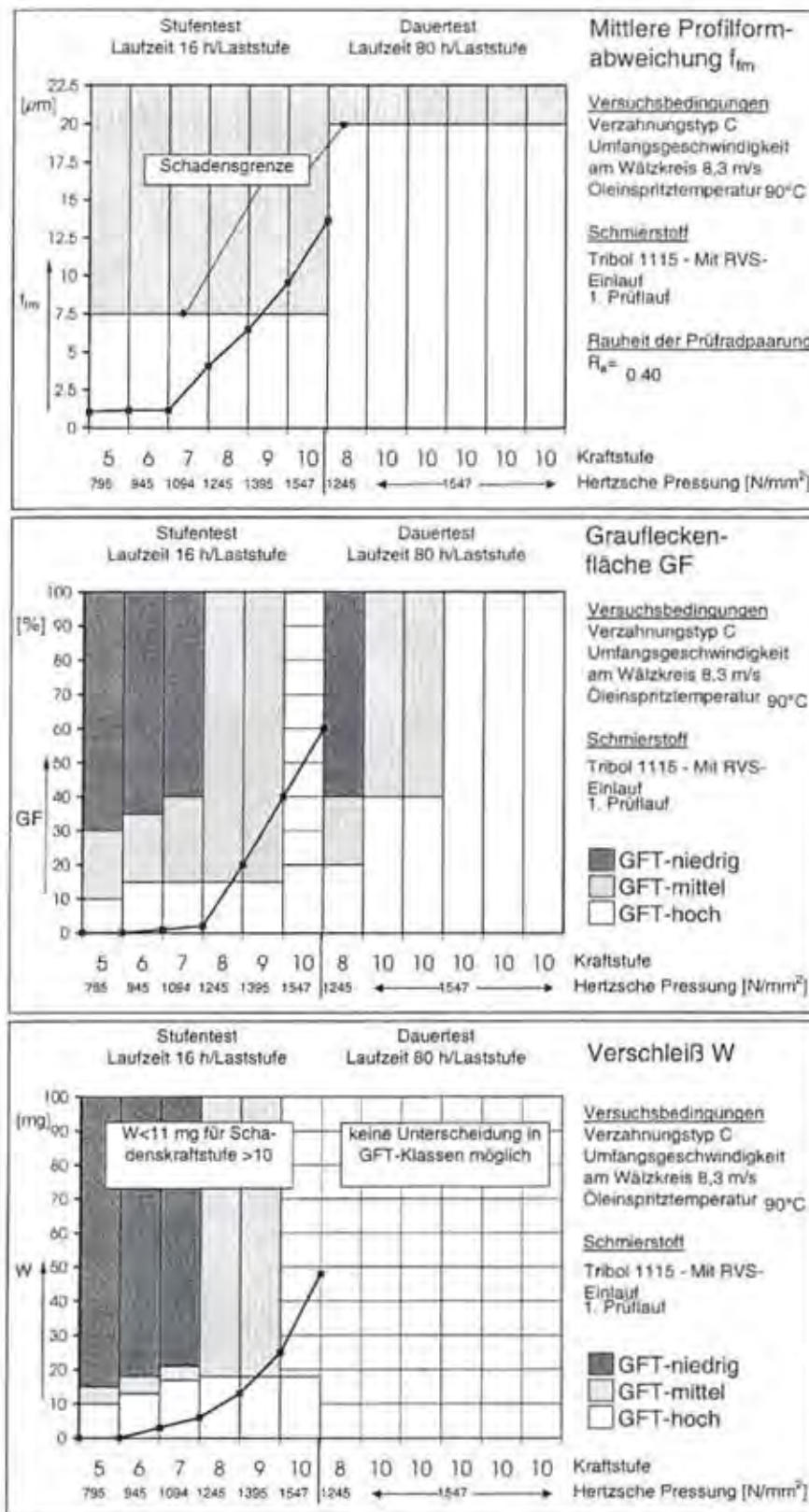


Bild 2: Messergebnisse des 1. Prüflaues mit RVS-Gel (Einlauf mit niedriger Last und RVS-Gel, Prüflauf ab Laststufe 5 ohne RVS-Gel mit Einspritzschmierung)

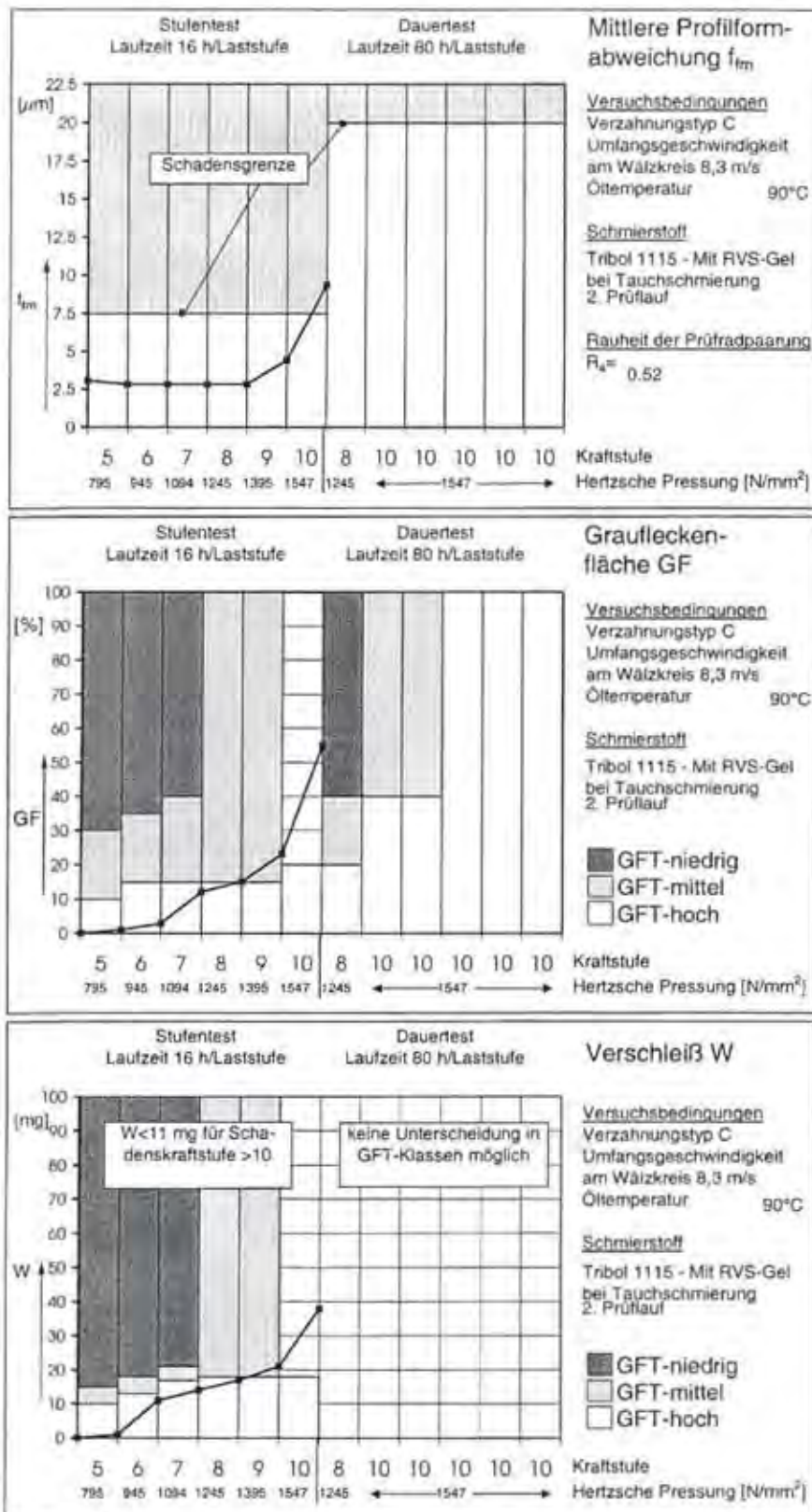


Bild 3: Messergebnisse des 2. Prüflaufes mit RVS-Gel (kein Einlauf, kompletter Stufentest in Tauchschmierung mit RVS-Zusatz)

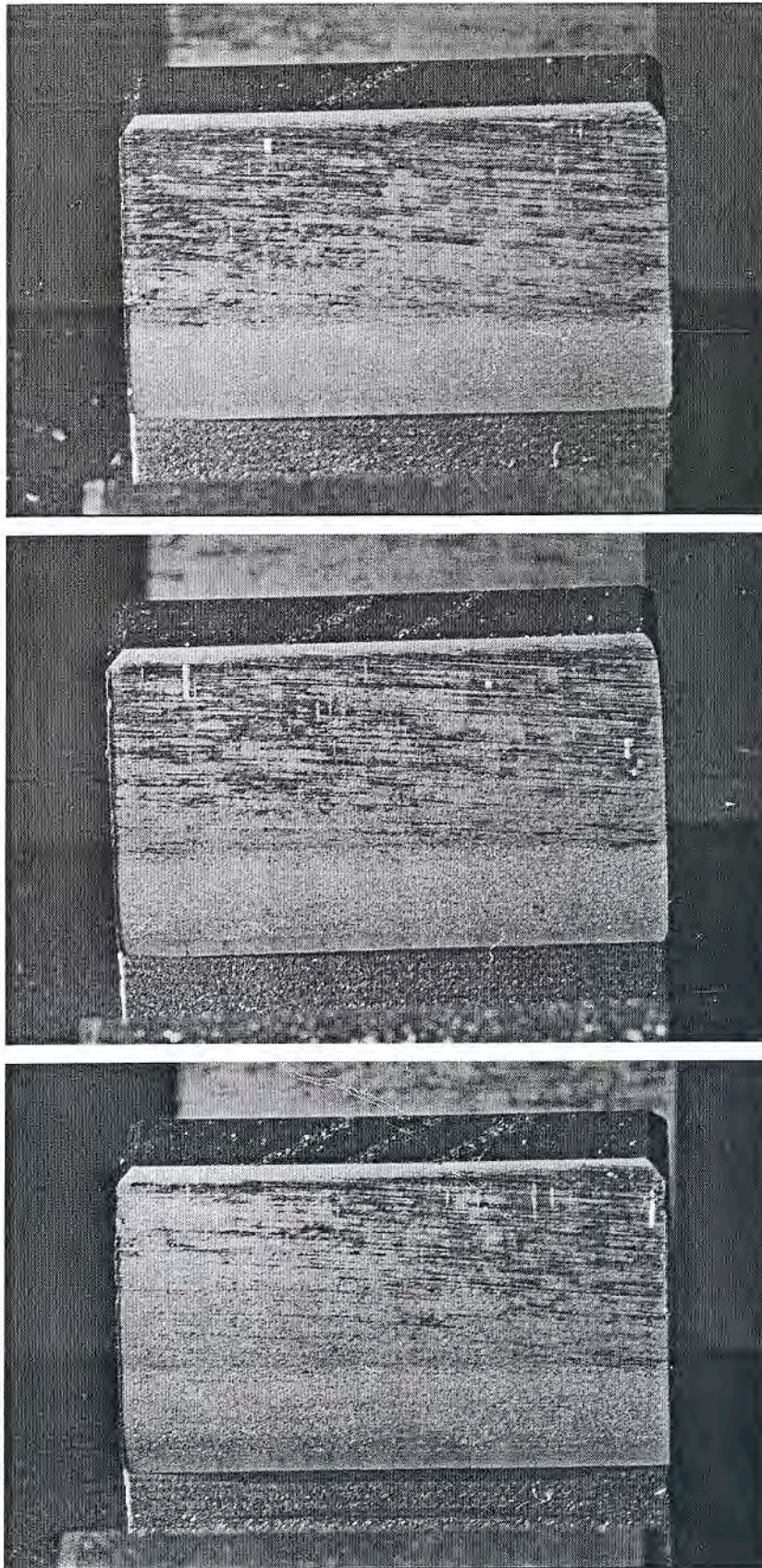


Bild 4: Fotos von drei Zähnen des Ritzels des Vergleichsversuchs ohne RVS-Zusatz (nach Stufentest)

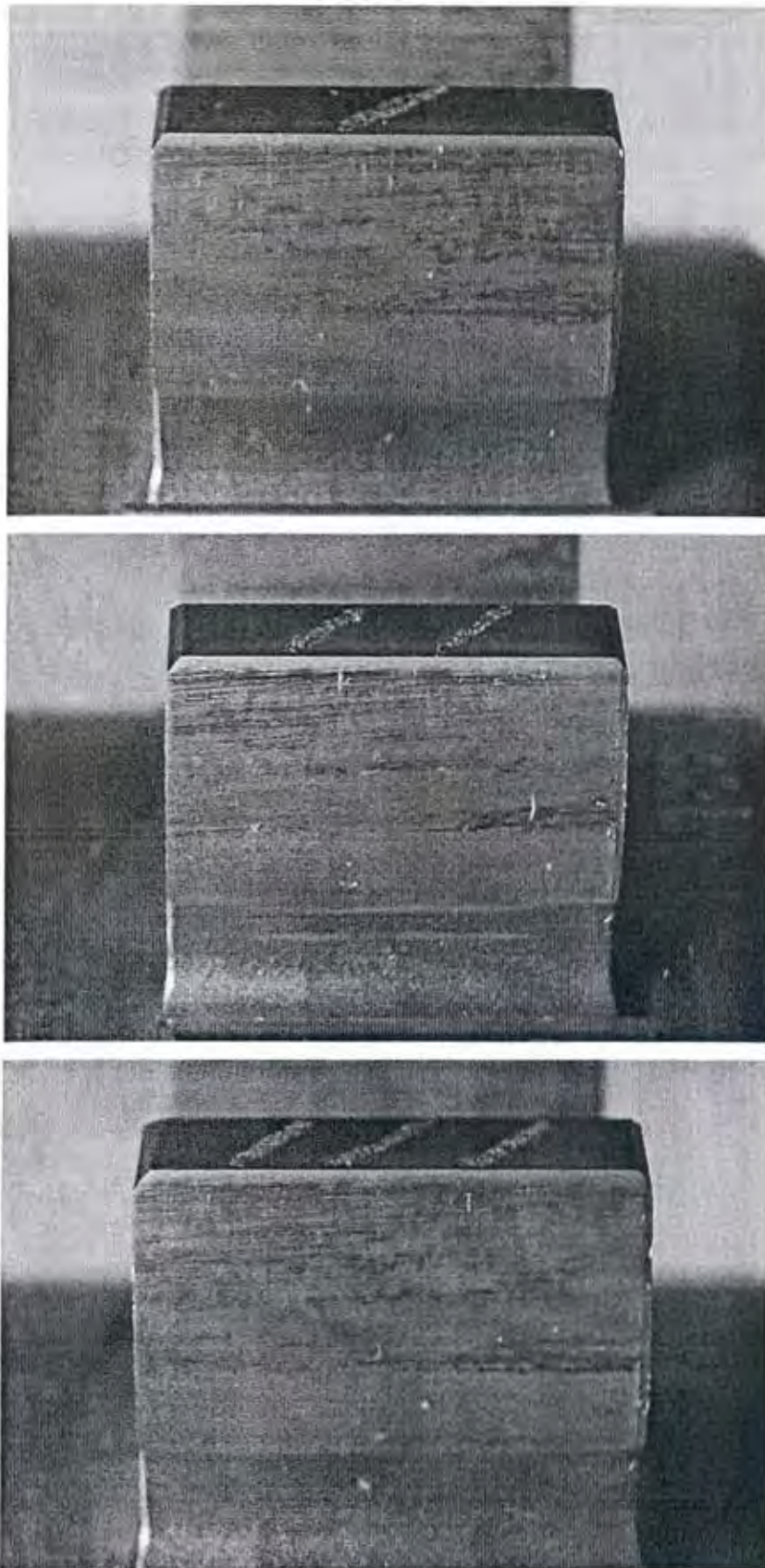


Bild 5: Fotos von drei Zähnen des Ritzels nach dem 1. Prüflauf mit RVS-Gel (Einlauf mit RVS-Gel, Prüflauf ohne Zusatz)



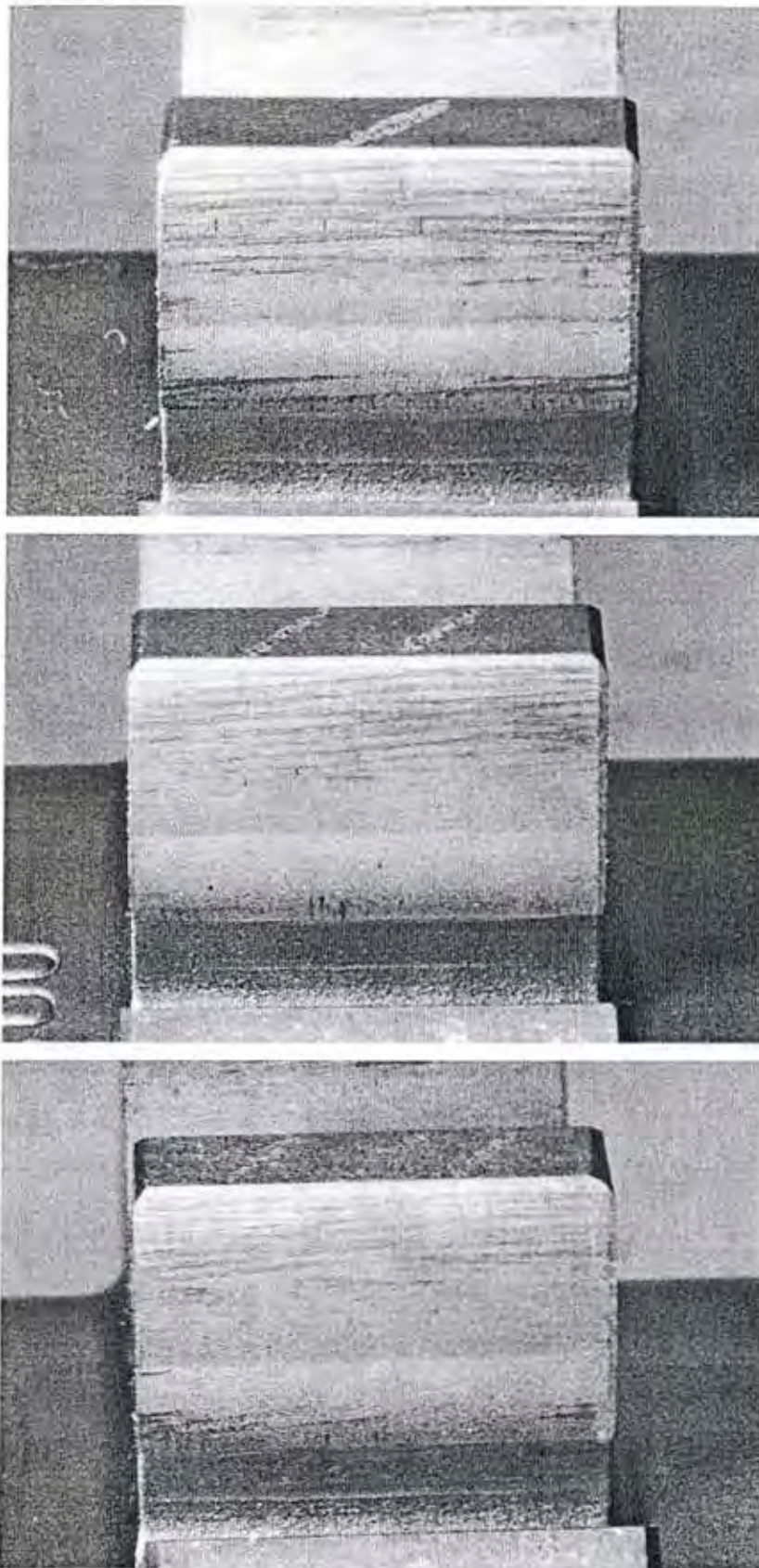


Bild 6: Fotos von drei Zähnen des Ritzels nach dem 2. Prüflauf mit RVS-Gel (kein Einlauf, Prüflauf mit RVS-Gel)

5 Schichtauftrag

Die RVS-Technologie soll zum Auftrag einer metallkeramischen Schicht bei metallischen Oberflächen führen, die durch Herabsetzung des Reibwertes das Verschleißverhalten verbessert. Zum Schichtaufbau ist eine bestimmte Energie im Kontakt der Zahnflanken erforderlich. Diese Energie entsteht laut RVS bei einer ausreichenden Belastung durch metallischen Kontakt der Oberflächen. Die Einlaufparameter im Versuchsprogramm wurden so gewählt, dass ein Oberflächenkontakt stattfand: Die Schmierfilmhöhe ist gemäß Bild 7 geringer als die Flankenrauheit ($R_a \sim 0,5 \mu\text{m}$, $R_z \text{ DIN} \sim 3\text{-}4 \mu\text{m}$).

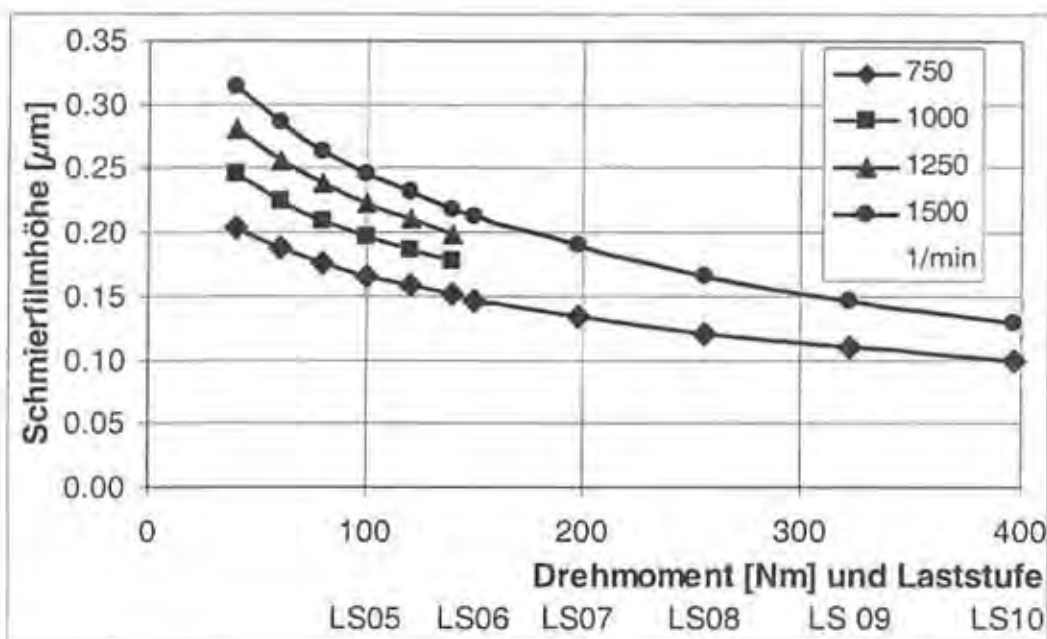


Bild 7: Schmierfilmhöhe im Wälzpunkt in Abhängigkeit von Drehzahl und Drehmoment am Rad, berechnet bei 90°C Öleinspritztemperatur

In den beiden Standardtests konnte weder mit bloßem Auge noch unter dem Lichtmikroskop eine Oberflächenschicht festgestellt werden. Auch Messungen der Zahndicke im Bereich des Ritzelfußes während des zweiten Stufentests ergaben keine signifikante Zunahme der Zahndicke, die auf einen Schichtauftrag hindeutet. Um zu klären, ob sich aufgrund des RVS-Gels tatsächlich eine Schicht aufgebaut hat, wurden zwei weitere Versuchsläufe durchgeführt. Tafel 5 zeigt das Versuchsprogramm.

Tafel 5: Versuchsprogramm Schichtauftrag

	Laststufe	Raddrehzahl	Flankenseite	Schmierungsart	Laufzeit
1	LS7	1500 min ⁻¹	Seite 1 (links)	Tauchschmierung	30h
2	LS8	750 min ⁻¹	Seite 1 (links)	Tauchschmierung	30h

Die eingesetzte Flankenseite ist durch einen GF-Stufentest vorgeschädigt. Bei dem verwendeten Öl handelt es sich um eine Ölfüllung, die bereits mit einem RVS-Gel versehen und in einem zweiten Stufentest eingesetzt wurde. Der Auftraggeber lieferte eine weitere 10 ml-Tube mit RVS-Ölzusatz, der zu einem Schichtauftrag auf den vorgeschädigten Zahnradflanken führen soll. Hierzu wird das bereits eingesetzte RVS-Öl auf ca. 60°C erwärmt und der Tubeninhalt gründlich mit dem Öl vermischt.

Um einen Flankenauftrag feststellen zu können, wird die Verzahnung um etwa 3 mm versetzt montiert, so dass es nicht zu einem vollständigen Tragen über die Zahnbreite kommt. Da der Flankenauftrag nur unter Belastung auftritt, lassen sich somit auf der Zahnflanke beeinflusste und unbeeinflusste Bereiche voneinander abgrenzen. Mit einer Flankenlinienmessung auf dem Verzahnungsmesszentrum PNC65 lässt sich der auftretende Flankenauftrag quantifizieren. Beim Übergang vom unbeeinflussten zum beeinflussten Flankenbereich sollte der Schichtauftrag im Messprotokoll als Stufe erkennbar werden.

Die Versuche erfolgen mit Tauchschmierung und einer Ölsumpftemperatur von 90°C. Der erste Versuch wird bei mittlerer Belastung (LS7) und normaler Antriebsdrehzahl (1500 1/min) durchgeführt. Die Laufzeit ist mit 30 Stunden im Vergleich zum Standardtest nahezu verdoppelt. Nach Ausbau des Ritzels und Durchführung einer Flankenlinienmessung in Höhe des Teilkreisdurchmessers wird ein zweiter Versuch bei verringerter Drehzahl und erhöhter Last durchgeführt, um die Schmierfilmhöhe weiter zu reduzieren und deutlichere Mischreibung im Zahnkontakt zu erreichen. Auch dieser Versuch erstreckt sich über eine Laufzeit von 30 Stunden. Nach Beendigung des Versuches wird die Flankenlinie (Messung in Breitenrichtung) auf Höhe des Teilkreises an drei Zähnen und für alle Zähne auf einem Durchmesser von 77 mm gemessen.

An allen Messstellen lässt sich kein Schichtauftrag nachweisen. Neben der Messung am Verzahnungsmesszentrum wurde eine Rauheitsmessung in Flankenlinienrichtung durchgeführt. Diese beiden Messmethoden unterscheiden sich in der Art des Messtasters, dieser ist bei der Rauheitsmessung deutlich feiner als am Verzahnungsmesszentrum. Auch hier konnte kein Hinweis auf einen Schichtauftrag gefunden werden. Die entsprechenden Messprotokolle sind dem Anhang beigelegt.

Bild 8 zeigt zwei Zahnflanken nach Beendigung der beiden Tests. Deutlich erkennt man auf der jeweils rechten Flankenseite einen etwa 3mm breiten Bereich, in dem es nicht zu einem Zahnkontakt gekommen ist.

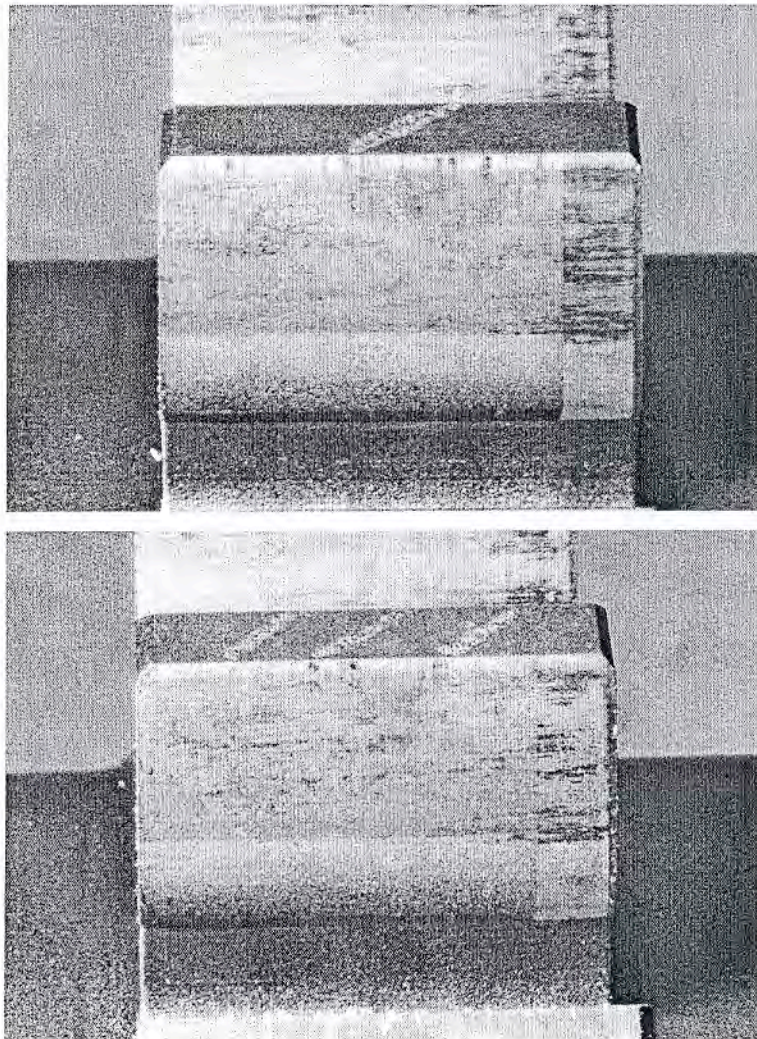


Bild 8: Ritzelflanke 1, links, nach Ende der Tests

6 Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht dokumentiert Untersuchungen zur Auswirkung der RVS-Technologie auf die Graufleckentragfähigkeit. Dazu wurden Grauflecken-Stufentests in Anlehnung an das FVA-Informationsblatt Nr. 54/I-IV durchgeführt.

Ein Standardtest belegt die Graufleckentragfähigkeit des Versuchsöls, hier ergibt sich eine Schadenskraftstufe (SKS) von 8. Es wurde absichtlich ein Schmierstoff mit einer relativ schlechten Graufleckentragfähigkeit gewählt, um Verbesserungen durch die RVS-Technologie deutlicher aufzeigen zu können. Beim ersten Testlauf fand zu Beginn ein Einlauf unter Zugabe des RVS-Gels statt, danach kam Umlaufschmierung ohne Zusatz des RVS-Gels zum Einsatz. Hierbei verbesserte sich die Graufleckentragfähigkeit um eine Schadenskraftstufe auf SKS 9. Bei einem weiteren Testlauf, der komplett unter Tauchschmierung mit RVS-Gel-Zusatz stattfand, trat eine Verbesserung auf SKS 10 auf. Auch die Läufe mit RVS-Gel zeigen deutliche Graufleckigkeit auf den Zahnflanken und einen starken Verschleiß.

Während der Versuche ist weder optisch noch durch Profil- und Rauheitsmessungen ein signifikanter Aufbau von metallkeramischen Schichten auf den Zahnflanken festzustellen. Diese Schichten bewirken laut Angabe der Firma eine Verminderung der Reibung und Glättung der Oberfläche. Theoretisch ist dadurch eine gesteigerte Graufleckentragfähigkeit zu erwarten. Diese Schichtbildung ist bei den durchgeführten Versuchen offensichtlich nicht oder nur in geringem Umfang erfolgt. Es bleibt zu untersuchen, ob eine verstärkte Schichtbildung den beobachteten positiven Einfluss auf die Graufleckentragfähigkeit weiter verbessern kann. Dazu sind zusätzliche Versuche mit geänderten Einlaufbedingungen zu empfehlen.

7 Anhang

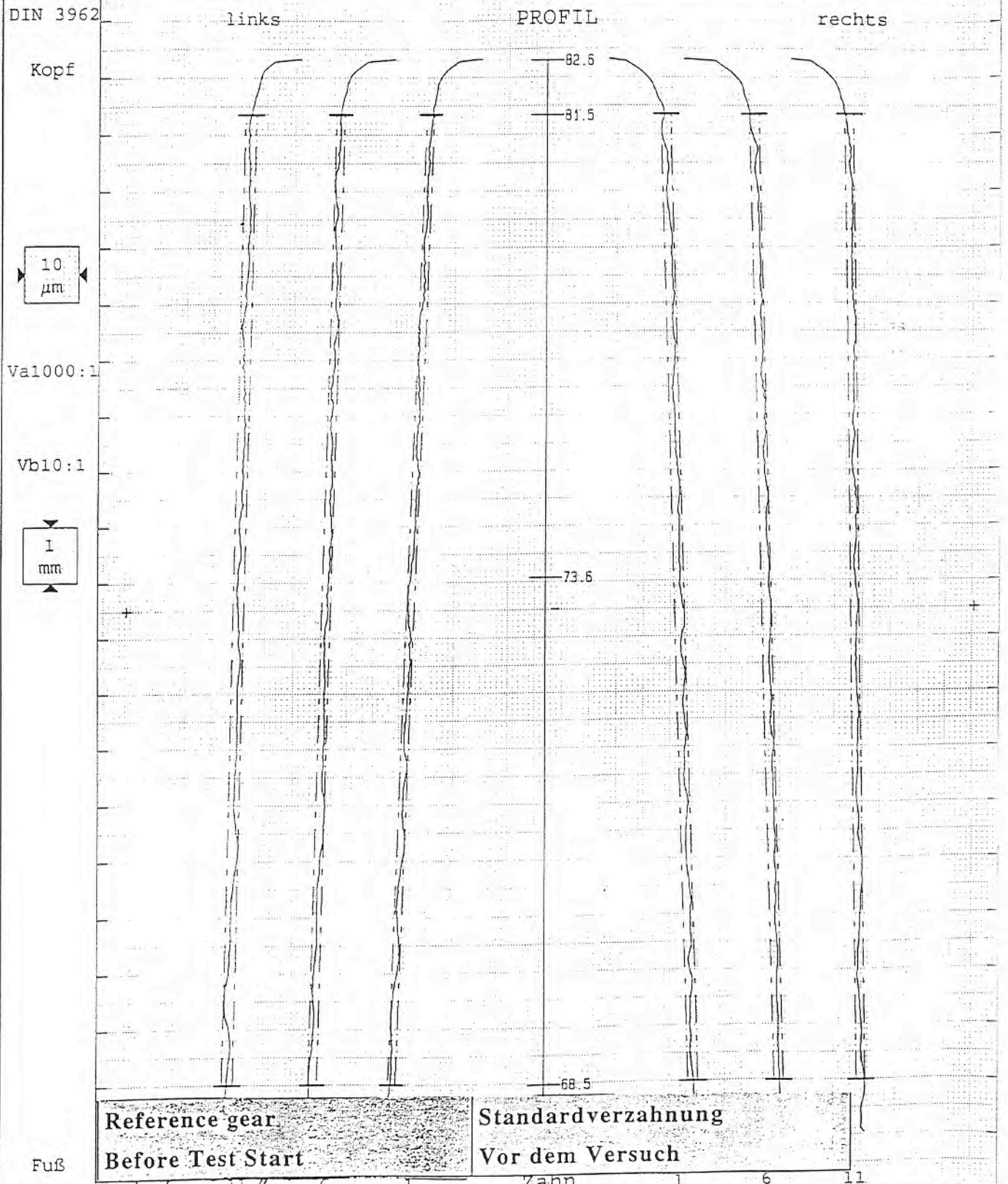
- **Graufleckentests:** Profilmessschriebe der Prüfritzel (drei Zähne gleichmäßig über den Umfang verteilt)
 - Profilformabweichung des Ritzels vor und nach dem Standard-Stufentest ohne RVS-Zusatz (Linksflanke, auf der Rechtsflanke wurde ein hier nicht weiter dokumentierter Reproduktionsversuch gefahren)
 - Profilformabweichung des Ritzels vor dem Versuch mit RVS-Gel
 - Profilformabweichung nach dem Einlauf mit RVS-Gel in Tauchschmierung sowie nach dem Stufentest bei Umlaufschmierung ohne RVS-Zusatz (Linksflanke)
 - Profilformabweichung des Ritzels nach dem Stufentest mit RVS-Gel in Tauchschmierung (Rechtsflanke)
- **Untersuchungen zum Schichtauftrag:** Messungen nach dem versetzt gefahrenen Zusatzlauf
 - Flankenlinienmessung des Prüfritzel nach 1. Zusatzlauf (drei Zähne gleichmäßig über den Umfang verteilt)
 - Flankenlinienmessung des Prüfritzel nach 2. Zusatzlauf (alle Zähne)
 - Rauheitsmessschriebe in Flankenlinienrichtung (drei Zähne gleichmäßig über den Umfang verteilt)

Hinweise zu den Profilformmessungen:

Aufgetragen in waagerechter Richtung ist die Abweichung von der theoretischen Evolvente. Die senkrechte Achse stellt die Eingriffsstrecke dar (Ritzelfuß unten, Ritzelkopf oben). Die gestrichelten Linien sind Ausgleichsgeraden. Dargestellt sind jeweils drei Zähne, in der linken Bildhälfte die linke Flankenseite (Seite 1), rechts die rechte Flankenseite (Seite 2).

Stirnrad Profil

Prog.Nr.: STI0407j30	PNC 65 VA	Prüfer: Udo Nath	Datum: 09.07.2002 08:34
Benennung: Stirnrad	Zähnezahl z 16	Zahnbreite b 14mm	
Zeichnungsnr.: Öl FZG C / Ritzel	Modul m 4.5mm	Prof.-Prüfber. La 17.34mm	
Auftr./Seriennr.: 1164GF vd Versuch	Eingriffswinkel 20°	Flank.-Prüfber. LB 11.2mm	
Kunde/Masch. Nr.: LMGK	Schrägungswinkel 0°	Ausw.-Anfang M1 5.42mm	
Messplatz: RUHR UNI BOCHUM	Grundkreis-Ø db 67.658mm	Tascher Ø 3mm	
	Grundschr.winkel 0°	Pr.versch.F. x .18	

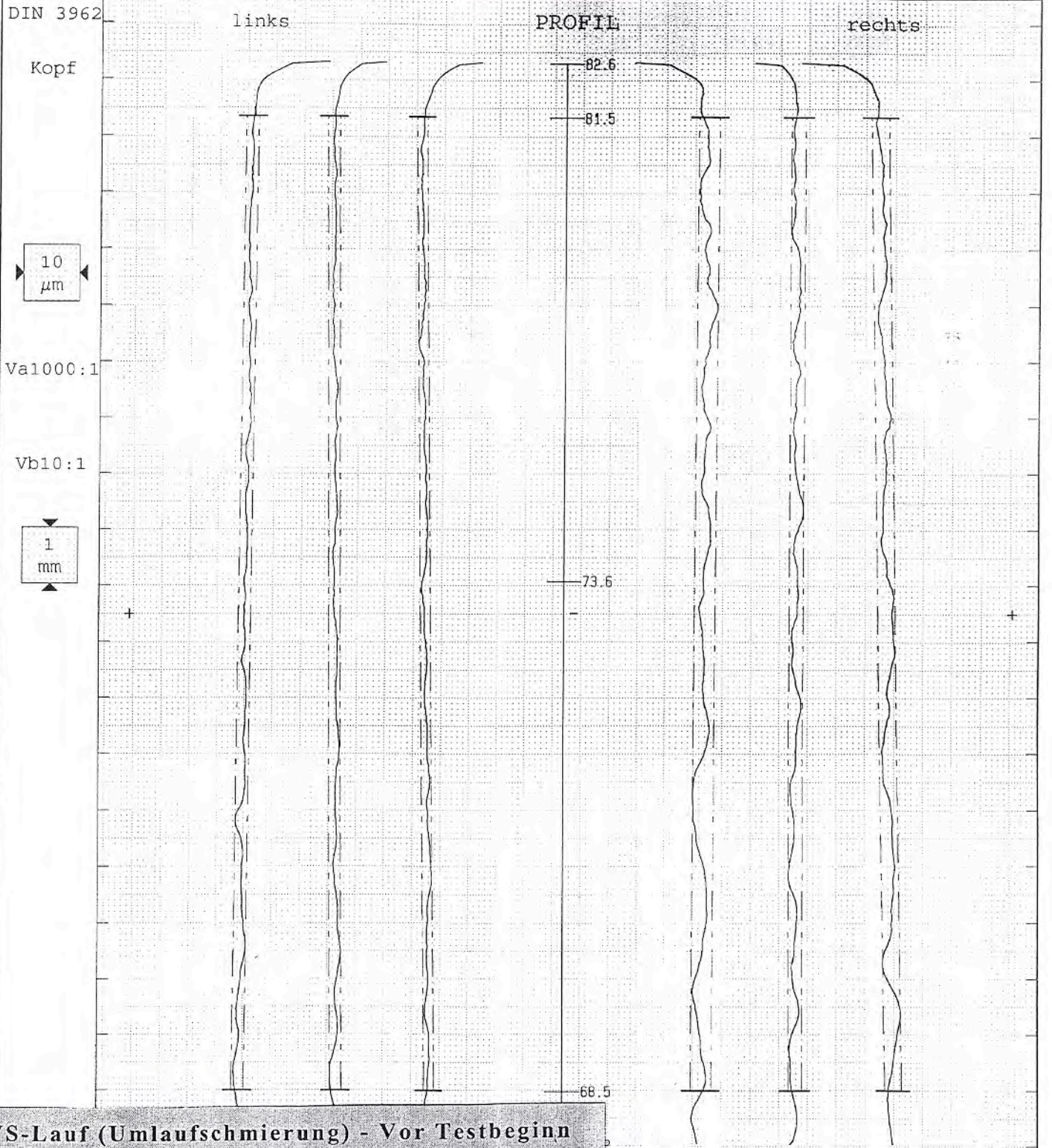


	Meßwert [µm] Qualität			zul. Wert Qual.			Meßwert [µm] Qualität					
fH _{am}	-4.9	5	V 2.8				-4.3	5	V 2.7			
fH _α	-3.7	-4.5	-6.5	6	±5.5	5	±5.5	5	-5.4	5	-4.9	-2.7
F _α	4.5	5.2	7.1	5	9	5	9	5	6.3	4	5.9	4.0
ff _α	2.1	2	1.6	1.4	7	5	7	5	1.8	1	1.7	1.5



Stirnrad Profil

Prog.Nr.: STI0407j30	PNC 65 VA	Prüfer: Udo Nath	Datum: 30.03.2004 15:26
Benennung: Stirnrad	Zähnezahl z	16	Zahnbreite b
Zeichnungsnr.: Öl FZG C / Ritzel	Modul m	4.5mm	Prof.-Prüfber. La
Auftr./Seriennr.: 1545GF v.Versuch	Eingriffswinkel	20°	Flnk.-Prüfber. LB
Kunde/Masch. Nr.: LMGK	Schrägungswinkel	0°	Ausw.-Anfang M1
Messplatz: RUHR UNI BOCHUM	Grundkreis-Ø db	67.658mm	Taster Ø
	Grundschr.winkel	0°	Pr.versch.F. x



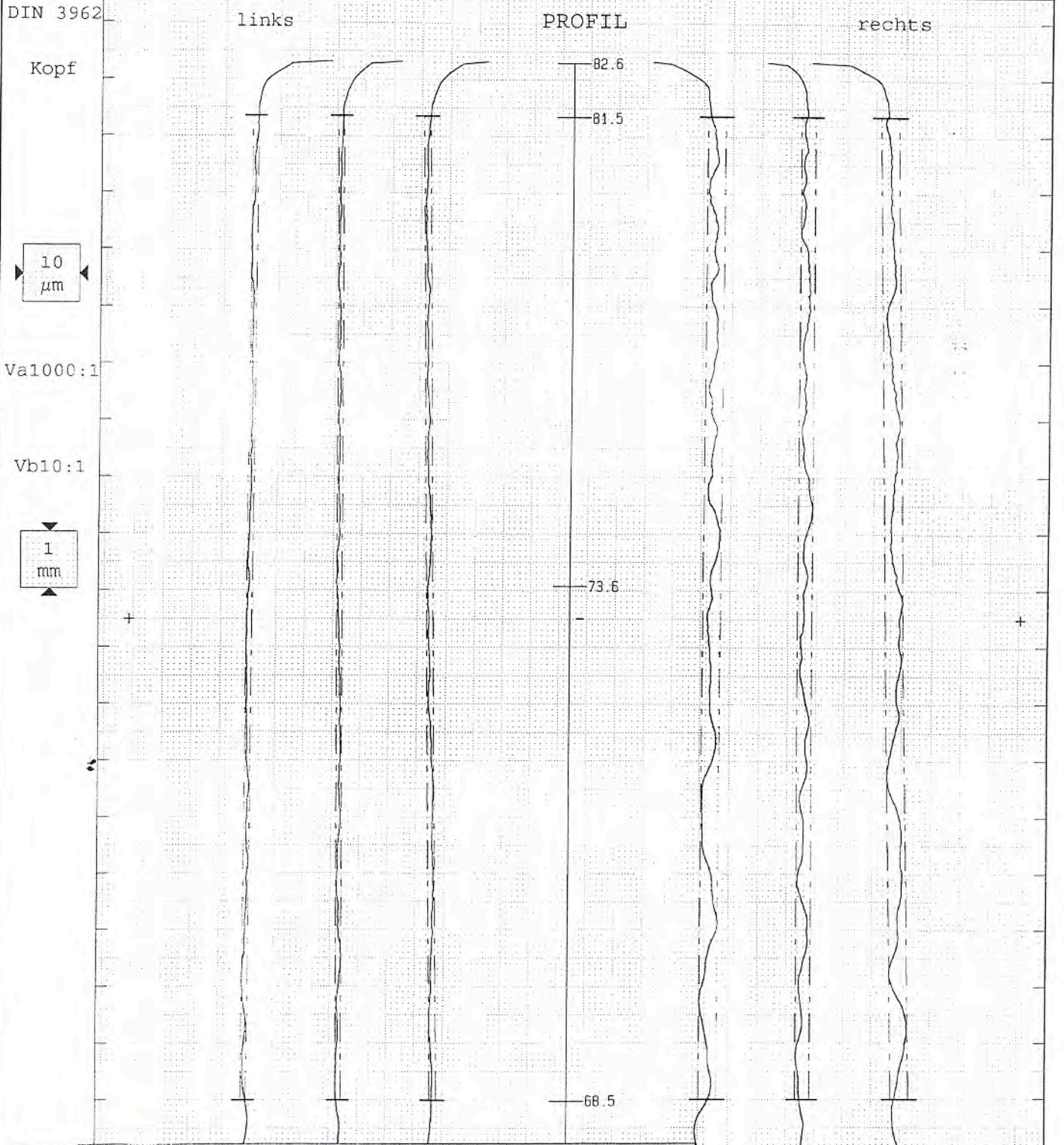
1. RVS-Lauf (Umlaufschmierung) - Vor Testbeginn

Fuß	11				6				2. RVS-Lauf (Tauchschmierung) - Vor Testbeginn			
	Meßwert [µm]		Qualität		zul. Wert		Qual.		Meßwert [µm]		Qualität	
fH _{0m}	0.6	1	V	3.9					-0.4	1	V	3.5
fH _α	-1.7	1.4	2.2	3	±5.5	5	±5.5	5	1.0	0.4	-2.5	3
F _α	2.7	2.3	3.0	2	9	5	9	5	4.1	2.6	4.6	3
ff _α	2.2	2	2.1	1.8	7	5	7	5	3.6	3	2.5	3.0



Stirnrad-Profil

Prog.Nr.:	STI0407j30	PNC 65 VA	Prüfer:	Udo Nath	Datum:	26.04.2004 11:15
Benennung:	Stirnrad		Zähnezahl z	16	Zahnbreite b	14mm
Zeichnungsnr.:	Öl FZG C / Ritzel		Modul m	4.5mm	Prof.-Prüfber. La	17.34mm
Auftr./Seriennr.:	1545GF n.E. Seitel		Eingriffswinkel	20°	Flnk.-Prüfber. LS	11.2mm
Kunde/Masch. Nr.:	LMGK		Schrägungswinkel	0°	Ausw.-Anfang M1	5.42mm
Messplatz:	RUHR UNI BOCHUM		Grundkreis-Ø db	67.658mm	Taster Ø	3mm
			Grundschr.winkel	0°	Pr.versch.F. x	.18

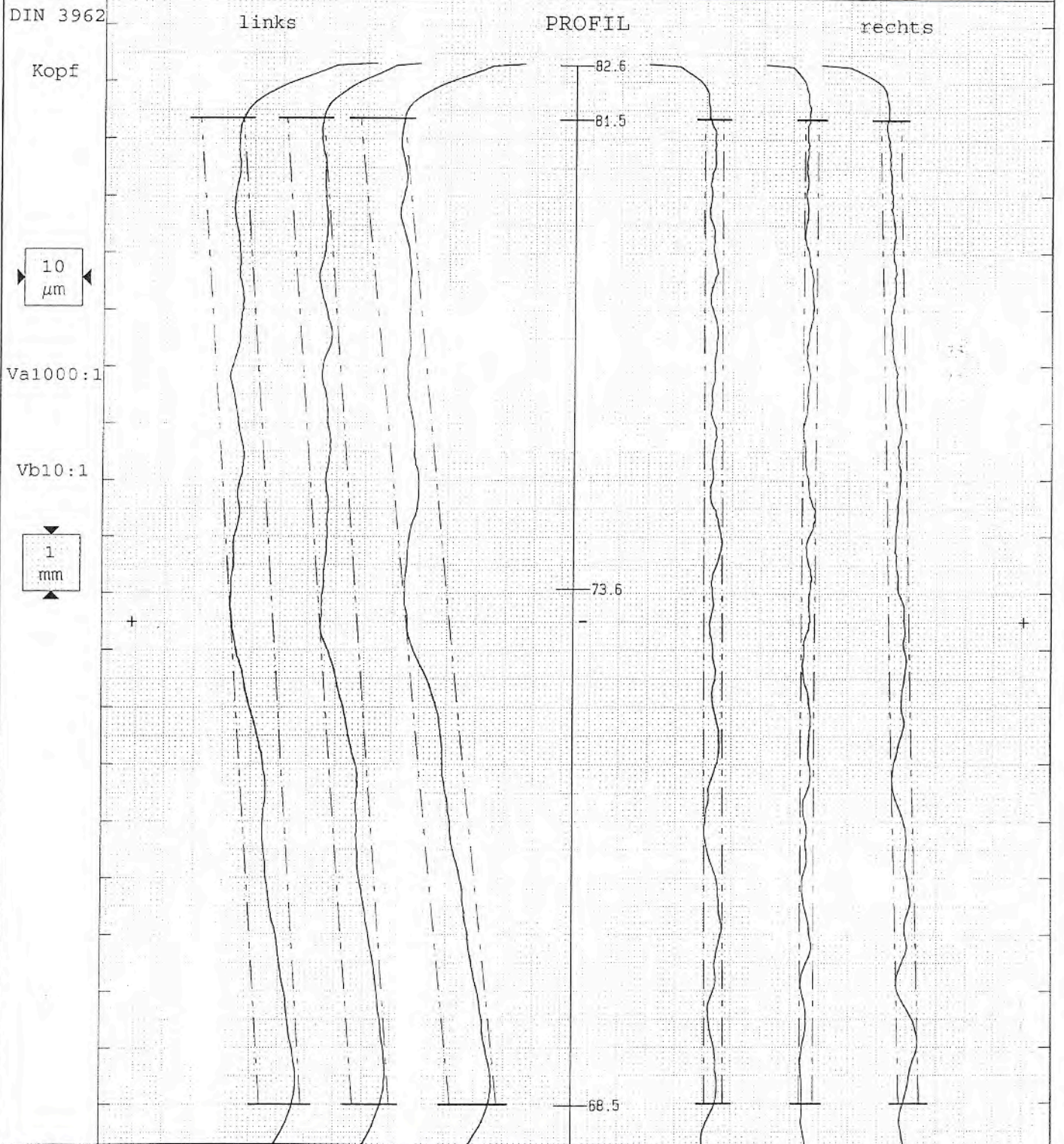


1: RVS-Lauf (Umlaufschmierung) – Nach Einlauf

	11 6 1			Zahn	1 6 11					
	Meßwert [μm] Qualität			zul. Wert Qual.			Meßwert [μm] Qualität			
fH α m	0.8	1	V 3.2				-0.6	1	V 3.2	
fH α	-0.8	0.9	2.4 3	+5.5	5	+5.5 5	0.7	0.1	-2.5 3	
F α	1.7	1.6	2.4 1	9	5	9 5	3.1	2.5	4.4 3	
ff α	1.0	1.0	1.1 1	7	5	7 5	3.0 2	2.5	3.0	

Stirnrad Profil

Prog.Nr.: STI0407j30	PNC 65 VA	Prüfer: Udo Nath	Datum: 06.05.2004 15:49
Benennung: Stirnrad		Zähnezahl z 16	Zahnbreite b 14mm
Zeichnungsgr.: Öl FZG C / Ritzel		Modul m 4.5mm	Prof.-Prüfber. La 17.34mm
Auftr./Serienr.: 1545GF LS10 Seitel		Eingriffswinkel 20°	Flank.-Prüfber. LS 11.2mm
Kunde/Masch. Nr.: LMGK		Schrägungswinkel 0°	Ausw.-Anfang M1 5.42mm
Messplatz: RUHR UNI BOCHUM		Grundkreis-Ø db 67.658mm	Taster Ø 3mm
		Grundschr.winkel 0°	Pr.versch.F. x .18

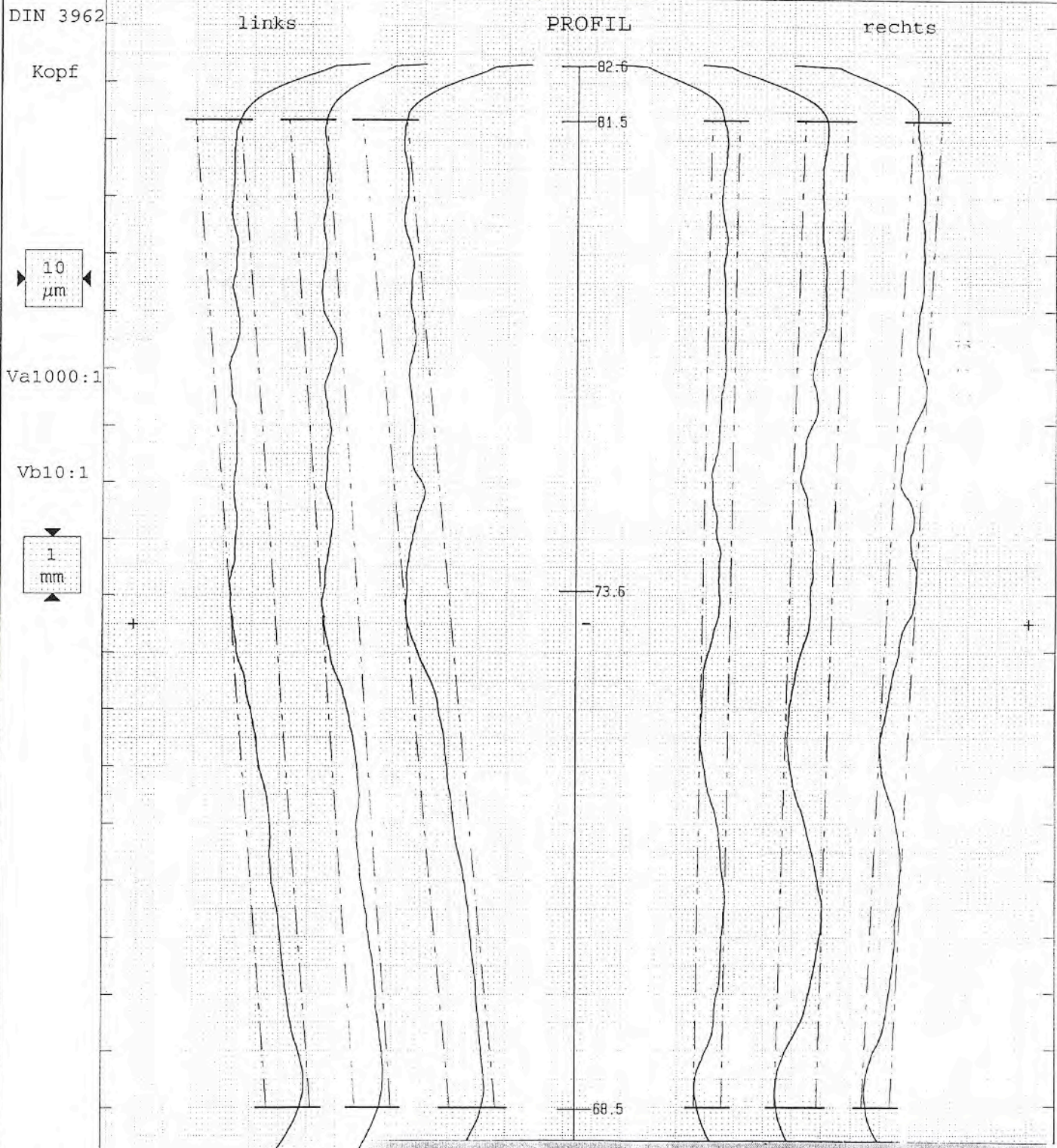


1. RVS-Lauf (Umlaufschmierung) – Nach Stufentest

	11	6	1	Zahn	1	6	11	
	Meßwert [µm] Qualität			zul. Wert Qual.	Meßwert [µm] Qualität			
fH _{om}	13.8	8	V 5.9		-1.3	1	V 3.9	
fH _α	11.4	12.7	17.3	±5.5 5	±5.5 5	-0.7	0.4	-3.5 4
F _α	12.5	12.5	17.0	9 5	9 5	3.2	2.5	5.7 4
ff _α	7.5	6.6	7.9	7 5	7 5	3.3	2.3	3.4 3

Stirnrad Profil

Prog.Nr.:	STI0407j30	PNC 65 VA	Prüfer:	Udo Nath	Datum:	21.05.2004 12:16
Benennung:	Stirnrad		Zähnezahl z	16	Zahnbreite b	14mm
Zeichnungsnr.:	Öl FZG C / Ritzel		Modul m	4.5mm	Prof.-Prüfber. La	17.34mm
Auftr./Seriennr.:	1545GF LS10 Seite2		Eingriffswinkel	20°	Flnk.-Prüfber. L&S	11.2mm
Kunde/Masch. Nr.:	LMGK		Schrägungswinkel	0°	Ausw.-Anfang M1	5.42mm
Messplatz:	RUHR UNI BOCHUM		Grundkreis-Ø db	67.658mm	Taster Ø	3mm
			Grundschr.winkel	0°	Pr.versch.F. x	.18



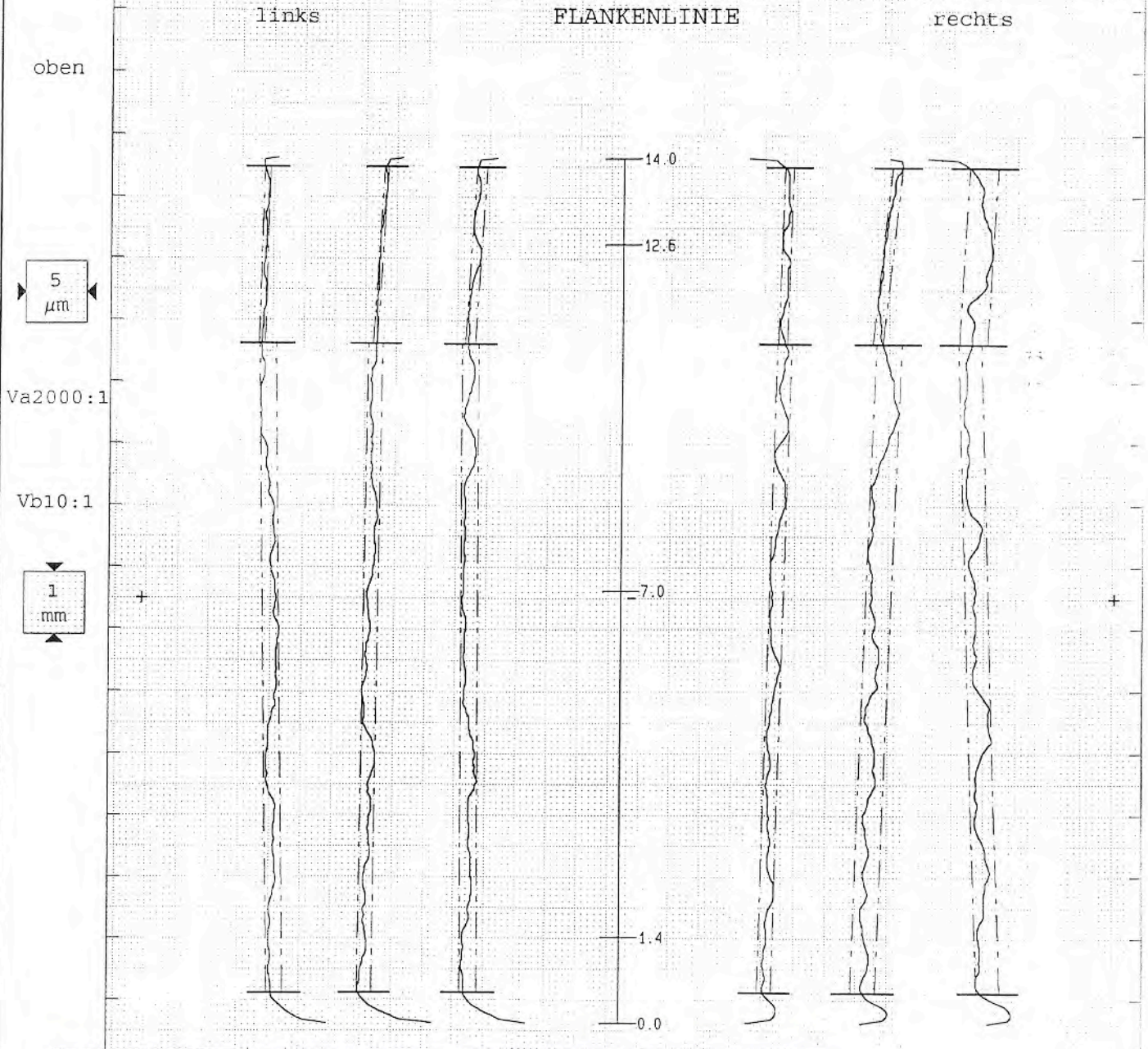
2. RVS-Lauf (Tauchschmierung) – Nach Stufentest

	11			6			1			Zahn			1			6			11		
	Meßwert [µm]			Qualität			zul. Wert			Qual.			Meßwert [µm]			Qualität					
fH _{αm}	13.9	8		V	3.9					5.3	5			5.3	5		V	5.6			
fH _α	13.1		12.4	16.3	9		±5.5	5	±5.5	5		2.7	4.9	8.3	7						
F _α	13.6		11.7	15.0	7		9	5	9	5		5.3	8.7	10.3	6						
ff _α	7.7		6.5	7.9	6		7	5	7	5		4.8	7.2	6	4.8						



Stirnrad Flankenlinie

Prog.Nr.: STI0407j30	PNC 65 VA	Prüfer: Udo Nath	Datum: 07.06.2004 12:40
Benennung: Stirnrad		Zähnezahl z 16	Zahnbreite b 14mm
Zeichnungsnr.: Öl FZG C / Ritzel		Modul m 4.5mm	Prof.-Prüfber. La 17.34mm
Auftr./Seriennr.: 1545GF LS7 Seitel		Eingriffswinkel 20°	Flnk.-Prüfber. LS 11.2mm
Kunde/Masch. Nr.: LMGK		Schrägungswinkel 0°	Ausw.-Anfang M1 5.42mm
Messplatz: RUHR UNI BOCHUM		Grundkreis-Ø db 67.658mm	Taster Ø 3mm
		Grundschr.winkel 0°	Pr.versch.F. x .18

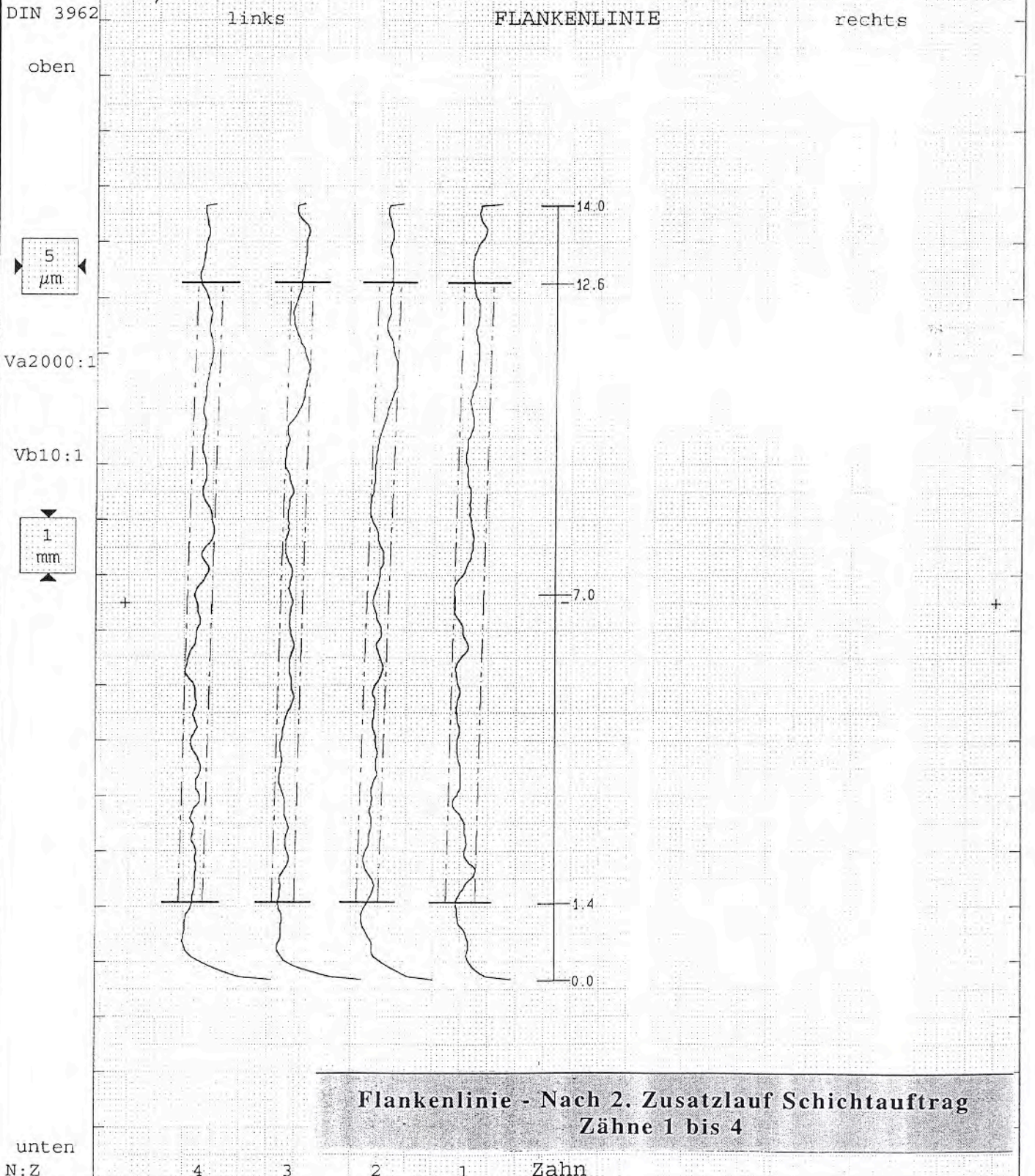


**Flankenlinie - Nach 1. Zusatzlauf Schichtauftrag
3 Zähne - Messung auf Teilkreisdurchmesser**

unten	links			Zahn	rechts			
N:A	11	6	1	1	6	11		
	Meßwert	[µm]	Qualität	zul. Wert	Qual.	Meßwert	[µm]	Qualität
fH _{Sm} [2]	-0.7		V 0.5			0.9		V 1.0
fH _B	-0.4	-0.9	-0.9 x	±6	±6	0.5	1.5 x	0.8
f _B	0.6	0.8	1.0 x	7	7	0.7	1.9	2.0 x
ff _B	0.5	0.3	0.8 x	4.5	4.5	0.7	0.8	2.2 x
CS								
fH _{Sm} [1]	0.2		V 1.4			0.6		V 3.5
fH _B	0.9 x	-0.5	0.2	±6	±6	1.4	1.9 x	-1.6
f _B	1.6 x	1.4	1.4	7	7	1.9	2.9 x	2.4
ff _B	1.3	1.2	1.4 x	4.5	4.5	1.1	2.0 x	1.8
CS								

Stirnrad Flankenlinie

Prog.Nr.: STI0407j30	PNC 65 VA	Prüfer: Udo Nath	Datum: 14.06.2004 13:39
Benennung: 750 / 1/min		Zähnezahl z 16	Zahnbreite b 14mm
Zeichnungsnr.: Öl FZG C / Ritzel		Modul m 4.5mm	Prof.-Prüfber. La 17.34mm
Auftr./Seriennr.: 1545GF LS8 Seitel		Eingriffswinkel 20°	Flnk.-Prüfber. LB 11.2mm
Kunde/Masch. Nr.: LMGK		Schrägungswinkel 0°	Ausw.-Anfang M1 5.42mm
Messplatz: RUHR UNI BOCHUM		Grundkreis-Ø db 67.658mm	Taster Ø 3mm
	Ø 77 mm	Grundschr.winkel 0°	Pr.versch.F. x .18

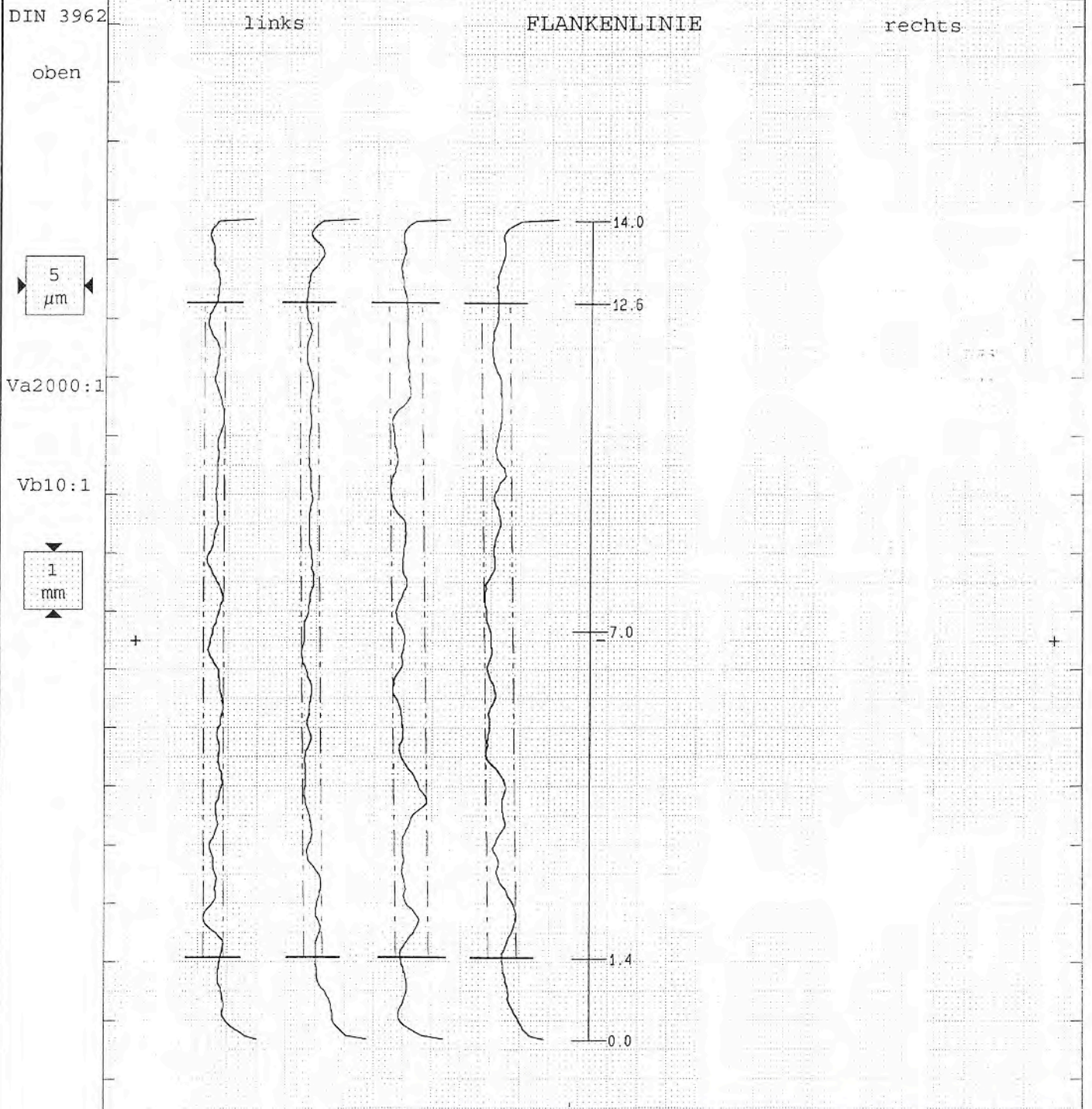


	Meßwert [µm] Qualität				zul. Wert Qual.		Meßwert [µm] Qualität			
fH _{Sm}	-1.9	1	V 0.5							
fH _B	-1.8	-1.7	-2.2	2	-1.8	±6	5			
F _B	2.5	2.7	2.8	2	2.2	7	5			
ff _B	2.2	2.0	2.0	2.7	3	4.5	5			



Stirnrad Flankenlinie

Prog.Nr.:	STI0407j30	PNC 65 VA	Prüfer:	Udo Nath	Datum:	14.06.2004 13:43
Benennung:	750 / 1/min		Zähnezahl z	16	Zahnbreite b	14mm
Zeichnungsnr.:	Öl FZG C / Ritzel		Modul m	4.5mm	Prof.-Prüfber. La	17.34mm
Auftr./Serienr.:	1545GF LS8	Seitel	Eingriffswinkel	20°	Flnk.-Prüfber. LS	11.2mm
Kunde/Masch. Nr.:	LMGK		Schrägungswinkel	0°	Ausw.-Anfang M1	5.42mm
Messplatz:	RUHR UNI BOCHUM		Grundkreis-Ø db	67.658mm	Taster Ø	3mm
	<i>Ø 77mm</i>		Grundschr.winkel	0°	Pr.versch.F. x	.18



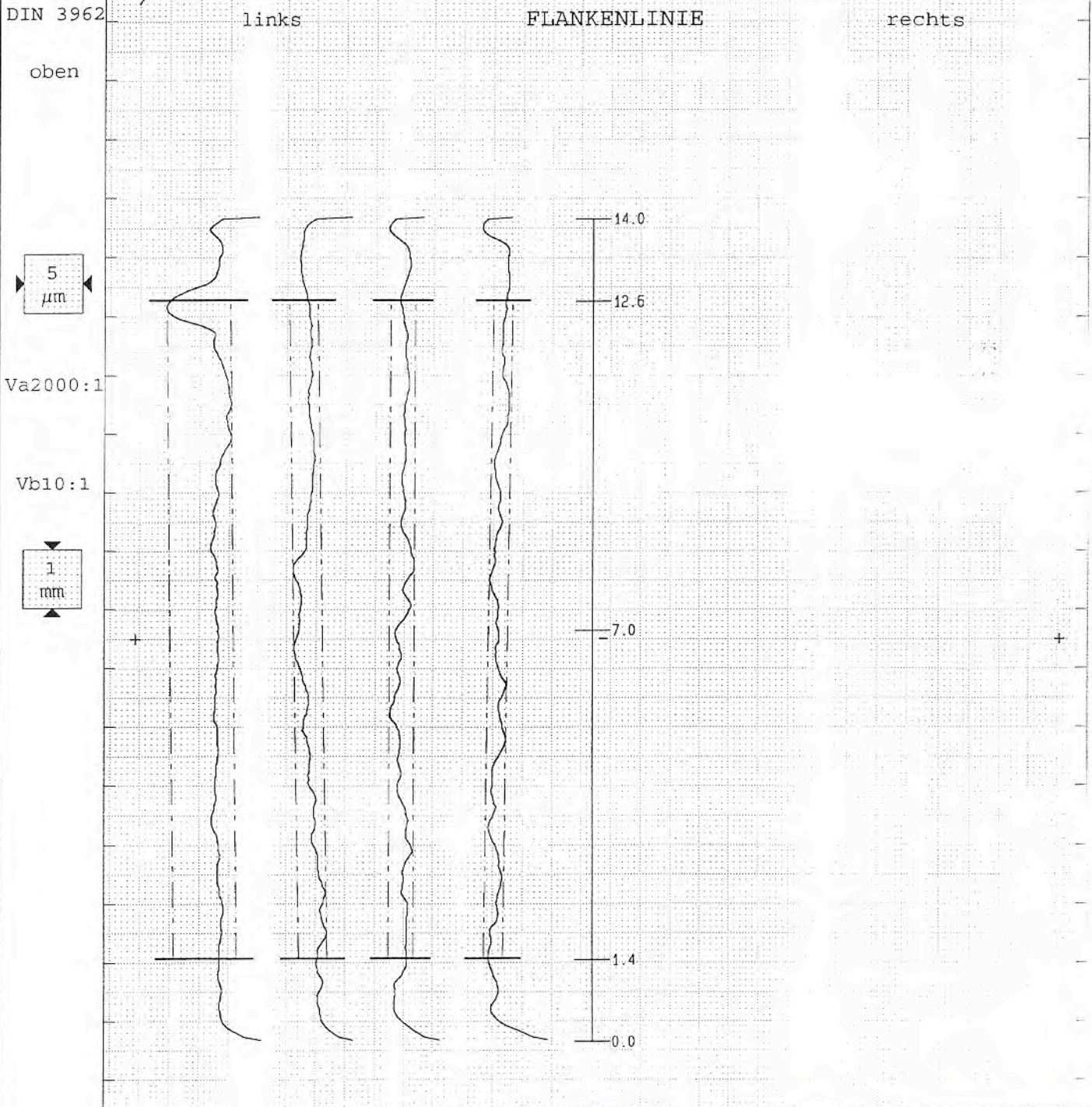
**Flankenlinie - Nach 2. Zusatzlauf Schichtauftrag
Zähne 5 bis 8**

unten												
N:Z	8	7	6	5	Zahn							
	Meßwert [µm]				Qualität	zul. Wert Qual.		Meßwert [µm]				Qualität
fH8m	0.8	1	V		0.9							
fH8	0.2	0.9	1.1	1	1.0	±6	5					
F8	1.7	1.8	3.3	2	2.7	7	5					
ff8	1.7	1.6	2.9	3	2.4	4.5	5					



Stirnrad Flankenlinie

Prog.Nr.:	STI0407j30	PNC 65 VA	Prüfer:	Udo Nath	Datum:	14.06.2004 13:45
Benennung:	750 / 1/min		Zähnezahl z	16	Zahnbreite b	14mm
Zeichnungsnr.:	Öl FZG C / Ritzel		Modul m	4.5mm	Prof.-Prüfber. La	17.34mm
Auftr./Seriennr.:	1545GF LS8 Seitel		Eingriffswinkel	20°	Flnk.-Prüfber. LS	11.2mm
Kunde/Masch. Nr.:	LMGK		Schrägungswinkel	0°	Ausw.-Anfang M1	5.42mm
Messplatz:	RUHR UNI BOCHUM		Grundkreis-Ø db	67.658mm	Taster Ø	3mm
	<i>Ø 77 mm</i>		Grundschr.winkel	0°	Pr.versch.F. x	.18



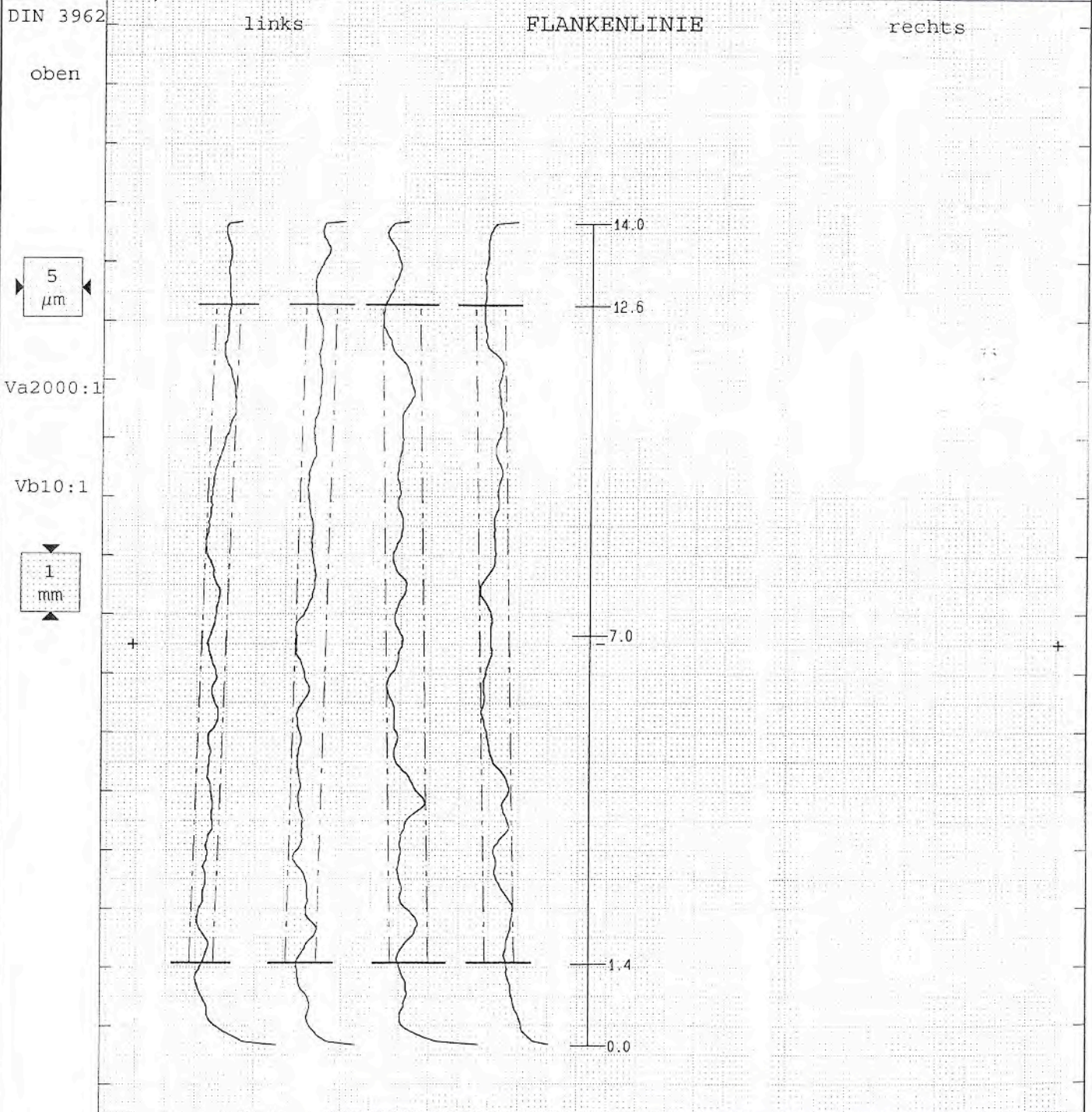
**Flankenlinie - Nach 2. Zusatzlauf Schichtauftrag
Zähne 9 bis 12**

N:Z	12				11		10		9		Zahn		
	Meßwert	[µm]	Qualität	zul. Wert	Qual.	Meßwert	[µm]	Qualität	zul. Wert	Qual.	Meßwert	[µm]	Qualität
fHβm	0.3	1	V	2.1									
fHβ	0.8	1.2	1	-0.1	-0.9	±6	5						
Fβ	5.4	4	2.9	2.2	1.6	7	5						
ffβ	5.3	6	2.4	2.2	1.6	4.5	5						



Stirnrad Flankenlinie

Prog.Nr.:	STI0407j30	PNC 65 VA	Prüfer:	Udo Nath	Datum:	14.06.2004 13:47
Benennung:	750 / 1/min		Zähnezahl z	16	Zahnbreite b	14mm
Zeichnungsnr.:	Öl FZG C / Ritzel		Modul m	4.5mm	Prof.-Prüfber. La	17.34mm
Auftr./Seriennr.:	1545GF LS8	Seite1	Eingriffswinkel	20°	Flnk.-Prüfber. LfS	11.2mm
Kunde/Masch. Nr.:	LMGK		Schrägungswinkel	0°	Ausw.-Anfang M1	5.42mm
Messplatz:	RUHR UNI BOCHUM		Grundkreis-Ø db	67.658mm	Taster Ø	3mm
	<i>Ø 77 mm</i>		Grundschr.winkel	0°	Pr.versch.F. x	.18



**Flankenlinie - Nach 2. Zusatzlauf Schichtauftrag
Zähne 13 bis 16**

N:Z	16	15	14	13	Zahn				
	Meßwert [µm]Qualität				zul. Wert Qual.	Meßwert [µm]Qualität			
fH3m	-0.4 1	V 3.8							
fH3	-2.4 2	-1.7	1.3	1.4	+6 5				
F3	3.0	2.2	3.9 3	2.9	7 5				
ff3	2.0	2.6	3.2 4	2.5	4.5 5				



RANK TAYLOR HOBSON

Form Talysurf Series

RUHR-UNI-BOCHUM LMGK MESSRAUM

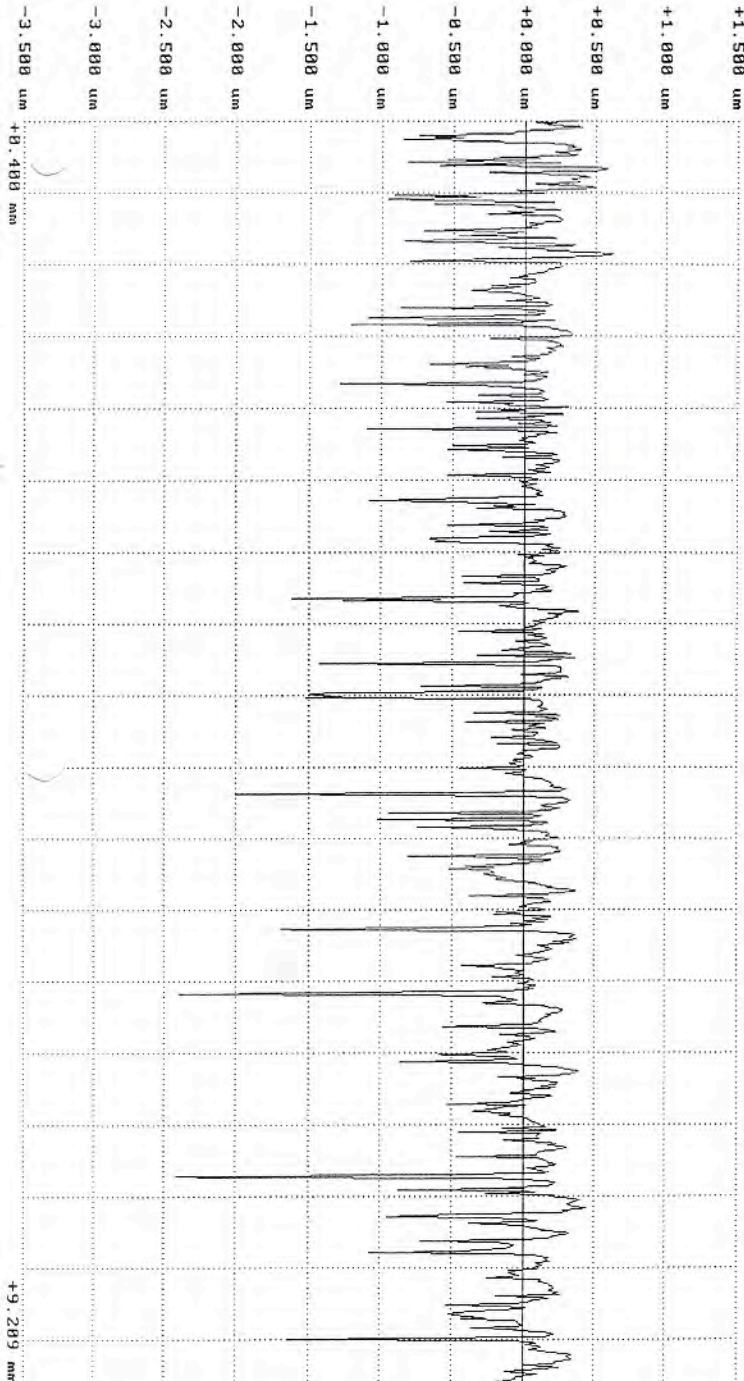
23/07/04 15:47:05
 Rauheit/Gauss/11*0.0mm,100:1/Datum
 Kalibriert: 09:54, 19/05/04, 112/2564, 112/2009, Standart

Benennung : Ritzel Seite 1
 Zeichnungs-Nr. : FZG 1545
 Pruefer : Udo Nath
 Messrichtung : in Zahnbreitenrichtung
 Messlaenge : 10 mm
 Bemerkung : Zahn 1

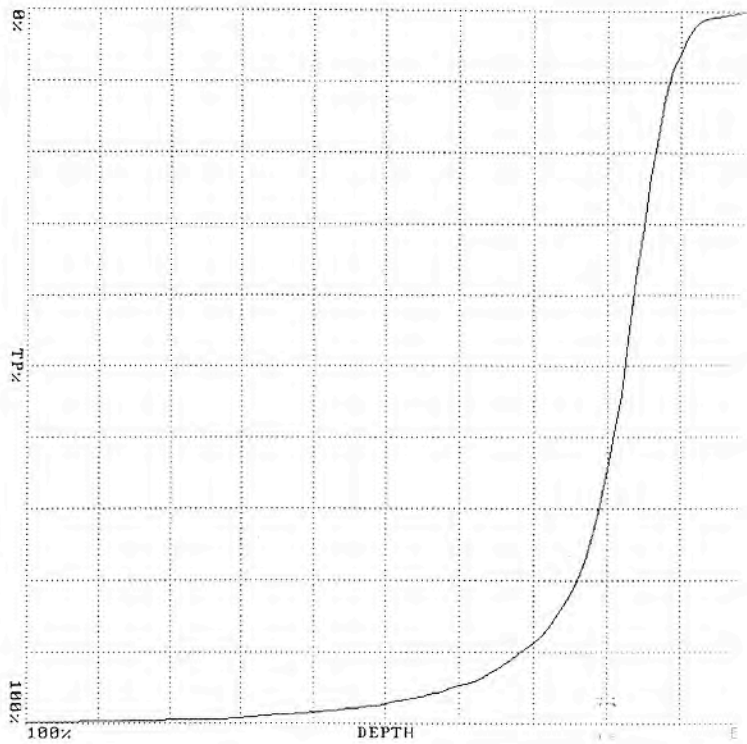
KOMPLETTES ANALYSIERTES PR

Horizontale Skala : 500.000 um pro Einheit
 Horizontale Verstaerkung : x 19.0
 Verticale Skala : 0.500 um pro Einheit
 Vertikale Verstaerkung : x 18960.0

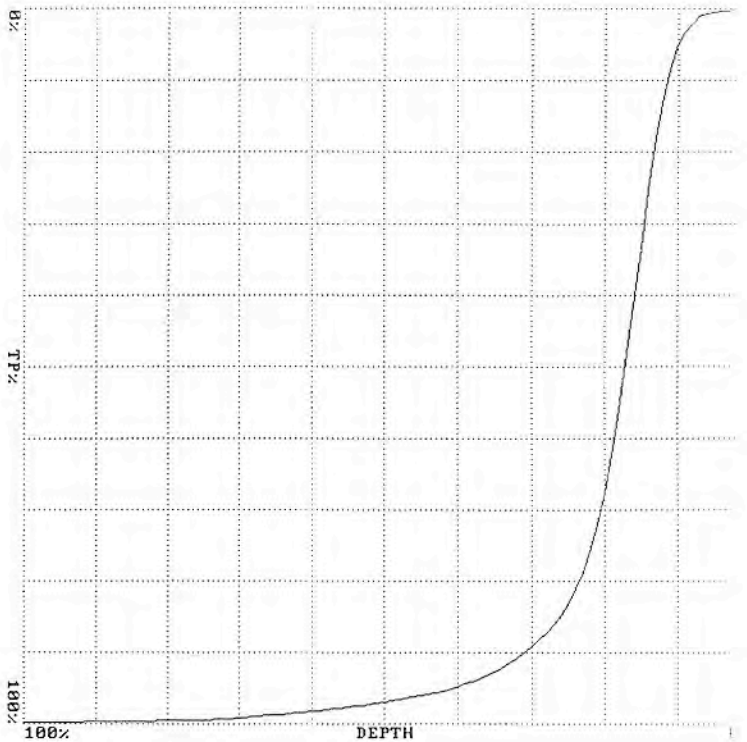
WARNUNG : ES DRUCKEN NICHT ALLE PROFILPUNKTE



TRAGANTEIL



Rk TRAGANTEIL



Ra	0.2195 um	Rq	0.3307 um	Rp	0.6360 um
Rc	2.5106 um	Rt	3.1466 um	Rsk	-2.7035 um
Rku	13.9899 um	Ry	2.9598 um	RzISO	1.2227 um
Rpm	0.4153 um	Rk	0.4068 um	Rpk	0.1773 um
Rvk	0.0393 um	Mr1	8.0000 %	Mr2	79.0000 %
Sm	68.6098 um				

Rauheitsmessung in Breitenrichtung
 nach Zusatzlauf Schichtauftrag - Zahn 1

RANK TAYLOR HOBSON

Form Talysurf Series

RUHR-UNI-BOCHUM LMGK MESSRAUM

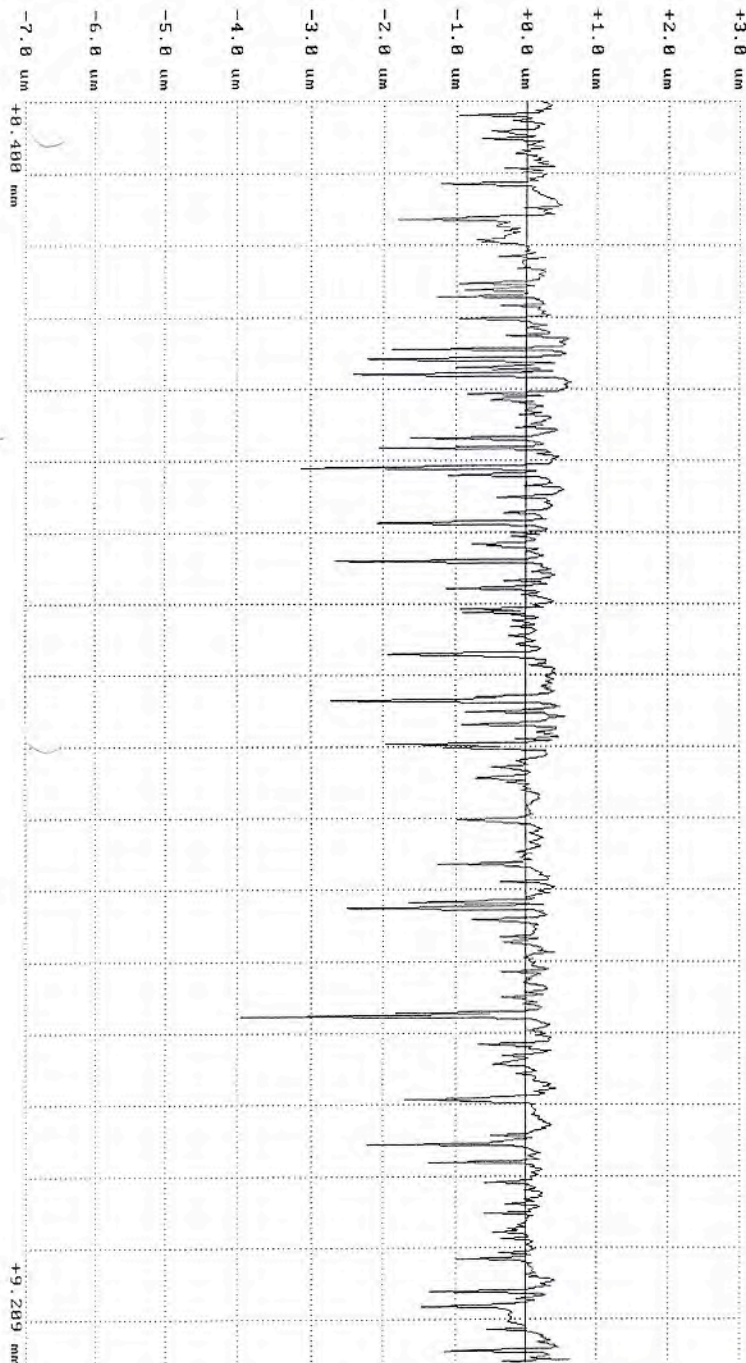
23/07/04 15:58:25
 Rauheit/Gauss/11*8.0mm, 100:1/Datum
 Kalibriert: 09:54, 19/05/104, 112/2564, 112/2009, Standart

Benennung : Ritzel Seite 1
 Zeichnungs-Nr. : FZG 1545
 Pruefer : Udo Nath
 Messrichtung : in Zahnbreitenrichtung
 Messlaenge : 18 mm
 Bemerkung : Zahn 2

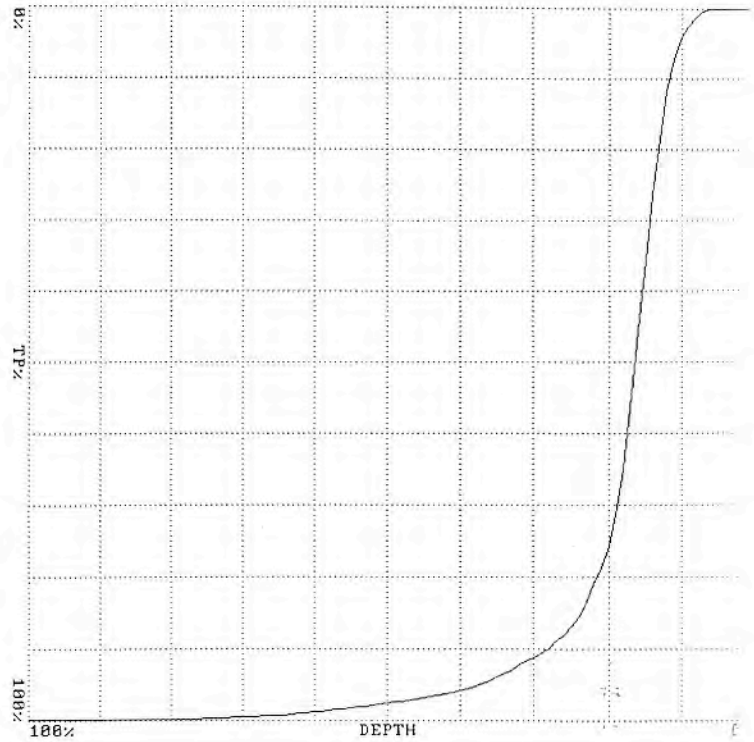
KOMPLETTES ANALYSIERTES PR

Horizontale Skala : 500.000 um pro Einheit
 Horizontale Verstaerkung : x 19.0
 Verticale Skala : 1.000 um pro Einheit
 Vertikale Verstaerkung : x 9400.0

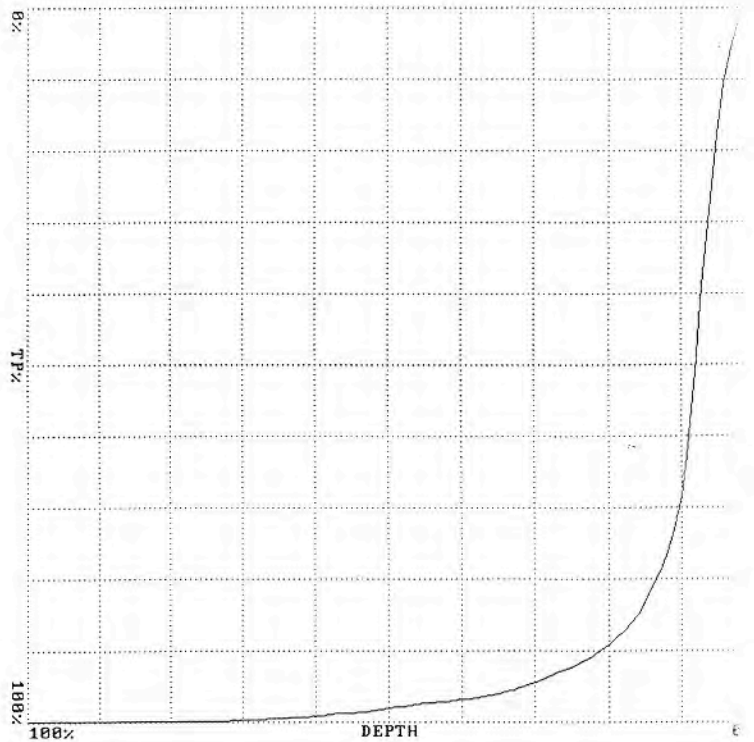
WARNUNG : ES DRUCKEN NICHT ALLE PROFILPUNKTE



TRAGANTEIL



Rk TRAGANTEIL



Ra	0.3827 um	Rq	0.4887 um	Rp	0.9616 um
Rv	4.1584 um	Rt	5.1200 um	Rsk	-2.9830 um
Rku	14.9217 um	Ry	4.5012 um	RzISO	1.7495 um
Rpm	0.5111 um	Rk	0.5867 um	Rpk	0.1573 um
Rvk	1.3501 um	Mr1	6.0000 %	Mr2	79.0000 %
Sm	73.4898 um				

Rauheitsmessung in Breitenrichtung
 nach Zusatzlauf Schichtauftrag - Zahn 2

RANK TAYLOR HOBSON

Form Talysurf Series

RUHR-UNI-BOCHUM LMGK MESSRAUM

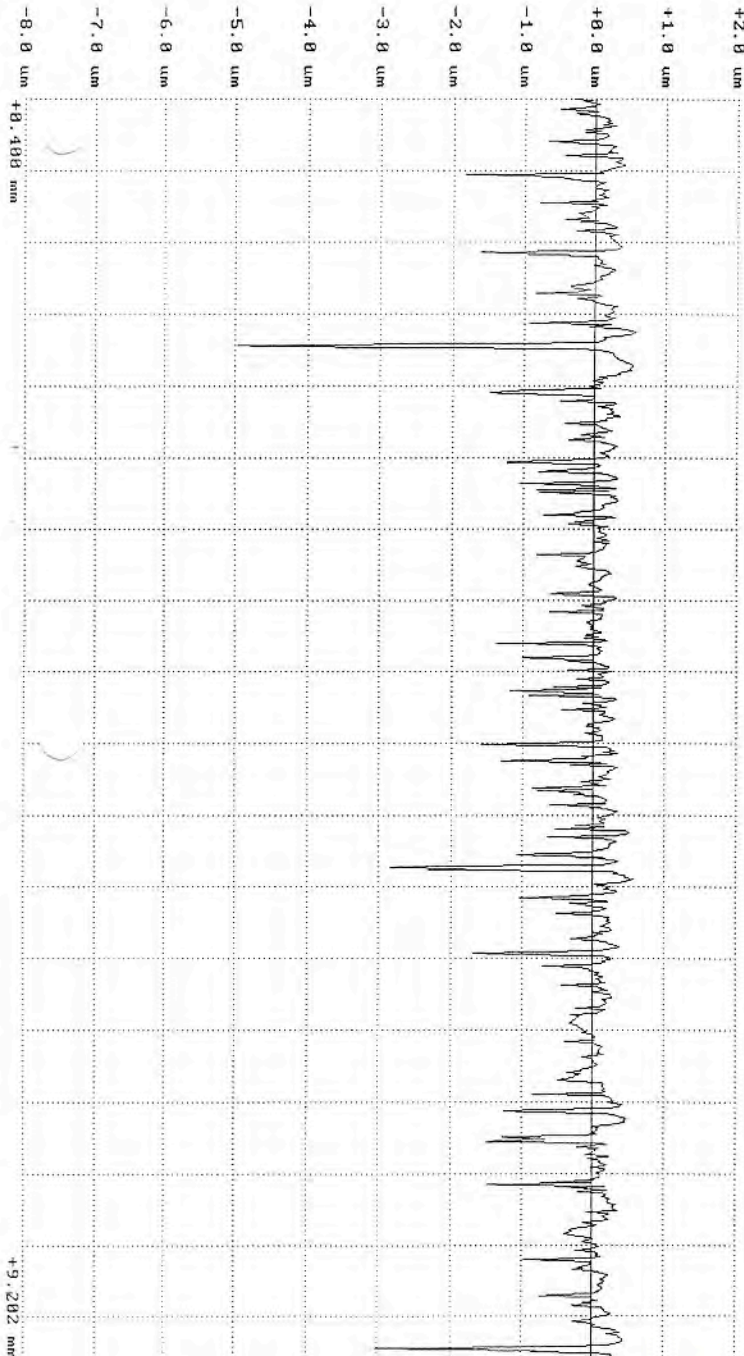
23/07/04 15:54:29
 Rauheit/Gauss/11*0.8mm, 100:1/Datum
 Kalibriert: 09:54, 19/05/104, 112/2564, 112/2009, Standart

Benennung : Ritzel Seite 1
 Zeichnungs-Nr. : FZG 1545
 Pruefer : Udo Nath
 Messrichtung : in Zahnbreitenrichtung
 Messlaenge : 10 mm
 Bemerkung : Zahn 3

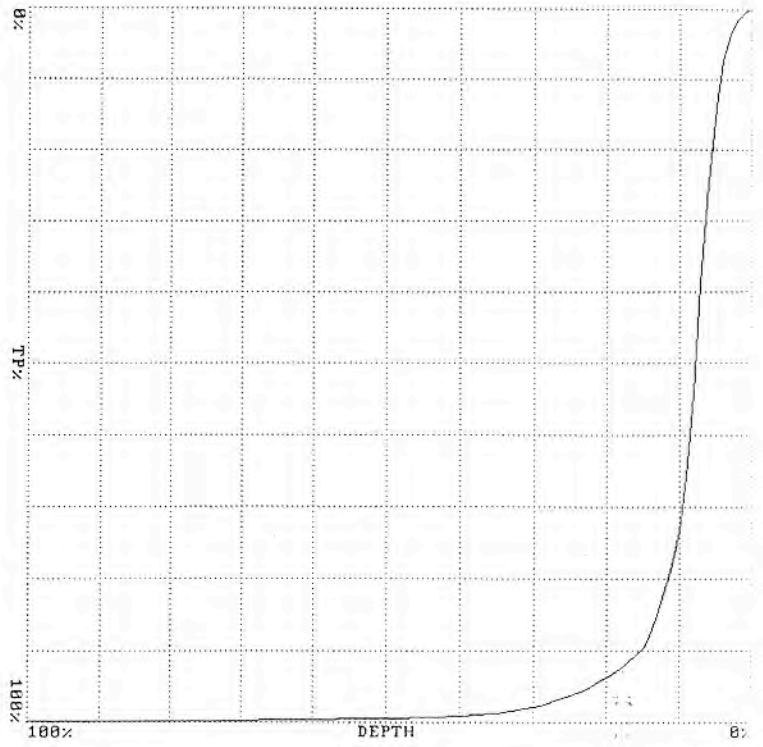
KOMPLETTES ANALYSIERTES PR

Horizontale Skala : 500.000 um pro Einheit
 Horizontale Verstaerkung : x 19.0
 Verticale Skala : 1.000 um pro Einheit
 Vertikale Verstaerkung : x 9400.0

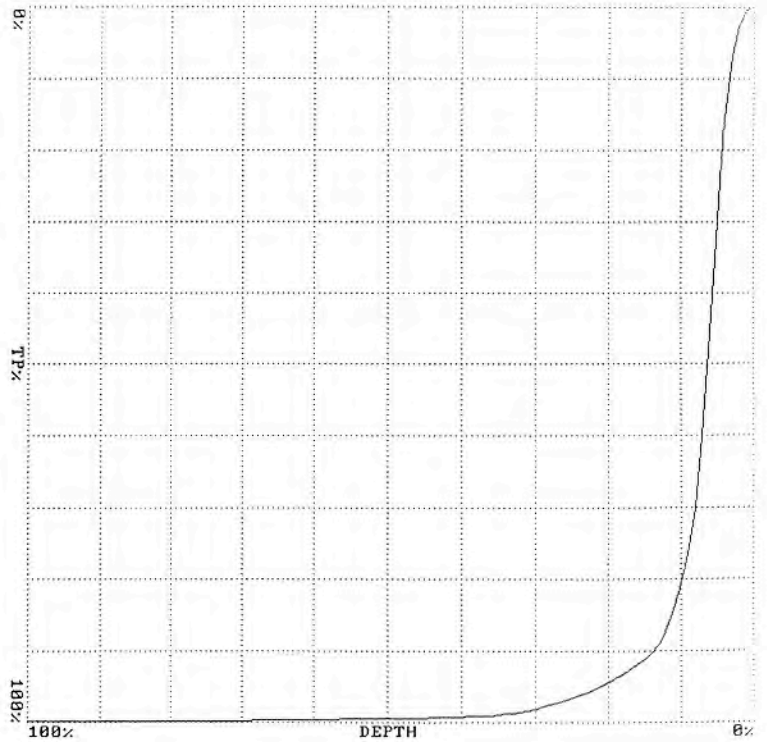
WARNUNG : ES DRUCKEN NICHT ALLE PROFILPUNKTE



TRAGANTEIL



Rk TRAGANTEIL



Ra	0.2590 um	Rq	0.4481 um	Rp	0.5899 um
Rc	5.6651 um	Rt	6.2551 um	Rsk	-4.5578 um
Rku	38.2057 um	Ry	6.2551 um	RzISO	1.4354 um
Rpm	0.4378 um	Rk	0.4045 um	Rpk	0.1852 um
Rck	1.1218 um	Mr1	7.0000 %	Mr2	81.0000 %
Sm	75.2596 um				

Rauheitsmessung in Breitenrichtung
 nach Zusatzlauf Schichtauftrag - Zahn 3