

Massivbau Baustofftechnologie Karlsruhe

Schlussbericht

Auftraggeber: The Kingdom of the Netherlands

Ministry of Transport, Public Works and Water Management
Hydraulic Infrastructure Department of the Civil Engineering Division
Directorate-General for Public Works and Water Management
Griffioenlaan 2

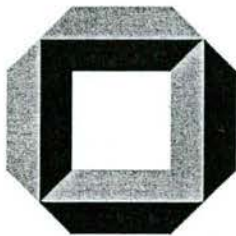
NL – 3526 LA Utrecht

Betreff: **Versuche an einem Topflager \varnothing 550 mm
mit einer
neu entwickelten UHMWPE-Innendichtung**

Auftrags-Nr.:	01 28 34 0973	Textseiten:	54
Datum:	23. Sept. 2002	Anlagen:	10 (104 S.)
Bearbeiter:	Khbeis / Zeller	Durchwahl:	049 721 608 5462
ausgefertigt:	5fach: Bouwdienst Rijkswaterstaat (RWS) Postbus 59, NL – 2700 AB Zoetermeer		
	1fach: Institut für Massivbau, Karlsruhe		

Der Schlussbericht darf nur ungekürzt vervielfältigt werden.
Veröffentlichung und auszugsweise Wiedergabe
bedarf der schriftlichen Genehmigung des Instituts.

Universität Karlsruhe
Institut für Massivbau und Baustofftechnologie
Abteilung Massivbau
2002



Massivbau Baustofftechnologie Karlsruhe

BIBLIOTHEEK BOUWDIENST RIJKSWATERSTAAT

NR. C 8247 BDU

Schlussbericht

Auftraggeber: The Kingdom of the Netherlands

Ministry of Transport, Public Works and Water Management
Hydraulic Infrastructure Department of the Civil Engineering Division
Directorate-General for Public Works and Water Management
Griffioenlaan 2

NL – 3526 LA Utrecht

Betreff: Versuche an einem Topflager \varnothing 550 mm
mit einer
neu entwickelten UHMWPE-Innendichtung

Auftrags-Nr.:	01 28 34 0973	Textseiten:	54
Datum:	23. Sept. 2002	Anlagen:	10 (104 S.)
Bearbeiter:	Khbeis / Zeller	Durchwahl:	049 721 608 6462
ausgefertigt:	5fach: Bouwdienst Rijkswaterstaat (RWS) Postbus 59, NL – 2700 AB Zoetermeer		
	1fach: Institut für Massivbau, Karlsruhe		

Der Schlussbericht darf nur ungekürzt vervielfältigt werden.
Veröffentlichung und auszugsweise Wiedergabe
bedarf der schriftlichen Genehmigung des Instituts.

Universität Karlsruhe
Institut für Massivbau und Baustofftechnologie
Abteilung Massivbau
2002



Testing of a Pot Bearing \varnothing 550 mm with a Newly Designed UHMWPE Seal

FINAL REPORT

Date: 23. Sept. 2002

Summary

Tests on a pot bearing with an internal diameter of \varnothing 550 mm, an elastomeric pad NYH of quality 1115 and a newly designed internal seal of UHMWPE material were realized as specified in the following:

- Short term rotation tests to determine restoring moments and to analyse distinct effects on restoring moments
- Static long term load test to investigate long term behaviour of the UHMWPE-seal under extreme vertical load and bearing rotation
- Wear tests to verify wear behaviour of the UHMWPE-seal on an accumulated total slide path of 5000 m between the internal seal and the pot wall.

The moment factors required for the calculation of restoring moments in accordance with prEN 1337-5 were evaluated from the results of the short term rotation tests. The moment factors and restoring moments strongly depend on the bearing temperature. Further effects on the restoring moments as pot bearing's lubrication condition and rotation frequency were depicted in various diagrams. Contrarily to these influences, only a slight and negligible dependence of restoring moments on the elastomer pressure was ascertained in the short term tests.

The long term load test and the wear tests have shown in particular that the newly designed UHMWPE internal seal is excellently suitable for pot bearings installed in road and railway bridges.



Massivbau und Baustofftechnologie · Universität Karlsruhe (TH) · 76128 Karlsruhe

The Kingdom of the Netherlands
Ministry of Transport, Public Works and Water Management
Hydraulic Infrastructure Department of the Civil Engineering Division
Directorate-General for Public Works and Water Management
Griffioenlaan 2
NL – 3526 LA Utrecht

Massivbau

Ord. Prof. Dr.-Ing. L. Stempniewski

Gotthard-Franz-Str. 3
76131 Karlsruhe
Tel.: (07 21) 608 – 2263
Fax: (07 21) 608 – 2265
www-ifmb.bau-verm.uni-
karlsruhe.de

Ihr Ansprechpartner
Dipl.-Ing. H. Khbeis
Durchwahl: 6462
e-mail: halim.khbeis
@ifmb.uni-karlsruhe.de

Karlsruhe, 23. Sept. 2002

Versuche an einem Topflager \varnothing 550 mm mit einer neu entwickelten UHMWPE-Innendichtung

SCHLUSSBERICHT Nr. 01 28 34 0973

Inhalt:

Text

Inhaltsverzeichnis des Textteils	S. 2 bis 3
Text	S. 4 bis 54

Anlagen

Anlagenverzeichnis:	2 Seiten
Anlage 1 bis Anlage 10:	104 Seiten

Anhang (Annex)

Anhang-Inhaltsverzeichnis:	1 Seite
Annex 1 bis Annex 6	40 Seiten

<u>INHALTSVERZEICHNIS (Textteil)</u>	Seite
1 Allgemeines	4
2 Versuchslager	5
3 Versuchsprogramm	7
4 Kurzzeit-Kippversuche	
zur Bestimmung der Rückstellmomente nach prEN 1337-5	
4.1 Versuchsaufbau	8
4.2 Durchführung Kippversuche am ungeschmierten Topflager	8
4.2.1 Kaltversuch	8
4.2.2 Raumtemperatur-Kippversuch	10
4.3 Durchführung Kippversuche am ideal geschmierten Topflager	11
4.3.1 Kaltversuch	11
4.3.2 Raumtemperatur-Kippversuch	11
4.4 Versuchsergebnisse der Kalt- und Raumtemperatur-Versuche	11
4.4.1 Zustand der Lagerkomponenten nach dem Öffnen des ungeschmierten Topflagers	11
4.4.2 Kippwinkel, Rückstellmomente, Lagertemperatur, Kippfrequenz	13
4.5 Momentenfaktoren F_0 , F_1 und F_2 nach prEN 1337-5	15
5 Verschleißversuch über 2000 m Gesamtleitweg	
5.1 Versuchsaufbau, Versuchsdurchführung	17
5.2 Versuchsergebnisse	
5.2.1 Kippwinkel, Rückstellmomente, Lagertemperatur	18
5.2.2 Beobachtungen während des Verschleißversuchs	19
5.2.3 Zustand der Lagerkomponenten nach dem Lageröffnen	20
5.3 Folgerungen aus dem 2000m-Verschleißversuch	22
6 Statischer Langzeit-Belastungsversuch	
6.1 Vorbemerkungen	23
6.2 Versuchsaufbau, Versuchsdurchführung	23
6.3 Versuchsergebnisse	26
6.3.1 Beobachtungen während der 182h-Standzeit	26
6.3.2 Lagerstauchung, Lagertemperatur, Last-Stauchungs-Diagramm	27
6.3.3 Zustand der Lagerkomponenten nach dem Öffnen	29

7	Zusätzlicher Verschleißversuch über 3000 m Gesamtgleitweg	Seite
7.1	Versuchsaufbau, Versuchsdurchführung	31
7.2	V Versuchsergebnisse	32
7.2.1	Kippwinkel, Rückstellmomente, Lagertemperatur	32
7.2.2	Vergleich der Momente im 2000m- und 3000m-Verschleißversuch	32
7.2.3	Beobachtungen während des 3000m-Verschleißversuchs	33
7.2.4	Zustand der Lagerkomponenten nach dem Öffnen des Versuchslagers	33
8	Zusätzliche Kurzzeit-Kippversuche am Topflager mit verminderter Schmierung	
8.1	Versuchsaufbau, Versuchsdurchführung der Zusatzversuche	36
8.1.1	Zusätzlicher Raumtemperatur-Kippversuch A-RT1	36
8.1.2	Zusätzlicher Kaltversuch A-LT	37
8.1.3	Zusätzlicher Raumtemperatur-Kippversuch A-RT2	38
8.2	V Versuchsergebnisse der Zusatzversuche	39
8.2.1	Öffnen des Versuchslagers	39
8.2.2	Kippwinkel, Rückstellmomente, Lagertemperatur	39
8.2.3	Anliegen von Deckelbund und Topfwand in den Versuchen A-RT1, A-LT, ART2	39
9	Einflüsse auf die Rückstellmomente in den Kurzzeit-Kippversuchen, Momentenfaktoren	
9.1	Einflüsse auf die Größe der Rückstellmomente	41
9.1.1	Schmierungszustand (Vergleich: geschmiertes und ungeschmiertes Topflager)	41
9.1.2	Verminderung der Schmierung durch die Belastungsvorgeschichte	43
9.1.3	Lagertemperatur	44
9.1.4	Kippfrequenz	45
9.1.5	Elastomerpressung	46
9.2	Momentenfaktoren	47
9.2.1	Momentenfaktoren F_0^* , F_1^* und F_2^*	47
9.2.2	Vergleich der Momentenfaktoren F und Momente M_E nach prEN 1337-5 mit den Momentenfaktoren F^* und M^* der Zusatzversuche	48
10	Schlussfolgerungen aus den durchgeführten Versuchen	
10.1	Folgerungen aus den Kurzzeit-Kippversuchen	50
10.2	Folgerungen aus dem Langzeit-Kippversuch	52
10.3	Folgerungen aus den Verschleißversuchen	53
11	Zusammenfassung	54

1 Allgemeines

Das Institut für Massivbau und Baustofftechnologie (IfMB) der Universität Karlsruhe, Deutschland, wurde vom nachfolgend genannten Auftraggeber mit der Durchführung von Versuchen an einem Topflager Ø 550 mm beauftragt:

Auftraggeber: The Kingdom of the Netherlands
Ministry of Transport, Public Works and Water Management

Vertreten durch:
Hydraulic Infrastructure Department of the Civil Engineering Division
Directorate-General for Public Works and Water Management
Griffioenlaan 2
NL – 3526 LA Utrecht

und:
Bouwdienst Rijkswaterstaat (RWS)
Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Hoofafdeling NI, Afdeling NIO en NIS
Postbus 59
NL – 2700 AB ZOETERMEER.

Hauptziel der Versuche war, die Eignung einer neu entwickelten Topflager-Innendichtung aus UHMWPE-Material (Ultra-High-Moleculair-Weight-Poly-Ethylene) experimentell nachzuweisen. Hierzu wurden insgesamt zwei Versuchsreihen durchgeführt.

Grundlage der ersten Versuchsreihe war das mit dem Auftraggeber vertraglich abgestimmte Versuchsprogramm vom 12. Okt. 2001 und 05. Nov. 2001, welches - in Anlehnung an prEN 1337 - 5 und die Richtlinien für deutsche Zulassungsversuche - vom Institut für Massivbau und Baustofftechnologie ausgearbeitet worden war. Diese Versuchsreihe basierte auf folgendem Vertrag:

Agreement Nr. BDN 6128, Projectcode 3962 K5, Version vom 05. Nov. 2001.

Nach Abschluss der ersten Versuchsreihe wurden auf Wunsch des Auftraggebers am selben Lager ergänzende Zusatzversuche vorgenommen. Grundlage für diese zweite Versuchsreihe war der modifizierte Vertrag:

Agreement Nr. BDN 6128, Mod. A, Projectcode 6580, CMF 1 und CMF 2, in der Version vom 16. Jan. 2002.

Beide Versuchsreihen sind Gegenstand des vorliegenden Schlussberichts.

2 Versuchslager

Als Versuchslager wurde ein Topflager (Topfinnendurchmesser \varnothing 550 mm) mit einer Elastomerplatte der Firma NYH (Naturkautschuk, Qualität 1115) und mit einer von RWS neu entwickelten, aus einem geschlossenen Ring bestehenden UHMWPE-Innendichtung verwendet.

Zur Vermeidung von Zwängungsbeanspruchungen, die bei Kippversuchen infolge der Geometrie der Prüfanlage durch das mögliche Anliegen des unteren Deckelrandes an der Topfinnenwand bei größeren Lagerrotationen auftreten können, war das Versuchslager mit einem Gleitteil versehen.

Die Gleitelemente bestanden aus einer an der Oberseite mit Schmiertaschen versehenen PTFE-Ronde (\varnothing 520 mm, Dicke 8 mm) und einem äußeren Verstärkungsring aus UHMWPE-Material, als Gleitpartner diente ein austenitisches Stahlblech 650x650x2,5 mm. Eine Gleitplatte war für vorliegende Versuchszwecke nicht erforderlich. Zur Aufnahme des UHMWPE-Rings und der PTFE-Platte war in den Topfdeckel eine 5 mm tiefe Einlassung (Rezess) \varnothing 550 mm eingedreht.

Die Verstärkung der PTFE-Platte durch einen UHMWPE-Ring war bei konventionellen Gleitlagern bisher nicht üblich. Es handelt sich hierbei ebenfalls um eine Neuentwicklung von RWS zur Verbesserung des Verschleißverhaltens von Gleitlagern.

Die wichtigsten Ist-Daten des Versuchslagers sind in folgender Aufstellung zusammengefasst:

Innendurchmesser des Topfes	550,0	mm
Außendurchmesser des Topfes	661,0	mm
Höhe der Topfwand (außen)	76,7	mm
Topfbodendicke (laut Angabe)	21,0	mm
Dicke der Elastomerplatte	39,0	mm
Shore-A-Härte der ungealterten Elastomerplatte	ca. 49 - 50	-°
Verhältnis: Topfinnendurchmesser/Elastomerplattendicke	14,1	-
UHMWPE-Innendichtung des Topflagers: Breite x Dicke	14,9 x 8,5	mm
Gesamtlagerspiel zwischen Topf und Deckelbund	0,8	mm
Rezess in der Deckeloberseite: Durchmesser x Tiefe	550,1 x 5,0	mm
PTFE-Platte des Gleitlagers: Durchmesser x Dicke	520,0 x 8,1	mm
UHMWPE-Verstärkungsring des Gleitlagers: Breite x Dicke	15,0 x 8,4	mm

Das Versuchslager wurde von der Firma Federal Mogul / Söllinger Hütte GmbH entsprechend den üblichen Baugrundsätzen nach prEN 1337-5 sowie nach Vorgaben des Auftraggebers hergestellt. Die erforderlichen Materialspezifikationen der einzelnen Lagerkomponenten und des Schmierfetts sowie weitere Anforderungen hinsichtlich zulässiger Toleranzen und Rauheiten waren zuvor von RWS detailliert zusammengestellt und dem Lagerhersteller mitgeteilt worden (siehe Annex 1 und Annex 2).

Weitere Angaben zum Lageraufbau sowie zu den Abmessungen und den Materialgüten der einzelnen Lagerkomponenten sind den Konstruktionsplänen, den Kontrollkarten und den 3.1 B-Prüfzeugnissen zu entnehmen (siehe Annex 3 bis 6).

Ein Korrosionsschutz nach EN 1337-9, der normalerweise in der Praxis erforderlich ist, war beim Versuchslager nicht notwendig. Auch auf das Anordnen einer Außendichtung zwischen Topf und Deckel konnte beim Versuchslager verzichtet werden.

Die Abnahme des Versuchslagers und die erforderlichen Kontrollen wurden von der MPA Stuttgart und von RWS vorgenommen.

Die einzelnen Lagerkomponenten wie stählerner Topf und Deckel, Elastomerronde (Firma NYH, 1115/13, Nr. 9621, ungealtert), PTFE-Platte (Brückenlagerqualität, Firma IGB, Nr. 45400 866, Kennz. 016102/514) sowie das Schmierfett (Brückenlagerqualität, Wacker mittel, KNr. 6641/068) wurden am Institut am 05.11.2001 angeliefert. Danach wurden deren Ist-Abmessungen nachkontrolliert und die Shore-A-Härte des Elastomers überprüft.

Zur Messung der Lagertemperatur wurde das Versuchslager in der Mitte des Topfbodens und in der Topfwand (30 mm vom Topfboden entfernt, also etwa in Höhe der Unterkante der Innendichtung) vom IfMB mit speziellen Bohrungen versehen, in welche jeweils ein Thermoelement eingeschoben wurde und die danach mit Spezialkleber geschlossen wurden.

Der Zusammenbau des Versuchslagers erfolgte durch das IfMB. Verschiedene Einbauphasen sind auf den Fotos in Anlage 2 zu sehen.

Nach Einbau der PTFE-Platte und des UHMWPE-Verstärkungsringes in den Rezens im Deckel hatte sich zwischen den Oberseiten von Verstärkungsring und der PTFE-Platte infolge der unterschiedlichen Dicken dieser beiden Gleitlagerkomponenten ein Überstand von ca. 0,5 mm ausgebildet.

Zur Isolierung des Versuchslagers wurden Topfbodenunterseite und Gleitblechrückseite mit 5 mm dicken, druckfesten Spezialdämmplatten versehen. Das Abisolieren ist insbesondere bei den Kaltversuchen zur Verminderung eines schnellen Kälteabflusses aus dem gekühlten Lager in die wärmeren Stahlteile der Versuchsanlage erforderlich.

3 Versuchsprogramm

Das gesamte Versuchsprogramm ist in Anlage 1, Seite 1, tabellarisch zusammengestellt.

Die erste Versuchsreihe umfasste folgende Versuche:

- Kurzzeit-Kippversuche zur Bestimmung der Rückstellmomente nach prEN 1337-5
am ungeschmierten und ideal geschmierten Topflager,
jeweils im gekühlten Zustand (Kaltversuch) und bei Raumtemperatur;
Kippwinkel-Amplitude $\alpha = \pm 0.01$, mittlere Elastomerpressung $p = 35 \text{ N/mm}^2$;
siehe Kapitel 4.
- Verschleißversuch über 2000 m Gesamtgleitweg
Kippwinkel-Amplitude $\alpha = \pm 0.0035$, mittlere Elastomerpressung $p = 35 \text{ N/mm}^2$;
siehe Kapitel 5.
- Statischer Langzeit-Belastungsversuch
Kippwinkel $\alpha = 0,03$ (konstant), mittlere Elastomerpressung $p = 62 \text{ N/mm}^2$;
siehe Kapitel 6.

Als zweite Versuchsreihe wurden folgende Zusatzversuche am selben Lager durchgeführt:

- Zusätzlicher Verschleißversuch über 3000m Gesamtgleitweg
Kippwinkel-Amplitude $\alpha = \pm 0.0035$, mittlere Elastomerpressung $p = 35 \text{ N/mm}^2$;
siehe Kapitel 7.
- Zusätzliche Kurzzeit-Kippversuche zur Bestimmung der Rückstellmomente am Topflager mit verminderter Schmierung
Kippwinkel-Amplitude $\alpha = \pm 0.01$, mittlere Elastomerpressung $p = 35 (5, 10) \text{ N/mm}^2$;
in folgender Reihenfolge: bei Raumtemperatur ($p = 35 \text{ N/mm}^2$),
am gekühlten Lager (Kaltversuch; $p = 35 \text{ N/mm}^2$),
bei Raumtemperatur ($p = 5, 10, 35 \text{ N/mm}^2$);
siehe Kapitel 8.

Die Versuchsdurchführung erfolgte im Zeitraum November 2001 bis März 2002.

Die Versuchsergebnisse der einzelnen Versuche waren dem Auftraggeber bereits vorab in den Zwischenberichten vom 06. Dez. 2001, 18. März 2002 und 03. Mai 2002 in Form von Diagrammen vorgelegt worden.

4 Kurzzeit-Kippversuche zur Bestimmung der Rückstellmomente nach prEN 1337- 5

Ziel dieser Versuche ist die experimentelle Ermittlung der Rückstellmomente. Aus den erhaltenen Versuchswerten werden dann die Momentenfaktoren F nach prEN 1337-5 bestimmt, die zur Lagerbemessung benötigt werden. Hierzu sind Versuche am ungeschmierten und ideal geschmierten Topflager und zwar sowohl in gekühltem Zustand (Kaltversuch) als auch bei Raumtemperatur erforderlich.

4.1 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau ist schematisch in Anlage 3 dargestellt. Die Vertikallast F_z wurde mit einer 15-MN-Druckprüfmaschine der Prüfmaschinenklasse 1 aufgebracht. Die Verdrehung α des Lagers erfolgte mit einem 250-KN-Zug-Druck-Prüfzylinder (Verstellkraft F_M) über einen Kipphebel. Die Kugelkalotte der Kippvorrichtung ist hydraulisch abgestützt, um Reibungseinflüsse möglichst gering zu halten. Die über dem Lager angeordneten Futterplatten besitzen einen Außendurchmesser von rd. 670mm.

4.2 Durchführung der Kippversuche am ungeschmierten Topflager

4.2.1 Kaltversuch am ungeschmierten Topflager

Vorbereitung des Versuchslagers (siehe auch Fotos in Anlage 2):

Das mit zwei Thermoelementen bestückte Topflager wurde mit ungeschmierter Elastomerplatte und UHMWPE-Innendichtung zusammengebaut.

Die Lagerkomponenten des Gleitteils wurden nach der Montage wie üblich geschmiert. Dabei wurden die Schmieraschen der PTFE-Platte und der Überstand zwischen Verstärkungsring und Platte vollständig mit Schmierfett ausgefüllt.

Auf den Topfboden wurde eine rd. 5 mm dicke, druckfeste Isolierplatte aufgeklebt, in die zuvor eine Nut zur Unterbringung der Zuleitung für das Thermo-Element in Topfbodenmitte eingefräst worden war. Auf die Rückseite des austenitischen Gleitblechs wurde ebenfalls eine Isolierplatte aufgeklebt.

Das so vorbereitete Versuchslager wurde dann in unbelastetem Zustand 72 h (3 Tage) lang bei -35°C in einer Tiefkühltruhe des Instituts eingelagert.

Danach wurde das Lager so schnell wie möglich vom Aufstellort der Tiefkühltruhe zur Kipp-Prüfanlage transportiert, in diese eingebaut, die Vertikallast aufgebracht und mit den Kippungen begonnen.

Der Kaltversuch wurde am sich erwärmenden Lager unter folgenden Prüfbedingungen durchgeführt:

Topflager ungeschmiert, Gleitteil geschmiert		
Mittlere Elastomerpressung	35	N/mm ²
Vertikallast	8315	kN
Belastungsgeschwindigkeit für die Vertikallast	0,5	N/mm ² /s
Mittlere Lagertemperatur bei Kippbeginn	ca. - 29	°C
Mittlere Lagertemperatur am Versuchsende	ca. - 11	°C
Max./min. Kippwinkel (Sollwert; Sinus)	± 0,01	Radian
Prüffrequenz in den ersten 10 Kippwechsel	0,006	1/s
Prüffrequenz vom 11. bis 20. Kippwechsel	0,03	1/s
Gesamtanzahl der Kippwechsel	20	-
Gesamt-Versuchsdauer	ca 35	min

Während des Kippversuchs wurden Kippwinkel α , Verstellkraft F_M am Kipphebel und die Lagertemperatur gemessen und in einer Messwerterfassungsanlage registriert. Zur Kontrolle wurden während des Kippens auch die Zeitabhängigkeiten von Kippwinkel und Verstellkraft sowie Verstellkraft-Kippwinkel-Hysteresis-Diagramme zu verschiedenen Versuchszeitpunkten analog aufgezeichnet.

Nach dem Kaltversuch wurde das Lager vollständig entlastet und zur Erwärmung für den anschließenden Raumtemperatur-Versuch einen Tag (ca. 24 h) lang in der Prüfanlage belassen.

Die Auswertung der Messdaten erfolgte nach Versuche per Rechner. Folgende Diagramme wurden erstellt:

- Zeitliche Abhängigkeit von Kippwinkel, Rückstellmoment und Lagertemperatur
- Momenten-Kippwinkel-Hysteresediagramme.

4.2.2 Raumtemperatur - Kippversuch am ungeschmierten Topflager

Mit diesem Versuch sollten auch die Rückstellmomente bei Raumtemperatur ermittelt werden, da am Ende des Kaltversuchs im Topflager noch mittlere Minus-Temperaturen von etwa -11°C vorgelegen hatten.

Der Raumtemperatur-Versuch wurde ein Tag nach dem Kaltversuch und nach vollständiger Erwärmung des Lagers unter folgenden Prüfbedingungen vorgenommen:

Topflager ungeschmiert, Gleitteil geschmiert		
Mittlere Elastomerpressung	35	N/mm ²
Vertikallast	8315	kN
Belastungsgeschwindigkeit für die Vertikallast	0,5	N/mm ² /s
Mittlere Lagertemperatur im Versuch	ca. + 18,5	°C
Max./min. Kippwinkel (Sinus)	$\pm 0,01$	Radian
Prüffrequenz	0,03	1/s
Gesamtanzahl der Kippwechsel	20	-
Gesamt-Versuchsdauer	ca 12	min

Die Messungen und die Auswertungen der Messdaten erfolgten wie beim Kaltversuch.

Nach dem Raumtemperatur-Versuch wurde das Versuchslager aus der Prüfanlage ausgebaut, das Topflager nach der Demontage der Gleitlagerkomponenten durch Deckelabheben geöffnet und die Elastomerplatte mit der UHMWPE-Innendichtung aus dem Topf entnommen. Der Zustand der einzelnen Lagerkomponenten wurde dabei fotografisch dokumentiert (siehe Fotos in Anlage 4, Seite 2 bis 8). Außerdem wurden die Ist-Abmessungen einzelner Lagerkomponenten mit einer Schieblehre nachkontrolliert.

Danach wurde das Topflager geschmiert (siehe Fotos in Anlage 4, Seite 9) und mit dem ebenfalls nachgeschmierten Gleitteil wieder zusammengebaut. Nach Abschluss dieser Arbeiten wurde das Versuchslager 3 Tage (72 h) lang bei -35°C in die Tiefkühltruhe eingelagert und der Kaltversuch am geschmierten Topflager durchgeführt.

4.3 Durchführung der Kippversuche am ideal geschmierten Topflager

4.3.1 Kaltversuch am ideal geschmierten Topflager

Der Kaltversuch erfolgte analog den Angaben in Abschnitt 4.2.1. Die mittlere Lagertemperatur lag zu Versuchsbeginn bei ca. -28°C , am Versuchsende bei etwa -10°C . Nach Beendigung des Kaltversuchs wurde das Lager entlastet und zur Erwärmung für den anschließenden Raumtemperatur-Versuch einen Tag lang in der Prüfanlage belassen.

4.3.2 Raumtemperatur - Kippversuch am ideal geschmierten Topflager

Nach ausreichender Erwärmung des Lagers auf $+18^{\circ}\text{C}$ wurde der Raumtemperatur-Versuch gemäß den in Abschnitt 4.2.2 angegebenen Prüfbedingungen vorgenommen.

Unmittelbar nach Beendigung dieses Versuchs wurde am selben Lager mit dem 2000 m – Verschleißversuch begonnen (siehe Kapitel 5).

4.4 Versuchsergebnisse der Kalt - und Raumtemperatur – Versuche

4.4.1 Zustand der Lagerkomponenten nach dem Öffnen des ungeschmierten Topflagers

Das ungeschmierte Topflager und das geschmierte Gleitteil waren nach dem Raumtemperatur-Kippversuch geöffnet worden (siehe Abschnitt 4.2.2).

Die Fotos in Anlage 4, Seite 2 bis 8, zeigen den Zustand der einzelnen Lagerkomponenten nach dem Lageröffnen. Die auf den Fotos mit A und B bezeichneten Stellen liegen in der Kippachse, die Stellen C und D - mit der bei der Lagerrotation größten Relativverschiebung zwischen Topfwand und Innendichtung bzw. Topfdeckel - in Kipprichtung.

Im Folgenden werden die beim und nach dem Öffnen des Gleitlagers und des Topflagers gemachten wichtigsten Beobachtungen und Ergebnisse der Maßkontrollen mitgeteilt.

Zustand der Gleitlagerkomponenten

Siehe Fotos in Anlage 4, Seite 2.

Die Gleitflächen zeigen nach dem Öffnen des Gleitteils die für Gleitlager typische Fettverteilung. Die auf dem Gleitblech vorhandene Fettverteilung ist in Abb. 4.2 wiedergegeben.

Nach Ausbau des UHMWPE-Verstärkungsringes und der PTFE-Platte sind Fettablagerungen auf der Unterseite der PTFE-Platte und des Verstärkungsringes sowie auf der Rezess-Oberseite des Deckels (siehe Abb. 4.3) zu erkennen, obwohl diese Flächen beim

Lagerzusammenbau nicht geschmiert worden waren. Offensichtlich ist während der Versuche überschüssiges Fett aus der geschmierten PTFE-Oberseite durch die vertikale Kontaktfläche zwischen PTFE-Platte und Verstärkungsring hindurch gedrückt worden.

An der Außenseite des UHMWPE-Verstärkungsring ist in Höhe des Gleitspaltes ein kleiner horizontaler Wulst durch den Kaltfluss des UHMWPE-Materials bei der Belastung entstanden. Der seitliche Wulstüberstand beträgt nach dem Ausbau des Verstärkungsringes 0,3 mm an den Stellen A und B (in Kippachse) und 0,6 mm an den Stellen C und D (in Kipprichtung); der Wulst ist an der Ringaußenseite ca. 3,5 mm hoch, was etwa der rechnerischen Gleitspalthöhe entspricht; weitere Angaben siehe Anlage 9, Seite 16.

Zustand der Topflagerkomponenten

Lagerdeckel und Lagertopf (siehe Fotos in Anlage 4, Seite 3 bis 6)

Nach dem Öffnen des Topfes sind im Bereich der Stellen C und D etwa in der Mitte des Deckelbundes (siehe Abb. 4.6 und 4.7) und an der Topfwand-Innenseite (siehe Abb. 4.9 und 4.10) leichte Kontaktsuren sichtbar, die während der Kippbewegung durch das Reiben des Deckelbundes an der Topfwand verursacht wurden. Etwa in Höhe Unterkante Innendichtung hat sich eine zweite Reibspur mit feinen schwarzen Gummi-Abriebpartikel ausgebildet. Beide Reibspurhöhen nehmen von der Kippachse A-B aus in Kipprichtung zu und erreichen bei C und D mit der größten Relativbewegung jeweils den Maximalwert.

Die Kontrolle der wichtigsten Abmessungen der Stahlteile ergab keine Abweichungen zu den vor den beiden Kippversuchen gemessenen Werten.

UHMWPE-Innendichtung (siehe Fotos in Anlage 4, Seite 7 und 8)

An der oberen Außenkante der Dichtung hat sich ein niedriger, relativ scharfkantiger, vertikaler Wulst ausgebildet, dessen Höhe von der Kippachse A-B aus in Richtung der Stellen C und D mit der beim Kippen maximalen Relativbewegung zwischen Topfwand und Dichtungsaußenseite sichelartig zunimmt. Die Wulsthöhen betragen bei A und B: 0,1 mm und 0,3 mm, bei C und D: 0,7 mm und 0,8 mm.

Die Breite der Innendichtung wurde nach dem Lageröffnen zu 14,8 mm gemessen; sie hat sich gegenüber dem ursprünglichen Wert von 14,9 mm kaum geändert. Eine wesentliche Breitenabnahme durch Abrasionsverschleiß ist daraus nicht abzuleiten; dies war wegen des geringen Gesamtgleitweges bei den Kurzzeitversuchen auch nicht zu erwarten.

Weitere Abmessungen der Innendichtung nach den Versuchen sind der Tabelle in Anlage 9, Seite 17, zu entnehmen.

Elastomerkissen

Am ungeschmierten Elastomerkissen waren keine Verschleißerscheinungen sichtbar.

4.4.2 Kippwinkel, Rückstellmomente, Lagertemperatur, Kippfrequenz

Die ausgewerteten Messergebnisse der Kaltversuche am ungeschmierten und ideal geschmierten Topflager sind Anlage 4, Seite 10 bis 13 und Seite 17 bis 20, zu entnehmen. Die entsprechenden Versuchsergebnisse der Raumtemperatur-Versuche sind in Anlage 4, Seite 14 bis 16 und Seite 21 bis 23, wiedergegeben.

Für jeden Versuch sind dort zeitlicher Verlauf von Rückstellmoment, Kippwinkel und mittlerer Lagertemperatur sowie die Momenten-Kippwinkel-Hysteresis-Diagramme dargestellt.

Die Momente wurden aus der im Versuch aufgebrachten Verstellkraft F_M und aus der bekannten Länge des Kipphhebels von 1,30 m ermittelt (s. Anlage 3, Abb. 3.1). Der Einfluss der Nullreibung der hydraulisch abgestützten Kugelkalotte blieb dabei wegen ihrer Geringfügigkeit unberücksichtigt.

In den Diagrammen Abb. 4.18, 4.25, 4.30 und 4.37 wurde die mittlere Lagertemperatur in Abhängigkeit von der Zeit aufgetragen. Sie entspricht dem Mittelwert aus den mit den zwei Thermoelementen gemessenen Temperaturen.

Während der Kaltversuche lag die Temperatur im Topfboden um etwa 6° bis 9° C höher als der in der Topfwand zum selben Zeitpunkt gemessene Wert, obwohl bei der Entnahme des Lagers aus der Tiefkühltruhe an beiden Messstellen etwa gleich große Minus-Temperaturen vorgelegen hatten. Der Topfboden erwärmte sich also trotz der auf der Bodenunterseite aufgeklebten Isolierplatte schneller als die wesentlich dickere Topfwand. Die Temperatur in der Elastomerplatte dürfte infolge der schlechten Wärmeleiteigenschaften von Gummi eher dem in der Topfwand gemessenen niedrigeren Temperaturwert entsprechen.

In den Raumtemperatur-Versuchen lagen die Temperaturunterschiede zwischen den Messwerten im Topfboden und in der Topfwand bei lediglich 1° bis 1,5° C.

Beim Kaltversuch am ungeschmierten Topflager trat folgende Besonderheit auf, mit der aufgrund von bisher an anderen Lagern durchgeführten Versuchen nicht zu rechnen war:

In den ersten 8 Kippwechseln, d.h. im Temperaturbereich von -29° C bei Versuchsbeginn bis zu einer mittleren Lagertemperatur von etwa -15° C, war die Verdrehungssteifigkeit des Lagers derart groß, dass sowohl die Kapazität des Kippzylinders als auch der Messbereich des Kraftmessverstärkers vor Erreichen des Sollkippwinkels von $\alpha = \pm 0.01$ überschritten

war. Daher zeigen die zeitabhängigen Momentenverläufe und die Momenten-Hystersen ein ausgeprägtes Plateau bei ca. $\pm 300 \text{ kNm}$ (siehe Abb. 4.17 bis 4.21).

Mit den vorhandenen Messwerten konnten jedoch die Neigungen der Momenten-Hysteresen und die Momente beim Nulldurchgang des Kippwinkels, die zur Ermittlung der Momentenfaktoren F_0 und F_2 in Abhängigkeit von der Lagertemperatur benötigt wurden, genau genug bestimmt werden (siehe Abschn. 4.5).

Der Einfluss der Lagertemperatur auf die Größe der Rückstellmomente geht aus den Diagrammen Abb. 4.18 und 4.19 für das ungeschmierte Topflager und aus Abb. 4.30 und 4.31 für das ideal geschmierte Topflager hervor:

In den Kaltversuchen vermindern sich die Maximalmomente bei gleicher Kippwinkel-Amplitude mit zunehmender Lagererwärmung erheblich. Dies gilt auch für den Anstieg der Momenten-Hysterese und für die Momente beim Nulldurchgang des Kippwinkels. Die starke Temperaturabhängigkeit der Rückstellmomente tritt bei den Momenten-Faktoren F , mit denen ja die Momenten-Hysterese rechnerisch beschrieben wird, besonders deutlich in Erscheinung (siehe hierzu Abschn. 4.5).

Den starken Einfluss des Schmierungszustandes auf die Größe der Rückstellmomente zeigt ein Vergleich der Versuchsergebnisse des ungeschmierten und geschmierten Topflagers:

Bei den Raumtemperatur-Versuchen betragen beispielsweise die Maximalmomente M_1 für einen Kippwinkel von $\alpha = \pm 0,01$ etwa $M_1 = \pm 135 \text{ kNm}$ für das ungeschmierte Topflager und ca. $M_1 = \pm 4 \text{ kNm}$ für das ideal geschmierte Topflager (siehe Abb. 4.24 bis 4.26 sowie Abb. 4.36 bis 4.38). Zur Verdeutlichung sind in Anlage 10, Seite 1, Abb. 10.1, entsprechende Hysterese-Diagramme vom ungeschmierten und ideal geschmierten Topflager nochmals einander gegenübergestellt.

Aus den Kaltversuchen ergeben sich hinsichtlich des Schmierungszustandes ähnliche Tendenzen wie bei den Raumtemperatur-Versuchen.

Die Kippfrequenz f wurde in den Kaltversuchen am ungeschmierten und geschmierten Topflager nach dem 10. Kippwechsel von $f = 0,006/\text{s}$ auf $f = 0,03/\text{s}$ erhöht (siehe Abb. 4.17 und 4.29). Die Vergrößerung der Frequenz um den Faktor 5 ergab nur eine geringfügige Zunahme der Maximalmomente. Sowohl der Anstieg der Momenten-Hysterese als auch das Moment beim Nulldurchgang des Kippwinkels wurden dadurch ebenfalls nur unwesentlich beeinflusst.

Auf oben beschriebene Einflüsse auf die Größe der Rückstellmomente wird in Kapitel 9 nochmals näher eingegangen.

4.5 Momentenfaktoren F_0 , F_1 und F_2 nach prEN 1337-5

Die Faktoren F_0 , F_1 und F_2 wurden aus den Ergebnissen der Kalt- und Raumtemperatur-Versuche am ungeschmierten und ideal geschmierten Topflager entsprechend den Angaben in prEN 1337-5 bestimmt.

Die Momentenfaktoren wurden jedoch nicht nur für eine mittlere Lagertemperatur von -20°C ermittelt, sondern es wurde zusätzlich der gesamte experimentell untersuchte Temperaturbereich ausgewertet.

Die Ergebnisse dieser Auswertungen sind in Anlage 4, Seite 24, Abb. 4.41, grafisch dargestellt. Entsprechend prEN 1337-5 wurden die Faktoren F_0 und F_2 aus den Versuchen am ungeschmierten Topflager, der Faktor F_1 aus den Versuchen am ideal geschmierten Topflager, jeweils in Abhängigkeit von der mittleren Lagertemperatur ermittelt.

Aus Abb. 4.41 ist abzulesen, dass alle Momentenfaktoren mit abnehmender Lagertemperatur beträchtlich anwachsen. Die Rückstellmomente sind also von der Lagertemperatur stark abhängig, wie bereits in Abschnitt 4.4.2 diskutiert worden ist.

Weiterhin ist aus Abb. 4.41 - zumindest tendenziell - zu erkennen, dass die Faktoren F_0 und F_2 bei tieferen Temperaturen als etwa -26°C wesentlich stärker ansteigen als im Temperaturbereich von -11° bis -26°C . Offenbar nähert sich ab etwa -26°C die Temperatur im Elastomer der kritischen Glasstemperatur, bei der ja Gummi-Material eine wesentliche Versteifung erfährt.

Die Temperaturabhängigkeit der aus den Versuchswerten bestimmten Momentenfaktoren kann durch folgende Näherungsformeln erfasst werden:

$$F_0 = [120 (1 + \vartheta / 40)]^{-1}$$

$$F_1 = 0,21 e^{-\vartheta / 23}$$

$$F_2 = [0,29 (1 + \vartheta / 45)]^{-1}$$

ϑ = mittlere Lagertemperatur in $^\circ\text{C}$;

Gültigkeitsbereich: $-25^\circ\text{C} \leq \vartheta \leq +20^\circ\text{C}$.

Das Rückstellmoment M_E nach prEN 1337-5 berechnet sich dann zu:

$$M_E = p_{\text{test}} \cdot A \cdot D (F_0 + F_1 \cdot \Phi_1 + F_2 \cdot \Phi_2).$$

Mit: $p_{\text{test}} = 35\text{ N/mm}^2$, $A = \pi D^2/4$, folgt:

$$M_E = 27,5 D^3 (F_0 + F_1 \cdot \Phi_1 + F_2 \cdot \Phi_2)$$

M_E [MNm], D [m], Φ_1 und Φ_2 [rad].

Aus den vorgenannten Formeln ergeben sich analog prEN 1337-5 für das hier untersuchte Topflager (D = 550 mm; NYH-Elastomerkissen: Naturkautschuk, Qualität 1115; UHMWPE-Innendichtung) folgende temperaturabhängige Momentenfaktoren und Rückstellmomente:

Mittlere Lagertemperatur [°C]	Momentenfaktoren		
	F_0	F_1	F_2
- 25	0,022	0,62	7,8
- 20	0,017	0,50	6,2
- 15	0,013	0,40	5,2
- 10	0,011	0,32	4,4
0	0,008	0,21	3,4
+ 10	0,007	0,14	2,8
+ 20	0,006	0,09	2,4
Topflager	ungeschmiert	ideal geschmiert	ungeschmiert
Rückstellmoment allgemein	$M_E = 27,5 D^3 (F_0 + F_1 \cdot \Phi_1 + F_2 \cdot \Phi_2)$ M_E [MNm], D [m], Φ_1 und Φ_2 [rad]		
Rückstellmoment bei - 20° C	$M_{E, \vartheta = -20^\circ} = 27,5 D^3 (0,017 + 0,5 \cdot \Phi_1 + 6,2 \cdot \Phi_2)$		

Anmerkungen:

Die Rückstellmomente sind - wie aus anderen Versuchen bereits bekannt ist und in Abschnitt 9.1.5 nochmals gezeigt werden wird - nahezu unabhängig von der Elastomerpressung. Daher ist in der Momentenformel die in den Kurzzeit-Kippversuchen tatsächlich aufgebrachte Pressung von $p_{\text{test}} = 35 \text{ N/mm}^2$ einzusetzen.

Zusätzliche Sicherheitsfaktoren sind in obigen Formeln nicht enthalten und wurden in den deutschen Zulassungsrichtlinien bisher auch nicht berücksichtigt, da die Faktoren F_0 und F_2 am total ungeschmierten Lager ermittelt werden, somit also bereits sehr ungünstige, in der Praxis nicht vorkommende Verhältnisse zugrunde gelegt sind (vgl. hierzu auch Ausführungen in Abschn. 9.2.2).

5 Verschleißversuch über 2000 m Gesamtleitweg

Der Verschleißversuch diente dazu, die Verschleißfestigkeit der UHMWPE-Topflager-Innendichtung über einen Gesamtleitweg der Dichtung an der Topfwand von 2000 m experimentell nachzuweisen. Die Versuchsbedingungen entsprachen prEN 1337-5 bzw. den Richtlinien für deutsche Zulassungsversuche an Topflagern mit Kunststoff-Innendichtungen für Eisenbahnbrücken.

5.1 Versuchsaufbau, Versuchsdurchführung

Der 2000 m –Verschleißversuch wurde unmittelbar nach dem Raumtemperatur-Kippversuch (siehe Abschn. 4.3.2) am selben Topflager bei Raumtemperatur durchgeführt.

Prüfbedingungen:

Topflager und Gleitteil geschmiert

(Originalzustand nach dem Raumtemperatur-Kurzzeit-Kippversuch)

Mittlere Elastomerpressung	35	N/mm ²
Vertikallast	8315	KN
Belastungsgeschwindigkeit für die Vertikallast	0,5	N/mm ² /s
Max. Kippwinkel (Sinus)	± 0,00355	Radian
Gleitweg der Dichtung an der Topfwand für 1 Kippwechsel	3,9	mm
Prüffrequenz	0,4	1/s
Mittl. Relativgeschwindigkeit zwischen Dichtung und Topfwand	1,56	mm/s
Anzahl der aufgetragenen Kippwechsel ca.	524 300	-
Gesamtleitweg der Dichtung an der Topfwand	2 045	m
Versuchsdauer	ca. 15 Tage bzw. 363	h

Nach dem Aufbringen der Vertikallast wurde der Kippwinkel sinusförmig in das Lager eingeleitet. Während des gesamten Versuchsablaufs wurden Kippwinkel, Lagertemperatur und Verstellkraft am Kipphebel in Abhängigkeit von der Kippwechselanzahl bzw. vom Gleitweg gemessen und in einer Datenerfassungsanlage registriert. Zur Kontrolle wurden während des Versuchs auch die Zeitabhängigkeiten von Kippwinkel und Verstellkraft sowie Verstellkraft-Kippwinkel-Hystere-Diagramme zusätzlich analog aufgezeichnet.

Zur Messung der Relativbewegung in der Gleitfuge des Gleitteils war eine Messuhr mit einer Genauigkeit von 0,1 mm installiert worden. Die Verschiebungen zwischen Gleitblech und Deckel blieben jedoch während des Verschleißversuchs unter 0,1mm.

Nach Erreichen von 2045 m Gesamtgleitweg wurde der Verschleißversuch beendet und das gesamte Lager aus der Prüfanlage ausgebaut.

Danach wurde der Deckel vom Topf abgehoben und in Anwesenheit von RWS überprüft, ob Gummimaterial ausgetreten und die Innendichtung beschädigt ist. Hierzu wurde die Innendichtung aus der Nut der Elastomerplatte vorsichtig entnommen und deren Ist-Abmessung an den Stellen A und B (in Kippachse) sowie C und D (in Kipprichtung mit der größten Relativbewegung zwischen Topfwand und Innendichtung) mit einer Schieblehre nachgemessen. Die Gummiplatte verblieb im Topf, weil der Schmierungszustand des Versuchslagers für den nachfolgenden Versuch nicht wesentlich geändert werden sollte.

Der Zustand der einzelnen Lagerkomponenten (Gleitteil, Deckelunterseite und Deckelrand, Gummiobenseite, Innendichtung) wurde fotografisch dokumentiert (siehe Anlage 5, Seite 4 bis 12).

Nach diesen Arbeiten wurde die Kippvorrichtung aus der 15 MN-Druckprüfpresse vollständig ausgebaut und mit dem Versuchsaufbau für den nachfolgenden Langzeit-Belastungsversuch (siehe Kapitel 6) begonnen.

Die Auswertung der Messdaten des Verschleißversuchs erfolgte nach Versucheende per Rechner.

5.2 Versuchsergebnisse

5.2.1 Kippwinkel, Rückstellmomente, Lagertemperatur

In Anlage 5, Seite 1, Abb. 5.1, ist der zeitliche Verlauf von Kippwinkel und Rückstellmoment bei verschiedenen Versuchszeitpunkten (entsprechend dem jeweils zurückgelegten Gleitweg der Innendichtung an der Topfwand) wiedergegeben, während in Anlage 5, Seite 2, Abb. 5.2 die zugehörigen Momenten-Kippwinkel-Diagramme dargestellt sind.

Aus beiden Abbildungen ist die Zunahme der Rückstellmomente während des Versuchs deutlich zu erkennen. Die Kippwinkel-Amplituden waren während der gesamten Versuchsdauer nahezu konstant und lagen bei etwa $\pm 0,355\%$.

Die Abbildung 5.3 in Anlage 5 zeigt die Gleitwegcharakteristik der Kippmomente tot M_0 und tot M_1 sowie die Abhängigkeit der mittleren Topflager-Temperatur vom zurückgelegten Gleitweg. Die Definition der Momente tot M_0 und tot M_1 ist dem schematisch dargestellten Hysterese-Diagramm in Abb. 5.3 zu entnehmen.

Die Maximalmomente $M_1 = \pm 0,5$ tot M_1 steigen von etwa ± 5 kNm nach Versuchsbeginn relativ stark an und erreichen nach ca. 110 m Gleitweg rd. ± 10 kNm. Danach wird die Momentenzunahme deutlich geringer. Ab ca. 650 m Gleitweg mit $M_1 = \pm 12,5$ kNm verläuft die M_1 –Charakteristik nahezu linear. Kurz vor Versuchsende nach etwa 2045 m Gleitweg beträgt $M_1 = \pm 13,5$ kNm.

Die Momente $M_0 = \pm 0,5$ tot M_0 , die beim Nulldurchgang des Kippwinkels vorliegen und aus den einzelnen Momenten-Hysteresen punktweise ermittelt wurden, weisen eine ähnliche Gleitwegabhängigkeit wie die Maximalmomente M_1 auf. Die M_0 - Werte steigen von etwa $\pm 4,5$ kNm nach Versuchsbeginn auf ca. ± 6 kNm nach rd. 20 m Gleitweg an und bleiben dann bis zum Versuchsende bei rd. 2045 m Gleitweg nahezu konstant.

Die mittlere Lagertemperatur, die aus den im Topfboden und der Topfwand mit Thermoelementen gemessenen Temperaturwerten bestimmt wurde, stieg von rd. 18 °C bei Versuchsbeginn bis etwa 26 °C bei 100 m Gleitweg an und betrug am Versuchende ca. 27,5 °C.

Der starke Anstieg der Rückstellmomente und die gleichzeitige Zunahme der Lagertemperatur innerhalb der ersten 110 m Gleitweg ist durch eine Verschlechterung des Schmierzustandes infolge des durch die Kippbewegung verursachten Austreibens von überschüssigem Schmierfett aus dem Topf zu erklären.

5.2.2 Beobachtungen während des Verschleißversuchs

Während des Verschleißversuchs waren im von außen einsehbaren Kippspalt zwischen Topf und Deckel nur geringe örtliche Fettablagerungen von weißer, mit zunehmendem Gleitweg stellenweise auch von weiß-grauer Farbe zu erkennen. Die ersten weißen Fettablagerungen waren bereits nach etwa 40 m Gleitweg sichtbar.

Schwarzer Gummiabrieb und Verschleißpartikel aus der Innendichtung waren im Kippspalt bis zum Versuchsende per Augenschein nicht feststellbar (siehe Fotos in Anlage 5, Seite 3, Abb. 5.4 und Abb. 5.5).

5.2.3 Zustand der Lagerkomponenten nach dem Öffnen des Versuchslagers

Nach dem Ausbau des Lagers aus der Versuchsanlage wurde zunächst das Lagergleitteil, danach auch das Topflager durch Abheben des Deckels und Ausbau der UHMWPE-Innendichtung geöffnet (vgl. Abschn. 5.1). Der jeweilige Öffnungszustand und der Zustand der Lagerkomponenten wurde in zahlreichen Bildern dokumentiert, auf die nachfolgend näher eingegangen wird. Die in den Fotos mit A und B bezeichneten Stellen liegen in der Kippachse, die Stellen C und D in Kipprichtung.

Zustand der Gleitlagerkomponenten

Wegen der beim Kippen sehr kleinen, mit der eingebauten Messuhr nicht mehr messbaren Relativbewegungen in der Gleitfuge blieb der aufsummierte Gesamtgleitweg des Gleitlagers gering, so dass an den Gleitflächen kein Verschleiß festzustellen war. Die Fettverteilung auf dem Gleitblech und auf der PTFE-Ronde ist auf den Abbildungen 5.6 und 5.7 zu erkennen.

Der seitliche Wulstüberstand an der Außenseite des UHMWPE-Verstärkungsringes, der bereits nach den Kurzzeit-Kippversuchen am ungeschmierten Topflager beobachtet worden war (siehe Abschn. 4.4.1), hat sich inzwischen auf 1,4 bis 1,6 mm vergrößert. Die Wulsthöhe an der Ringaußenseite entspricht mit 3,5 bis 3,6 mm immer noch etwa der rechnerischen Gleitpalthe. Weitere Maßangaben siehe Anlage 9, Seite 16.

Die Rezens-Oberseite im Deckel (siehe Abb. 5.8) sowie die Unterseite von PTFE-Platte und Verstärkungsring weisen nach dem Verschleißversuch wiederum Fettablagerungen auf, obwohl diese Flächen nach den Kurzzeit-Kippversuchen am ungeschmierten Topflager gesäubert worden waren und die Ronden-Oberseite erst nach dem Einbau in den Rezens nachgeschmiert worden war. Die selbe Erscheinung war ja bereits nach den Versuchen am ungeschmierten Topflager aufgetreten (siehe Abschn. 4.4.1).

Demnach ist auch während der Kurzzeit-Kippversuche am geschmierten Topflager und während des unmittelbar darauf vorgenommenen Verschleißversuchs aus der Gleitfläche stammendes Schmierfett in die horizontale Kontaktfläche zwischen Rezens-Oberseite und Plattenunterseite bzw. Dichtungsringunterseite eingepresst worden. Dies ist auf den Überstand des Verstärkungsringes über die PTFE-Platte infolge der unterschiedlichen Dicken dieser beiden Lagerkomponenten zurückzuführen.

Zustand der Topflagerkomponenten

Schmierungszustand

Die Abbildung 5.9 in Anlage 5, Seite 6, zeigt den Lagertopf mit dem Elastomerkissen und der UHMWPE-Innendichtung nach dem Abheben des Deckels. Aus Abb. 5.15 in Anlage 5, Seite 9, geht das Aussehen der Elastomerkissen-Oberseite nach dem Ausbau der Innendichtung hervor.

Auf der Kissenoberseite ist etwa im mittleren Bereich noch ein Fetthof mit größerer Schmierfettmenge vorhanden. Die anschließenden Außenzonen sind relativ trocken, aber noch mit einem Fettfilm überzogen. An der Deckelunterseite liegt eine dementsprechende Fettverteilung vor.

Topf, Deckel, Elastomerkissen

Die Detailfotos in Anlage 5, Seite 6 bis 8 bzw. Seite 10, zeigen den Topf mit dem Elastomerkissen vor bzw. nach der Entnahme der UHMWPE-Innendichtung.

An der Topfwandinnenseite sind oberhalb der Dichtung noch Reste von weißem und grau gefärbtem überschüssigem Schmierfett zu erkennen (siehe Abb. 5.10 bis 5.14), das durch die Lagerbelastung und durch die Kippbewegungen aus dem Topf ausgetrieben worden ist und sich im Spalt (Lagerspiel) zwischen Deckelbund und Topfwand angesammelt hatte. Am seitlichen Deckelrand haftet nach dem Deckelabheben das ausgepresste restliche überschüssige Fett.

In der mittleren Höhe des Deckelbundes und in der entsprechenden Höhe über der Innendichtung an der Topffinnenwand sind – ausgehend von der Kippachse A-B bis zu den Stellen C und D mit der größten Relativbewegung - durch örtliches leichtes Reiben des Deckelbundes an der Topfwand ähnliche Kontaktsuren sichtbar wie bereits nach dem Öffnen des ungeschmierten Topflagers (siehe Abschn. 4.4.1 sowie Abb. 5.16 u. 5.17). Direkt in der Kippachse A-B und im Kontaktbereich der Innendichtung sind Deckelbund und Topfwandinnenseite frei von Riefen.

Die oben beschriebenen leichten Kontaktsuren bei C und D sind wahrscheinlich größtenteils bereits in den Kurzzeit-Kippversuchen am ungeschmierten und geschmierten Topflager entstanden, da diese Versuche mit einem wesentlich größeren Kippwinkel durchgeführt worden waren.

Das Elastomerkissen zeigt auf der Oberseite und im Bereich der nach der Entnahme der Innendichtung einsehbaren Nut keine Beschädigungen infolge Verschleiß.

Die maßliche Kontrolle des Topfinnendurchmessers in der Kippachse und senkrecht dazu ergab keine Abweichungen zu den Ursprungswerten.

UHMWPE-Innendichtung

Auf den Fotos in Anlage 5, Seite 11 bis 13, ist das Aussehen der nach dem 2000 m - Verschleißversuch ausgebauten Innendichtung wiedergegeben, ihre Abmessungen sind Anlage 9, Seite 17, zu entnehmen.

Außer dem bereits nach den Kurzzeit-Kippversuchen am ungeschmierten Topflager vorhandenen vertikalen Wulst an der oberen Außenkante (vgl. Abschn. 4.4.1) zeigt die Innendichtung praktisch keine Verschleißerscheinungen:

Die Kontaktfläche der Dichtung mit der Topfwand ist über den gesamten Umfang glatt ausgebildet und riefenfrei. Die Hauptabmessungen der Dichtung entsprechen den vor dem Kurzzeitversuch am geschmierten Topflager gemessenen Werten. Insbesondere ist die Breite der Dichtung mit 14,8 bis 14,9 mm konstant geblieben und hat sich durch Abrasion während des Verschleißversuchs nicht vermindert. Lediglich die Höhe des Wulstes hat sich in der Kippachse A-B auf 0,4 bzw. 0,5 mm vergrößert, sie ist jedoch an den Stellen C und D mit 0,7 bzw. 0,8 mm unverändert.

5.3 Folgerungen aus dem 2000 m-Verschleißversuch

Mit dem Verschleißversuch sollte die Verschleißfestigkeit der neu entwickelten Topflager-Innendichtung aus UHMWPE-Material über einen Gesamtgleitweg der Dichtung an der Topfwand von 2000 m unter den in den deutschen Zulassungsrichtlinien für Eisenbahnbrücken festgelegten verschärften Bedingungen sowie nach prEN 1337-5 überprüft werden.

Der Verschleißversuch hat gezeigt, dass die UHMWPE-Topflager-Innendichtung nach einem Gesamtgleitweg von 2000 m keinen messbaren Abrasionsverschleiß aufweist; sie hat das Austreten von Elastomermaterial aus dem Topf wirksam verhindert und ist somit während des 15 Tage dauernden Verschleißversuchs voll funktionsfähig geblieben.

Das Verschleißverhalten der Innendichtung wurde in einem zusätzlich durchgeführten 3000m-Verschleißversuch (siehe Kapitel 7) überprüft. Die Schlussfolgerungen aus beiden Verschleißversuchen sind in Kapitel 10, Abschnitt 10.3, zusammengefasst.

6 Statischer Langzeit-Belastungsversuch

6.1 Vorbemerkungen

Mit diesem Versuch sollte vorwiegend das Langzeitverhalten des Topflagers – insbesondere die Funktionsfähigkeit der neu entwickelten UHMWPE-Innendichtung - unter hoher statischer Einwirkung der Vertikallast (mittlere Elastomerpressung $p = 62 \text{ N/mm}^2$) bei gleichzeitig großer Lagerverdrehung ($\alpha = 0,03 \text{ rad}$) über einen Zeitraum von rd. 7 Tagen nachgeprüft werden.

Da das Versuchslager mit einem Gleitteil versehen war, wurde auch das Langzeitverhalten dieses Lagerteils - insbesondere des ebenfalls neu entwickelten UHMWPE-Verstärkungs-rings - mit überprüft.

Die maximale Vertikallast sowie die mit einem Keil aufgebrachte Lagerverdrehung ist bei diesem Langzeit-Belastungsversuch wesentlich höher als bei zulässiger Gebrauchslast im SLS (Serviceability Limit State). Mit den im Versuch aufgebrachten Lagereinwirkungen soll ein ULS-Zustand (Ultimate Limit State) simuliert werden.

Die maximale mittlere Elastomerpressung von 62 N/mm^2 entspricht etwa den bei der Abfassung von prEN 1337-5 im Mai 2001 diskutierten Vorschlägen. Versuche zum Erlangen einer deutschen Zulassung wurden bisher mit einer mittleren Elastomerpressung von 90 N/mm^2 durchgeführt; allerdings mit Versuchslagern, die zuvor nicht in einem Verschleißversuch getestet wurden. Der Kippwinkel und die Dauer der Standzeit unter konstanter Last entspricht den deutschen Zulassungsversuchen.

6.2 Versuchsaufbau, Versuchsdurchführung

Vorbereitung des Versuchslagers

Nach dem zwischenzeitlichen Öffnen des Versuchslagers und der Begutachtung der Lagerkomponenten in Anwesenheit des Auftraggebers (siehe Abschn. 5.2.3) wurde die selbe UHMWPE-Topflager-Innendichtung, die bereits im 2000 m-Verschleißversuch verwendet worden war, in der bezüglich des Umfangs bzw. der Kippachse gleichen Lage wieder in den Topf eingelegt. Der Schmierungszustand der Elastomerplattenoberseite blieb unverändert. Das Topflager wurde dann so zusammengebaut, dass das gesamte Lagerspiel zwischen Topf und Deckel auf der zur Kippachse senkrechten Seite bei Stelle D angeordnet war und die Innendichtung den größtmöglichen Spalt zu überbrücken hatte.

Die PTFE-Platte und der UHMWPE-Verstärkungsring des Lagergleitteils wurden ebenfalls wieder in der selben Lage wie beim 2000 m- Verschleißversuch in den Deckel eingebaut. Das Fett auf der Platten- und Ringunterseite sowie auf der Rezessoberseite war zuvor entfernt, die Gleitflächen des Gleitteils vor dem Zusammenbau nachgeschmiert worden.

Versuchsaufbau

Das so vorbereitete Versuchslager wurde zwischen Futterplatten in die 15 MN-Druckprüfmaschine des Instituts eingebaut. Die zur Lagerkipfung erforderliche Keilplatte wurde unter dem Topflager angeordnet. Der Versuchsaufbau ist in der schematischen Skizze bzw. auf den Fotos in Anlage 3, Seite 2, dargestellt.

Versuchsdurchführung und Messungen

Der statische Langzeit-Belastungsversuch wurde unter folgenden Prüfbedingungen durchgeführt:

Topflager und Gleitteil geschmiert

(gleiche unveränderte Lagerkomponenten wie im 2000 m - Verschleißversuch)

Vorlast (Ausgangspunkt der Messungen)	ca. 1,4 N/mm ² bzw. 333	kN
Max. mittlere Elastomerpressung	61,5 bis 63	N/mm ²
Max. Vertikallast im Versuch (max. Prüfmaschinenkapazität)	14,6 bis 15	MN
Kippwinkel (Keil)	± 0,03	Radian
Be- und Entlastungsgeschwindigkeit	0,05	N/mm ² /s
Standzeit bei max. Vertikallast	ca. 7,6 Tage bzw. 182	h

Die gesamte Vertikalverformung des Lagers, die sich im Wesentlichen aus der Stauchung der Elastomerplatte im Topf sowie der Stauchung des Gleitlagers (PTFE-Scheibe und Verstärkungsring) zusammensetzt, in der aber auch Stauchungsanteile infolge dem Auspressen von Schmierfett enthalten sind, wurde bei der Belastung, während der Standzeit unter etwa konstanter Maximallast und bei der Entlastung mit vier induktiven Wegaufnehmern gemessen und in einer Datenerfassungsanlage registriert. Gleichzeitig wurde auch die Lagertemperatur mit den im Topfboden und in der Topfwand installierten Thermoelementen gemessen und abgespeichert.

Die Gleitspalt- und Kippspalthöhen wurden während der 7,6tägigen Standzeit mit Fühlerlehren nur grob nachkontrolliert, da die Messung dieser Größen ursprünglich nicht vorgesehen war.

Nach Beendigung des Versuchs wurde das Versuchslager aus der Druckprüfmaschine ausgebaut. Danach wurde der Topf in Anwesenheit von RWS durch Abheben des Deckels geöffnet, die Abmessungen einzelner Lagerkomponenten nachkontrolliert und eine fotografische Dokumentation über den Lagerzustand erstellt.

Die Auswertung der Messdaten erfolgte nach dem Versuch per Rechner. Folgende Diagramme wurden angefertigt:

- Vertikallast, Lagerstauchung (Mittelwert) und Lagertemperatur in Abhängigkeit von der Zeit
- Lagerstauchung (Mittelwert) in Abhängigkeit von der Vertikallast bei Belastung, während der Standzeit und bei Entlastung.

Zwischenbemerkung

Mit einem ersten Belastungsversuch (Vorversuch) war bereits am 13.12.2001 begonnen worden. Dieser musste jedoch nach einer Standzeit von ca. 26 h abgebrochen werden, da die Vertikallast ab etwa 8 h nach Versuchsbeginn wegen eines kurzfristig nicht auffindbaren Defekts in der 15 MN-Druckprüfmaschine nicht mehr konstant gehalten werden konnte, sondern bis unter 13 MN abfiel. Das Abbrechen des Versuchs wurde RWS umgehend schriftlich mitgeteilt. Die wichtigsten Ergebnisse dieses Vorversuchs sind dem Auftraggeber im Zwischenbericht vom 18.03.2002 vorgelegt worden. Weiteres zum Vorversuch vgl. Abschnitt 6.3.2.

Nach erfolgter Reparatur der Prüfmaschine wurde der Hauptversuch im Februar 2002 am unveränderten Versuchslager durchgeführt. Alle vorgenannten und nachfolgenden Angaben in diesem Bericht beziehen sich auf den Hauptversuch.

6.3 Versuchsergebnisse

6.3.1 Beobachtungen während der 182 h - Standzeit

Vertikallast bzw. mittlere Elastomerpressung

Die Vertikallast fiel in den ersten 8 Stunden der Standzeit von 15,0 MN auf rd. 14,75 MN ab und lag am Ende der Standzeit bei rd. 14,62 MN. Die mittlere Elastomerpressung betrug demnach während des größten Teils der Standzeit etwa 62 N/mm².

Etwa 140 Stunden nach Versuchsbeginn erfolgte eine nicht vorgesehene, vermutlich durch einen kurzzeitigen Stromausfall ausgelöste Lagerentlastung. Das Lager wurde danach wieder belastet und der Versuch bis zum Erreichen einer Standzeit von 182 h fortgeführt.

Kippspalt und Gleitpalt

Die Kippspalthöhe (lichter Abstand zwischen Oberseite Topfwand und Unterkante oberer Deckelrand) betrug nach Aufbringen der Vertikallast von 15 MN an der Stelle C rd. 19,5 mm und bei Stelle D rd. 2 mm. Die entsprechenden Gleitspalthöhen (lichter Abstand zwischen Gleitblech und oberer Deckelrand) lagen bei rd. 3 mm. Geringfügige Änderungen der Gleitpalt- und Kippspalthöhen während der Standzeit waren mit der relativ groben Messmethode nicht feststellbar.

Im Laufe des Versuchs konnten im Bereich des Kippspalts bei Stelle C und D zunehmend geringe Mengen von aus dem Topf herausgepresstem Schmierfett beobachtet werden, das sich am Deckelbund absetzte und das an der Stelle C infolge des großen Kippspalts besonders gut sichtbar war (siehe Fotos in Anlage 6, Seite 4).

Aus dem Topf ausgetretenes Elastomer-Material war im Kippspalt während der gesamten Versuchsdauer nicht sichtbar.

Defekte am UHMWPE-Verstärkungsring des Gleitlagers

Der erste örtliche Defekt am UHMWPE-Verstärkungsring trat nach einer Standzeit von etwa 66 Stunden zwischen den Stellen A und C auf (siehe Fotos in Anlage 4, Seite 5). Der Außenwulst des Verstärkungsringes ist dabei zungenförmig über eine Umfangslänge von zunächst ca. 65 mm - 14 Stunden später über eine Umfangslänge von etwa 80 bis 85 mm - aus dem Gleitpalt herausgequollen; die Zungenspitze liegt rd. 19 mm vom oberen Deckelaußenrand entfernt. Aus dem Gleitlager nachfließendes Schmierfett wurde ebenfalls sichtbar.

Der zweite örtliche Defekt am Verstärkungsring fand nach ca. 104 Stunden Standzeit im Bereich B-C statt (siehe Fotos in Anlage 6, Seite 6). Das Schadensbild ist ähnlich wie im Bereich A-C. Dieser zweite Defekt hatte sich bereits etwa 14 Stunden vorher dadurch angekündigt, dass die Wulstaußenseite des Verstärkungsringes an der späteren Defektstelle über eine Umfangslänge von etwa 60 mm bereits um rd. 3 mm über den äußeren Deckelrand hinausragte. Der horizontale Abstand der Wulstaußenseite zum Deckelrand sowie die Schadenslänge wurden danach größer und betrugen nach Feststellen des Defekts rd. 17 mm bzw. 75 bis 80 mm.

An der Stelle C ragte die Wulstaußenkante nach etwa 75 Stunden Standzeit zunächst um rd. 1 mm über den äußeren Deckelrand hinaus. Dieser Überstand vergrößerte sich dann im Verlauf der nächsten 42 Stunden auf rd. 3,5 mm, was einem seitlichen Wulstüberstand aus dem Rezess bzw. einer Wulstbreite von rd. 16 mm entspricht.

An den Stellen A, B und D hatte sich der Wulst des Verstärkungsringes ebenfalls in den Gleitspalt hinein ausgebreitet. Die Wulstaußenkante blieb jedoch noch innerhalb des Deckels, der Abstand zum Deckelaußenrand betrug an diesen Stellen jeweils etwa 2 mm. Dies entspricht einer Wulstbreite von rd. 14 mm.

Im Verlauf der weiteren Standzeit änderten sich die zuvor beschriebenen Defekterscheinungen und großen Wulstverformungen nur noch unwesentlich. Offensichtlich hatte sich die Wulstbildung am UHMWPE-Verstärkungsring durch eine Änderung der Pressungsverteilung in der Gleitfuge infolge einer Umlagerung der Lastanteile vom Verstärkungsring auf die PTFE-Platte stabilisiert.

6.3.2 Lagerstauchung, Lagertemperatur, Last-Stauchungs-Diagramm

In Anlage 6, Seite 2, Abb. 6.3 und Abb. 6.4, sind die zeitlichen Verläufe von Vertikalkraft, mittlerer Lagerstauchung und mittlerer Lagertemperatur aufgetragen. Abbildung 6.5 in Anlage 6, Seite 3, zeigt das Last-Stauchungsdiagramm des Versuchslagers im Langzeit-Belastungsversuch.

Lagerstauchung

Unmittelbar nach Aufbringen der maximalen Vertikallast von 15 MN stellte sich eine mittlere Lagerstauchung von rd. $\Delta h_m = 1,52$ mm ein (siehe Abb. 6.3 und Abb. 6.4). In den nachfolgenden 3 Stunden stieg Δh_m auf rd. 1,6 mm an und blieb danach etwa 63 Stunden lang nahezu konstant. Beim Auftreten des ersten Defektes am UHMWPE-Verstärkungsring des Gleitlagers wuchs Δh_m nach einer Standzeit von 66 h sprunghaft um ca. 0,06 mm, beim

zweiten Defekt nach rd. 104 h um etwa weitere 0,04 mm an. Vor dem kurzzeitigen Ausfall der Druckprüfmaschine etwa 140 h nach Versuchsbeginn und am Ende der 182 h-Standzeit betrug die mittlere Lagerstauchung jeweils rd. $\Delta h_m = 1,75$ mm.

Lagertemperatur

Die mittlere Topflager-Temperatur stieg vorwiegend infolge der Lagererwärmung durch die Prüfmaschine in den ersten 40 Stunden des Versuchs von 21,5 °C auf ca. 26 °C an, woraus jedoch keine wesentlichen Stauchungsänderungen resultierten (siehe Abb. 6.4). Am Ende der Standzeit betrug die Lagertemperatur rd. 26,5 °C.

Last-Stauchungs-Diagramm

Im Diagramm in Abb. 6.5 ist die Abhängigkeit von aufgebrachter Lagerlast und mittlerer Lagerstauchung dargestellt, und zwar bei Belastung (Kurve A), bei Wiederbelastung nach dem kurzzeitigen Ausfall der Prüfmaschine (Kurve B) und bei Entlastung nach 182 h Standzeit (Kurve C).

Der Belastungsast (Kurve A) ist vor allem durch die starke Nichtlinearität von Last und Lagerstauchung im unteren Lastbereich charakterisiert. Die Lagersteifigkeit – die dem Kurvenanstieg entspricht – ist bei kleinen Lasten zunächst relativ gering, wächst mit zunehmender Last an und ist erst im Lastbereich zwischen etwa 2,5 MN bis 15 MN nahezu konstant.

Der Entlastungsast (Kurve C) verläuft zwischen 2,5 bis 15 MN nahezu parallel zum Belastungsast (Kurve A) und ist zu diesem – je nach Größe der Vertikallast – um etwa 0,23 bis 0,30 mm infolge der Stauchungen während der Standzeit versetzt.

Die Zunahme der Lagerstauchung während der 182 h-Standzeit ist mit 0,23 mm relativ gering; sie ist neben dem unvermeidlichen Kriechanteil aus dem Elastomerkissen vor allem auf das örtliche Versagen des Verstärkungsringes im Gleitteil und auf die starke Wulstbildung am Verstärkungsring infolge Kaltfluss des UHMWPE-Materials (vgl. Abschn. 6.3.1) zurückzuführen. Denn die Lagerstauchung blieb durch die Lagererwärmung praktisch unbeeinflusst, während des Versuchs war auch kein Elastomer-Material aus dem Topf ausgetreten.

Anmerkungen zum Vorversuch

Im Vorversuch, der nach rd. 26 h abgebrochen worden war (vgl. Zwischenbemerkung in Abschn. 6.2), verlief das Last-Stauchungs-Diagramm ähnlich wie im Hauptversuch.

Die mittlere Lagerstauchungen direkt nach dem Aufbringen der maximalen Vertikallast von 15 MN war jedoch mit rd. $\Delta h_m = 1,8$ mm etwas größer als im Hauptversuch und nahm in den ersten 6 Stunden der Standzeit bei noch konstanter Vertikallast auf $\Delta h_m = 1,9$ mm zu.

Im Lastbereich zwischen 2,5 MN bis 15 MN entsprach die Lagersteifigkeit im Belastungsast praktisch derjenigen des Hauptversuchs, beide Lagersteifigkeiten lagen bei rd. 11,1 MN/mm.

6.3.3 Zustand der Lagerkomponenten nach dem Öffnen

Zustand der Gleitlagerkomponenten

Die Fotos in Anlage 5, Seite 7, Abb. 6.12 und Abb. 6.13, zeigen das geöffnete Gleitlager nach dem statischen Langzeit-Belastungsversuch. Auf den Detailfotos Abb. 6.14 bis Abb. 6.17 in Anlage 5, Seite 8 und 9, sind die bereits während der Versuchsdurchführung festgestellten und in Abschn. 6.3.1 näher beschriebenen örtlichen Defekte am UHMWPE-Verstärkungsring wiedergegeben.

Auf den Detailfotos ist deutlich zu erkennen, dass im Defektbereich nicht nur das UHMWPE-Material des Verstärkungsringes sondern auch PTFE-Material nachgeflossen ist. Außerhalb der Defektzonen reicht der Wulst des Verstärkungsringes fast bis zum Außenrand des Deckels, es haben also auch dort große Wulstverformungen durch Kaltfluss des UHMWPE-Materials in den Gleitspalt hinein stattgefunden (vgl. auch Ausführungen in Abschn. 6.3.1).

Zustand der Topflagerkomponenten

Schmierungszustand, Topf, Elastomerkissen

Die Fotos in Anlage 6, Seite 10 und 11, Abb. 6.15 bis Abb. 6.21, zeigen den Lagertopf mit dem Elastomerkissen und der Innendichtung nach erfolgtem Abheben des Deckels.

Die Fettverteilung auf der Oberseite des Elastomerkissens unterscheidet sich kaum von jener, die nach dem 2000 m-Verschleißversuch beobachtet worden war (vgl. Abschn. 5.2.3 bzw. Abb. 5.9 und Abb. 5.15).

Am Elastomerkissen sind keine Beschädigungen sichtbar. Insbesondere sind am Außenrand des Kissens auch nach dem Ausbau der Innendichtung keine Defekte im Gummi zu erkennen, die auf ein örtliches Ausfließen von Elastomer während des Belastungsversuchs hinweisen würden.

Die Kontrolle des Topfinnendurchmessers durch Nachmessung mit einer Schieblehre ergab keine Abweichungen zu den Ursprungswerten. Eine bleibende plastische Aufweitung des Topfringes infolge der großen Belastung hat demnach nicht stattgefunden.

UHMWPE-Innendichtung

Die Fotos in Anlage 6, Seite 12 bis 14, Abb. 6.22 bis Abb. 6.26, zeigen den Zustand der Innendichtung nach deren Ausbau aus dem Topf. Die Abmessungen der Innendichtung nach dem Langzeit-Belastungsversuch sind in Anlage 9, Seite 17, aufgelistet.

Der vertikale Wulst am Außenrand der Dichtung hat sich infolge der im Langzeit-Belastungsversuch aufgetragenen hohen Vertikallast und Lagerverdrehung durch weiteres Nachfließen von UHMWPE-Material in den Spalt zwischen Topfwand und Deckelaußenrand stark vergrößert.

Wulstbreite und Wulsthöhe nehmen - entsprechend dem vor dem Versuch eingestellten Lagerspiel und entsprechend der Lagerverdrehung mit dem Keil - von der Stelle C ausgehend in Umfangsrichtung zu und erreichen an der Stelle D jeweils den Maximalwert. Die Wulstbreite liegt an den Stellen C, A und B zwischen 0,4 und 0,6 mm, bei Stelle D mit dem größten zu überbrückenden Lagerspiel beträgt sie rd. 2,5 mm. Die Wulsthöhe wächst von C aus mit 0,6 mm über die Stellen A und B mit 0,8 bzw. 1,2 mm auf den Maximalwert von 3,6 mm bei Stelle D an.

Die Abmessungen an jenen Seiten der Innendichtung, an der das Elastomerkissen angelegen hatte, sind nahezu unverändert und entsprechen noch etwa den Ursprungswerten.

Die aus dem Langzeit-Belastungsversuch resultierenden Folgerungen sind Kapitel 10, Abschnitt 10.2, zu entnehmen.

7 Zusätzlicher Verschleißversuch über 3000 m Gesamtgleitweg

Der 3000 m-Verschleißversuch wurde auf Wunsch des Auftraggebers zusätzlich zum 2000 m-Verschleißversuch am selben Versuchslager durchgeführt. Mit diesem Zusatzversuch sollte das Verschleißverhalten der UHMWPE-Topflager-Innendichtung bis zu einem weiteren Gleitweg der Dichtung an der Topfwand von 3000 m überprüft werden.

7.1 Versuchsaufbau, Versuchsdurchführung

Vorbereitung des Versuchslagers

Die nach dem Langzeit-Belastungsversuch aus dem Topf entnommene UHMWPE-Innendichtung wurde in gleicher Lage wieder in den Topf eingebaut, danach der Deckel aufgelegt und das Gleitlager mit den zuvor verwendeten Lagerkomponenten wieder zusammengebaut.

Versuchsaufbau, Versuchsdurchführung, Messungen

Versuchsaufbau, Versuchsdurchführung und Messungen entsprachen weitestgehend denen des 2000 m-Verschleißversuchs (siehe Kapitel 5.1). Zur Verminderung der Versuchsdauer wurde die Prüffrequenz jedoch von 0,4 Hz auf nunmehr rd. 0,8 Hz erhöht.

Prüfbedingungen:

Mittlere Elastomerpressung	35	N/mm ²
Vertikallast	8315	KN
Belastungsgeschwindigkeit für die Vertikallast	0,5	N/mm ² /s
Max. Kippwinkel (Sinus)	± 0,0035	Radian
Gleitweg der Dichtung an der Topfwand für 1 Kippwechsel	3,85	mm
Prüffrequenz	0,81	1/s
Mittl. Relativgeschwindigkeit zwischen Dichtung und Topfwand	3,1	mm/s
Anzahl der aufgebrachten Kippwechsel ca.	770 100	-
Gesamtgleitweg der Dichtung an der Topfwand	2 965	m
Versuchsdauer	ca. 11 Tage bzw. 265	h .

Nach Erreichen von 2965 m Gesamtgleitweg wurde der Verschleißversuch beendet und unmittelbar anschließend weitere Kurzzeit-Kippversuche (siehe Kapitel 8) durchgeführt. Erst danach wurde das Lager im Beisein des Auftraggebers geöffnet und auf Verschleißschäden untersucht (siehe Abschn. 7.2.4).

7.2 Versuchsergebnisse

7.2.1 Kippwinkel, Rückstellmomente, Lagertemperatur

In Anlage 7, Seite 1, Abb. 7.1, ist der zeitliche Verlauf von Kippwinkel und Rückstellmoment zu verschiedenen Versuchszeitpunkten (entsprechend dem aufaddierten Gleitweg der Innendichtung an der Topfwand) dargestellt. In Anlage 7, Seite 2, Abb. 7.2, sind die zugehörigen Momenten-Kippwinkel-Diagramme angegeben.

Aus beiden Abbildungen ist die Zunahme der Rückstellmomente während des Verschleißversuchs deutlich zu erkennen. Die Kippwinkel-Amplituden waren während der gesamten Versuchsdauer nahezu konstant und betrugen die geforderten $\pm 0,35\%$.

Die Abbildung 7.3 in Anlage 7, Seite 2, zeigt die Gleitwegcharakteristik der Kippmomente tot M_0 und tot M_1 sowie die Abhängigkeit der mittleren Topflager-Temperatur vom zurückgelegten Gleitweg. Die Definition dieser Momente ist der Schemaskizze in Abb. 7.3 zu entnehmen.

Die Maximalmomente $M_1 = \pm 0,5$ tot M_1 steigen von ca. $\pm 9,7$ kNm nach Versuchsbeginn relativ stark an, erreichen nach etwa 700 m Gleitweg rd. $\pm 18,5$ kNm und am Versuchsende nach 2065 m Gleitweg etwa $\pm 19,5$ kNm.

Die Momente $M_0 = \pm 0,5$ tot M_0 nehmen von rd. ± 7 kNm bei Versuchsbeginn auf ca. ± 9 kNm nach 100 m Gleitweg zu, erreichen bei 500 m etwa $\pm 10,5$ kNm und bleiben danach bis zum Versuchsende nahezu konstant.

Die mittlere Lagertemperatur stieg von rd. 20°C bei Versuchsbeginn bis auf etwa 29°C nach 400 m Gleitweg an und änderte sich bis zum Versuchende nur noch unwesentlich.

7.2.2 Vergleich der Momente M_0 und M_1 im 2000 m - und 3000 m-Verschleißtest

Im Diagramm in Anlage 4, Seite 3, Abb. 7.4, ist die Gleitwegcharakteristik der Momente M_0 und M_1 für beide Verschleißversuche aufgetragen.

Beide Momente weisen eine ähnliche Gleitwegabhängigkeit auf. Im 3000 m-Verschleißtest verlaufen sie jedoch auf einem wesentlich höheren Niveau als im 2000-Verschleißversuch. Dies ist sowohl auf den schlechteren Schmierungszustand des Topflagers infolge der zwischen den beiden Verschleißtests durchgeführten Langzeit-Belastungsversuche als auch auf die doppelt so große Frequenz im 3000 m-Verschleißversuch zurückzuführen.

7.2.3 Beobachtungen während des 3000 m-Verschleißversuchs

Nach rd. 70 m Gleitweg waren im Kippspalt zwischen Topf und Deckel insbesondere im Bereich der Stelle C grau gefärbte Fettablagerungen sichtbar, deren Menge sich mit zunehmendem Gleitweg weiter erhöhte. Später ausgetriebenes Fett war dunkelgrau bis schwarz gefärbt, nach rd. 1400 m Gleitweg waren im Fett auch rostfarbene Partikel eingelagert. Die Fotos in Anlage 7, Seite 4, zeigen solche Fettablagerungen nach rd. 600 m Gleitweg und kurz vor Versuchsende.

In der Kippachse A-B und im Bereich der Stelle D waren im Kippspalt nur relativ geringe Mengen von Fettablagerungen sichtbar. Verschleißpartikel aus der Innendichtung und Gummimaterial aus dem Elastomerkissen waren bis zum Versuchsende am gesamten Umfang des Kippspaltes mit bloßem Auge nicht zu erkennen.

Die Schwarzfärbung des ursprünglich weißen Schmierfetts ist vermutlich durch eingelagerte feine Abriebpartikel aus der Gummironde sowie durch Anreicherung des Fetts mit metallischen, aus der Oberfläche von Topf und Deckel herausgelösten Feinstpartikeln entstanden. Die rostfarbenen Partikel im Bereich der Stelle C weisen auf Reibrost durch das Aneinanderreiben von Deckelbund und Topfwand bei der Kippbewegung hin. Genauere Aussagen über die Zusammensetzung der Ablagerungen im Kippspalt wären nur mit weitergehenden chemischen Analysen möglich gewesen.

7.2.4 Zustand der Lagerkomponenten nach dem Öffnen des Versuchslagers

Das Versuchslager wurde zwar erst im Anschluss an die zusätzlich durchgeführten Kurzzeit-Kippversuche (siehe Kapitel 8), die nach dem 3000 m-Verschleißversuch vorgenommen worden waren, geöffnet und auf Verschleißschäden untersucht. Da jedoch für den Verschleiß der 3000 m-Verschleißversuch maßgeblich ist, wird der Zustand der Lagerkomponenten nach Abschluss der Kurzzeit-Kippversuche bereits hier beschrieben.

Das Versuchslager wurde also nach Beendigung der zusätzlichen Kurzzeit-Kippversuche aus der Versuchsanlage ausgebaut und danach in Anwesenheit des Auftraggebers zunächst das Gleitlager, danach auch das Topflager durch Abheben des Deckels, Ausbau des Dichtungsringes und Entnahme der Gummironde geöffnet.

Der jeweilige Öffnungszustand des Topflagers und der Zustand der einzelnen Topflagerkomponenten wurde in zahlreichen Bildern dokumentiert (siehe Anlage 9, Seite 1 bis 15). Die in den Fotos mit A und B bezeichneten Stellen liegen wiederum in der Kippachse, die Stellen C und D in Kipprichtung.

Zustand der Gleitlagerkomponenten

Am UHMWPE-Verstärkungsring sind außer der zwei örtlichen Defekte und der starken Wulstbildungen am restlichen Ringumfang, die aber bereits im Langzeit-Belastungsversuch entstanden sind (siehe Abschn. 6.3.1 und 6.3.3), keine weiteren wesentlichen Veränderungen mehr aufgetreten.

Das austenitische Gleitblech und die PTFE-Platte weisen ebenfalls keine wesentlichen Abweichungen gegenüber dem Zustand vor der Durchführung des 3000 m-Verschleißversuchs und den danach vorgenommenen Kurzzeit-Kippversuchen auf. Verschleißschäden an diesen beiden Lagerkomponenten waren auch nicht zu erwarten, da während dieser Kippversuche keine Relativbewegungen in der Gleitfuge mit der hierzu verwendeten Messuhr feststellbar waren.

Zustand der Topflagerkomponenten

Schmierungszustand (siehe Fotos in Anlage 9, Seite 1 und 7)

Auf der Elastomerkissen-Oberseite und der Deckel-Unterseite ist im mittleren Bereich des Sektors C-A-D noch ein Fetthof mit größerer Schmierfettmenge vorhanden (siehe Abb. 9.1 und 9.2). Die anschließenden Gebiete sind relativ trocken, aber noch mit einem Fettfilm überzogen.

An der Kissen-Unterseite und der Topfboden-Oberseite liegt eine ähnliche, ebenfalls symmetrisch zur Kippachse A-B ausgebildete Fettverteilung vor (siehe Abb. 9.13 und 9.14). Im Bereich des Fetthofes ist aber noch wesentlich mehr Schmierfett vorhanden als an der Kissenoberseite.

Lagerdeckel (siehe Fotos in Anlage 9, Seite 2 und 3)

Bei C haben sich auf etwa 30 cm Umfangslänge senkrechte, teils über die ganze Bundhöhe reichende Riefen, örtlich auch Grübchen, durch den direkten Kontakt von Deckelbund und Topfwand und das damit verbundene Reiben beim Kippvorgang gebildet (siehe Abb. 9.3 und 9.4). Über dem Bund ist ausgetriebenes Schmierfett abgelagert, das mit Reibrostpartikeln vermischt ist und daher eine rötliche Farbe zeigt. Die relativ starken Riefen und der Reibrost sind vor allem im 3000 m-Verschleißversuch, teils aber auch in den nachfolgenden Kurzzeit-Kippversuchen entstanden, da sie zuvor nicht beobachtet worden waren. Der direkte örtliche Kontakt von Topfwand und Deckelbund bei C ist offensichtlich durch den sichelförmig verlaufenden großen Wulst, der sich bereits im Langzeit-Belastungsversuch an der Innendichtung bei D ausgebildet hatte (siehe Abschn. 6.3.3), verursacht worden.

Im Bereich der Stelle D (siehe Abb. 9.5 und 9.6) und in den restlichen Zonen des Deckelbunds außerhalb von C sind derartige Riefen nicht zu erkennen. Es sind dort lediglich Fettablagerungen beim Abheben des Deckels vom Topf am Bund hängen geblieben, was nach örtlichem Säubern des Deckelbunds feststellbar war.

Lagertopf (siehe Fotos in Anlage 9, Seite 4 bis 9)

Bei C hat an der Topfwand-Innenseite eine analoge Riefen- und Reibrostbildung wie am Deckelbund infolge des Reibens von Topf und Deckel während der Kippbewegungen stattgefunden (siehe z.B. Abb. 9.9 und 9.10 sowie Abb. 9.15 und 9.16).

Außerhalb des Riefenbereichs bei C ist die Topfwand-Innenseite in Höhe des Deckelbunds frei von Riefen. Dies gilt auch für den Laufbereich der Innendichtung.

Der Innendurchmesser des Topfes wurde in der Kippachse A-B und senkrecht dazu nach den Zusatzversuchen nochmals mit einer Schieblehre überprüft. Dabei ergaben sich keine Abweichungen zu den Ursprungswerten.

Elastomerkissen (siehe Fotos in Anlage 9, Seite 10 bis 12)

Defekte am Elastomerkissen sind auch während der Zusatzversuche nicht aufgetreten. Sowohl die obere Kante im Bereich des Dichtungsringes als auch die Nutaußenkante unterhalb der Innendichtung sind nach Beendigung des gesamten Versuchsprogramms vollkommen intakt.

UHMWPE-Innendichtung (siehe Fotos in Anlage 9, Seite 13 bis 15)

Der bereits nach dem Langzeit-Belastungsversuch festgestellte, von C in Richtung D anwachsende Wulst (siehe Abschn. 6.3.3) ist nahezu unverändert. Die Außenseite der Dichtung, die an der Topfwand anlag, ist glatt ausgebildet und weist keine Riefen oder sonstige Beschädigungen auf.

Zur Feststellung des abrasiven Verschleißes wurden die Dichtringabmessungen mit einer Schieblehre auch nach den Zusatzversuchen wiederum nachgemessen. Die einzelnen Messergebnisse sind Anlage 9, Seite 17, zu entnehmen.

Die Hauptabmessungen der Innendichtung $h_1 \times b_1$ entsprechen im Rahmen der Messgenauigkeit noch etwa den Ursprungswerten, d.h. sowohl im 2000-Verschleißversuch als auch im zusätzlich durchgeführten 3000 m-Verschleißversuch und den nachfolgenden Kurzzeit-Kippversuchen hat praktisch kein abrasiver Verschleiß an der Innendichtung stattgefunden.

Schlussfolgerungen aus den Verschleißversuchen siehe Kapitel 10, Abschnitt 10.3.

8 Zusätzliche Kurzzeit-Kippversuche

am Topflager mit verminderter Schmierung

Durch die vorangegangenen Versuche – Langzeit-Belastungsversuch und insbesondere 2000 m- und 3000 m-Verschleißversuch – hat sich der Schmierungszustand des Topflagers infolge Auspressen von Schmierfett aus dem Topf verschlechtert. Mit den zusätzlich durchgeführten Kurzzeit-Kippversuchen sollte daher der Einfluss des schlechteren Schmierungszustandes des Topflagers auf die Rückstellmomente sowohl bei Raumtemperatur als auch im Kaltversuch untersucht werden.

Zusätzlich zum ursprünglich vorgesehenen Versuchsprogramm wurde auch der Einfluss der Kippfrequenz und der Elastomerpressung auf die Größe der Rückstellmomente überprüft.

8.1 Versuchsaufbau, Versuchsdurchführung der Zusatzversuche

Versuchsaufbau, Versuchsdurchführung, Messungen, Datenerfassung und Auswertung der Messdaten erfolgten im Wesentlichen entsprechend den Angaben in Kapitel 4. Geringfügige Änderungen der Prüfbedingungen sind den nachfolgend aufgeführt.

8.1.1 Zusätzlicher Raumtemperatur-Kippversuch A-RT1

Der Versuch A-RT1 (Additional Room Temperature Test N° 1) wurde unmittelbar nach dem 3000 m-Verschleißversuchs ohne Zwischenentlastung der Vertikallast unter folgenden Prüfbedingungen vorgenommen:

Originalzustand des Versuchslagers nach dem 3000 m-Verschleißtest		
Mittlere Elastomerpressung	35	N/mm ²
Vertikallast	8315	KN
Belastungsgeschwindigkeit für die Vertikallast	0,5	N/mm ² /s
Mittlere Lagertemperatur im Versuch	ca. + 27	°C
Max./min. Kippwinkel (Sollwert; Sinus)	± 0,01	Radian
Prüffrequenz in den ersten 5 Kippwechsel	0,006	1/s
Prüffrequenz vom 6. bis 15. Kippwechsel	0,03	1/s
Gesamtanzahl der Kippwechsel	15	-
Gesamt-Versuchsdauer	ca. 20	min .

Nach dem Raumtemperatur-Kippversuch wurde das Versuchslager entlastet, aus der Kippanlage ausgebaut und für den nachfolgenden Kaltversuch vorbereitet.

8.1.2 Zusätzlicher Kaltversuch A-LT

Nach einer 72 h (3 Tage) lang dauernden Einlagerung des unbelasteten Versuchslagers bei -35°C in einer Tiefkühltruhe des Instituts wurde das Lager so schnell wie möglich vom Aufstellort der Tiefkühltruhe zur Prüfanlage transportiert, in diese eingebaut, die Vertikallast aufgebracht und mit den Kippungen begonnen.

Der Kaltversuch A-LT (Additional Low Temperature Test) wurde am sich erwärmenden Lager wie folgt durchgeführt:

Mittlere Elastomerpressung	35	N/mm ²
Vertikallast	8315	KN
Belastungsgeschwindigkeit für die Vertikallast	0,5	N/mm ² /s
Mittlere Lagertemperatur bei Kippbeginn	ca. -30	$^{\circ}\text{C}$
Mittlere Lagertemperatur am Versuchsende	ca. -1	$^{\circ}\text{C}$
Max./min. Kippwinkel (Sollwert; Sinus)	$\pm 0,01$	Radian
Prüffrequenz in den ersten 10 Kippwechsel	0,006	1/s
Prüffrequenz vom 11. bis 20. Kippwechsel	0,03	1/s
Prüffrequenz vom 21. bis 30. Kippwechsel	0,006	1/s
Prüffrequenz vom 31. bis 40. Kippwechsel	0,03	1/s
Gesamtanzahl der Kippwechsel	40	-
Gesamt-Versuchsdauer	ca. 68	min .

Die Anzahl der Kippungen wurde gegenüber den am ungeschmierten und geschmierten Topflager bereits durchgeführten Kaltversuchen (vgl. Abschn. 4.2.1 und 4.3.1) auf insgesamt 40 Kippwechsel erhöht, damit bei der Lagererwärmung auch Lagertemperaturen bis zu etwa 0°C erfasst werden konnten.

Die Kippfrequenz betrug in den einzelnen Versuchsabschnitten 0,006/s oder 0,03/s (siehe obige Aufstellung). Damit sollte nachgeprüft werden, ob die Prüffrequenz die Größe der Rückstellmomente nach Durchführung der beiden Verschleißversuche sowie des Langzeit-Belastungsversuchs und der daraus verursachten schlechteren Schmierung des Topflagers wesentlich beeinflusst.

Nach Beendigung des Kaltversuchs wurde das Versuchslager entlastet und zur Erwärmung für den anschließenden Raumtemperatur-Kippversuch A-RT 2 rd. 26 h lang in der Prüfanlage belassen.

8.1.3 Zusätzlicher Raumtemperatur Kippversuch A-RT2

Der Raumtemperatur-Kippversuch A-RT2 (Additional Room Temperature Test N° 2) wurde nach dem Kaltversuch nach Erwärmung des Versuchslagers auf etwa 18 °C vorgenommen.

Zur Untersuchung des Pressungseinflusses auf die Rückstellmomente wurde das Versuchslager nacheinander mit mittleren Elastomerpressungen von 5, 10 und 35 N/mm² geprüft. In den einzelnen Pressungsstufen lagen gleichartige Prüfbedingungen hinsichtlich Kippwinkelamplitude, Anzahl der Kippwechsel und Prüffrequenz vor; die Kippfrequenzen betrugen 0,006/s und 0,03/s .

Prüfbedingungen:

Mittlere Elastomerpressung	5, 10 und 35	N/mm ²
Vertikallast	1 190, 2 375 und 8 315	KN
Belastungsgeschwindigkeit für die Vertikallast	0,5	N/mm ² /s

Prüfbedingungen je untersuchter Pressungsstufe:

Mittlere Lagertemperatur	ca. + 18	°C
Max./min. Kippwinkel (Sollwert; Sinus)	± 0,01	Radian
Prüffrequenz in den ersten 5 Kippwechsel	0,006	1/s
Prüffrequenz vom 6. bis 15. Kippwechsel	0,03	1/s
Gesamtanzahl der Kippwechsel	15	-
Versuchsdauer je Pressungsstufe	ca. 20	min
Gesamt-Versuchsdauer	ca. 60	min.

8.2 Versuchsergebnisse der Zusatzversuche

8.2.1 Öffnen des Versuchslagers

Nach Beendigung des Versuchs A-RT2 wurde das Versuchslager in Anwesenheit des Auftraggebers (Mitarbeiter von RWS) geöffnet. Damit sollte überprüft werden, ob an den einzelnen Lagerkomponenten Verschleißschäden - insbesondere infolge des vor den zusätzlichen Kurzzeit-Kippversuchen durchgeführten 3000m-Verschleißtests - aufgetreten sind.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen wurden bereits in Abschnitt 7.2.4 detailliert dargelegt. Die Fotodokumentation über den Zustand der einzelnen Lagerkomponenten nach Abschluss aller Versuche ist in Anlage 9 wiedergegeben.

8.2.2 Kippwinkel, Rückstellmomente, Lagertemperatur

Die Rückstellmomente und die mittlere Topflagertemperatur wurden aus den Messwerten wie bei den Kurzzeit-Kippversuchen der Versuchsreihe 1 (vgl. Angaben in Abschnitt 4.4.2) berechnet.

Die so ausgewerteten Messergebnisse sind in den Diagrammen in Anlage 8, Seite 1 bis 14, dargestellt. Für jeden Versuch sind dort die zeitlichen Verläufe von Rückstellmoment, Kippwinkel und mittlerer Topflager-Temperatur sowie die Momenten-Kippwinkel-Hysteresediagramme angegeben.

Auf die einzelnen Diagramme der Zusatzversuche wird in den folgenden Ausführungen und in Kapitel 9 näher eingegangen.

8.2.3 Anliegen von Deckelbund und Topfwand in den Versuchen A-RT1, A-LT, A-RT2

Siehe Diagramme: Anlage 8, Abb. 8.2, 8.3 u. Abb. 8.22, 8.23, sowie Anlage 10, Abb. 10.2.

Sowohl die Rückstellmomente M_0 beim Nulldurchgang des Kippwinkels als auch die Maximalmomente sind im Versuch A-RT1 ($\vartheta = 27^\circ\text{C}$; $p = 35 \text{ N/mm}^2$) bei beiden untersuchten Kippfrequenzen etwa um den Faktor 1,4 bis 1,6 größer als im Versuch A-RT2 ($\vartheta = 18^\circ\text{C}$; $p = 35 \text{ N/mm}^2$). Diese zunächst etwas erstaunliche Feststellung ist jedoch nur in geringem Maße auf die abweichende Lagertemperatur ϑ zurückzuführen, sondern lässt sich eher durch Folgendes erklären:

Infolge der starken einseitigen Wulstbildung an der Innendichtung bei Stelle D im Langzeit-Belastungsversuch (siehe Abschn. 6.3.3) lag der Deckel im 3000m-Verschleißversuch an der gegenüberliegenden Seite bei C an. Durch das gegenseitige Reiben von Topfwand und Deckelbund während der zahlreichen Kippbewegungen im Verschleißversuch fand eine relativ starke örtliche Riefenbildung im Bereich von C statt (siehe Abschn. 7.2.4). Der Versuch A-RT1 wurde ohne Zwischenentlastung des Lagers unmittelbar nach dem Verschleißversuch durchgeführt. Daher hatten Topf und Deckel im Versuch A-RT1 ebenfalls noch direkten Kontakt mit entsprechend größerer Reibung bei der Kippbewegung. Die Reibung war bei Versuchsbeginn am größten und nahm bereits im Laufe des Kippversuchs vermutlich durch teilweises Glätten der Riefen leicht ab, so dass auch die Rückstellmomente etwas kleiner wurden (siehe Abb. 8.2).

Infolge weiterem Glätten der Riefen im nachfolgenden Kaltversuch – wahrscheinlich aber auch durch Lockern des direkten Topf-Deckel-Kontaktes bei den nachfolgenden Arbeiten (Entlastung und Ausbau des Versuchslagers, Einlagern in die Tiefkühltruhe, Wiedereinbau in die Kippanlage, Wiederbelastung des Lagers) – nahm die Reibung zwischen Topfwand und Deckelbund weiter ab. Infolgedessen stellten sich im Versuch A-RT2 auch geringere Rückstellmomente als im Versuch A-RT1 ein.

In welcher Größe die Rückstellmomente durch die örtliche Reibung zwischen Topfwand und Deckel beeinflusst wurden, ist aus den Versuchen nicht ableitbar.

9 Einflüsse auf die Rückstellmomente in den Kurzzeit-Kippversuchen, Momentenfaktoren

Um zusätzliche Parameter, welche die Größe der Rückstellmomente in den Kurzzeit-Kippversuchen beeinflussten, zu verdeutlichen, wurden sowohl die Einzelergebnisse der Kurzzeit-Kippversuche der Versuchsreihe 1 (siehe Kapitel 4) als auch jene der Versuchsreihe 2 (Zusatzversuche; siehe Kapitel 8) weiter ausgewertet. Die Ergebnisse dieser Zusatzuntersuchungen sind in den Diagrammen in Anlage 10 dargestellt und werden nachfolgend ausführlich erläutert.

9.1 Einflüsse auf die Größe der Rückstellmomente

9.1.1 Schmierungszustand (Vergleich: geschmiertes u. ungeschmiertes Topflager)

Vergleich 1: Ungeschmiertes und geschmiertes Topflager bei Raumtemperatur

Siehe Hysterese-Diagramme in Anlage 10, Abb. 10.1.

Abbildung 10.1 zeigt sehr deutlich, dass die Rückstellmomente beim geschmierten Topflager wesentlich kleiner sind als bei gänzlich fehlender Lagerschmierung und dass die Steigung der Momenten-Hysterese, also die Lagersteifigkeit, beim ungeschmierten Lager wesentlich größer ist als bei idealer oder verminderter Schmierung.

So betragen die Maximalmomente M_1 (Kippwinkel $\alpha \sim \pm 0,01$) bei „idealer Schmierung“ des Topflagers, d.h. im Lagerzustand nach der Erstschmierung, nur rd. 3% der Momente M_1 des ungeschmierten Lagers. Durch die nach der Prüfung am ideal geschmierten Topflager durchgeführten Versuche (statischer Langzeit-Belastungsversuch sowie 2000m- und 3000m-Verschleißversuch) nimmt die Schmierwirkung vor allem infolge Auspressens von Schmierfett aus dem Topf ab, woraus eine Zunahme der Rückstellmomente resultiert. Die Maximalmomente M_1 steigen daher in den Versuchen A-RT1 und A-RT2 (Kippfrequenz jeweils $f = 0,03/s$) bei verminderter Schmierung auf rd. 13% bzw. 9% von M_1 des ungeschmierten Topflagers an.

Die Momente M_0 (Nulldurchgang des Kippwinkels im Hysterese-Diagramm) betragen beim ideal geschmierten Lager rd. 16% der Werte des ungeschmierten Lagers. Durch das zuvor erläuterte Nachlassen der Schmierwirkung steigen sie jedoch im Zusatzversuch A-RT1 auf rd. 62%, im Versuch A-RT2 auf rd. 43% von M_0 des ungeschmierten Topflagers an.

Da die Rückstellmomente im Versuch A-RT1 wegen des direkten Topf-Deckel-Kontaktes (siehe Abschn. 8.1.2) sicherlich stärker beeinflusst wurden, wird dieser Versuch bei den folgenden Betrachtungen nicht mehr berücksichtigt.

Die Ergebnisse der vorangegangenen ausführlichen Diskussion der bei Raumtemperatur und einer Kippfrequenz von 0,03/s vorliegenden Rückstellmomente des geschmierten und ungeschmierten Topflagers können dann wie folgt zusammengefasst werden:

$$M_1 \text{ (ideale Schmierung)} / M_1 \text{ (ohne Schmierung)} = 0,03 ;$$

$$M_0 \text{ (ideale Schmierung)} / M_0 \text{ (ohne Schmierung)} = 0,16 ;$$

$$M_1 \text{ (verminderte Schmierung)} / M_1 \text{ (ohne Schmierung)} = 0,09 ;$$

$$M_0 \text{ (verminderte Schmierung)} / M_0 \text{ (ohne Schmierung)} = 0,43 .$$

Vergleich 2: Ungeschmiertes und geschmiertes Topflager bei -20°C

Aus den Kaltversuchen am Topflager mit idealer Schmierung (Erstversuch, siehe Kapitel 4) und mit verminderter Schmierung (Zusatzversuch A-LT, siehe Abschn. 8.1.2) ergeben sich für die Momente M_1 und M_0 bei einer Lagertemperatur von -20°C und einer Kippfrequenz von 0,006/s etwa folgende Verhältnissfaktoren:

$$M_1 \text{ (ideale Schmierung)} / M_1 \text{ (ohne Schmierung)} = 0,07 ;$$

$$M_0 \text{ (ideale Schmierung)} / M_0 \text{ (ohne Schmierung)} = 0,13 ;$$

$$M_1 \text{ (verminderte Schmierung)} / M_1 \text{ (ohne Schmierung)} = 0,19 ;$$

$$M_0 \text{ (verminderte Schmierung)} / M_0 \text{ (ohne Schmierung)} = 0,65 .$$

Ergebnis aus den Vergleichen 1 und 2

Aus den obigen Ausführungen ist zusammenfassend Folgendes abzuleiten:

Die Maximalmomente M_1 liegen auch bei verminderter Schmierwirkung noch weit unterhalb der Werte des ungeschmierten Topflagers. Bei Raumtemperatur beträgt M_1 nur etwa 1/10, bei einer mittleren Lagertemperatur von -20°C noch etwa 1/5 der Momente bei fehlender Schmierung.

Die Momente M_0 dagegen erreichen bei verminderter Schmierwirkung bereits etwa die Hälfte bis 2/3 der Werte des ungeschmierten Topflagers.

9.1.2 Verminderung der Schmierwirkung durch die Belastungsvorgeschichte

Der Einfluss der nachlassenden Schmierwirkung infolge der Belastungsvorgeschichte des Versuchslagers (vgl. Abschnitt 9.1.1) wird nachfolgend zunächst für die Raumtemperatur- und danach für die Kaltversuche durch entsprechende Vergleiche verdeutlicht.

Vergleich 1: Topflager mit idealer Schmierung und verminderter Schmierung bei Raumtemperatur

Siehe Hysterese-Diagramme in Anlage 10, Abb. 10.2 und 10.4b .

Bei idealer Schmierung sind die Rückstellmomente relativ klein, die Momenten-Hysterese verläuft sehr flach. Durch das Nachlassen der Schmierwirkung nimmt sowohl das Moment M_0 beim Nulldurchgang des Kippwinkels als auch die Steigung der Momenten-Hysterese und damit auch das Maximalmoment M_1 deutlich zu. Etwa folgende Verhältnismerte lassen sich angeben:

$$M_1 \text{ (verminderte Schmierung)} / M_1 \text{ (ideale Schmierung)} = 3,1 ;$$

$$M_0 \text{ (verminderte Schmierung)} / M_0 \text{ (ideale Schmierung)} = 2,7 .$$

Bei Raumtemperatur wachsen demnach die Rückstellmomente M_1 und M_0 infolge der nachlassenden Schmierwirkung auf etwa das 3fache des ideal geschmierten Topflagers an.

Vergleich 2: Topflager mit idealer Schmierung und verminderter Schmierung in den Kaltversuchen und bei -20°C

Siehe Diagramme in Anlage 10, Abb. 10.3 (Kaltversuche) sowie Hysterese-Diagramme in Anlage 10, Abb. 10.4a (bei ca. -20°C)

Die Versteifung des Lagers durch das Nachlassen der Schmierwirkung und die damit verbundene Zunahme der Rückstellmomente zeigt sich auch in den Kaltversuchen sehr deutlich (siehe Abb. 10.3).

Für eine Lagertemperatur von -20°C sind in Abb. 10.4a die Momenten-Hysteresen des Topflagers mit idealer Schmierung und mit verminderter Schmierung (Test A-LT) einander gegenübergestellt. Daraus ergeben sich folgende Verhältnismfaktoren:

$$M_1 \text{ (verminderte Schmierung)} / M_1 \text{ (ideale Schmierung)} = 2,7 ;$$

$$M_0 \text{ (verminderte Schmierung)} / M_0 \text{ (ideale Schmierung)} = 5,0 .$$

Die Zunahme der Maximalmomente M_1 infolge der verminderten Topflager-Schmierung um den Faktor 2,7 gegenüber dem ideal geschmierten Topflager ist demnach in den Kaltversuchen etwa gleich groß wie in den Raumtemperatur-Versuchen, aus denen sich ein Faktor von 3,1 ergeben hatte.

Im Gegensatz dazu vergrößert sich jedoch der entsprechende Faktor für die Momente M_0 von 2,7 bei Raumtemperatur auf 5,0 bei einer Lagertemperatur von -20°C . Die Zunahme des Moments M_0 durch die verminderte Lagerschmierung macht sich also bei Minustemperaturen wesentlich stärker bemerkbar als bei den Maximalmomenten M_1 .

9.1.3 Lagertemperatur

Siehe Diagramme in Anl. 8, Abb. 8.6 bis 8.16 sowie in Anl. 10, Abb. 10.3 bis 10.5

Der Einfluss der Lagertemperatur auf die Größe der Rückstellmomente ist aus den oben angeführten Diagrammen, die für das geschmierte Topflager mit idealer bzw. verminderter Schmierung gelten, deutlich abzulesen.

Aus einem Vergleich der Rückstellmomente M_1 und M_0 bei einer Temperatur von -20°C mit den Momenten bei Raumtemperatur ergeben sich für die in den einzelnen Kurzzeit-Kippversuchen untersuchten Schmierungszustände des Topflagers etwa folgende Erhöhungsfaktoren:

- Ungeschmiertes Topflager (Versuchsreihe 1, s. Abschn. 4):

$$M_1 (\vartheta = -20^\circ\text{C}) / M_1 (\vartheta = +18^\circ\text{C}) = 2,7 ;$$

$$M_0 (\vartheta = -20^\circ\text{C}) / M_0 (\vartheta = +18^\circ\text{C}) = 3,4 .$$

- Ideal geschmiertes Topflager (Versuchsreihe 1, s. Abschn. 4):

$$M_1 (\vartheta = -20^\circ\text{C}) / M_1 (\vartheta = +18^\circ\text{C}) = 5,9 ;$$

$$M_0 (\vartheta = -20^\circ\text{C}) / M_0 (\vartheta = +18^\circ\text{C}) = 2,7 .$$

- Topflager mit verminderter Schmierung (Zusatzversuche A-LT und A-RT2):

$$M_1 (\vartheta = -20^\circ\text{C}) / M_1 (\vartheta = +18^\circ\text{C}) = 6,8 ;$$

$$M_0 (\vartheta = -20^\circ\text{C}) / M_0 (\vartheta = +18^\circ\text{C}) = 6,6 .$$

Die Rückstellmomente hängen also bei allen hier untersuchten Schmierungszuständen von der Lagertemperatur ab und steigen mit abnehmender Temperatur relativ stark an.

9.1.4 Kippfrequenz

Frequenzeinfluss beim ungeschmierten und ideal geschmierten Topflager

In den Kaltversuchen am ungeschmierten und ideal geschmierten Topflager der Versuchsreihe 1 war beim Wechsel der Frequenz von 0,006/s auf 0,03/s nur eine geringe Frequenzabhängigkeit der Rückstellmomente feststellbar (siehe Kapitel 4). Eine systematische Untersuchung des Frequenzeinflusses war bei diesen Versuchen nicht vorgenommen worden.

Frequenzeinfluss bei den Zusatzversuchen A-RT2 und A-LT

In den Zusatzversuchen, in denen die Kippfrequenz sowohl im Raumtemperatur- als auch im Kaltversuch jeweils abschnittsweise geändert wurden, sind die Rückstellmomente wie folgt frequenzabhängig:

a) Im Raumtemperatur-Versuch A-RT2

Siehe Diagramme in Anlage 8, Abb. 8.17 bis 8.23 und in Anlage 10, Abb. 10.6.

Bei einer Kippfrequenz von $f = 0,03/s$ sind die Momente M_1 und M_0 im Versuch A-RT2 bei allen untersuchten drei Pressungsstufen etwa um den Faktor 1,2 bis 1,25 größer als bei $f = 0,006/s$. Bei einem Frequenzverhältnis von $0,03/0,006 = 5$ verhalten sich die Momente also etwa wie $M_{f=0,03} / M_{f=0,06} = 5^{1/8}$. Im Versuch A-RT1 (s. Abb.8.2 und 8.3) liegen ähnliche Faktoren vor.

b) Im Kaltversuch A-LT

Siehe Diagramme in Anlage 8, Abb. 8.7 und in Anlage 10, Abb. 10.5.

Die Maximalmomente M_1 sind im untersuchten Temperaturbereich (etwa -2° bis -12°C) bei $f = 0,03/s$ etwa um den Faktor 1,45 größer als bei $f = 0,006/s$. Daraus ergibt sich ein Momentenverhältnis von etwa $M_{f=0,03} / M_{f=0,06} = 5^{1/4}$. Gegenüber den Raumtemperatur-Versuchen hat sich der Verhältnisfaktor also etwas erhöht.

Die Momente M_0 nehmen im gleichen Temperaturbereich dagegen nur etwa um den Faktor 1,1, d.h. $M_{f=0,03} / M_{f=0,06} = 5^{1/16}$, infolge der Frequenzerhöhung zu.

Ergebnis

Bei der in den Zusatzversuchen vorliegenden verminderten Schmierung des Topflagers wurde im Kaltversuch und in den Raumtemperaturversuchen eine Zunahme der Rückstellmomente bei einer Frequenzerhöhung von 0,006/s auf 0,03/s festgestellt. Es zeigt sich die Tendenz, dass die Maximalmomente M_1 stärker und die Momente M_0 in geringerem Maße frequenzabhängig sind.

9.1.5 Elastomerpressung

Siehe Diagramme in Anlage 8, Abb. 8.17 bis 8.25 und in Anlage 10, Abb. 10.6.

Der Einfluss der mittleren Elastomerpressung auf die Größe der Rückstellmomente wurde im Raumtemperatur-Versuch A-RT2 (siehe Abschn. 8.1.3) zusätzlich überprüft. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Abb. 10.6 zusammenfassend dargestellt.

Die Maximalmomente M_1 (Kippwinkel $\alpha = \pm 0,01$) sind in den drei untersuchten Pressungsstufen (mittlere Elastomerpressung: $p = 5, 10$ und 35 N/mm^2) etwa gleich groß, sie sind damit praktisch unabhängig von der Elastomerpressung.

Die Momente M_0 beim Nulldurchgang des Kippwinkels im Hysterese-Diagramm nehmen mit wachsender Pressung leicht zu. Für beide nachgeprüften Kippfrequenzen ($f = 0,03/\text{s}$ und $f = 0,006/\text{s}$) ergeben sich etwa folgende Momentenverhältnisse:

$$M_0 (p = 5 \text{ N/mm}^2) / M_0 (p = 35 \text{ N/mm}^2) = 0,87 ;$$

$$M_0 (p = 10 \text{ N/mm}^2) / M_0 (p = 35 \text{ N/mm}^2) = 0,90 .$$

Die Pressungsabhängigkeit ist also auch bei M_0 relativ gering.

Der Einfluss der Pressung auf die Rückstellmomente kann somit für baupraktische Zwecke vernachlässigt werden.

Die sehr geringe Abhängigkeit der Rückstellmomente von der Elastomerpressung war bereits aus anderen Raumtemperatur-Versuchen bekannt und wurde durch die hier vorgenommenen Zusatzversuche nochmals bestätigt.

9.2 Momentenfaktoren

9.2.1 Momentenfaktoren F_0^* , F_1^* und F_2^*

für das Versuchslager mit verminderter Schmierwirkung

Die Versuchsergebnisse der Zusatzversuche A-LT und A-RT2 wurden analog der in prEN 1337-5 angegebenen Methode weiter ausgewertet. Ziel dieser zusätzlich zum ursprünglich vorgesehenen Programm durchgeführten Untersuchungen war, auch die sich aus den Zusatzversuchen ergebenden Momentenfaktoren F_0^* , F_1^* und F_2^* bei verminderter Schmierung, die aus der Belastungsvorgeschichte des Versuchslagers (Langzeit-Belastungsversuch und Verschleißversuche) resultiert, zu erhalten. Ein Vergleich mit den Faktoren F_0 , F_1 und F_2 nach prEN 1337-5 (siehe Abschnitt 4.5) sollte damit ebenfalls ermöglicht werden.

Momentenfaktoren F_0^* und F_2^* (Siehe Anlage 10, Abb. 10.7)

Die aus den Versuchen A-LT und A-RT2 berechneten Faktoren F_0^* und F_2^* sind in Abb. 10.7 in Abhängigkeit von der Lagertemperatur und von der Kippfrequenz grafisch dargestellt.

Die bei 5 °C eingetragenen Faktorwerte wurden dabei entsprechend dem Kurvenverlauf der einzelnen Faktoren durch Interpolation bestimmt, die Werte für F_2^* wurden durch Linearisierung der aus den Versuchen erhaltenen Momentenhysteresen ermittelt.

Wie aus Abb. 10.7 hervorgeht, nehmen beide Faktoren mit abnehmender Lagertemperatur beträchtlich zu.

Der Faktor F_0^* und damit auch das Moment M_0^* beim Nulldurchgang des Kippwinkels ist nahezu unabhängig von der Kippfrequenz. Der Faktor F_2^* zeigt jedoch eine starke Frequenzabhängigkeit, die Lagersteifigkeit (Anstieg der Momentenhysterese) vergrößert sich also mit steigender Frequenz.

Die Rückstellmomente M^* können unter Verwendung der in Abb. 10.7 angegebenen Momentenfaktoren F_0^* und F_2^* mit folgender Formel berechnet werden:

$$M^* = 27,5 D^3 (F_0^* + F_2^* \alpha)$$
$$M^* [\text{MNm}], D [\text{m}], \alpha [\text{rad}] .$$

Die so ermittelten Momente M^* gelten, da sie aus den Zusatzversuchen abgeleitet wurden, für das Topflager mit verminderter Schmierung.

Momentenfaktor F_1^* (Siehe Anlage 10, Abb. 10.8)

Der aus den Zusatzversuchen A-LT und A-RT2 analog den Angaben in prEN 1337-5 ermittelte Faktor F_1^* - d.h. der aus den Maximalmomenten M_1 abgeleitete, für das Topflager mit verminderter Schmierwirkung entsprechend geltende Momentenfaktor - nimmt bei abnehmender Lagertemperatur ebenfalls beträchtlich zu. Der Einfluss der Kippfrequenz ist aus Abb. 10.8 ebenfalls ersichtlich.

Durch die infolge der Belastungsvorgeschichte verminderte Schmierung des Topflagers (vgl. Diskussion der M_1 -Werte in Abschn. 8.2.2) ist der Momentenfaktor F_1^* wesentlich größer als der F_1 -Faktor des ideal geschmierten Topflagers, der in Abb. 10.8 ebenfalls aufgetragen ist.

9.2.2 Vergleich der Momentenfaktoren F und Momente M_E nach prEN 1337-5 mit den Momentenfaktoren F^* und M^* der Zusatzversuche

Die Momentenfaktoren F (s. Abschn. 4.5) und F^* (s. Abschn. 9.2.1) sind in folgender Tabelle in Abhängigkeit vom Schmierungszustand des geprüften Topflagers und von der Lagertemperatur einander gegenübergestellt.

Schmierung des Topflagers	ohne	ideal	ohne	vermindert			Beispiel
Mittlere Lager-Temperatur [°C]	Momentenfaktoren F aus Versuchsreihe 1 nach prEN 1337-5 (2001-5)			Momentenfaktoren F^* aus Versuchsreihe 2 (Zusatzversuche; $f = 0,006/s$)			Vergleich der Momente
	F_0	F_1	F_2	F_0^*	F_1^*	F_2^*	M_E / M^*
-20	0,017	0,50	6,2	0,0111	1,50	0,41	2,6
0	0,008	0,21	3,4	0,0035	0,46	0,11	4,4
~+20	0,006	0,09	2,4	0,0017	0,22	0,05	6,4
Moment	$M_E = 27,5 D^3 (F_0 + F_1 \Phi_1 + F_2 \Phi_2)$ (ohne Sicherheitszuschlag)			$M^* = 27,5 D^3 [F_0^* + F_2^* (\Phi_1 + \Phi_2)]$ (ohne Sicherheitszuschlag)			$\Phi_1 = 0,01$ $\Phi_2 = 0,0035$

Wie bereits in Abschn. 9.1 ausführlich diskutiert, zeigen sich auch bei den Momentenfaktoren die Einflüsse: Lagertemperatur und Schmierungszustand nochmals sehr deutlich.

In der letzten Tabellenspalte ist ein Momentenverhältnis M_E / M^* angegeben, das sich bei Gebrauchslast (SLS) beispielsweise aus einer Gesamtlagerverdrehung von $\max \Phi = 0,0135$ ($\Phi_1 = 0,01$ aus ständiger Last; $\Phi_2 = 0,0035$ aus Verkehrslast) ergibt. Dabei wurde M_E mit den Momentenfaktoren F_0 , F_1 und F_2 gemäß der Überlagerungsregel nach prEN 1337-5 (Ausgabe 2001-5) ermittelt und M^* mit den aus den Zusatzversuchen am Lager mit verminderter Schmierung bei einer Kippfrequenz von 0,006/s bestimmten Momentenfaktoren F_0^* , F_1^* und F_2^* berechnet. Der Faktor M_E / M^* gibt demnach das Verhältnis: Bemessungsmoment nach prEN 1337-5 zu dem infolge der Belastungsvorgeschichte zu erwartendem Moment bei verminderter Schmierung des Topflagers wieder.

Im durchgerechneten Beispiel nimmt M_E / M^* von 2,6 bei -20°C , über 4,4 bei 0°C auf 6,4 bei $+20^\circ\text{C}$ zu. Wird bei der Berechnung der Momente M^* eine Frequenz von 0,03/s statt 0,006/s zugrunde gelegt – was in der Tabelle nicht explizit angegeben ist – ermäßigt sich M_E / M^* auf etwa 1,8 bei -20°C , 2,8 bei 0°C und 5,2 bei $+20^\circ\text{C}$.

Damit ist gezeigt, dass das Bemessungsmoment M_E nach prEN 1337-5 wesentlich größer bleibt als das Rückstellmoment M^* und zwar auch dann, wenn sehr ungünstige Annahmen (wie: verminderte Schmierung bereits im Einbauzustand des Topflagers, Kippfrequenz von 0,03/s sowohl bei ständiger Last und Verkehrslast) zugrunde gelegt werden.

Dieses Ergebnis bestätigt die Berechnung der Rückstellmomente mit der in den deutschen Zulassungsrichtlinien seit Jahren angegebenen Formel. In dieser Formel wird das Bemessungsmoment M_E im Gebrauchszustand (SLS) nicht durch weitere Sicherheitszuschläge erhöht, weil man der Auffassung war, dass durch die Berücksichtigung des in der Praxis nicht vorkommenden ungeschmierten Lagerzustandes bei den Faktoren F_0 und F_2 bereits ausreichende Sicherheiten eingearbeitet sind (vgl. auch Anmerkung in Abschnitt 4.5). Die Formel in prEN 1337-5 (2001-5) wurde zwar im Wesentlichen aus den deutschen Zulassungen übernommen, offensichtlich wurde jedoch ein zusätzlicher pauschaler Sicherheitsbeiwert von $32 / 27,5 = 1,16$ berücksichtigt; die in obigem Beispiel berechneten Werte M_E / M^* werden dadurch noch entsprechend größer.

Mit der bisherigen Berechnungsmethode können die Rückstellmomente aufgrund der getroffenen, stark vereinfachenden Annahmen nur in relativ grober Näherung an die Wirklichkeit bestimmt werden. Um die verschiedenen Einflüsse auf die Größe der Rückstellmomente genauer als bisher erfassen zu können, wären umfangreiche theoretische und experimentelle Zusatzuntersuchungen erforderlich, aus denen dann eine neue, modifizierte Formel zur Ermittlung des Bemessungsmoments M_E zu entwickeln wäre.

10 Schlussfolgerungen aus den durchgeführten Versuchen

10.1 Folgerungen aus den Kurzzeit-Kippversuchen

Zur Ermittlung der Rückstellmomente des Topflagers wurden Kurzzeit-Kippversuche in zwei Versuchsreihen durchgeführt.

Die erste Versuchsreihe umfasste Raumtemperatur- und Kaltversuche am ungeschmierten und ideal geschmierten Topflager, aus denen die zur Berechnung der Bemessungsmomente nach prEN 1337-5 benötigten Momentenfaktoren in Abhängigkeit von der mittleren Lagertemperatur bestimmt wurden (siehe Kapitel 4).

Die zweite Versuchsreihe wurde am selben Topflager vorgenommen, das jedoch infolge der Belastungsvorgeschichte (zwischenzeitlich durchgeführte Versuche: 2000m-Verschleißversuch, Langzeit-Belastungsversuch, 3000m-Verschleißversuch) eine gegenüber dem ideal geschmierten Topflager verminderte Schmierung aufwies (siehe Kapitel 8).

Wie in Kapitel 9 bereits ausführlich diskutiert wurde, ist aus den Versuchsergebnissen und aus den für beide Versuchsreihen ermittelten Momentenfaktoren abzuleiten, dass die Rückstellmomente des hier untersuchten Topflagers im Wesentlichen von folgenden Einflussparametern abhängen:

Schmierungszustand des Topflagers

Der Schmierungszustand eines Topflagers beeinflusst die Rückstellmomente erheblich (vgl. Abschn. 9.1.1 u. 9.1.2). Dabei sind folgende Schmierungszustände zu unterscheiden:

- ideale Schmierung bei Erstbelastung des Lagers
- verminderte Schmierung infolge der Belastungsvorgeschichte
 - (bei den durchgeführten Versuchen: durch den Langzeit-Belastungsversuch und die Verschleißversuche;
 - im Bauwerk: durch sich häufig ändernde Lasten und Verdrehungen wie z.B. aus Verkehr oder täglichen Temperaturverformungen)
- keine Schmierung.

Bei idealer Schmierung, die bei der ersten Lagerbelastung noch vorliegt, sind die Rückstellmomente am kleinsten. Diese kleinen Rückstellmomente des ideal geschmierten Lagers wachsen infolge der nachlassenden Schmierwirkung durch nachfolgende Lasteinwirkungen beträchtlich an (s. Anlage 10, Abb. 10.2). Bei verminderter Schmierung liegen die Maximalmomente jedoch immer noch weit unterhalb der Rückstellmomente des ungeschmierten Topflagers (s. Anlage 10, Abb. 10.1).

Aus den Versuchen ist daher zu folgern, dass sowohl die Güte der Erstschmierung als auch die Belastungsgeschichte nach der ersten Lagerbelastung von wesentlicher Bedeutung für die sich nach längerem Gebrauch einstellenden Rückstellmomente des Topflagers sind.

Lagertemperatur

Die Rückstellmomente hängen bei allen hier untersuchten Schmierungszuständen stark von der Lagertemperatur ab, mit abnehmender Lagertemperatur wachsen sie zunehmend an (vgl. Abschn. 9.1.3).

Dieses Verhalten ist vor allem auf die Kälteempfindlichkeit des hier verwendeten Elastomermaterials der Gummironde (NYH, Qualität 1115) zurückzuführen. Beim geschmierten Topflager dürfte die Temperaturabhängigkeit des Reibungsverhaltens der UHMWPE-Innendichtung und der Schmierfett-Viskosität ebenfalls eine gewisse Rolle spielen.

Kippfrequenz

Die Frequenzabhängigkeit der Rückstellmomente hat sich insbesondere in den Zusatzversuchen am Topflager mit verminderter Schmierwirkung gezeigt (vgl. Abschn. 9.1.4). Diese Versuche ergaben, dass die Momente M_0 beim Nulldurchgang des Kippwinkels von der Kippfrequenz nur wenig beeinflusst werden, während die Lagersteifigkeit (Steigung der Momentenhysterese) bei Erhöhung der Frequenz um den Faktor 5 wesentlich mehr zunimmt (s. Anlage 10, Abb.10.7).

Elastomerpressung

Im hier untersuchten Pressungsbereich von 5 bis 35 N/mm² sind die Rückstellmomente nahezu unabhängig von der mittleren Elastomerpressung (vgl. Abschn. 9.1.5 und Abb. 10.6 in Anlage 10). Der Pressungseinfluss ist also vernachlässigbar gering.

Die sich aus allen durchgeführten Kurzzeit-Kippversuchen ergebenden Folgerungen können wie folgt zusammengefasst werden:

Die Größe der Rückstellmomente des hier untersuchten Topflagers hängt im Wesentlichen vom Schmierungszustand, der Lagertemperatur und der Kippfrequenz ab. Der Einfluss der Elastomerpressung auf die Rückstellmomente ist praktisch vernachlässigbar.

Wie bereits in Abschnitt 9.2.2 ausführlich erläutert wurde, müsste die in den deutschen Zulassungen und in prEN 1337-5 (2001-5) zur Ermittlung der Bemessungsmomente angegebene Formel modifiziert werden, um die festgestellten Einflussparameter wirklichkeitsnäher als bisher erfassen zu können. Hierzu wären jedoch zusätzliche konsistente Grundlagenuntersuchungen erforderlich.

10.2 Folgerungen aus dem Langzeit-Belastungsversuch

In diesem Versuch (siehe Kapitel 6) wurde insbesondere das Langzeitverhalten der UHMWPE-Topflager-Innendichtung, aber auch das Langzeitverhalten des UHMWPE-Gleitlager-Verstärkungsringes unter extremer Vertikallast und Lagerverdrehung überprüft. Mit den im Versuch aufgetragenen großen Lagereinwirkungen sollte ein ULS-Zustand simuliert werden.

Folgerungen für den UHMWPE-Verstärkungsring des Gleitlagers

Aus dem Auftreten der beiden örtlichen Defekte am UHMWPE-Verstärkungsring und aus der starken Wulstbildung am restlichen Außenumfang dieses Rings (vgl. Abschn. 6.3.1 und 6.3.3) ist zu schließen, dass das UHMWPE-Material im Langzeit-Belastungsversuch bis an die Grenzen seiner Dauer-Belastbarkeit beansprucht wurde.

Der bereits beim ersten Zusammenbau des Gleitlagers festgestellte, etwa 0,5 mm hohe Überstand des Verstärkungsringes über die PTFE-Platte hat das Tragverhalten des Rings sicherlich ungünstig beeinflusst. Obwohl der Überstand beim Lagerzusammenbau mit Schmierfett ausgeglichen worden war, ist der Verstärkungsring vermutlich ungünstiger beansprucht worden als bei kleinerem Überstand oder bei exakt bündiger Lage der Ringoberseite mit der PTFE-Plattenoberseite. Bei der Weiterentwicklung des UHMWPE-Verstärkungsringes für die zukünftige Anwendung in Gleitlagern sollte dies beachtet werden.

Folgerungen für die UHMWPE-Innendichtung des Topflagers

Die neu entwickelte UHMWPE-Topflager-Innendichtung weist nach dem Langzeit-Belastungsversuch außer der zu erwartenden Wulstbildung infolge der Kaltfließ-eigenschaften des UHMWPE-Materials keine Beschädigungen auf.

Das Austreten von Elastomer aus dem Topf hat die Innendichtung auch bei einem ungünstigen einseitigen Lagerspiel zwischen Topf und Deckel von 0,8 mm und bei langfristig hoher Lagerbeanspruchung (mittlere Elastomerpressung $p = 62 \text{ N/mm}^2$; Lagerverdrehung $\alpha = 0,03 \text{ rad}$; Belastungsdauer im Vor- und Hauptversuch insgesamt $208 \text{ h} = 8,7 \text{ Tage}$) wirksam verhindert.

Die UHMWPE-Innendichtung ist daher hinsichtlich ihres Langzeitverhaltens für den Einsatz in Topflagern sehr gut geeignet.

Folgerungen für den Topfring

Am Topfring sind nach dem Versuch keine bleibenden plastischen Verformungen feststellbar. Die Beanspruchung des Topfrings blieb demnach trotz der großen Lagerbelastung und Lagerverdrehung noch im elastischen Bereich.

10.3 Folgerungen aus den Verschleißversuchen

Das Verschleißverhalten der neu entwickelten UHMWPE-Topflager-Innendichtung wurde zunächst in einem 2000 m-Verschleißversuch (siehe Kapitel 5) und - nach zwischenzeitlicher Durchführung eines statischen Langzeit-Belastungsversuchs - in einem zusätzlich vorgenommenen 3000 m-Verschleißversuch (siehe Kapitel 7) überprüft.

Sowohl nach dem 2000 m- als auch nach dem 3000 m-Verschleißversuch konnte an der Innendichtung kein nennenswerter Abrasionsverschleiß festgestellt werden.

Die Innendichtung hat das Austreten von Elastomer aus dem Topf in beiden Verschleißversuchen vollständig verhindert und ist auch nach 5000 m Gesamtgleitweg der Dichtung an der Topfwand noch voll funktionsfähig.

Die neu entwickelte Innendichtung aus UHMWPE-Material ist daher für Topflager in Straßen- und Eisenbahnbrücken hinsichtlich ihrer Verschleißigenschaften hervorragend geeignet.

11 Zusammenfassung

An einem Topflager mit einem Topfinnendurchmesser von 550 mm, einem NYH-Elastomerkissen der Qualität 1115 und einer neu entwickelten Innendichtung aus UHMWPE-Material wurden folgende Versuche durchgeführt:

- Kurzzeit-Kippversuche zur Ermittlung der Rückstellmomente und zur Untersuchung verschiedener Einflüsse auf die Größe der Rückstellmomente
- Statischer Langzeit-Belastungsversuch zur Nachprüfung des Langzeitverhaltens der UHMWPE-Innendichtung bei extremer Vertikallast und Lagerverdrehung
- Verschleißversuche zur Überprüfung des Verschleißverhaltens der UHMWPE-Innendichtung über insgesamt 5000m Gleitweg der Innendichtung an der Topfwand.

Aus den Ergebnissen der Kurzzeit-Kippversuche wurden die zur Berechnung der Rückstellmomente nach prEN 1337-5 benötigten Momentenfaktoren in Abhängigkeit von der Lagertemperatur bestimmt. Weitere Einflüsse auf die Größe der Rückstellmomente wie Schmierungszustand des Topflagers und Kippfrequenz wurden in zahlreichen Diagrammen aufgezeigt. Von der Elastomerpressung werden die Rückstellmomente nur in vernachlässigbar geringem Maße beeinflusst.

Aus den Versuchsergebnissen des Langzeit-Belastungsversuchs und der Verschleißversuche ist abzuleiten, dass die neu entwickelte UHMWPE-Innendichtung für Topflager in Straßen- und Eisenbahnbrücken hervorragend geeignet ist.

Der Institutsleiter

Prof. Dr.-Ing. L. Stempniewski



Die Bearbeiter

Dipl.-Ing. H. Khbeis

Dipl.-Ing. W. Zeller

ANLAGEN

104 Seiten

ANLAGENVERZEICHNIS

Seite

Anlage 1	Übersicht über das Versuchsprogramm	1
Anlage 2	Erster Lagerzusammenbau	
	Fotos: Topflager ungeschmiert, Gleitteil geschmiert	1 - 2
Anlage 3	Versuchsaufbau für die Kippversuche und Verschleißversuche	1
Anlage 4	Kurzzeit-Kippversuche zur Bestimmung der Rückstellmomente nach prEN 1337- 5	
	Fotos: In die Kippanlage eingebautes Versuchslager	1
	Lagerkomponenten nach den Kippversuchen am ungeschmierten Topflager	2 - 8
	Zusammenbau des geschmierten Topflagers	9
	Diagramme: Kippwinkel, Momente, Lagertemperatur:	
	- Kaltversuch am ungeschmierten Topflager	10 - 13
	- Raumtemperatur-Versuch am ungeschmierten Topflager	14 - 16
	- Kaltversuch am ideal geschmierten Topflager	17 - 20
	- Raumtemperatur-Versuch am ideal geschmierten Topflager	21 - 23
	Diagramm: Momentenfaktoren F_0 , F_1 , F_2 nach prEN 1337-5 in Abhängigkeit von der mittleren Lagertemperatur	24
Anlage 5	Verschleißversuch über 2000 m Gesamtgleitweg	
	Diagramme: Kippwinkel, Momente, Lagertemperatur	1 - 2
	Fotos: Kippspalt bei A und C kurz vor Versuchsende	3
	Lagerkomponenten nach dem Verschleißversuch	4 - 13
Anlage 6	Statischer Langzeit-Belastungsversuch	
	Versuchsaufbau: Schemaskizze und Fotos	1
	Diagramme: Vertikallast, Lagerstauchung, Lagertemperatur	2
	Last-Stauchungs-Diagramm	3
	Fotos: Lager während des Langzeit-Belastungsversuchs	4
	Erster Defekt am UHMWPE-Verstärkungsring	5
	Zweiter Defekt am UHMWPE-Verstärkungsring	6
	Lagerkomponenten nach dem Langzeit-Belastungsversuch	7 - 14

Anlage 7	Zusätzlicher Verschleißversuch über 3000 m Gesamtleitweg	
	Diagramme: Kippwinkel, Momente, Lagertemperatur	1 - 2
	Momente M_0 und M_1 im 2000 m- u. 3000 m-Verschleißtest	3
	Fotos: Kippspalt während des 3000 m-Verschleißversuchs	4
Anlage 8	Zusätzliche Kurzzeit-Kippversuche am Topflager mit verminderter Schmierung	
	Diagramme: Kippwinkel, Momente, Lagertemperatur:	
	- Raumtemperatur-Versuch A-RT1	1 - 3
	- Kaltversuch A-LT	4 - 9
	- Raumtemperatur-Versuch A-RT2: $p = 5 \text{ N/mm}^2$	10
	$p = 10 \text{ N/mm}^2$	11
	$p = 35 \text{ N/mm}^2$	12 -14
Anlage 9	Zustand und Abmessungen der Lagerkomponenten	
	Fotos: Lagerkomponenten nach Durchführung des 3000 m-Verschleißversuchs und der zusätzlichen Kurzzeit-Kippversuche A-RT1, A-LT, A-RT2	1 - 15
	Tabellen: Abmessungen der UHMWPE-Ringe nach einzelnen Versuchen:	
	- UHMWPE-Verstärkungsring des Gleitlagers	16
	- UHMWPE-Topflager-Innendichtung	17
Anlage 10	In den Kurzzeit-Kippversuchen festgestellte Einflüsse auf die Rückstellmomente und Momentenfaktoren der Zusatzversuche	
	Diagramme: Einflüsse auf die Rückstellmomente:	
	- Schmierungszustand des Topflagers	1, 2
	- Lagertemperatur	2, 3
	- Kippfrequenz	3
	- Mittlere Elastomerpressung	3
	Diagramm: Momentenfaktoren F_0^* , F_1^* , F_2^* der Zusatzversuche	4

ANLAGE 1

Versuchsprogramm

Versuchsprogramm						
Versuchsart	SZ	KV	RT	Elastomer- pressung [N/mm²]	Kippwinkel [Radian]	Versuchsdurch- führung
Testreihe 1						
Kurzzeit-Kippversuch	u	x		35	± 0,01	12/11/2001
Kurzzeit-Kippversuch	u		x	35	± 0,01	13/11/2001
Kurzzeit-Kippversuch	ig	x		35	± 0,01	19/11/2001
Kurzzeit-Kippversuch	ig		x	35	± 0,01	20/11/2001
Verschleißtest 1 (2000 m)	g		x	35	± 0,0035	20/11/-05/12/2001
Statischer Langzeit- Belastungsversuch	g		x	62	0,03 (Keil)	05/02/-13/02/2002
Testreihe 2 (Zusatzversuche)						
Verschleißtest 2 (3000 m)	g		x	35	± 0,0035	25/02/-08/03/2002
Kurzzeit-Kippversuch	g		x	35	± 0,01	08/03/2002
Kurzzeit-Kippversuch	g	x		35	± 0,01	12/03/2002
Kurzzeit-Kippversuch	g		x	5 10 35	± 0,01	13/03/2002
SZ = Schmierungszustand des Topflagers; u = ungeschmiert; ig = ideal geschmiert; g = geschmiert; KV = Kaltversuch; RT = Raumtemperatur-Versuch						

Tab. 1.1: Übersicht über das Versuchsprogramm und die Termine der Durchführung

ANLAGE 2

Erster Lagerzusammenbau

- Topflager ungeschmiert
- Gleitlager geschmiert



Abb. 2.1: NYH-Elastomerkissen mit UHMWPE-Innendichtung

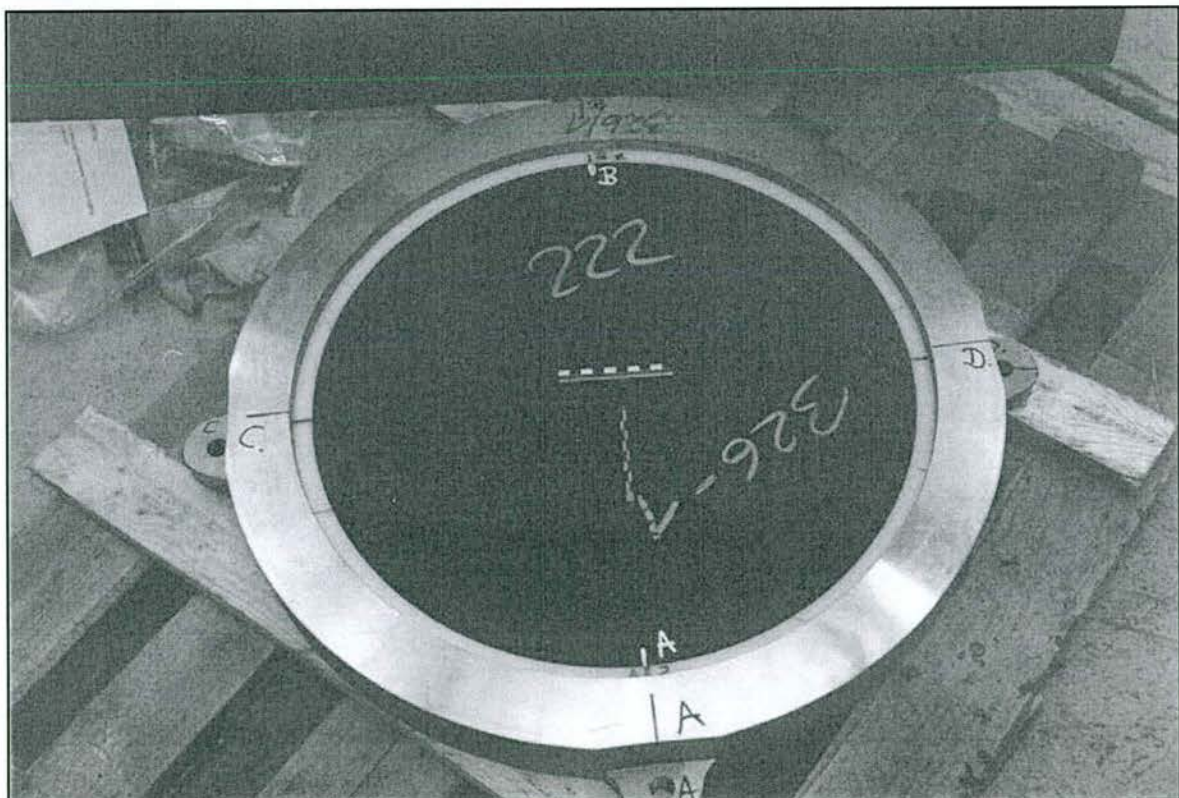


Abb. 2.2: Zusammenbau des ungeschmierten Topflagers: Lagertopf mit eingebautem NYH-Elastomerkissen Ø 550 mm und eingelegter UHMWPE-Innendichtung



Abb. 2.3: Geschmiertes Gleitteil des zusammengebauten Topflagers: Deckel mit eingebauter PTFE-Platte und eingelegtem UHMWPE-Verstärkungsring

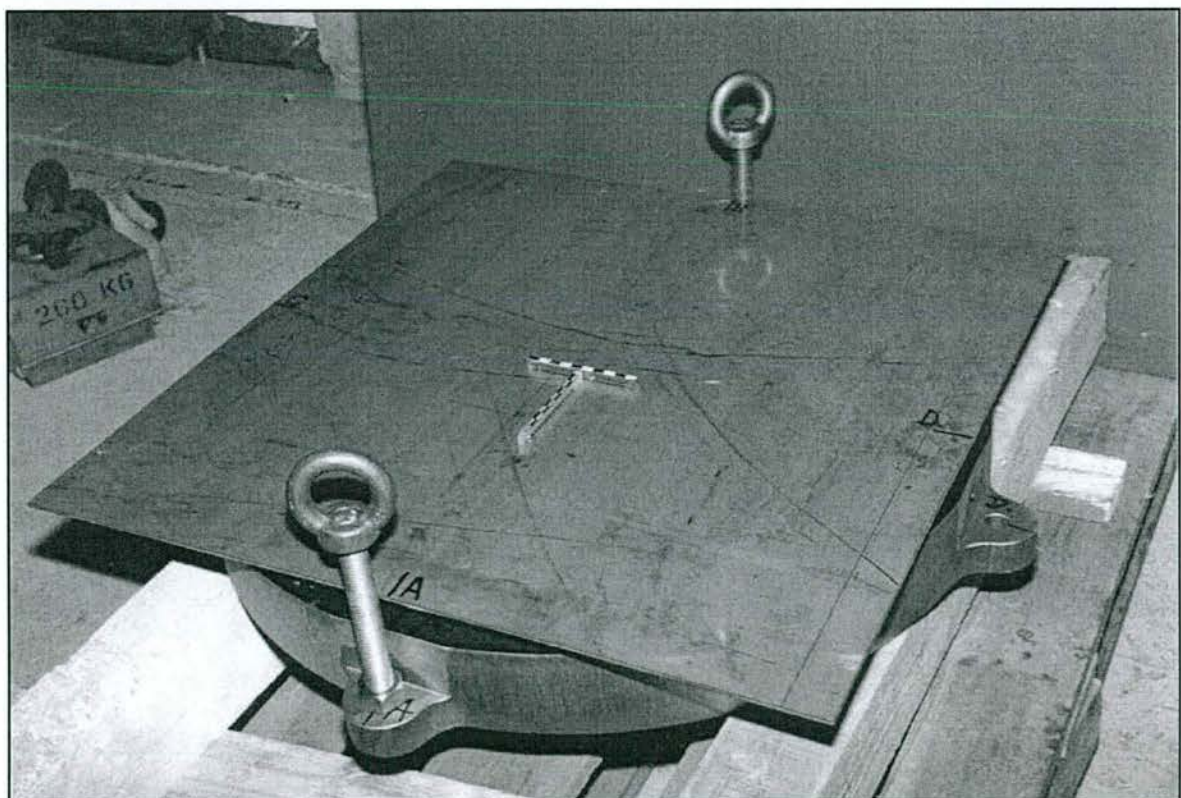


Abb. 2.4: Vollständig zusammengebautes Versuchslager mit oben aufgelegtem austenitischem Stahlblech und mit seitlich angebrachten Transportlaschen

ANLAGE 3

Versuchsaufbau für die Kipp- und Verschleißversuche

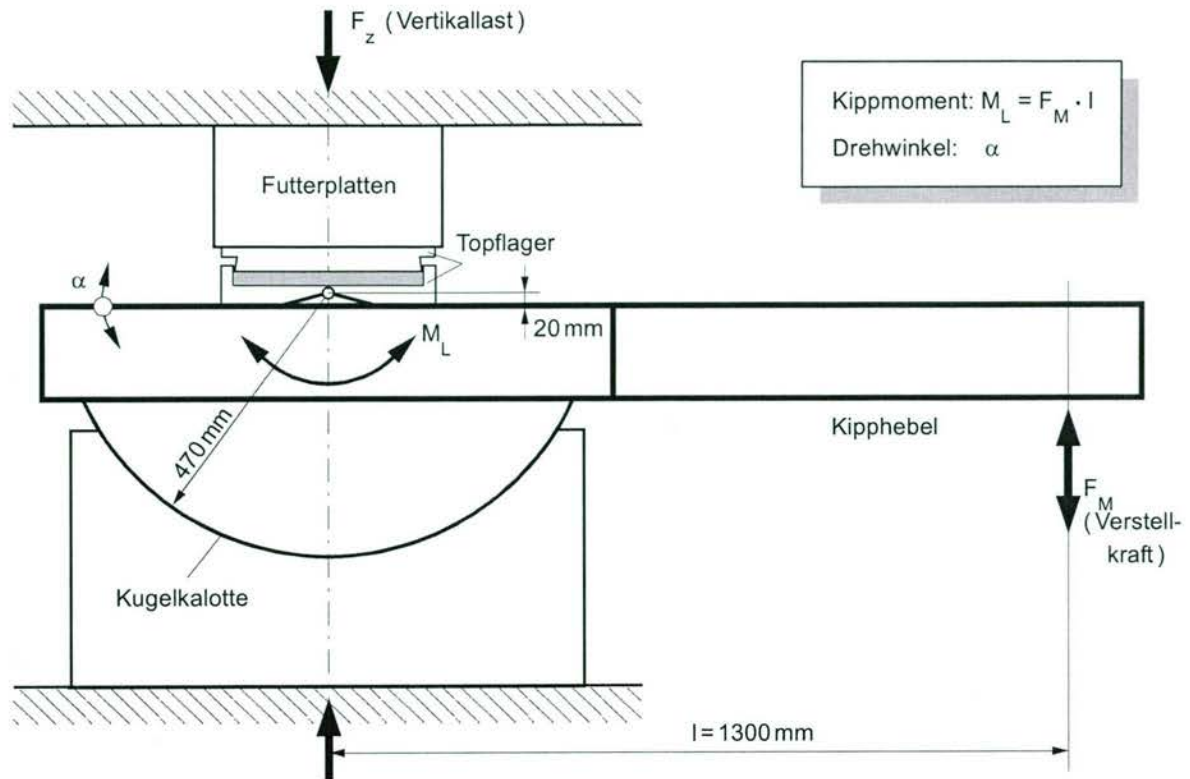


Abb. 3.1: Schematische Darstellung des Kippversuchsstands



Abb. 3.2: Kippversuchstand mit eingebautem Topflager

ANLAGE 4

Testreihe 1:

Kurzzeit-Kippversuche zur Ermittlung der Rückstellmomente

Fotos:

- In die Kippeinlage eingebautes Versuchslager mit ungeschmiertem Kippteil
- Zustand einzelner Lagerkomponenten nach Durchführung der Kurzzeit-Kippversuche am ungeschmierten Topflager
- Zusammenbau des geschmierten Topflagers

Diagramme:

- Zeitlicher Verlauf von Kippwinkel, Rückstellmoment und mittlerer Lagertemperatur
- Momenten-Kippwinkel-Hysteresen

für die Versuche:

- Kaltversuch, Topflager ungeschmiert
- Raumtemperaturversuch, Topflager ungeschmiert
- Kaltversuch, Topflager geschmiert
- Raumtemperaturversuch, Topflager geschmiert

Momentenfaktoren F_0 , F_1 , F_2 nach prEN 1337-5 in Abhängigkeit von der mittleren Topflagertemperatur

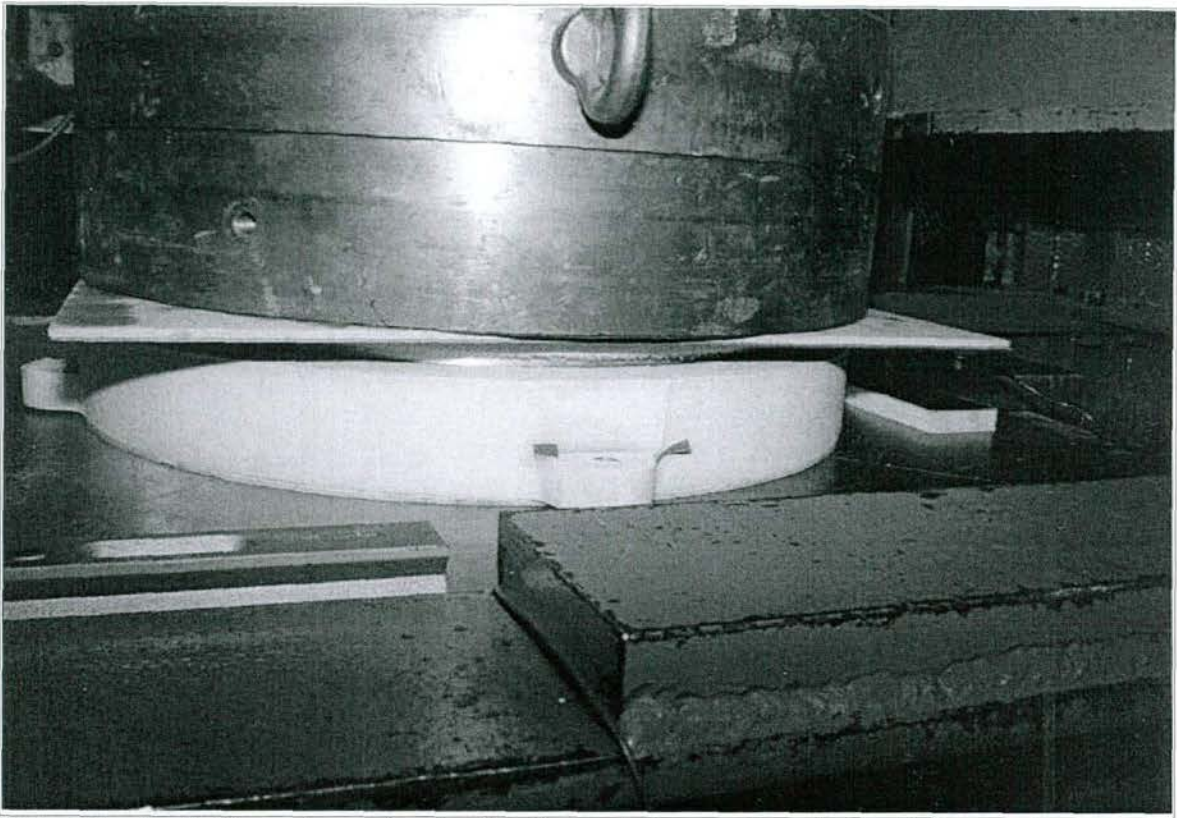


Abb. 4.1: In die Kippanlage eingebautes Versuchslager während des Kaltversuchs am ungeschmierten Topflager

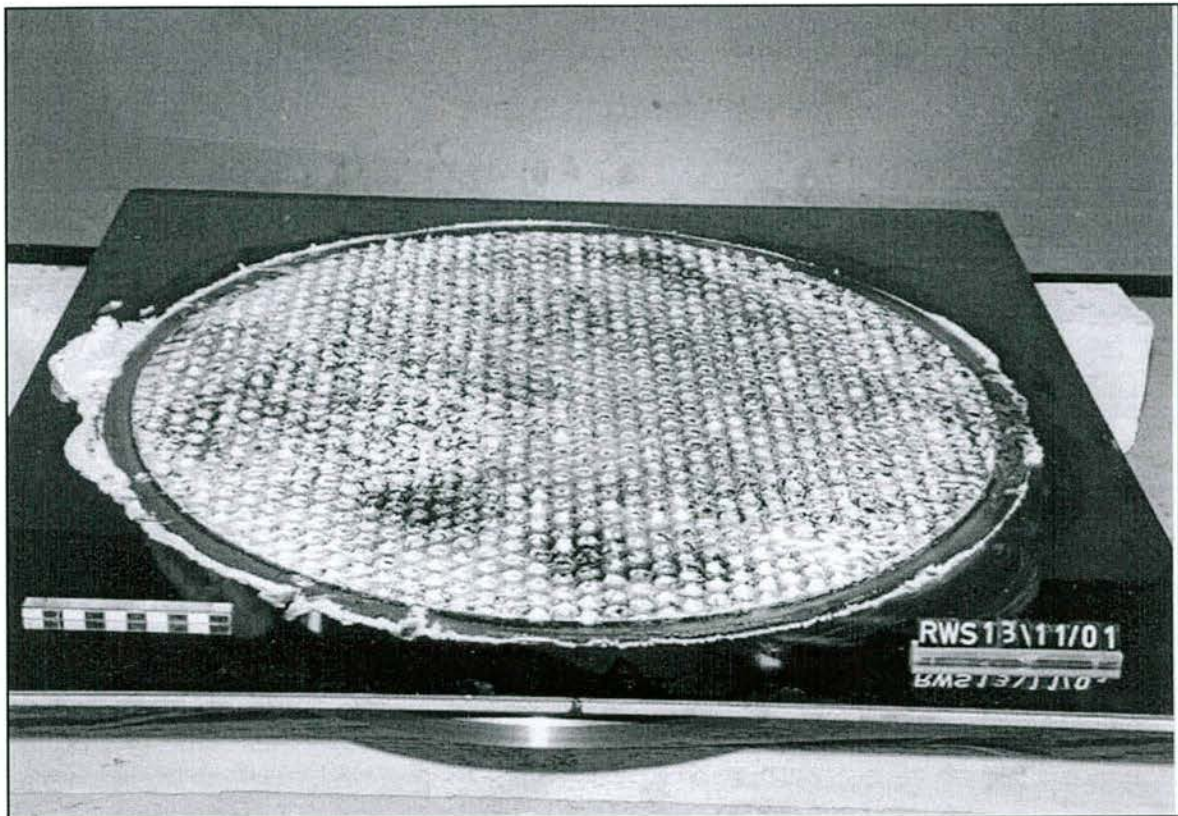


Abb. 4.2: Fettverteilung auf dem Gleitblech nach den Kippversuchen am ungeschmierten Topflager



Abb. 4.3: Deckeloberseite nach Ausbau der PTFE-Platte und des UHMWPE-Verstärkungs-rings nach den Kippversuchen am ungeschmierten Topflager



Abb. 4.4: Deckelunterseite nach den Kippversuchen am ungeschmierten Topflager

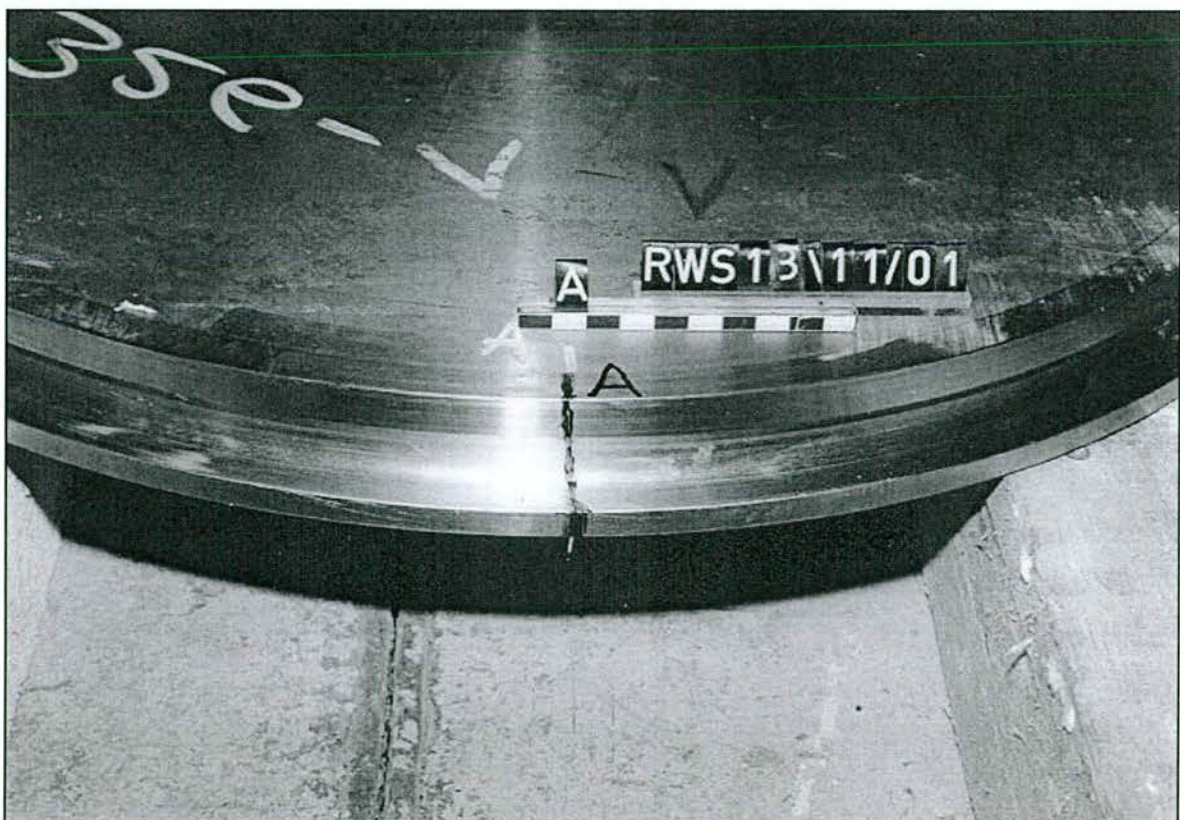


Abb. 4.5: Deckelunterseite und Deckelbund (Stelle A) nach den Kippversuchen am ungeschmierten Topflager



Abb. 4.6: Deckelunterseite und Deckelbund (Stelle C) nach den Kippversuchen am ungeschmierten Topflager

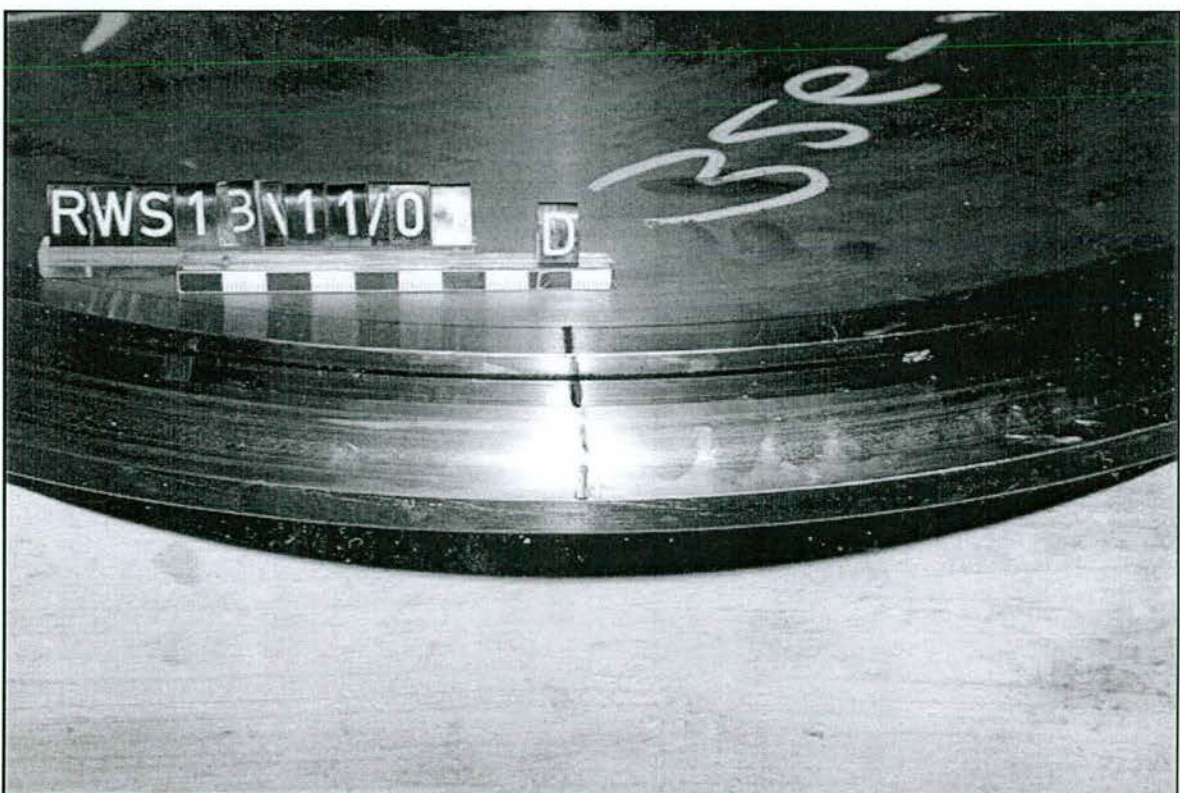


Abb. 4.7: Deckelunterseite und Deckelbund (Stelle D) nach den Kippversuchen am ungeschmierten Topflager



Abb. 4.8: Lagertopf nach Entnahme der UHMWPE-Innendichtung und des ungeschmierten Elastomerkissens



Abb. 4.9: Topfwandinnenseite nach den Kippversuchen am ungeschmierten Topflager (Stelle C)



Abb. 4.10: Topfwandinnenseite nach den Kippversuchen am ungeschmierten Topflager (Stelle D)

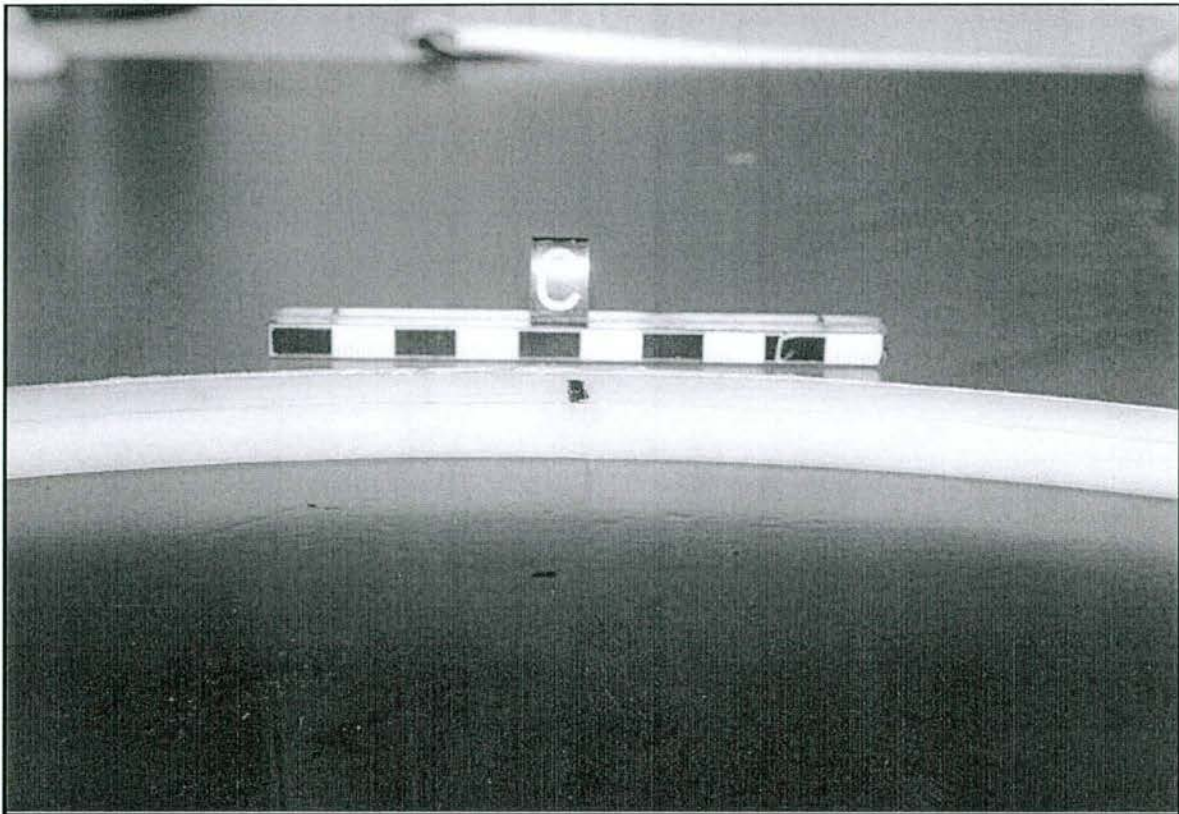


Abb. 4.11: UHMWPE-Innendichtung mit Wulstbildung nach den Kippversuchen am ungeschmierten Topflager (Stelle C)

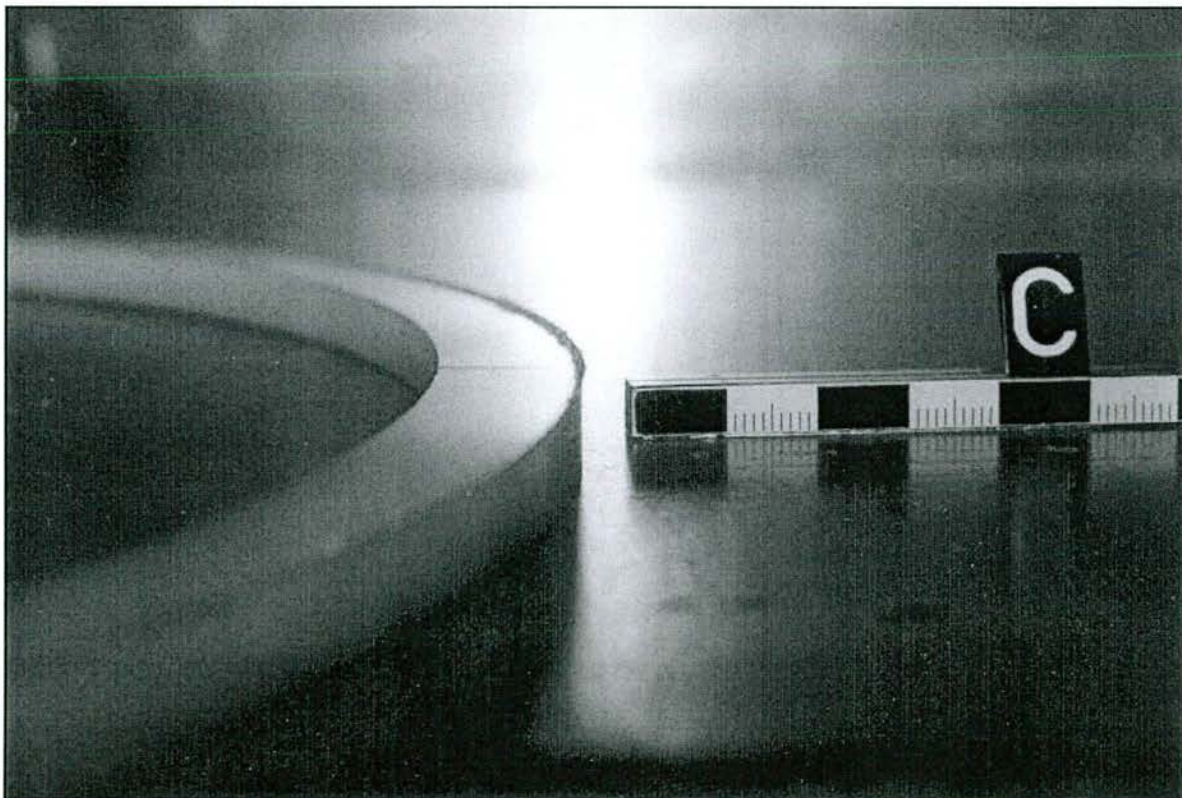


Abb. 4.12: UHMWPE-Innendichtung mit Wulstbildung nach den Kippversuchen am ungeschmierten Topflager (Stelle C)

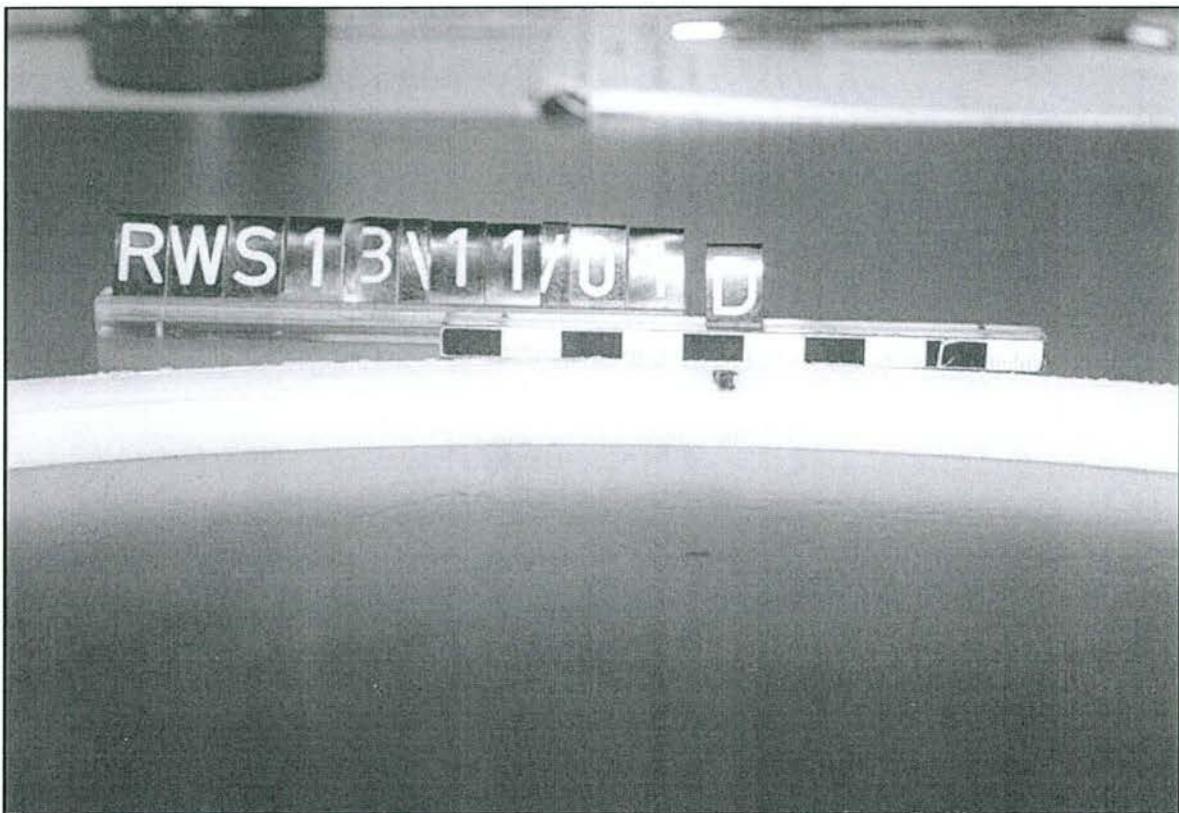


Abb. 4.13: UHMWPE-Innendichtung nach den Kippversuchen am ungeschmierten Topflager (Stelle D, in Kipprichtung)

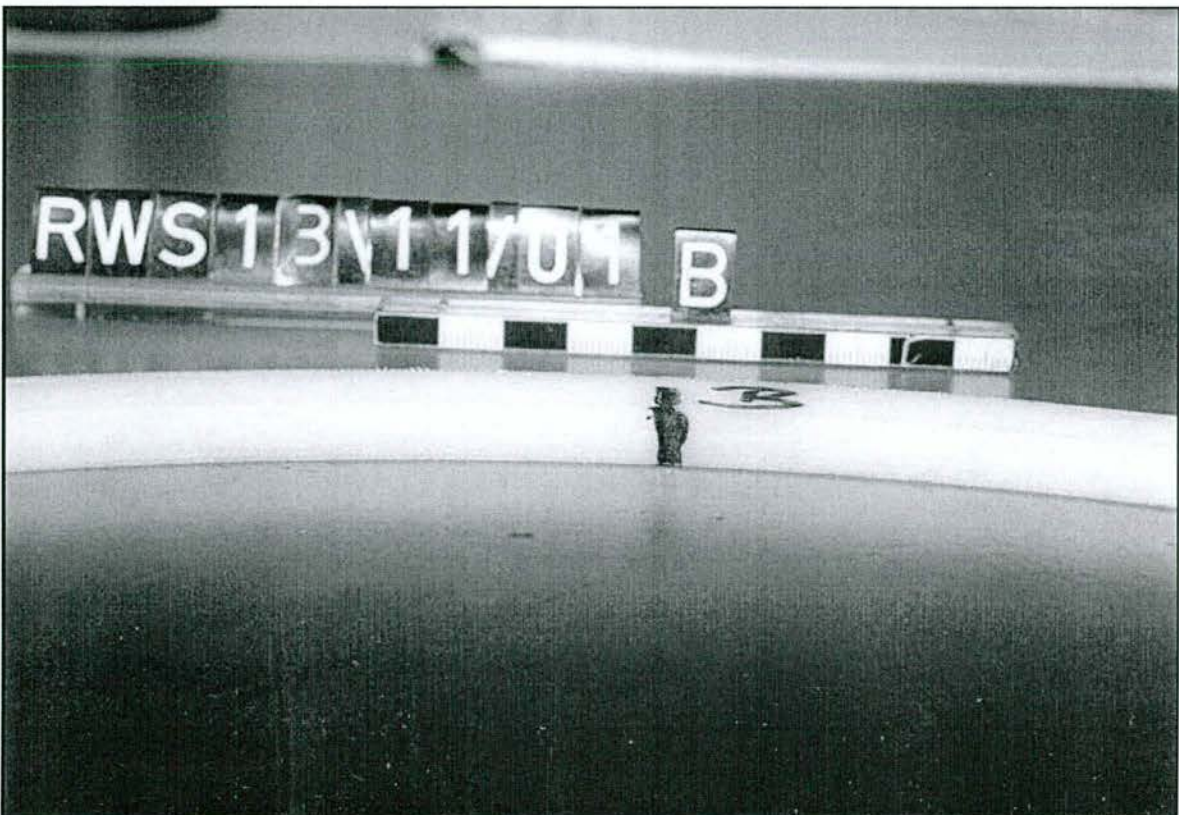


Abb. 4.14: UHMWPE-Innendichtung nach den Kippversuchen am ungeschmierten Topflager (Stelle B, in Kippachse)

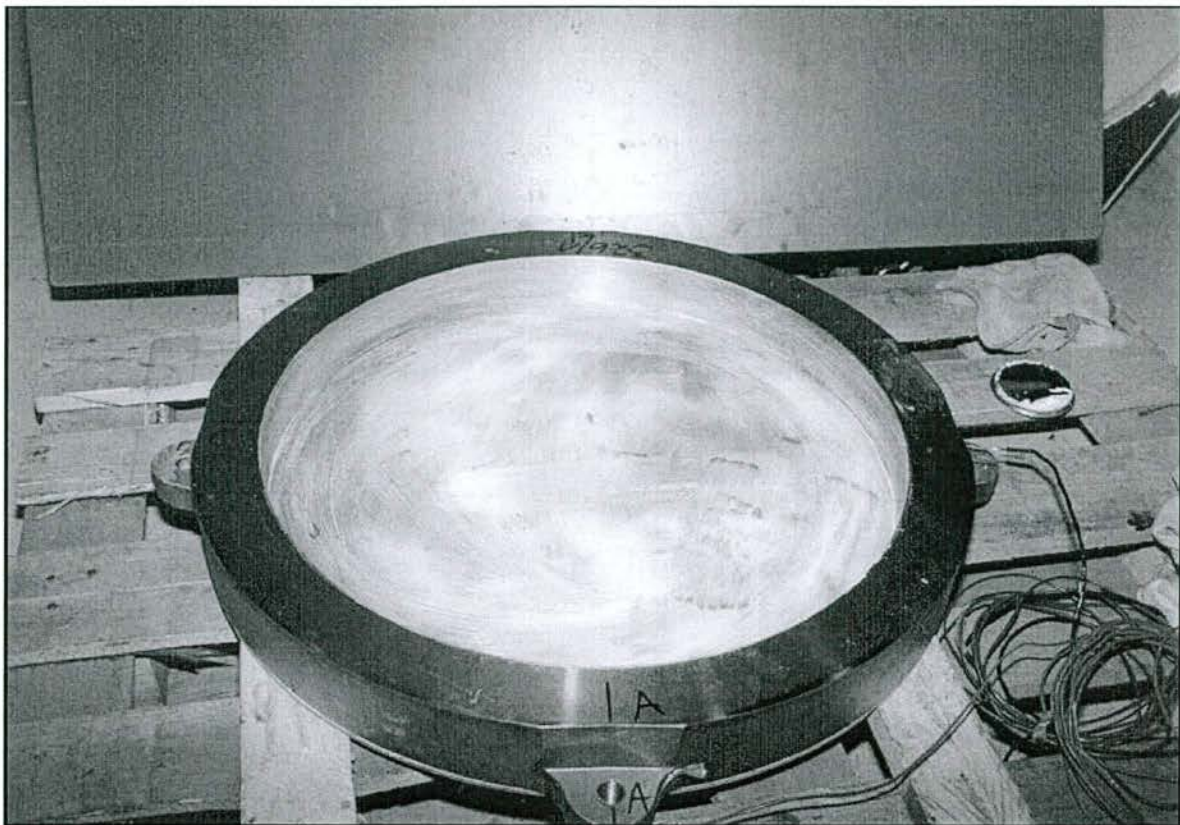


Abb. 4.15: Lagertopf nach dem Schmieren mit Silikonfett „Wacker mittel“

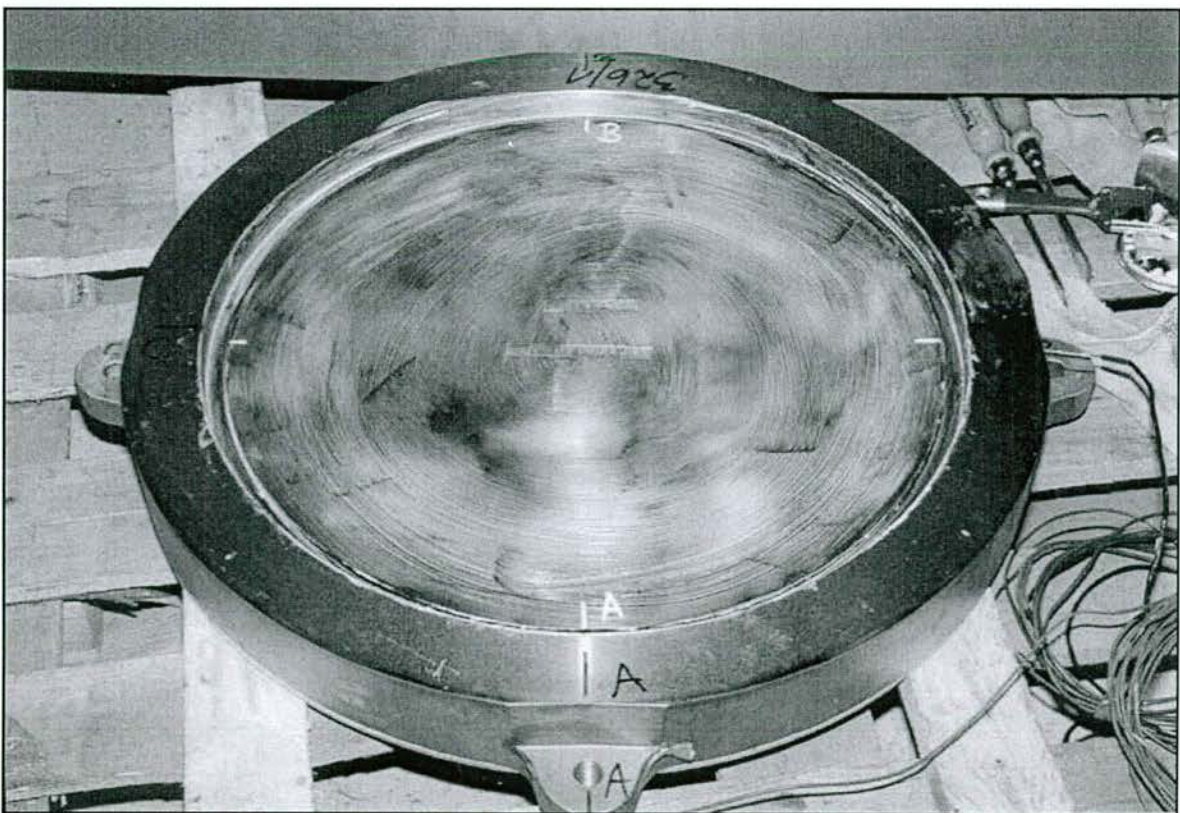


Abb. 4.16: Lagertopf mit eingebautem geschmiertem Elastomerkissen

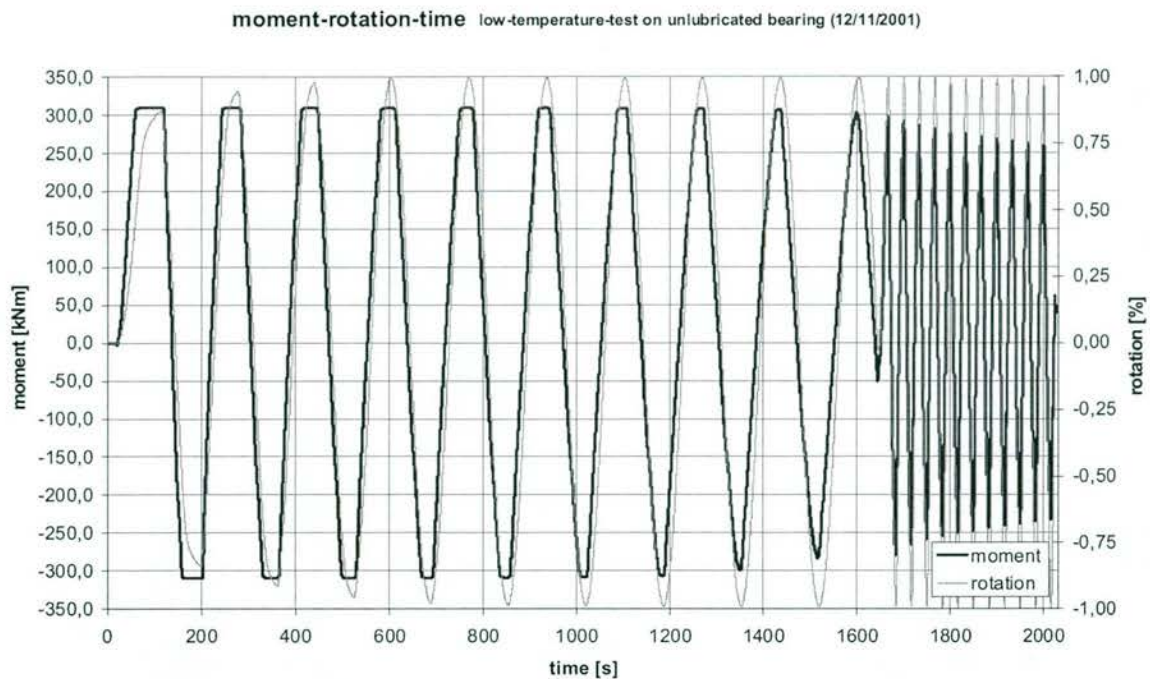


Abb. 4.17: Zeitlicher Verlauf von Rückstellmoment und Kippwinkel im Kaltversuch am ungeschmierten Topflager (12/11/2001)

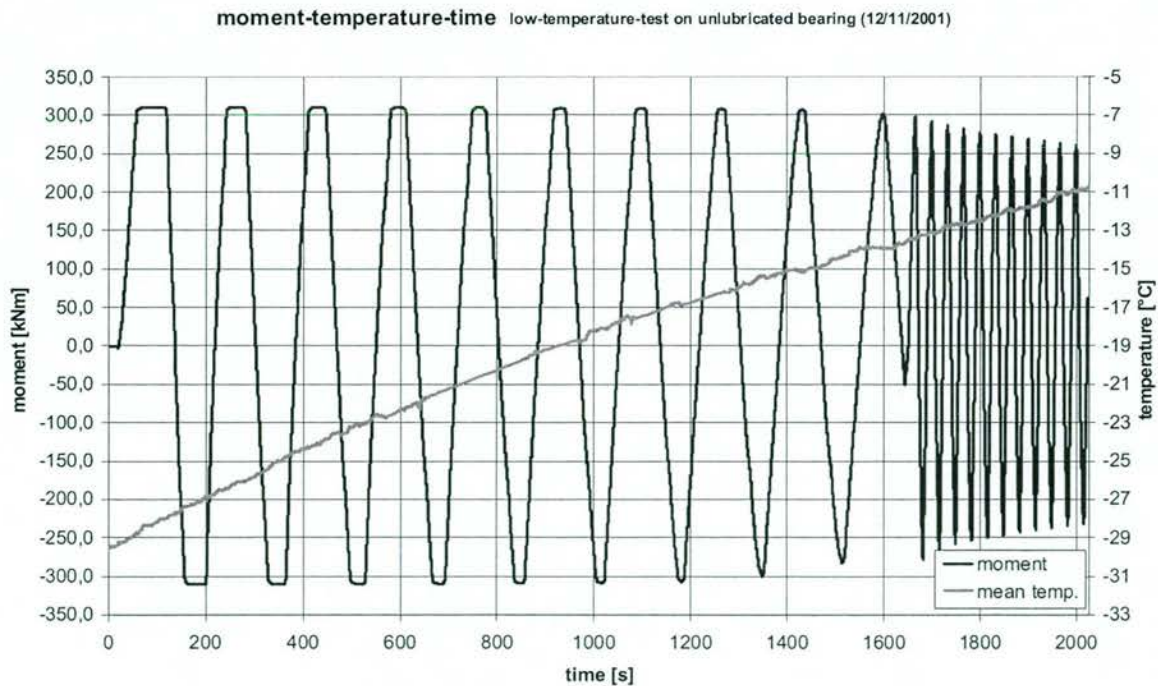


Abb. 4.18: Zeitlicher Verlauf von Rückstellmoment und mittlerer Lagertemperatur im Kaltversuch am ungeschmierten Topflager (12/11/2001)

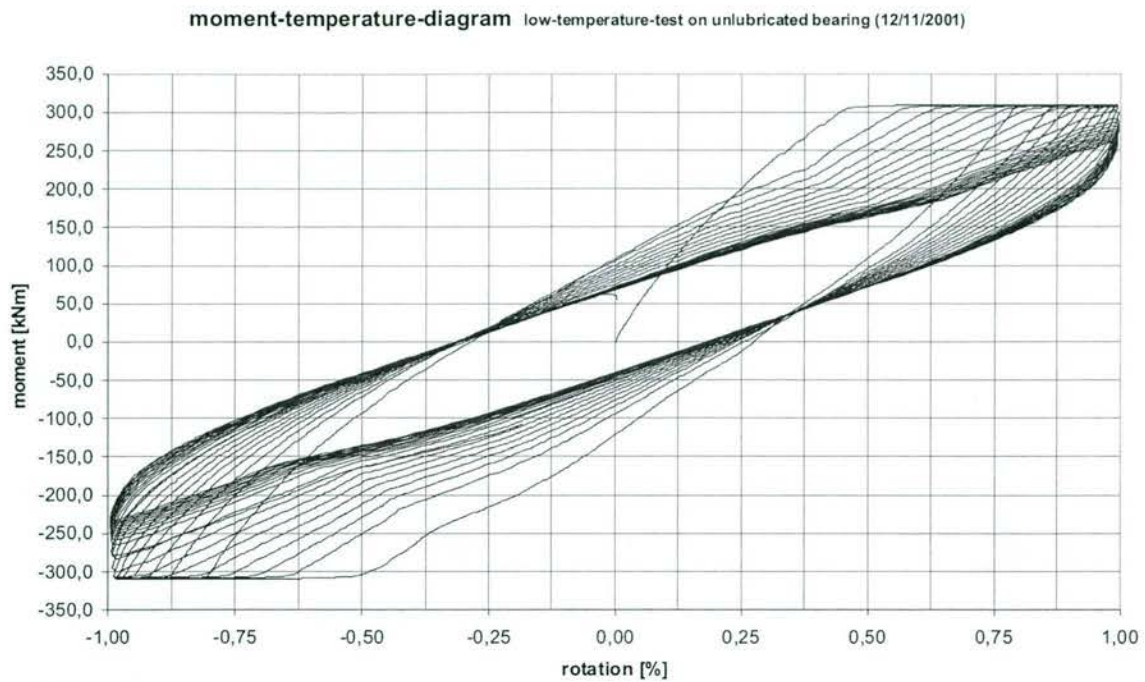


Abb. 4.19: Momenten-Kippwinkel-Hysteresen aller Kippwechsel im Kaltversuch am ungeschmierten Topflager (12/11/2001)

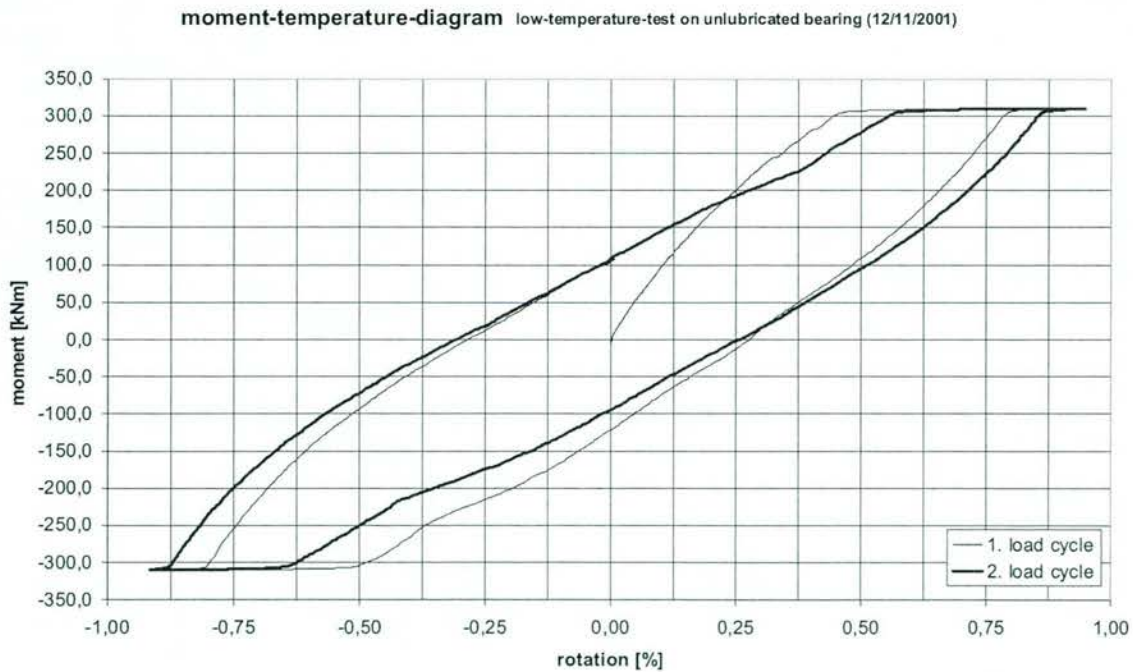


Abb. 4.20: Momenten-Kippwechsel-Hysteresen von Kippwechsel 1 und 2 im Kaltversuch am ungeschmierten Topflager (12/11/2001)

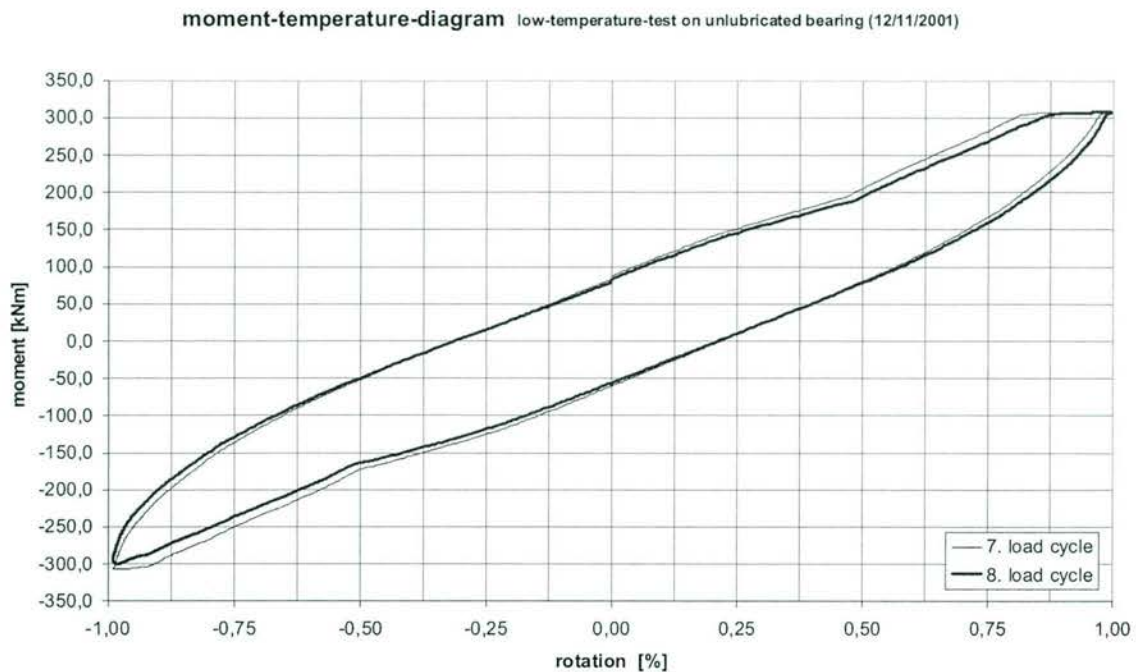


Abb. 4.21: Momenten-Kippwinkel-Hysteresen von Kippwechsel 7 und 8 im Kaltversuch am ungeschmierten Topflager (12/11/2001)

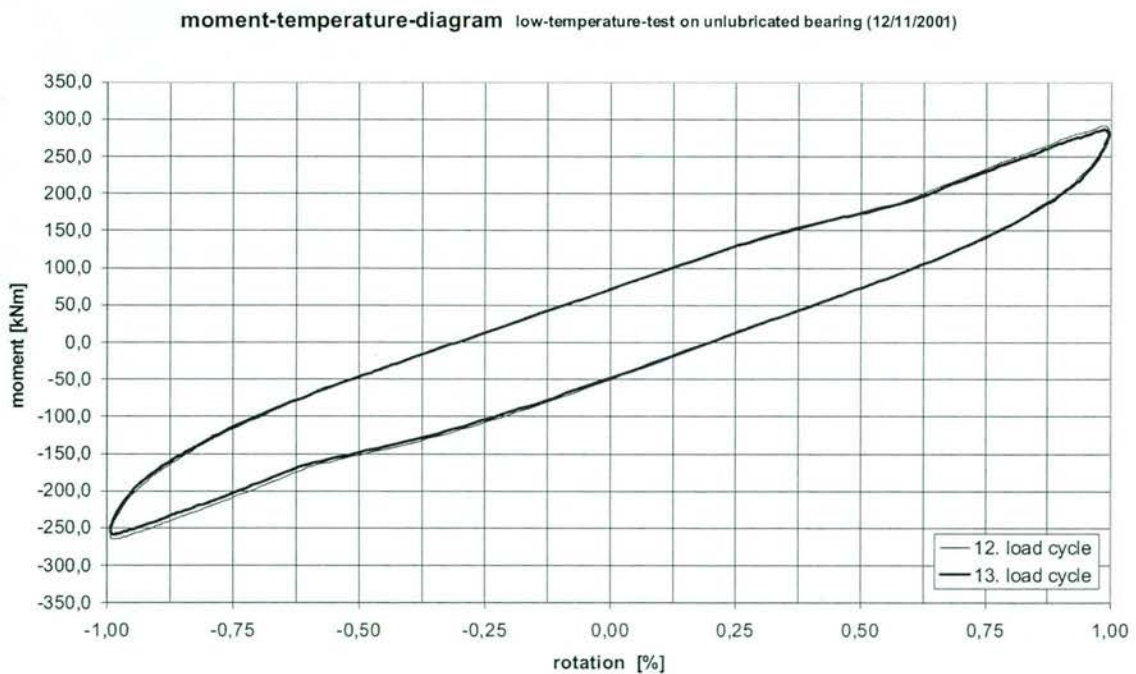


Abb. 4.22: Momenten-Kippwinkel-Hysteresen von Kippwechsel 12 und 13 im Kaltversuch am ungeschmierten Topflager (12/11/2001)

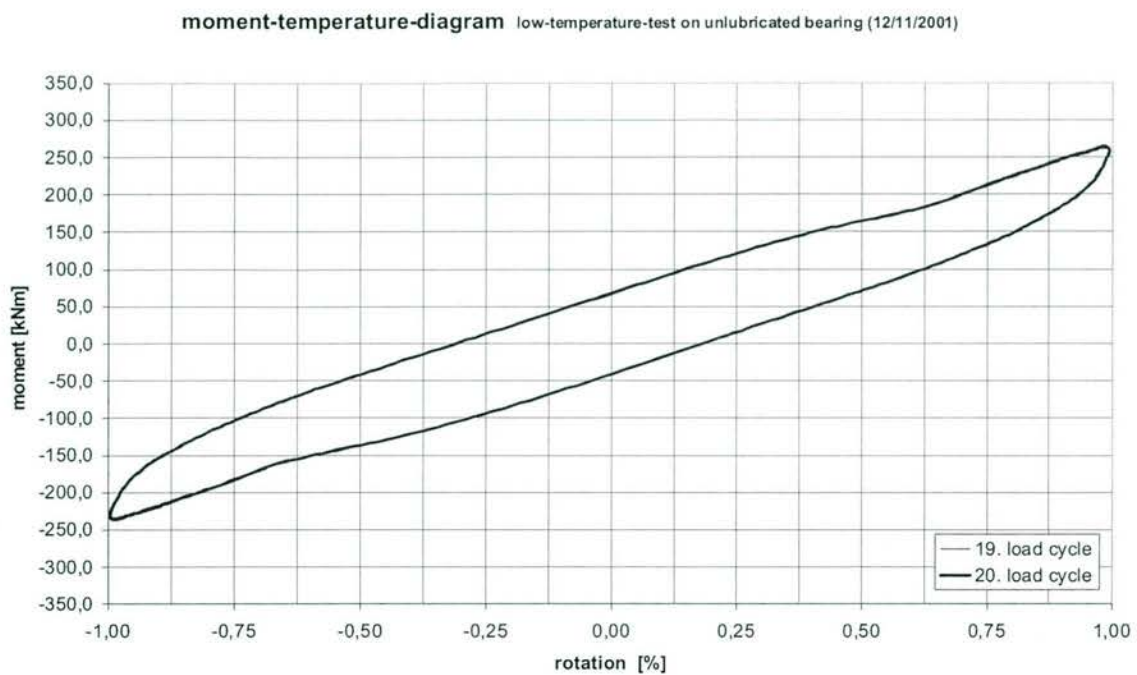


Abb. 4.23: Momenten-Kippwinkel-Hysteresen von Kippwechsel 19 und 20 im Kaltversuch am ungeschmierten Topflager (12/11/2001)

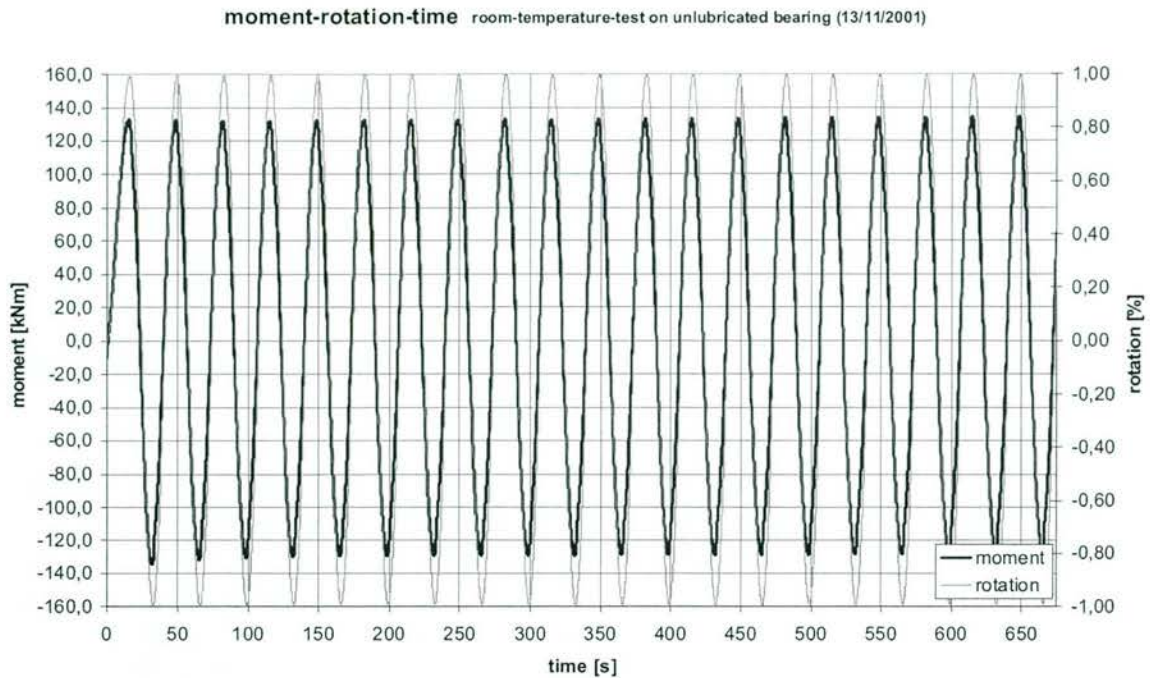


Abb. 4.24: Zeitlicher Verlauf von Rückstellmoment und Kippwinkel im Raumtemperaturversuch am ungeschmierten Topflager (13/11/2001)

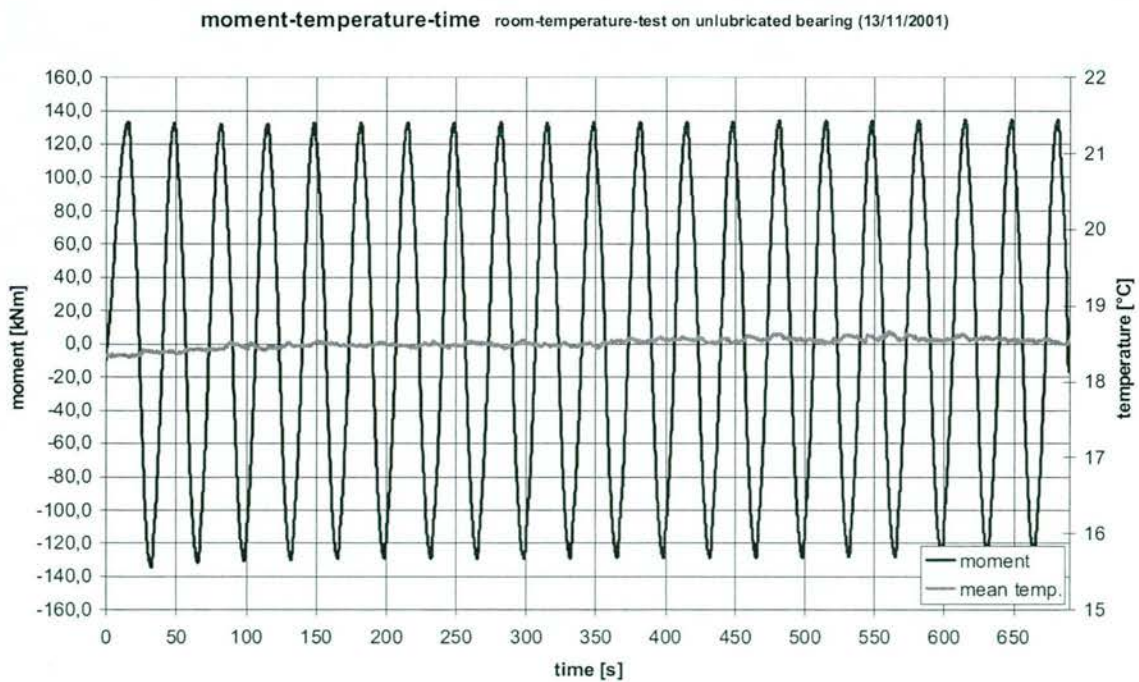


Abb. 4.25: Zeitlicher Verlauf von Rückstellmoment und mittlerer Lagertemperatur im Raumtemperaturversuch am ungeschmierten Topflager (13/11/2001)

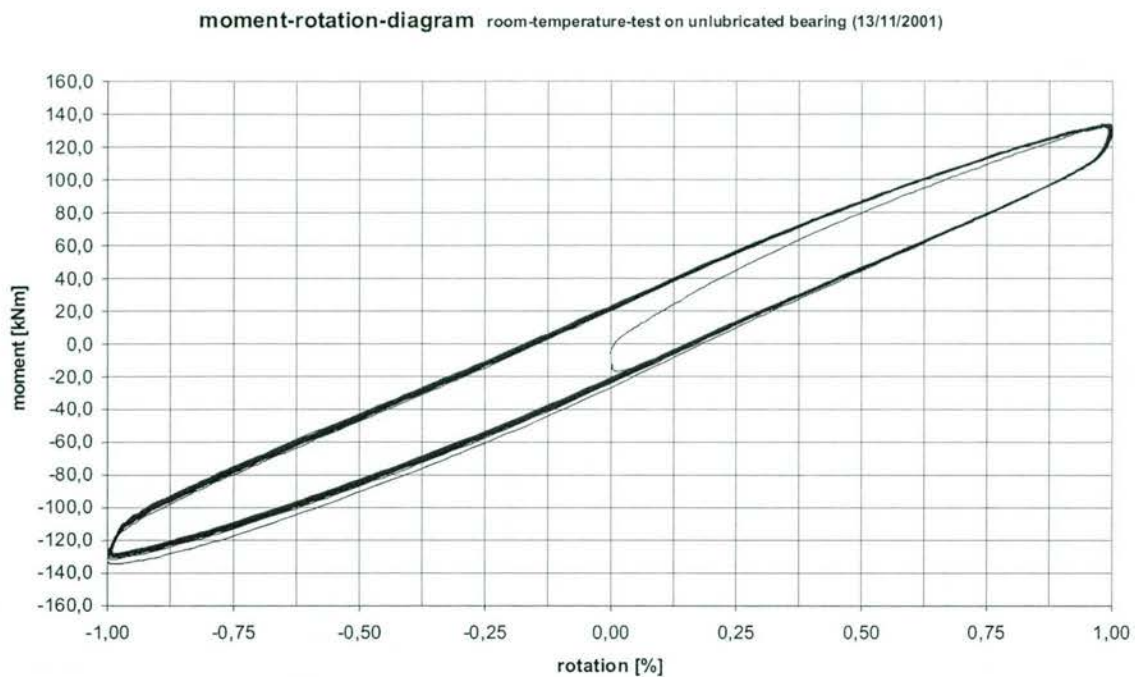


Abb. 4.26: Momenten-Kippwinkel-Hysteresen aller Kippwechsel im Raumtemperaturversuch am ungeschmierten Topflager (13/11/2001)

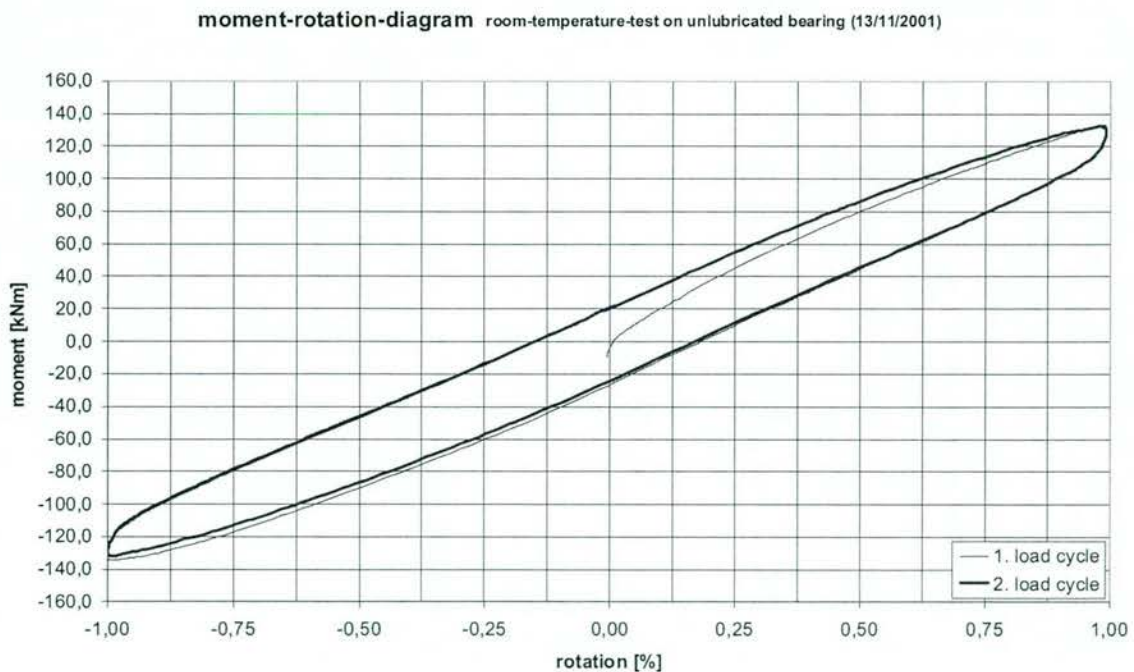


Abb. 4.27: Momenten-Kippwinkel-Hysteresen von Kippwechsel 1 und 2 im Raumtemperaturversuch am ungeschmierten Topflager (13/11/2001)

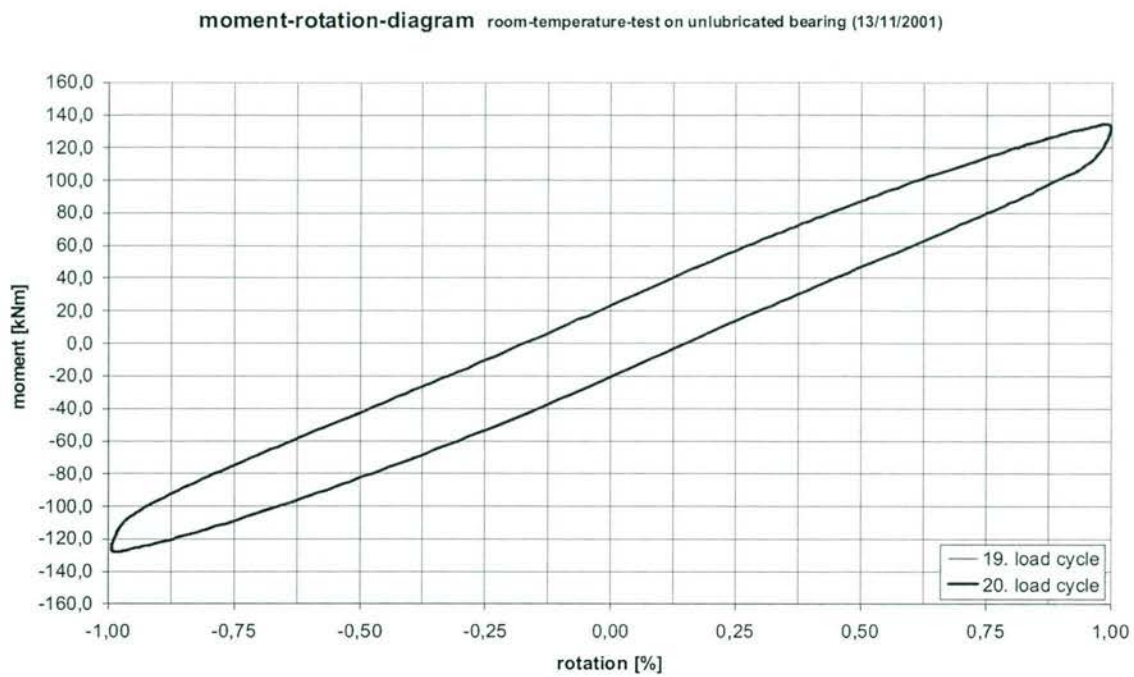


Abb. 4.28: Momenten-Kippwinkel-Hysteresen von Kippwechsel 19 und 20 im Raumtemperaturversuch am ungeschmierten Topflager (13/11/2001)

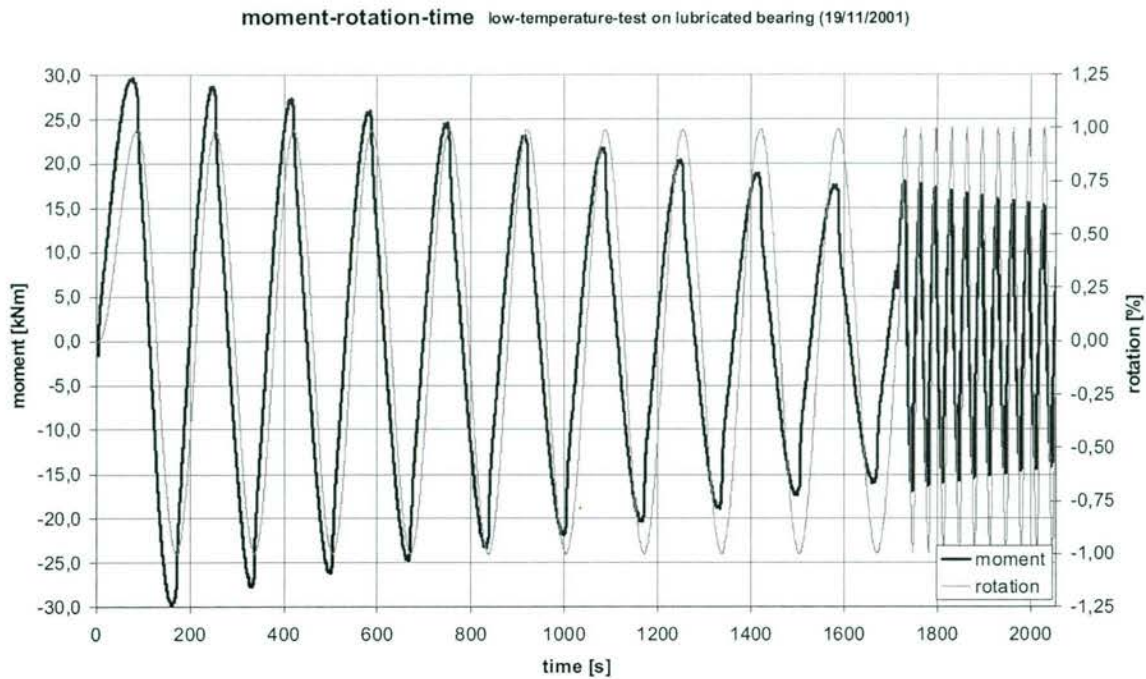


Abb. 4.29: Zeitlicher Verlauf von Rückstellmoment und Kippwinkel im Kaltversuch am geschmierten Topflager (19/11/2001)

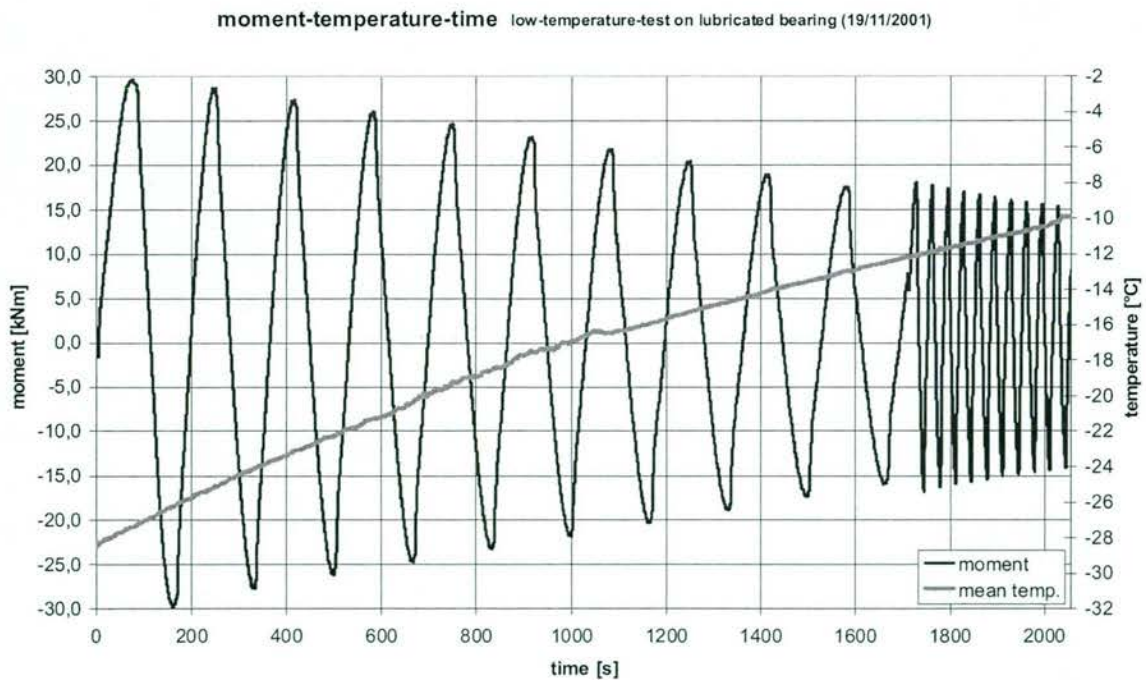


Abb. 4.30: Zeitlicher Verlauf von Rückstellmoment und mittlerer Lagertemperatur im Kaltversuch am geschmierten Topflager (19/11/2001)

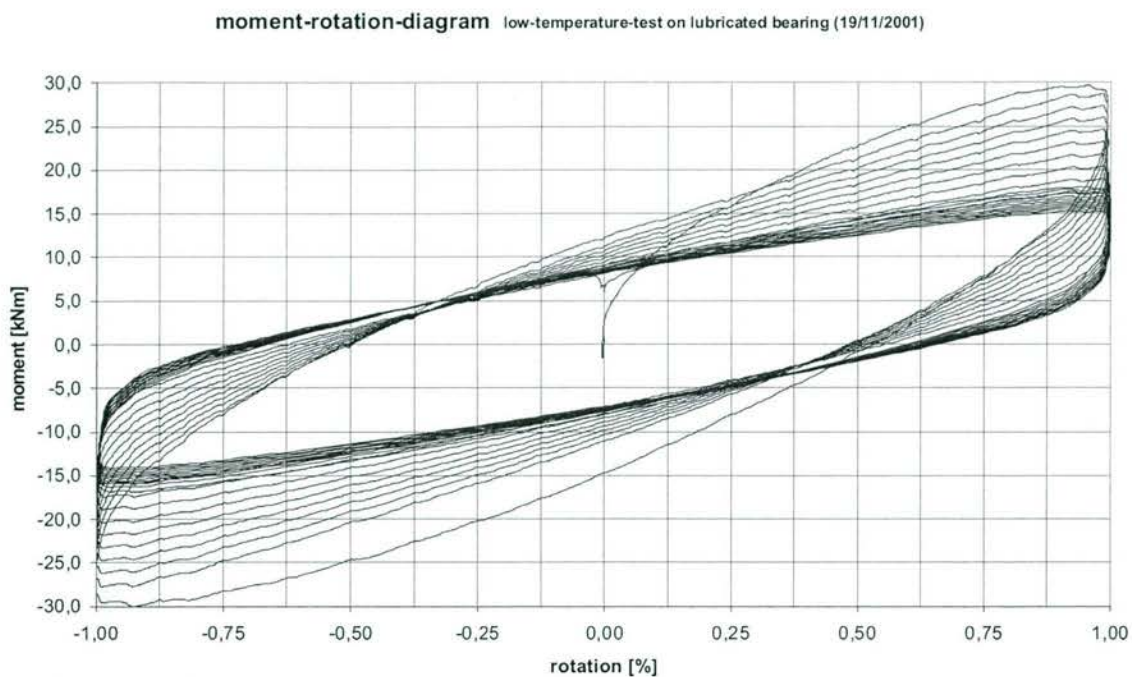


Abb. 4.31: Momenten-Kippwinkel-Hysteresen aller Kippwechsel im Kaltversuch am geschmierten Topflager (19/11/2001)

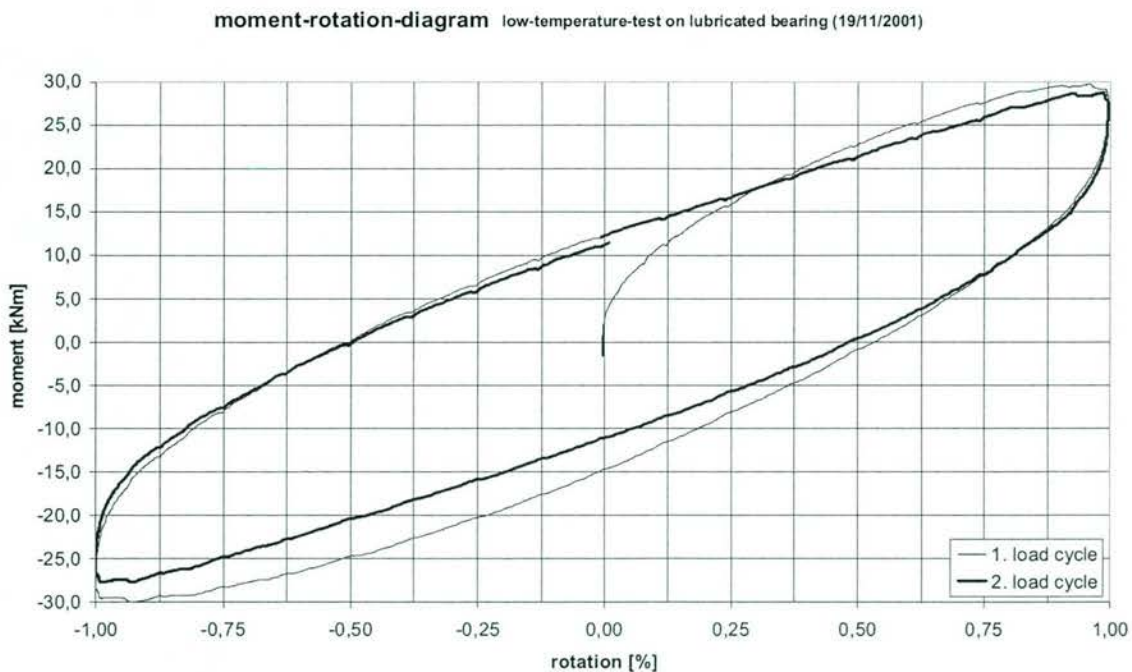


Abb. 4.32: Momenten-Kippwinkel-Hysteresen von Kippwechsel 1 und 2 im Kaltversuch am geschmierten Topflager (19/11/2001)

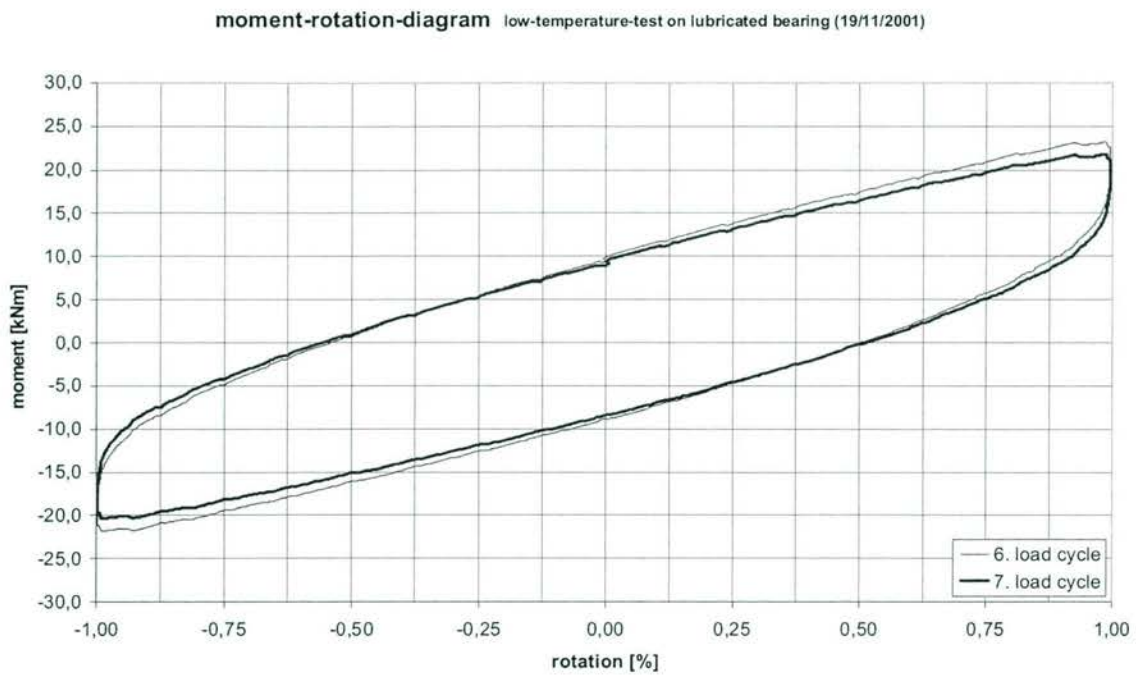


Abb. 4.33: Momenten-Kippwinkel-Hysteresen von Kippwechsel 6 und 7 im Kaltversuch am geschmierten Topflager (19/11/2001)

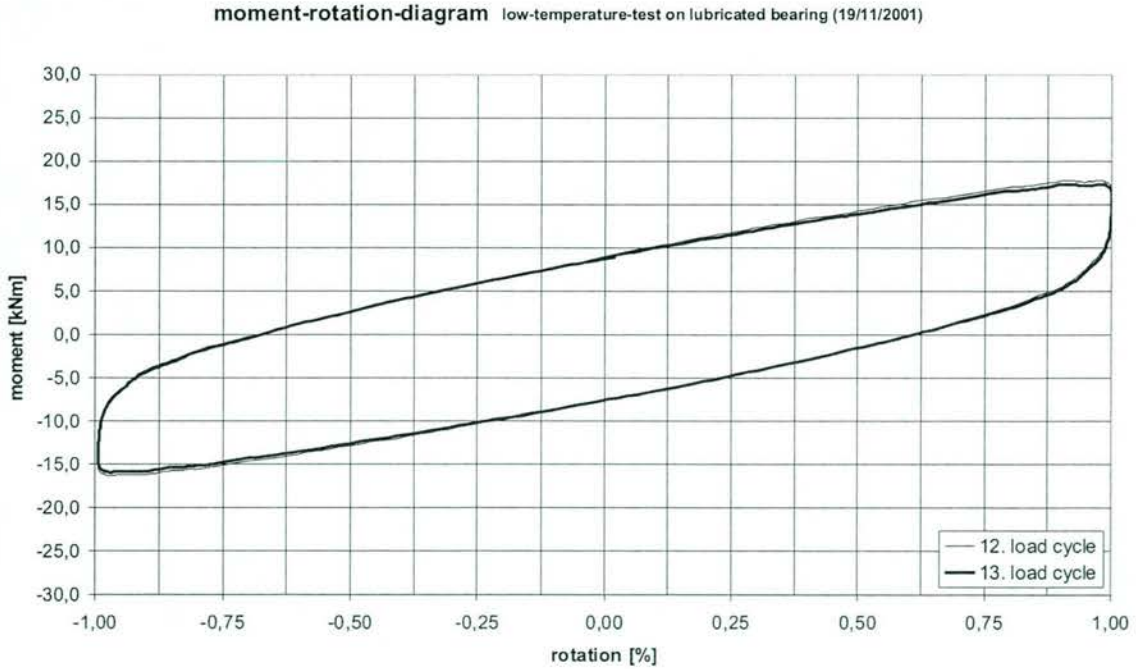


Abb. 4.34: Momenten-Kippwinkel-Hysteresen von Kippwechsel 12 und 13 im Kaltversuch am geschmierten Topflager (19/11/2001)

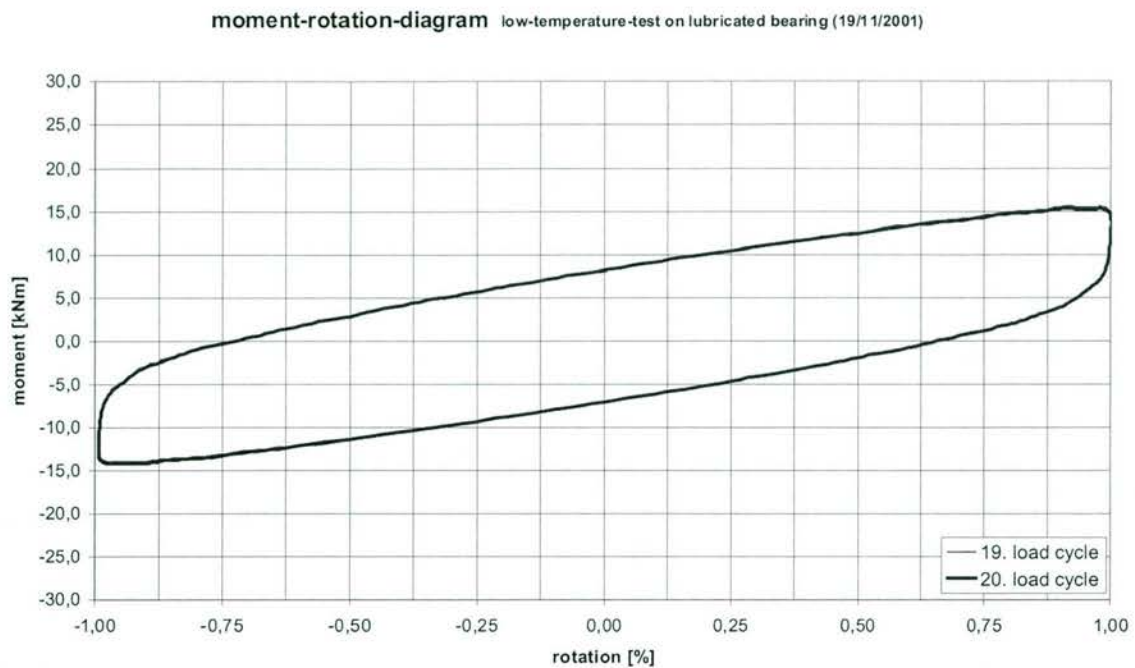


Abb. 4.35: Momenten-Kippwinkel-Hysteresen von Kippwechsel 19 und 20 im Kaltversuch am geschmierten Topflager (19/11/2001)

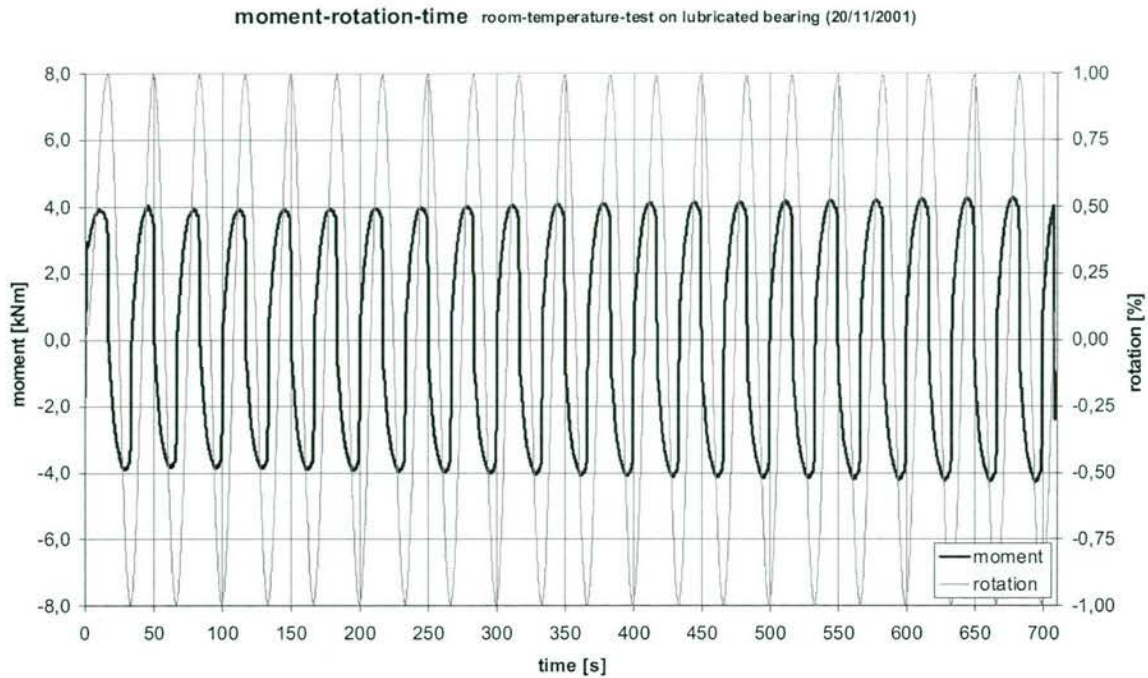


Abb. 4.36: Zeitlicher Verlauf von Rückstellmoment und Kippwinkel im Raumtemperaturversuch am geschmierten Topflager (20/11/2001)

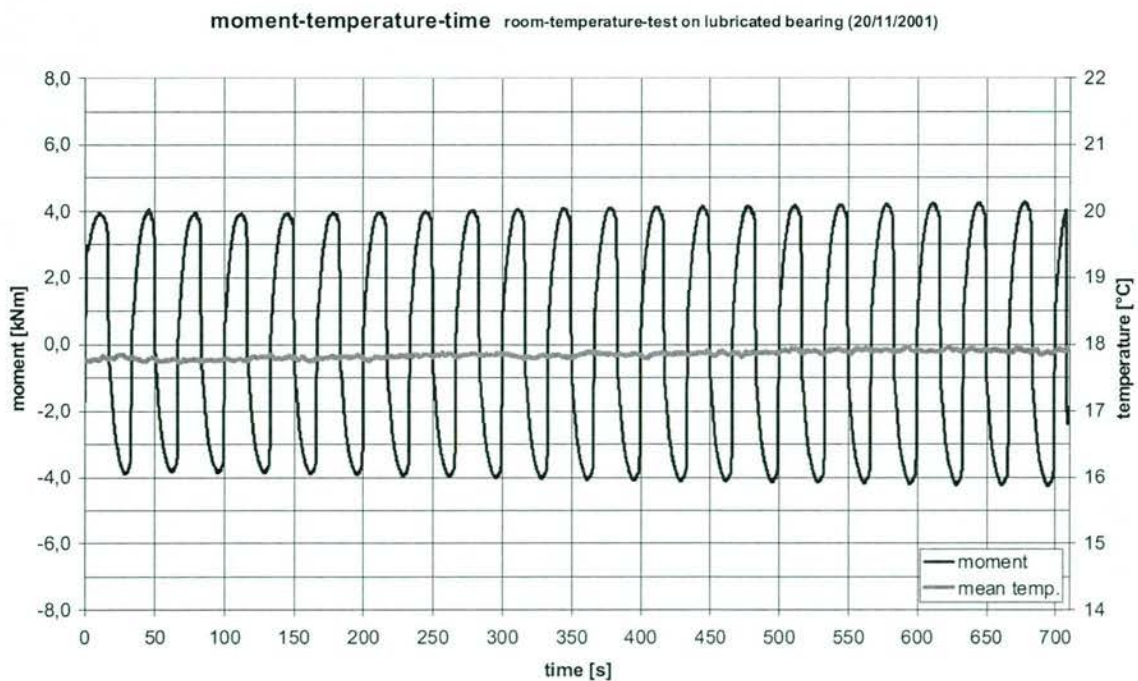


Abb. 4.37: Zeitlicher Verlauf von Rückstellmoment und mittlerer Lagertemperatur im Raumtemperaturversuch am ungeschmierten Topflager (20/11/2001)

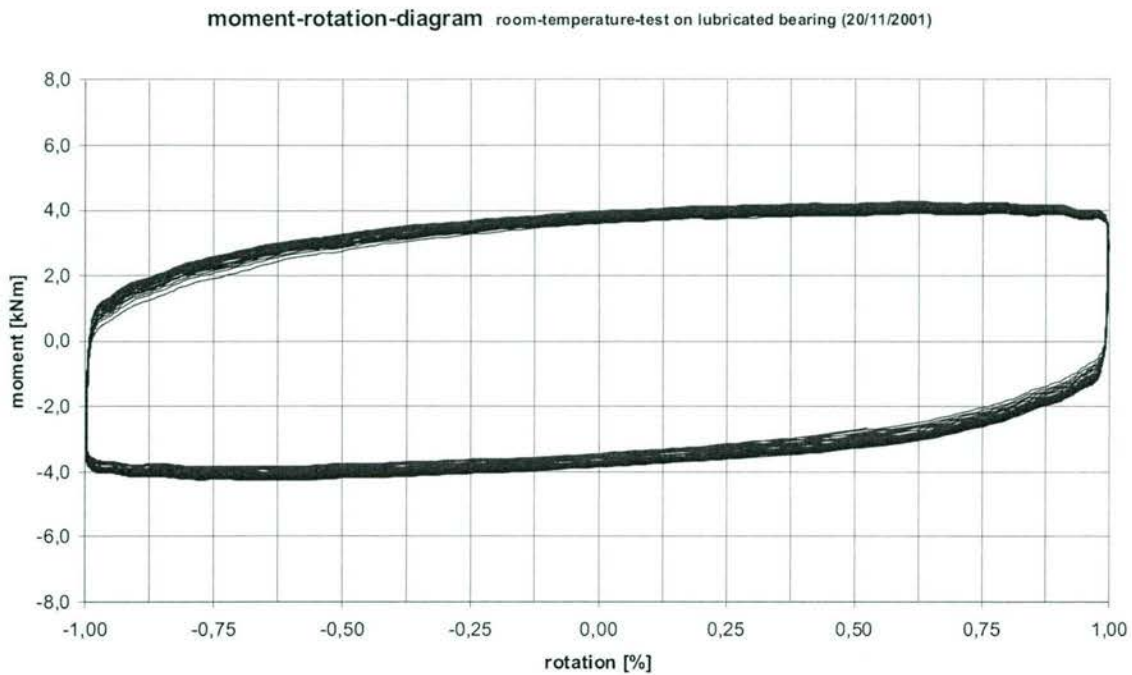


Abb. 4.38: Momenten-Kippwinkel-Hysteresen aller Kippwechsel im Raumtemperaturversuch am geschmierten Topflager (20/11/2001)

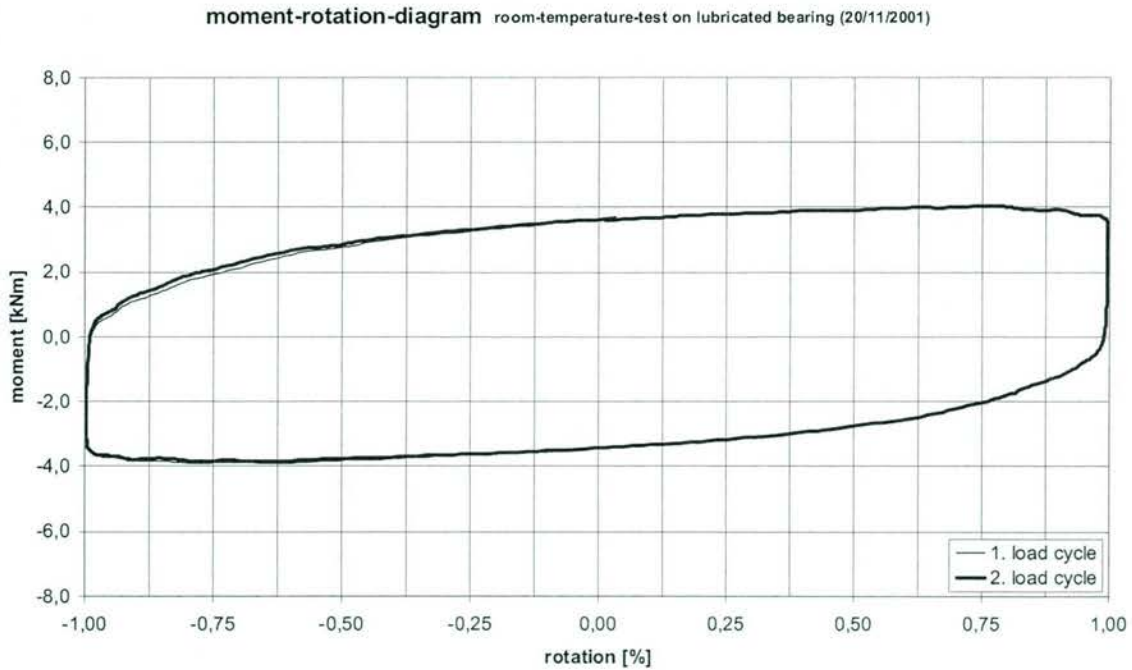


Abb. 4.39: Momenten-Kippwinkel-Hysteresen von Kippwechsel 1 und 2 im Raumtemperaturversuch am geschmierten Topflager (20/11/2001)

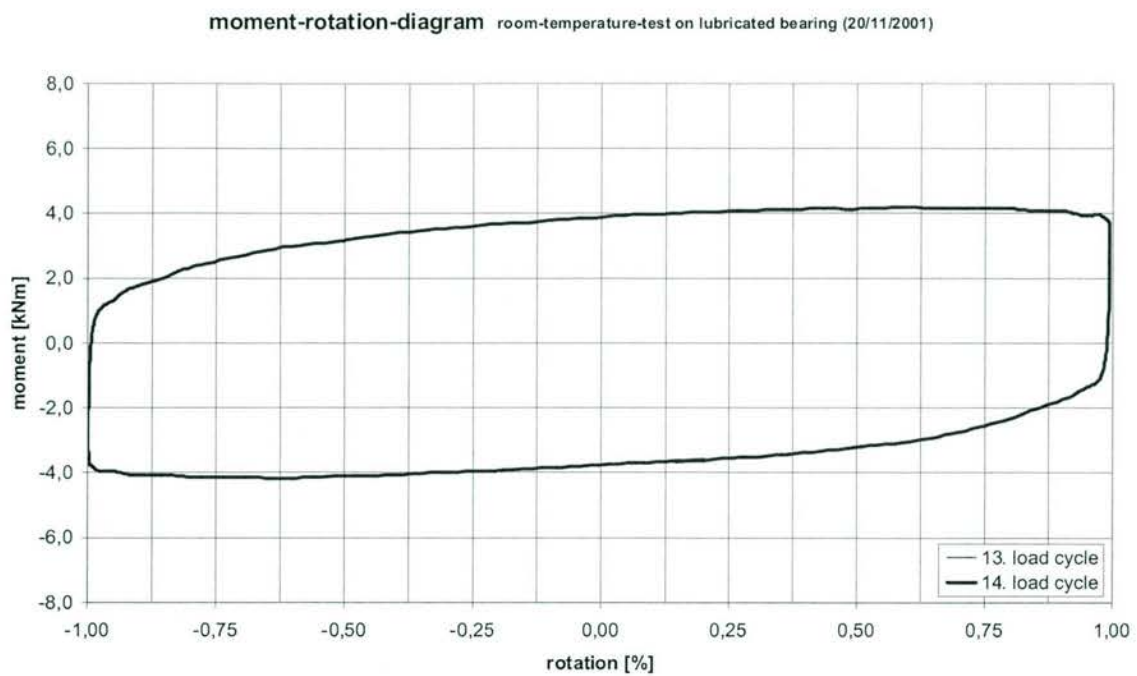


Abb. 4.40: Momenten-Kippwinkel-Hysteresen von Kippwechsel 13 und 14 im Raumtemperaturversuch am geschmierten Topflager (20/11/2001)

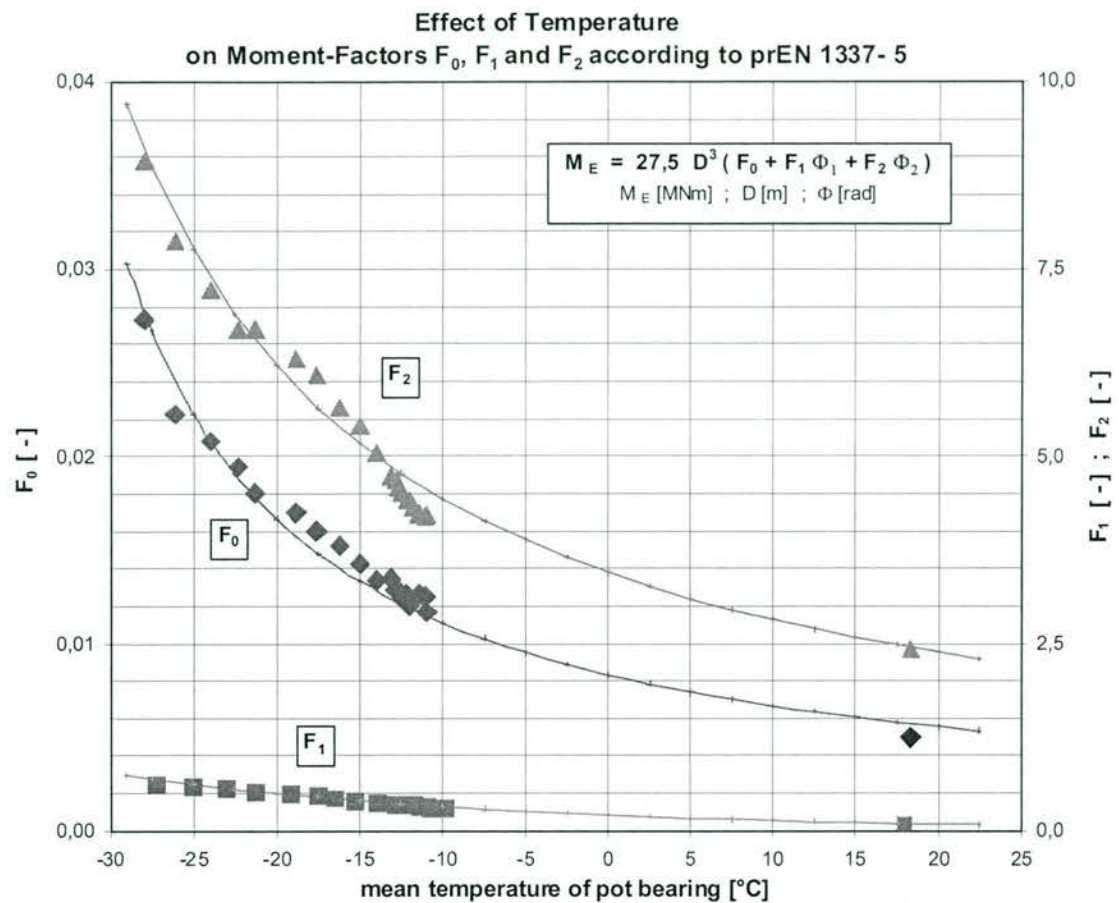


Abb. 4.41: Einfluss der mittleren Topflager-Temperatur auf die Faktoren F_0 , F_1 und F_2 nach prEN 1337-5

ANLAGE 5

Verschleißversuch über 2000 m

Gesamtgleitweg

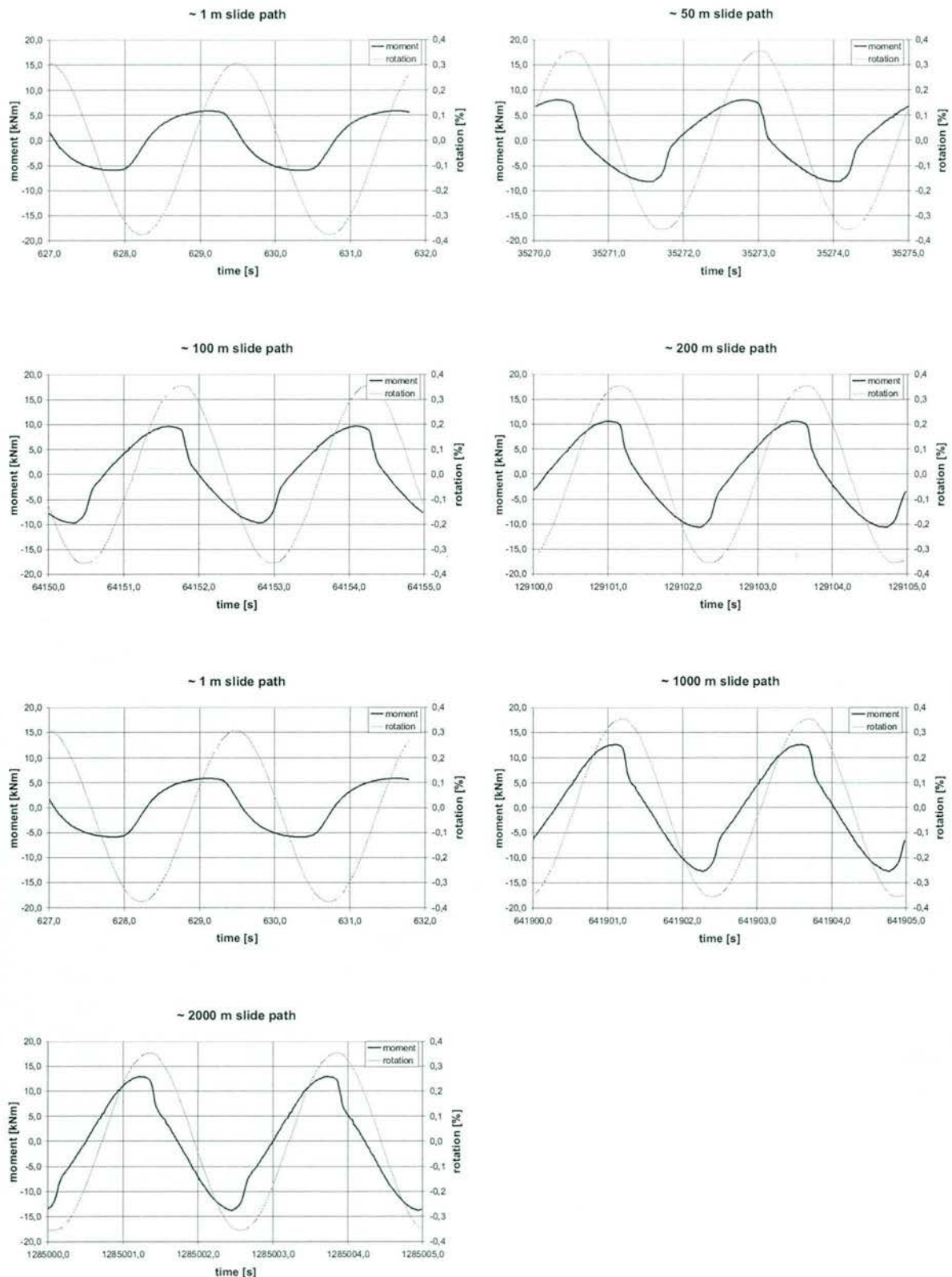


Abb. 5.1: Zeitlicher Verlauf von Moment und Kippwinkel während des 2000 m - Verschleißversuchs.

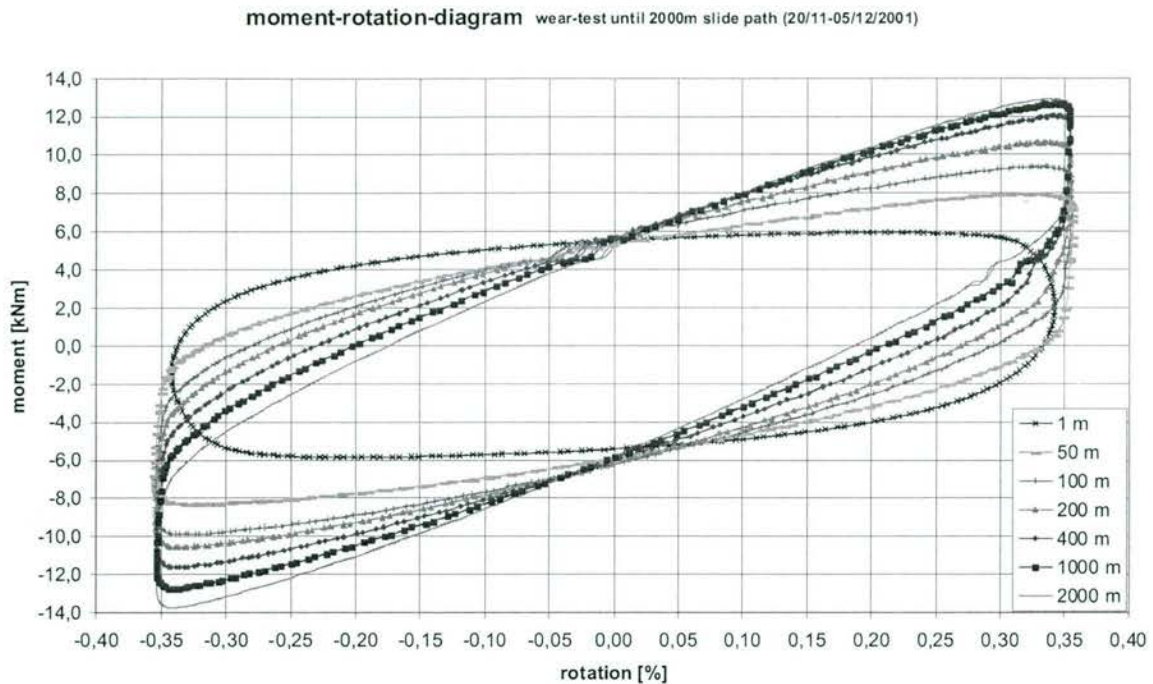


Abb. 5.2: Momenten-Kippwinkel-Hysteresen während des 2000 m-Verschleißversuchs

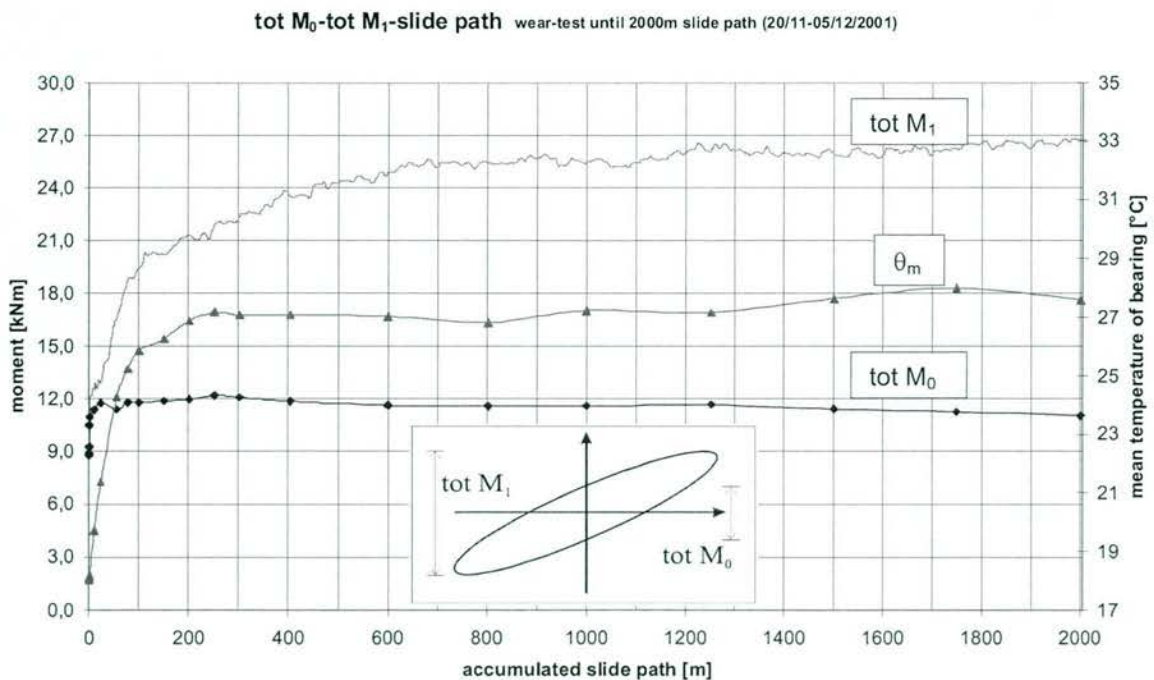


Abb. 5.3: Momente tot M_0 und tot M_1 , sowie mittlere Lagertemperatur θ_m in Abhängigkeit vom Gleitweg (2000 m-Verschleißversuch)

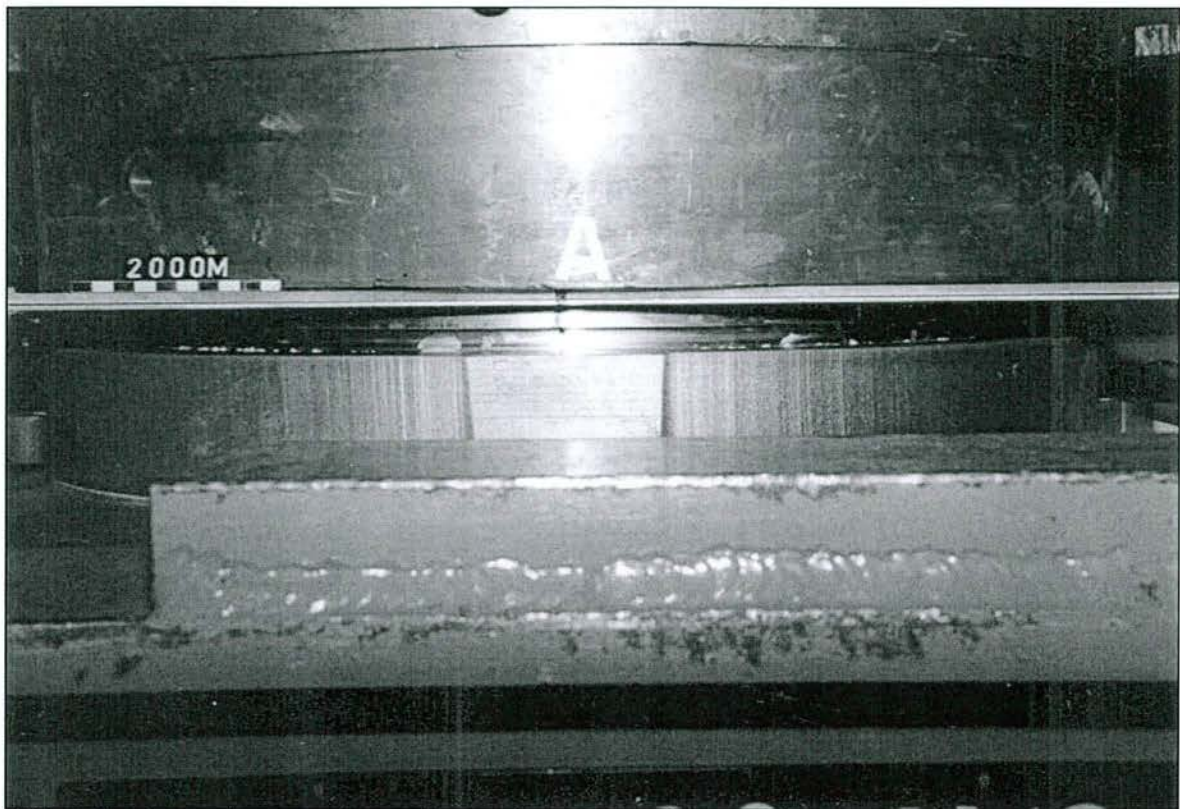


Abb. 5.4: Lager kurz vor Beendigung des 2000 m-Verschleißversuchs (Kippspalt bei A, in der Kippachse)

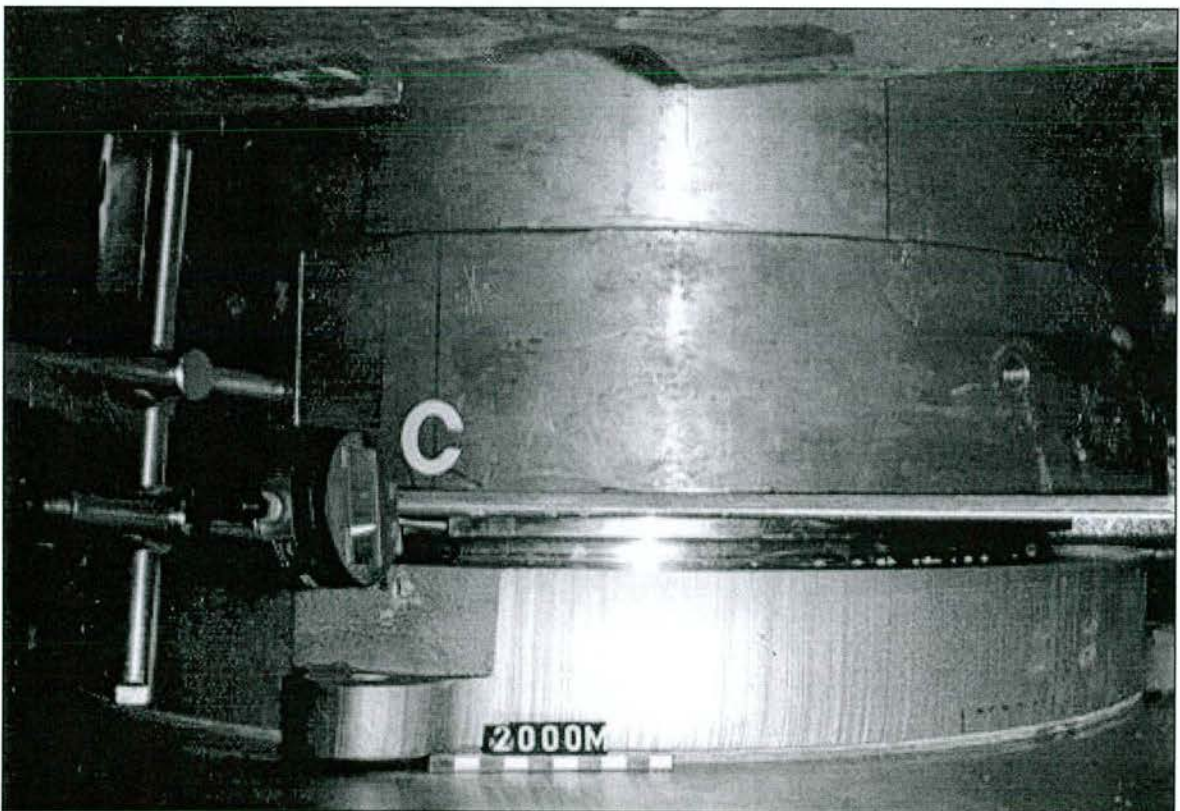


Abb. 5.5: Lager kurz vor Beendigung des 2000 m-Verschleißversuchs (Kippspalt bei C, in Kipprichtung)

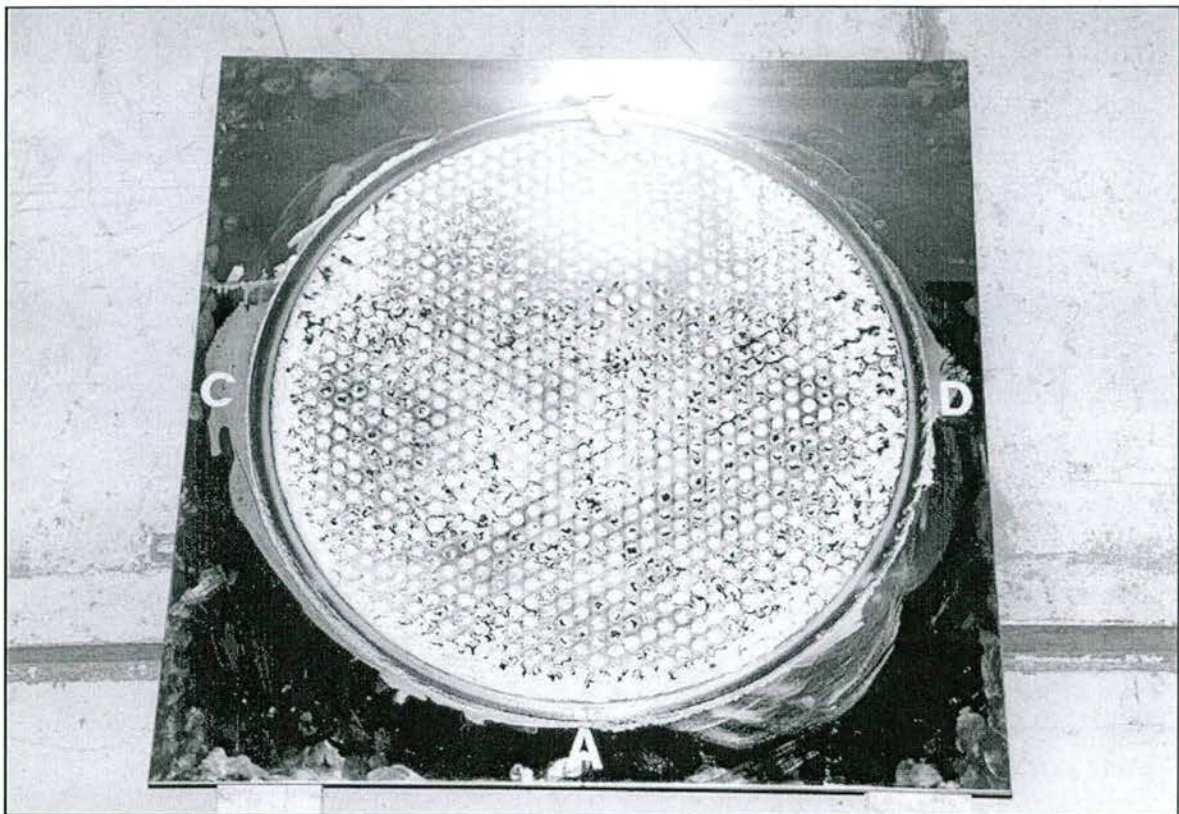


Abb. 5.6: Gleitblech des Gleitteils nach dem 2000 m-Verschleißversuch

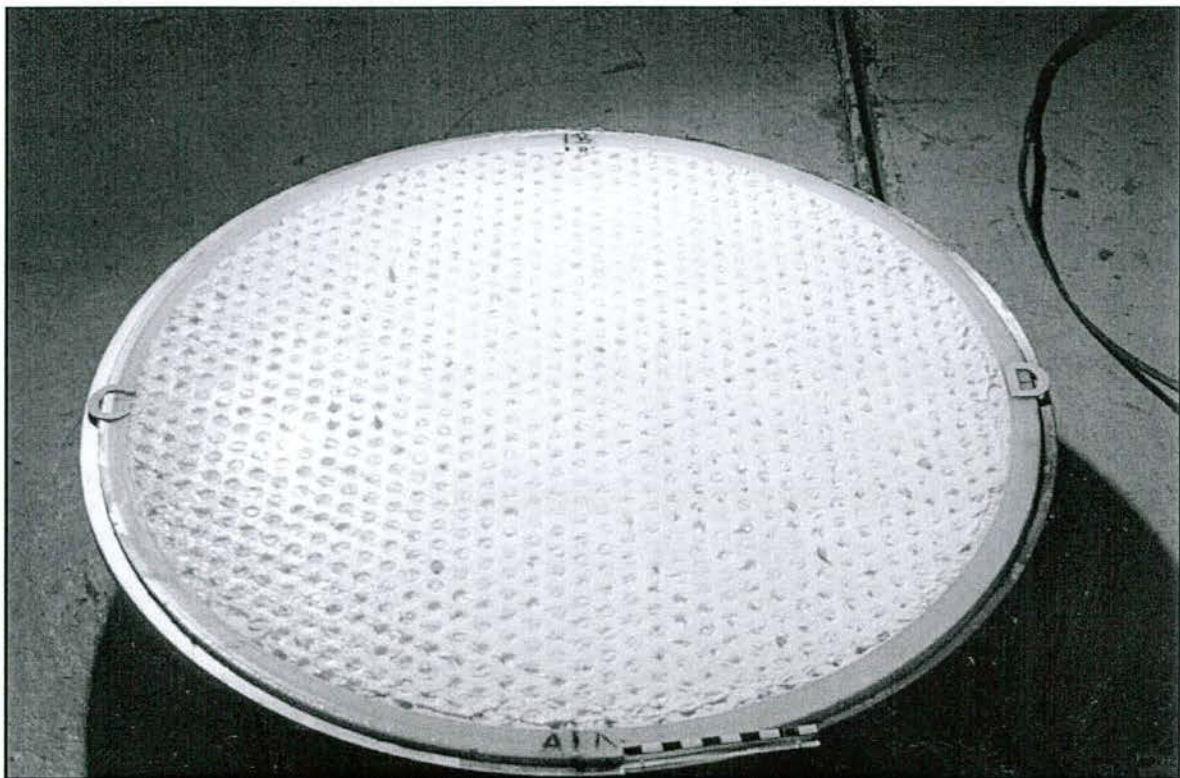


Abb. 5.7: PTFE-Platte und UHMWPE-Verstärkungsring des Gleitteils nach dem 2000 m-Verschleißversuch

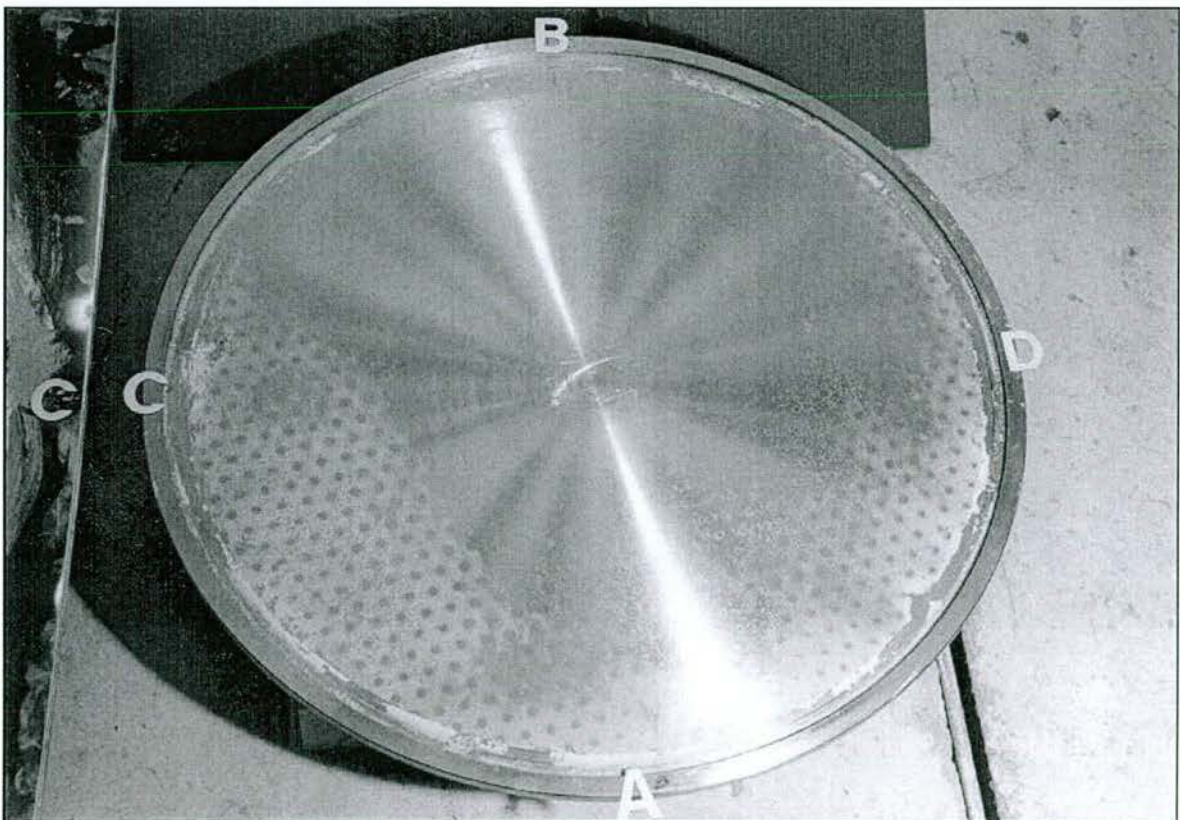


Abb. 5.8: Deckeloberseite nach Ausbau der PTFE-Platte und des UHMWPE-Verstärkungsrings nach dem 2000 m-Verschleißversuch



Abb. 5.9: Geöffnetes Topflager nach dem 2000 m-Verschleißversuch (Kippachse A-B)

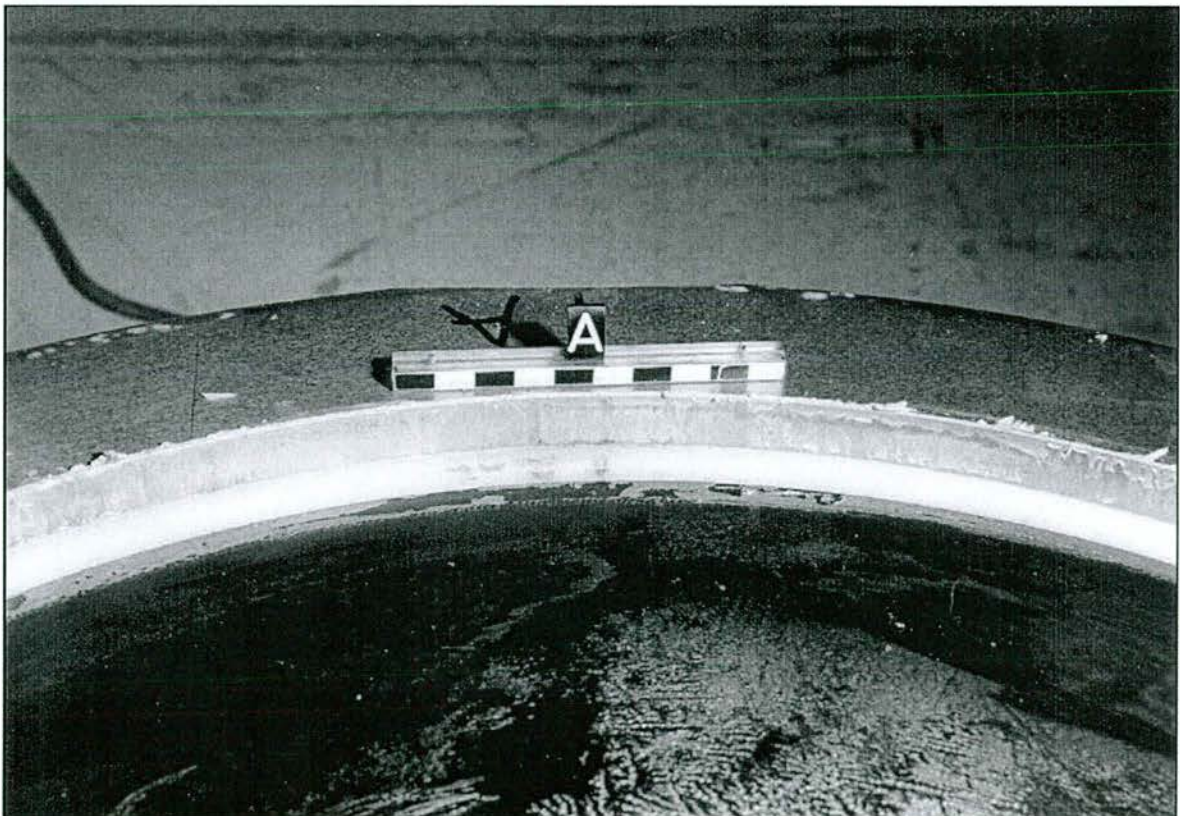


Abb. 5.10: Topf mit Elastomerkissen und UHMWPE-Innendichtung nach dem 2000 m-Verschleißversuch (Stelle A, in der Kippachse)



Abb. 5.11: Topf mit Elastomerkissen und UHMWPE-Innendichtung nach dem 2000 m-Verschleißversuch (Stelle C, in Kipprichtung)



Abb. 5.12: Topf mit Elastomerkissen und UHMWPE-Innendichtung nach dem 2000 m-Verschleißversuch (Stelle C, in Kipprichtung)

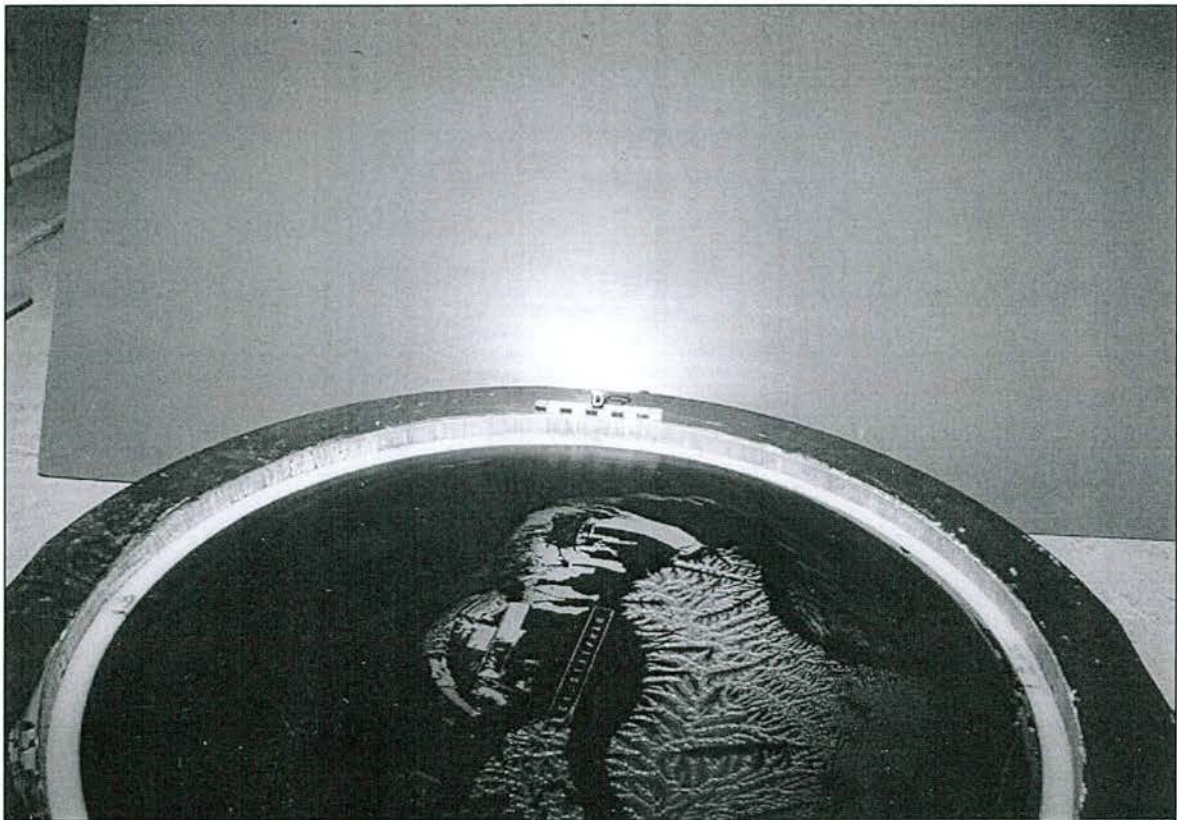


Abb. 5.13: Topf mit Elastomerkissen und UHMWPE-Innendichtung nach dem 2000 m-Verschleißversuch (Stelle D, in Kipprichtung)

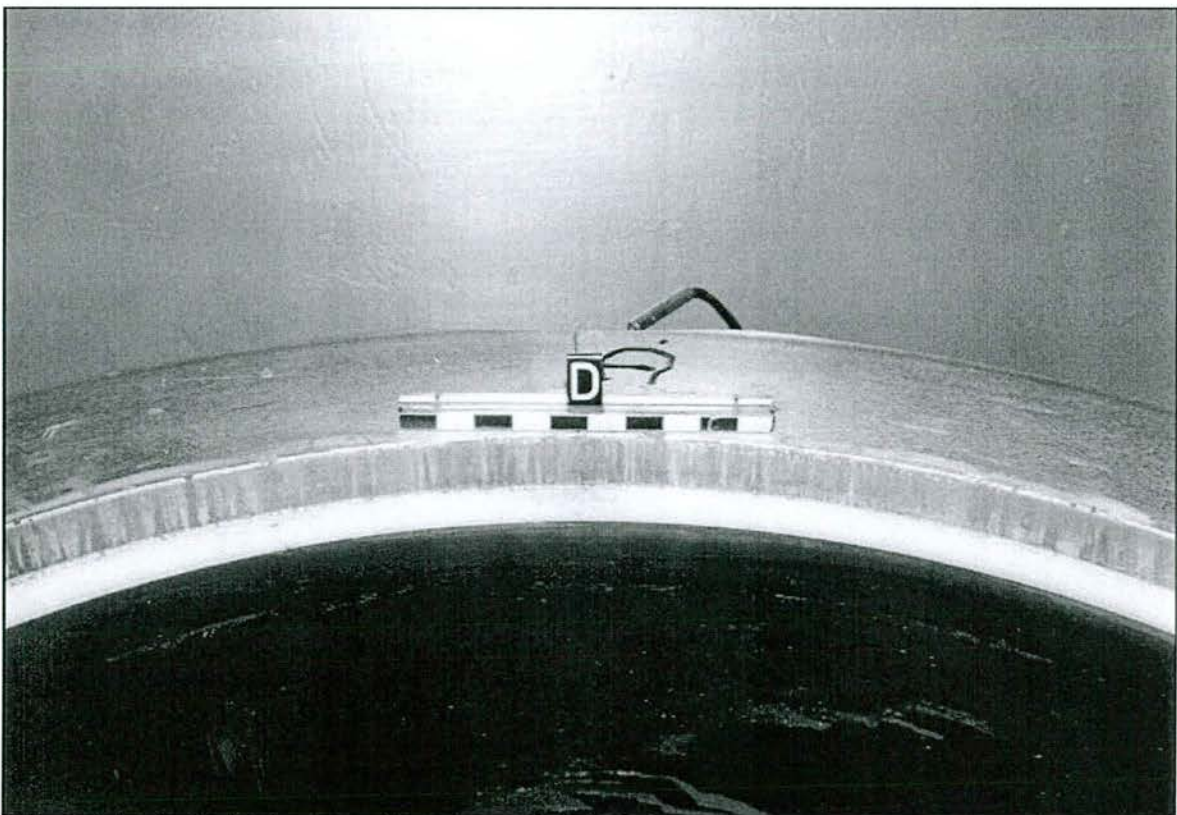


Abb. 5.14: Topf mit Elastomerkissen und UHMWPE-Innendichtung nach dem 2000 m-Verschleißversuch (Stelle D, in Kipprichtung)

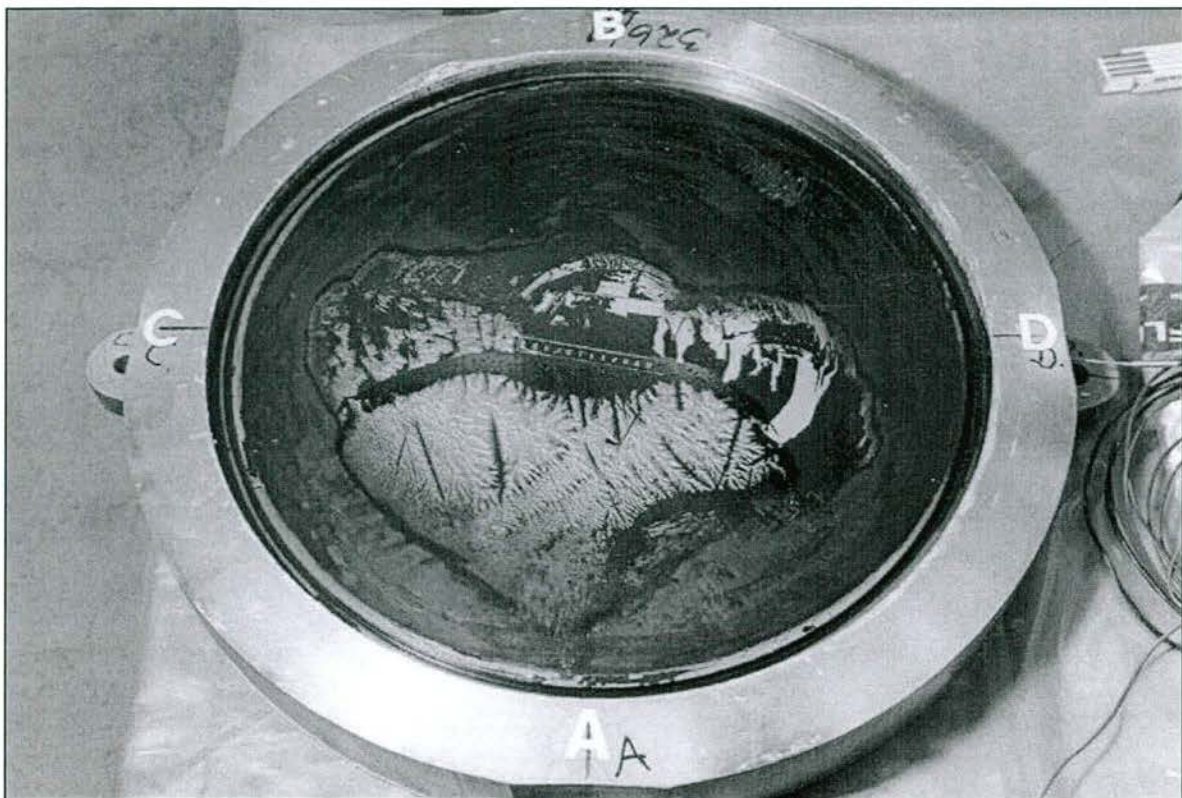


Abb. 5.15: Topf mit Elastomerkissen nach Ausbau der UHMWPE-Innendichtung nach dem 2000 m-Verschleißversuch

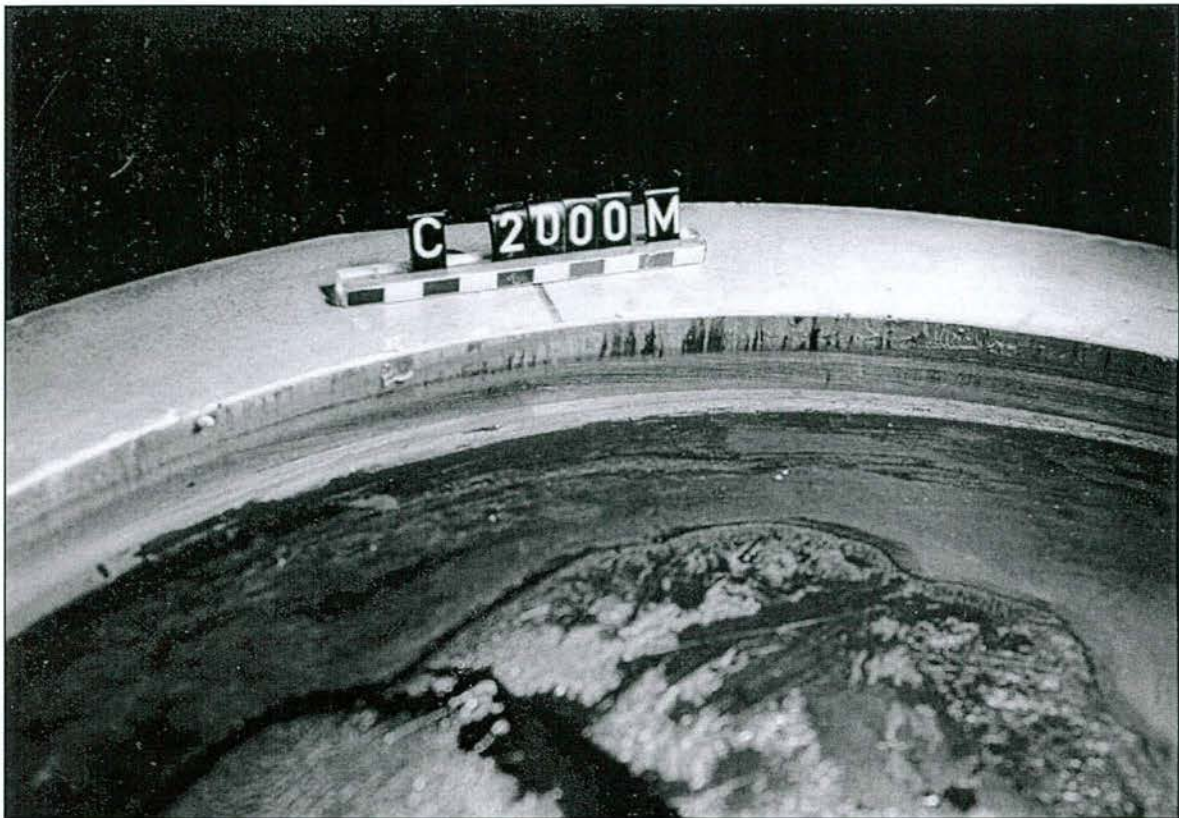


Abb. 5.16: Topfwand bei Stelle C (in Kipprichtung) nach Ausbau der UHMWPE-Innendichtung nach dem 2000 m-Verschleißversuch

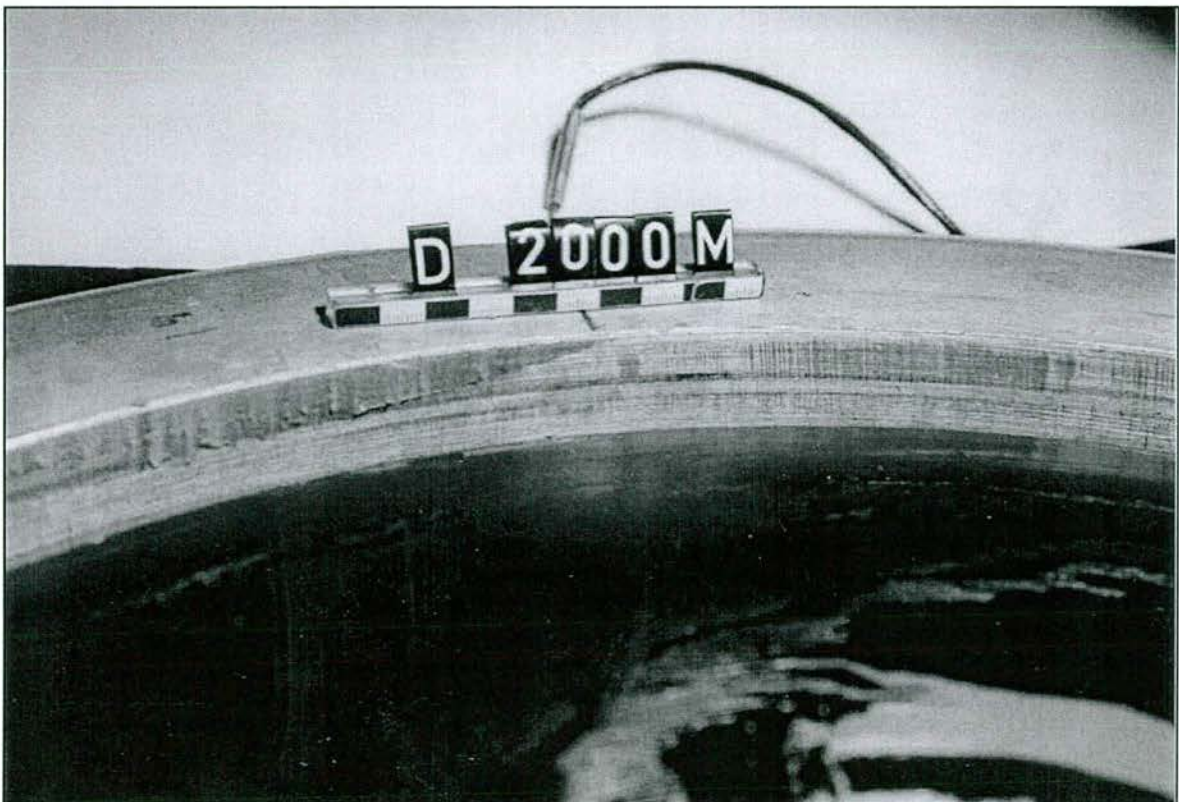


Abb. 5.17: Topfwand bei Stelle D (in Kipprichtung) nach Ausbau der UHMWPE-Innendichtung nach dem 2000 m-Verschleißversuch

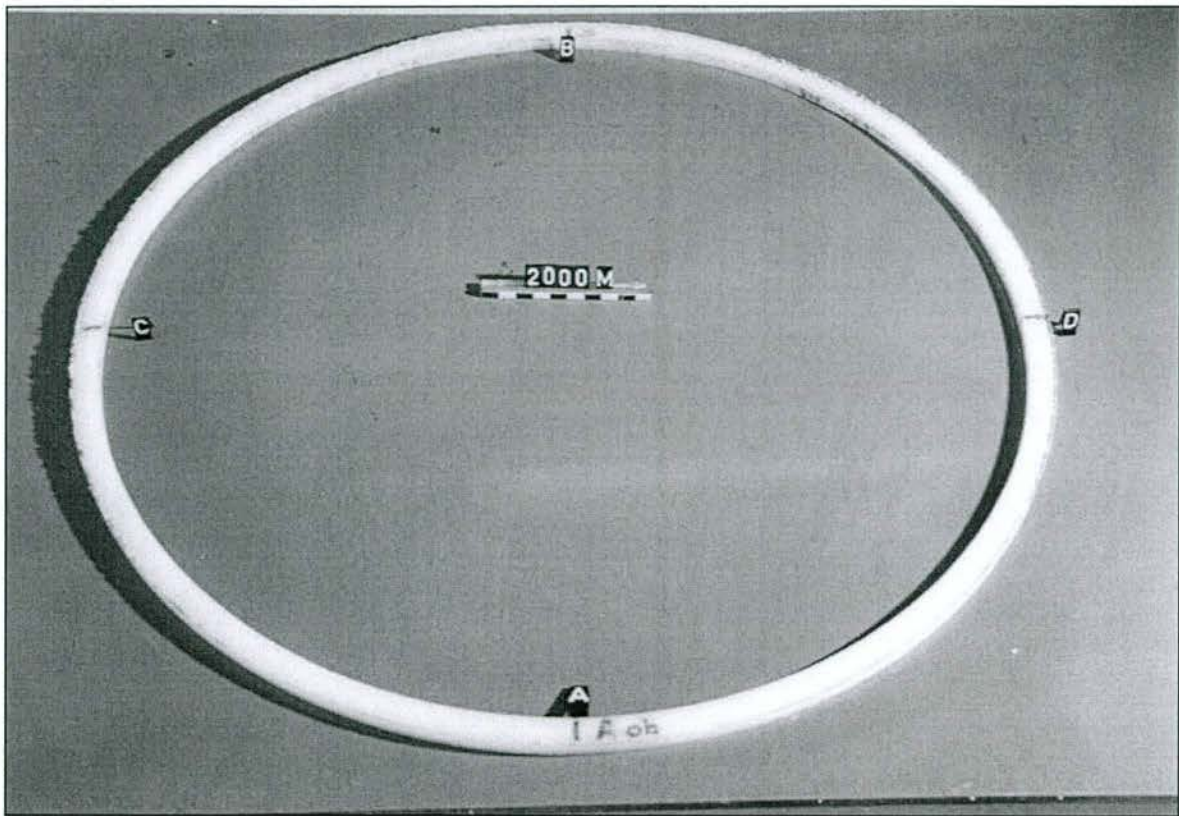


Abb. 5.18: UHMWPE-Innendichtung nach dem 2000m-Verschleißversuch



Abb. 5.19: UHMWPE-Innendichtung nach dem 2000m-Verschleißversuch (Stelle B, in der Kippachse)

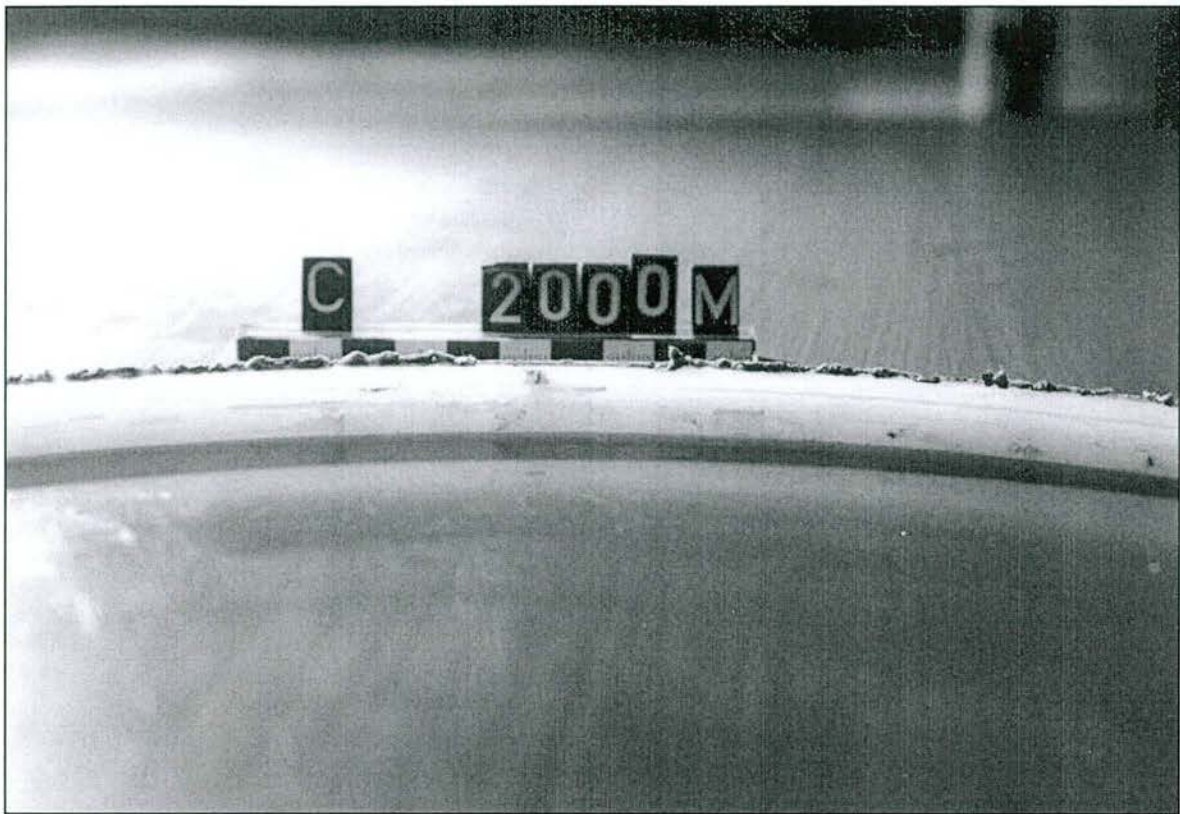


Abb. 5.20: UHMWPE-Innendichtung nach dem 2000m-Verschleißversuch (Stelle C, in Kipp-
richtung)

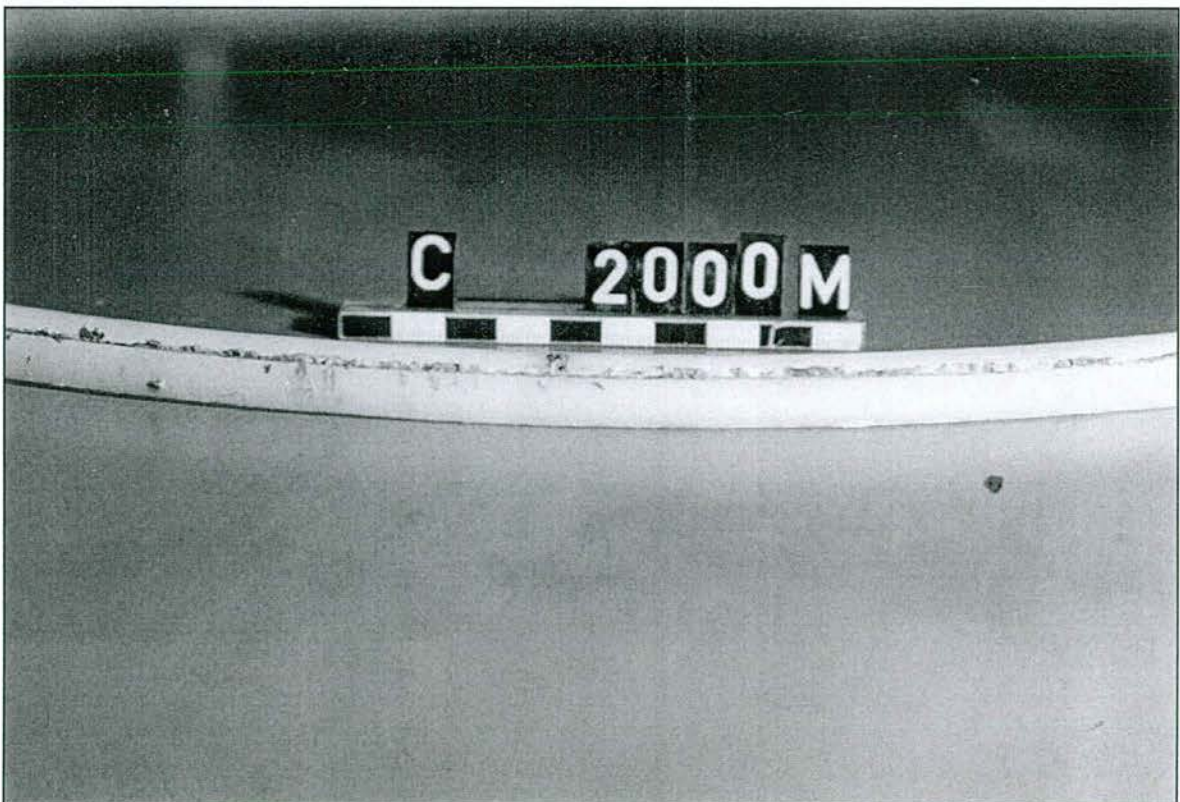


Abb. 5.21: UHMWPE-Innendichtung nach dem 2000 m-Verschleißversuch (Stelle C, in Kipp-
richtung)



Abb. 5.22: UHMWPE-Innendichtung nach dem 2000 m-Verschleißversuch (Stelle D, in Kipp-
richtung)

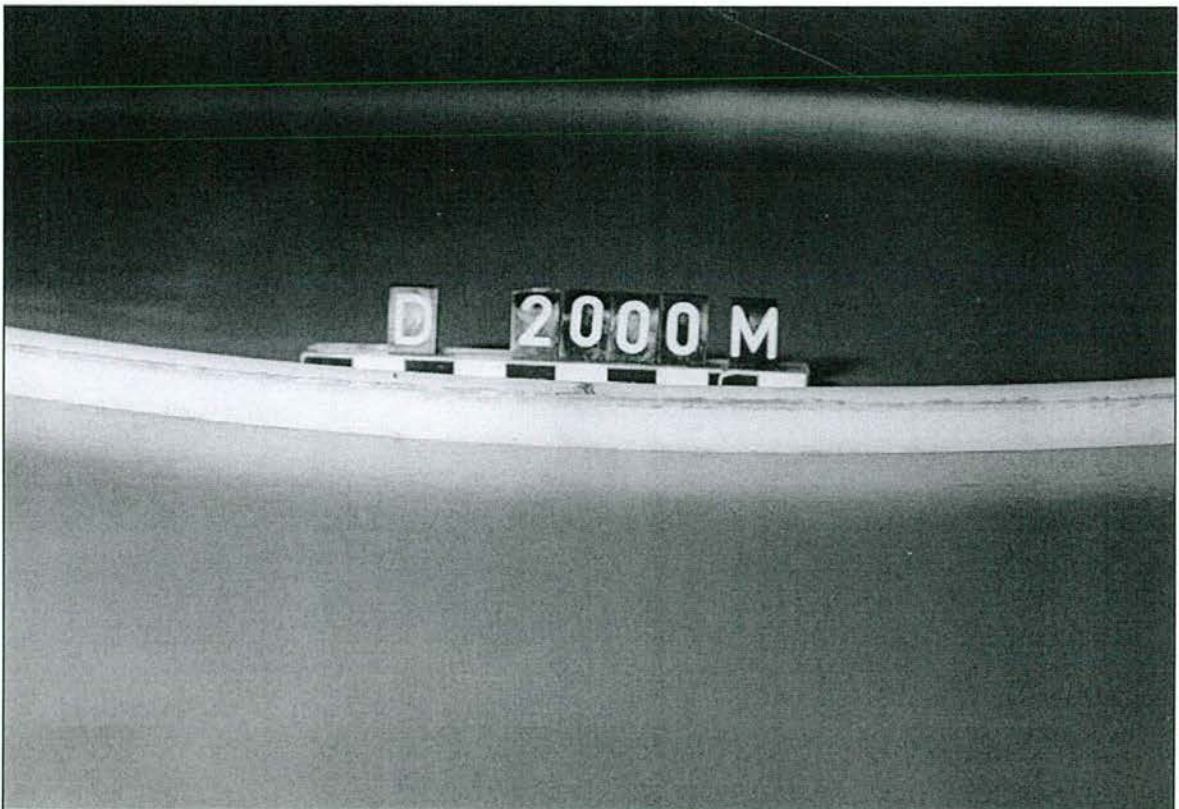


Abb. 5.23: UHMWPE-Innendichtung nach dem 2000 m-Verschleißversuch (Stelle D, in Kipp-
richtung)

ANLAGE 6

Statischer Langzeit-Belastungsversuch

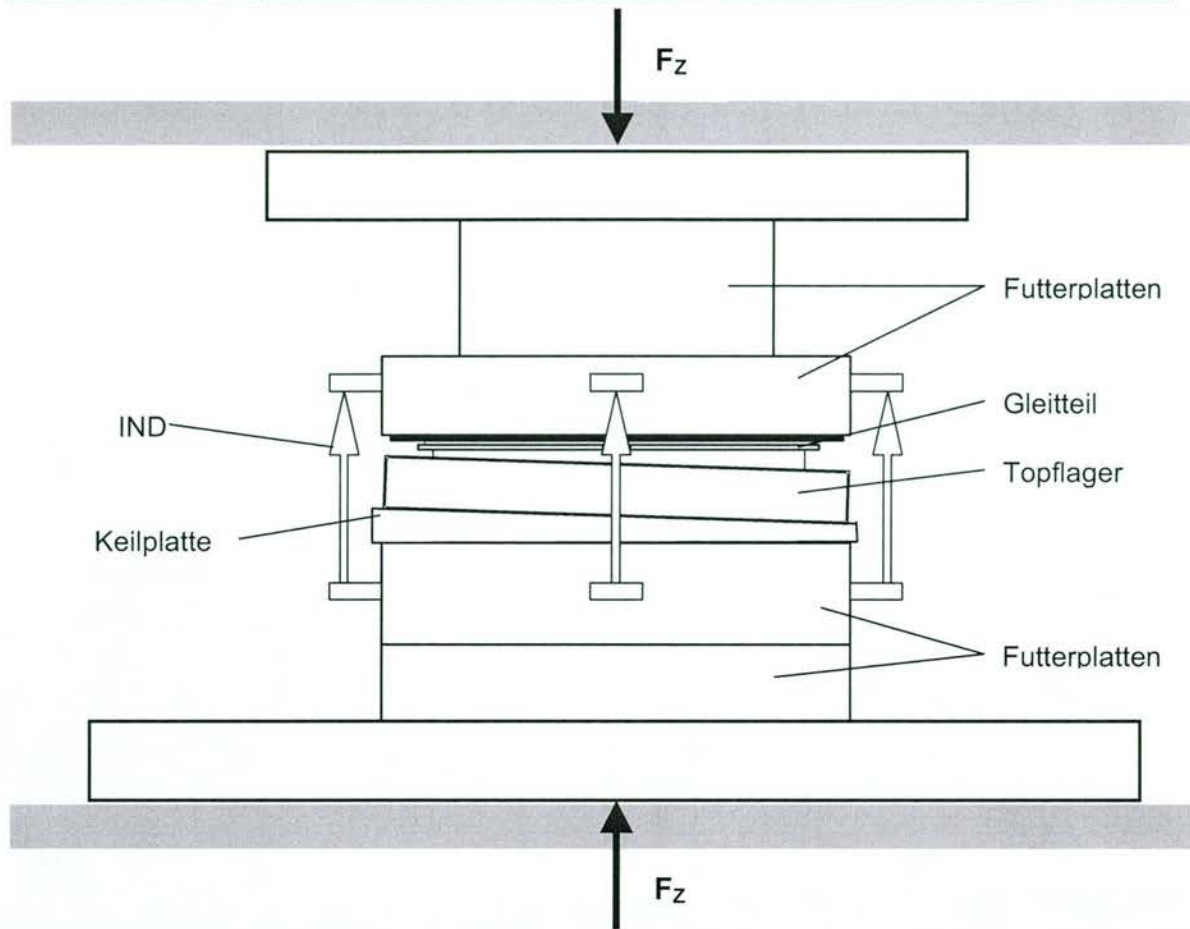


Abb. 6.1: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus für den Langzeit-Belastungsversuch

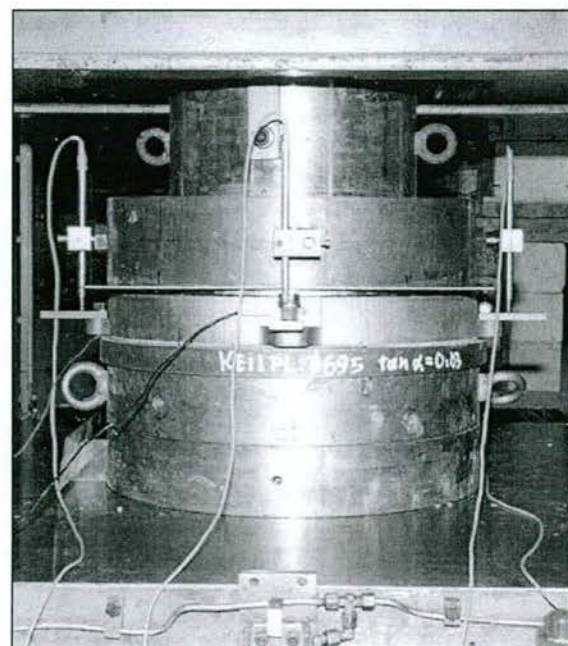


Abb. 6.2: Versuchsaufbau für den statischen Langzeit-Belastungsversuch
(Foto links: Ansicht von vorne (Stelle A); Foto rechts: Seitenansicht (Stelle D))

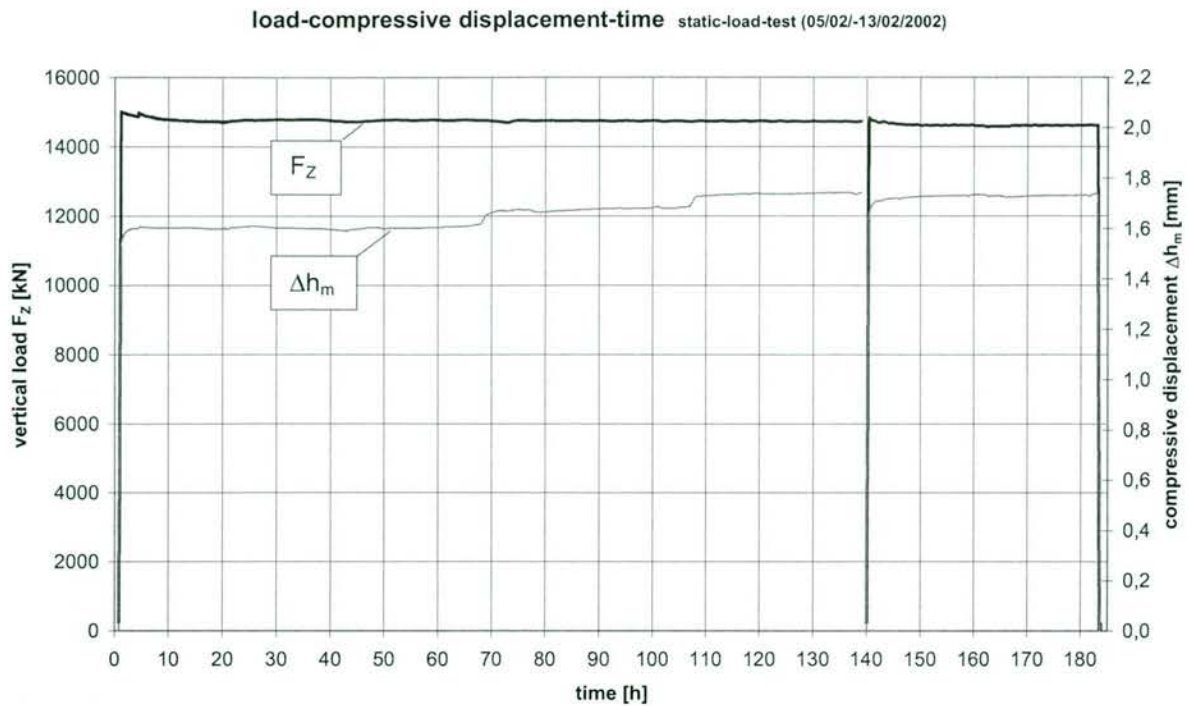


Abb. 6.3: Zeitlicher Verlauf der Vertikallast und der mittleren Lagerstauchung im statischen Langzeit-Belastungsversuch

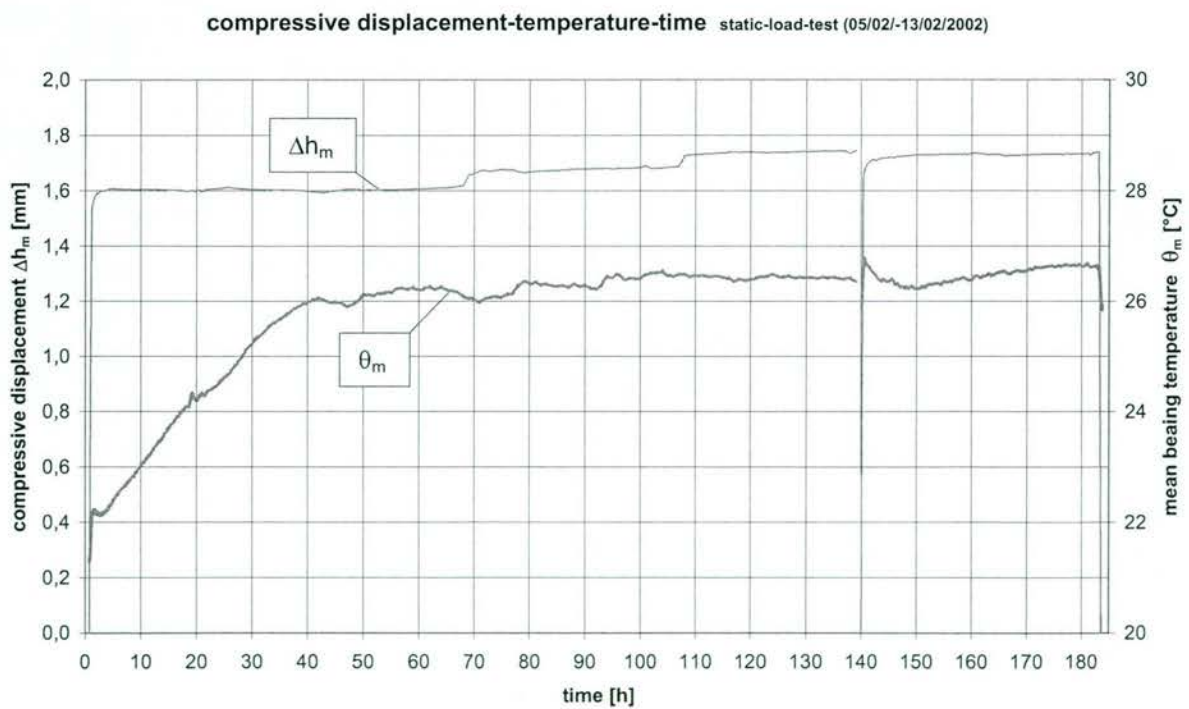


Abb. 6.4: Zeitlicher Verlauf der mittleren Lagerstauchung und der mittleren Lagertemperatur θ_m im statischen Langzeit-Belastungsversuch

load-compressive displacement-diagram static-load-test (05/02/-13/02/2002)

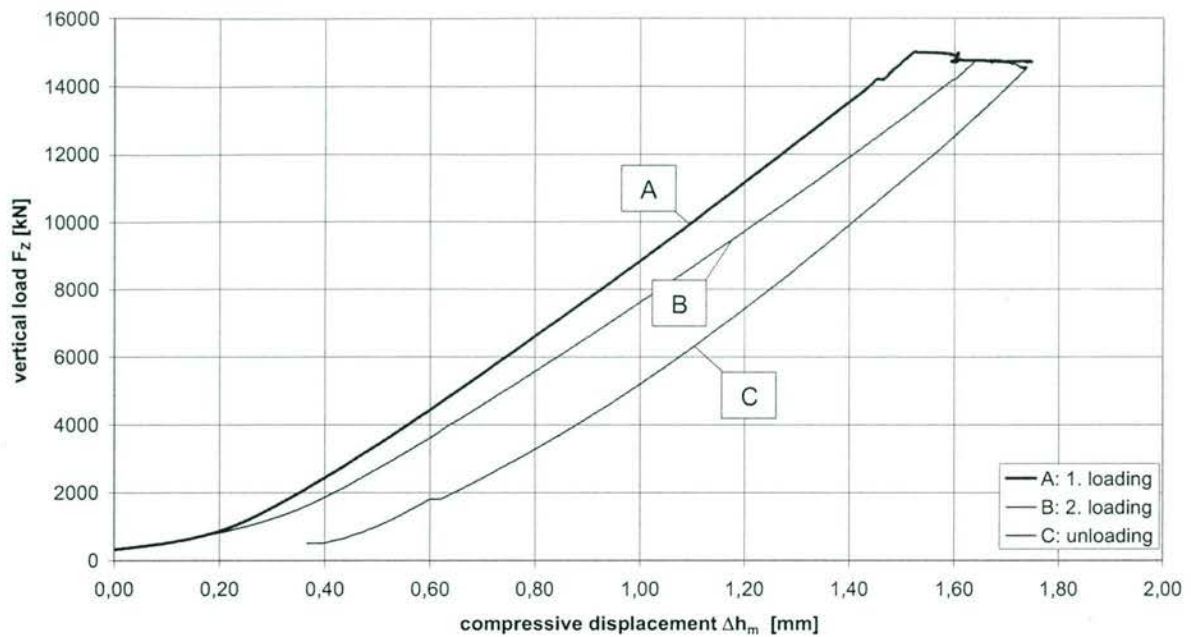


Abb. 6.5: Last-Stauchungs-Diagramm des Versuchslagers im statischen Langzeit-Belastungsversuch



Abb. 6.6: Versuchslager nach Aufbringen der Vertikallast von 15 MN

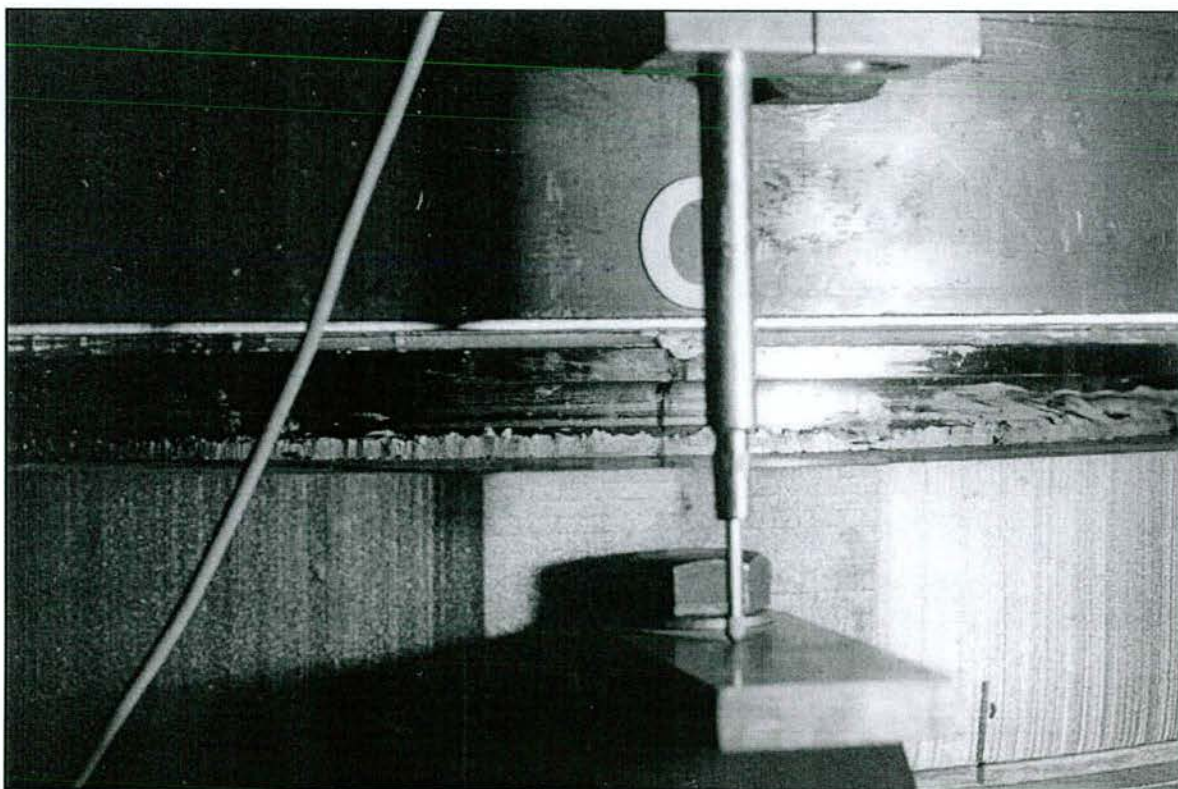


Abb. 6.7: Gleitspalt und Kippspalt bei Stelle C nach einer Standzeit von ca. 67 h

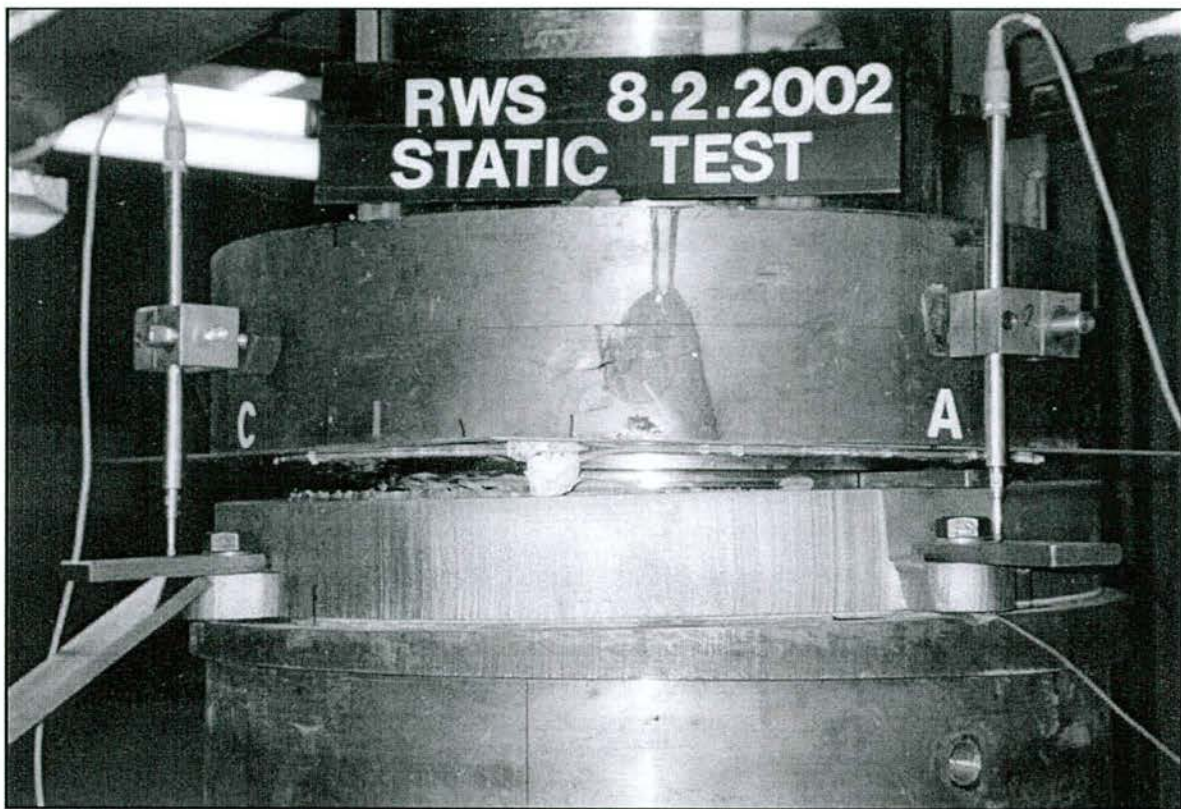


Abb. 6.8: Erster Defekt am UHMWPE-Verstärkungsring des Gleitlagers im Bereich A-C

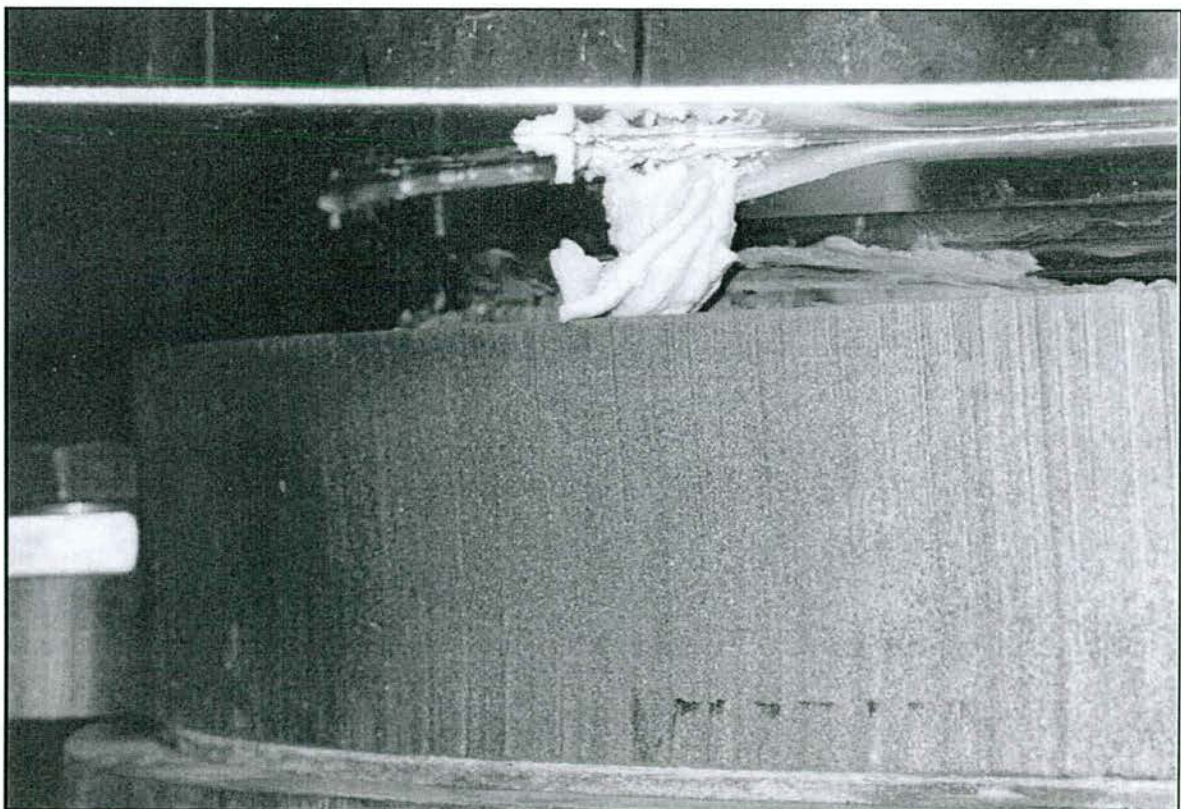


Abb. 6.9: Erster Defekt am UHMWPE-Verstärkungsring des Gleitlagers im Bereich A-C

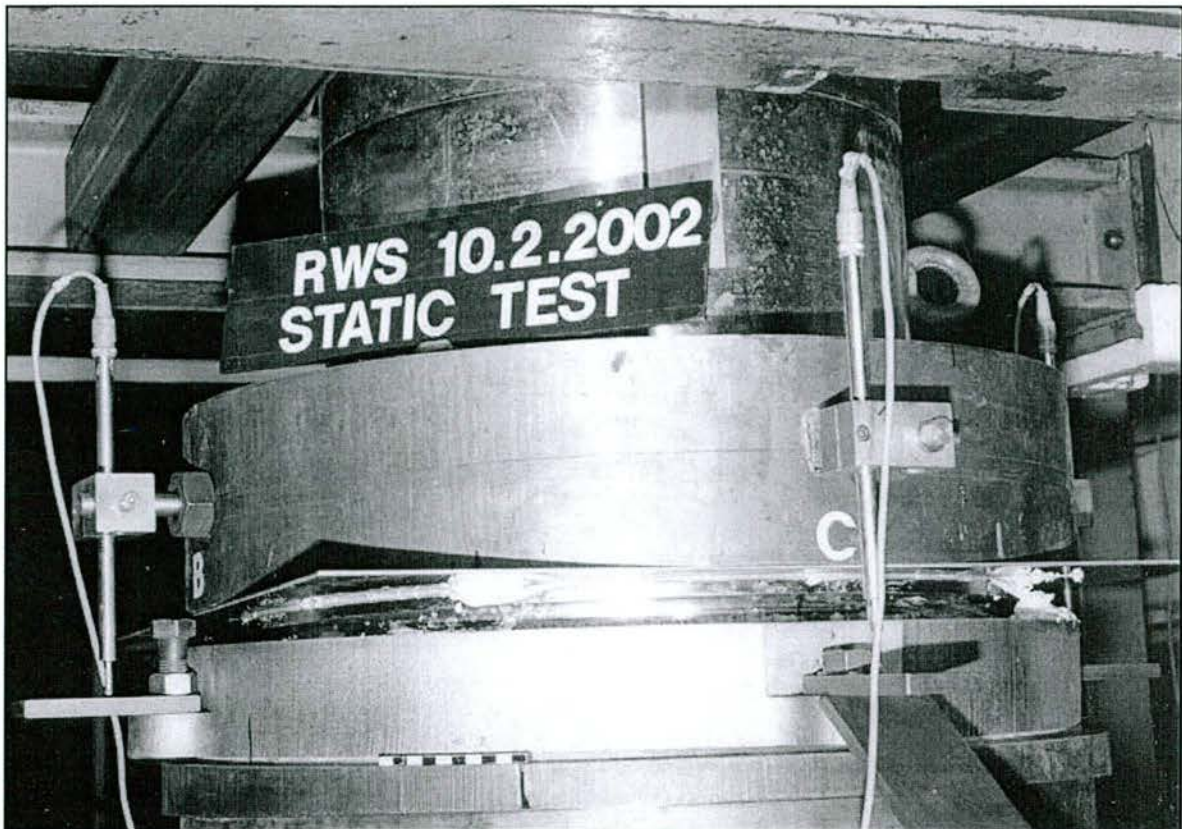


Abb. 6.10: Zweiter Defekt am UHMWPE-Verstärkungsring des Gleitlagers im Bereich B-C

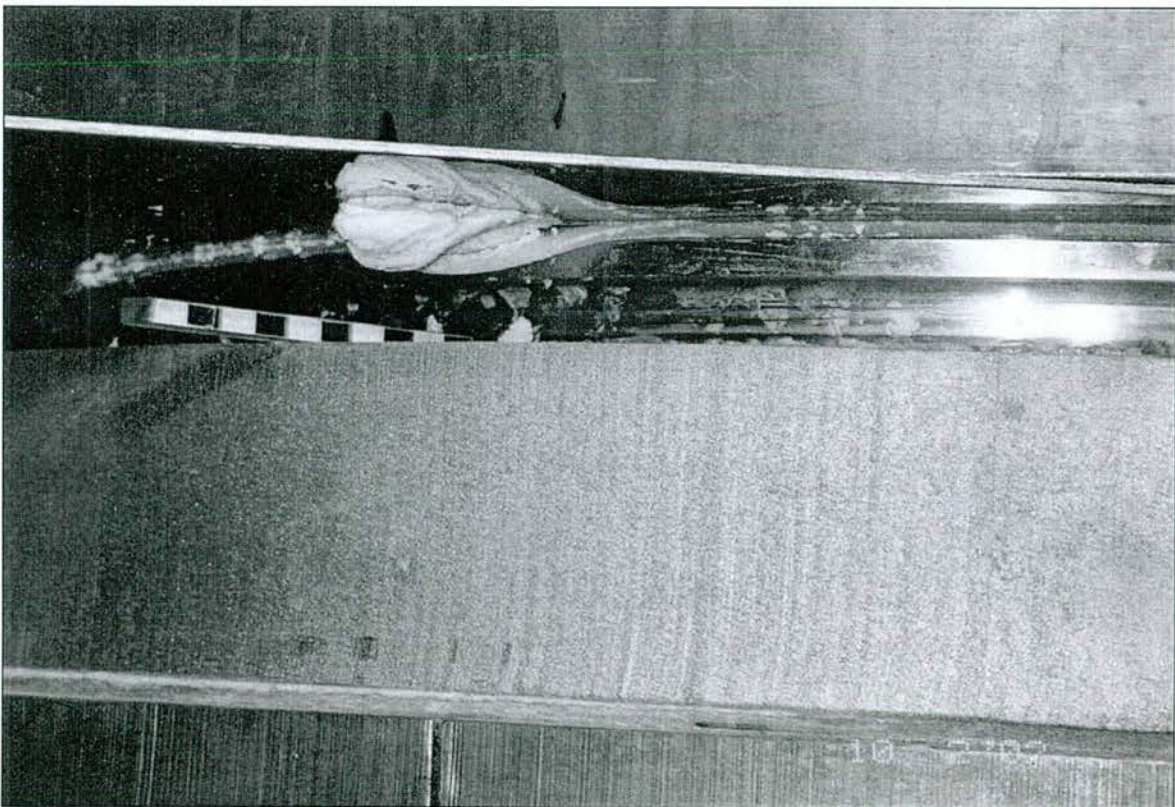


Abb. 6.11: Zweiter Defekt am UHMWPE-Verstärkungsring des Gleitlagers im Bereich B-C



Abb. 6.12: Geöffnetes Gleitlager nach dem statischen Langzeit-Belastungsversuch

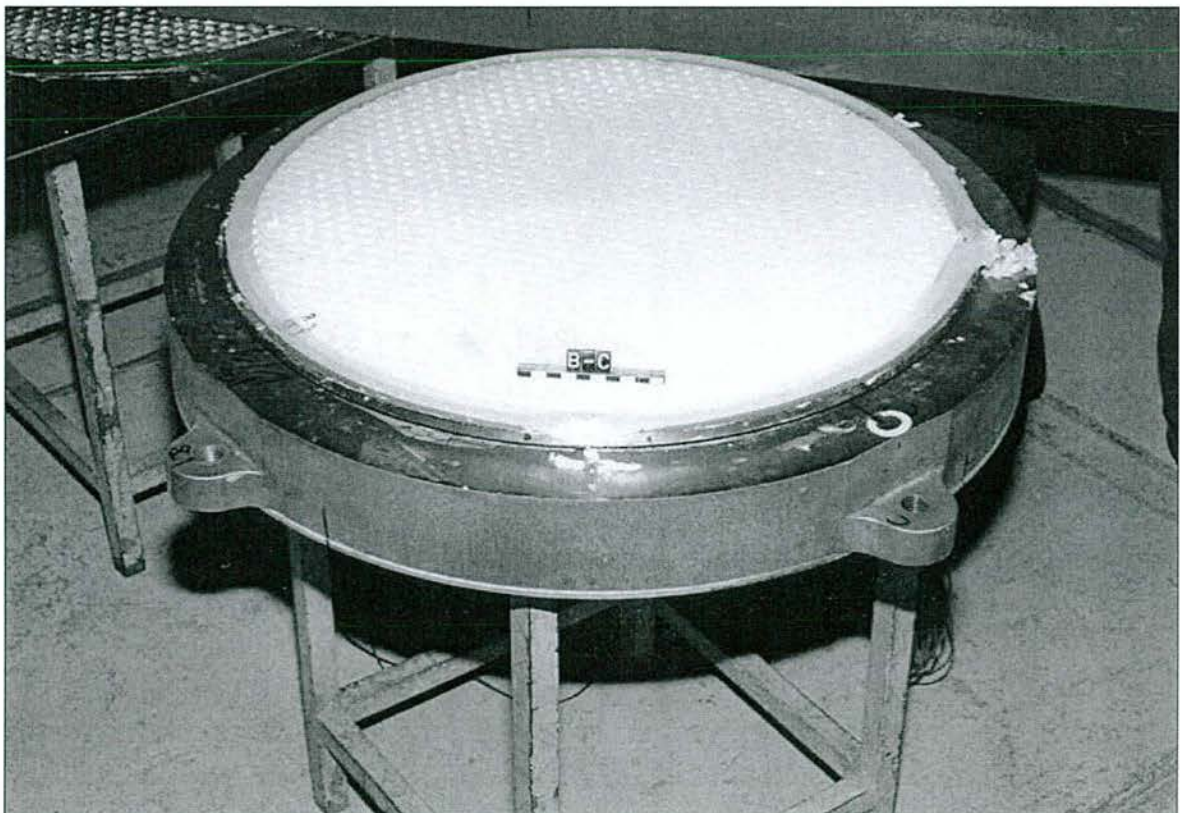


Abb. 6.13: Detailaufnahme des geöffneten Gleitlagers



Abb. 6.14: Erster Defekt am UHMWPE-Verstärkungsring des Gleitlagers im Bereich A-C (Übersicht)



Abb. 6.15: Erster Defekt am UHMWPE-Verstärkungsring des Gleitlagers im Bereich A-C (Detailaufnahme)

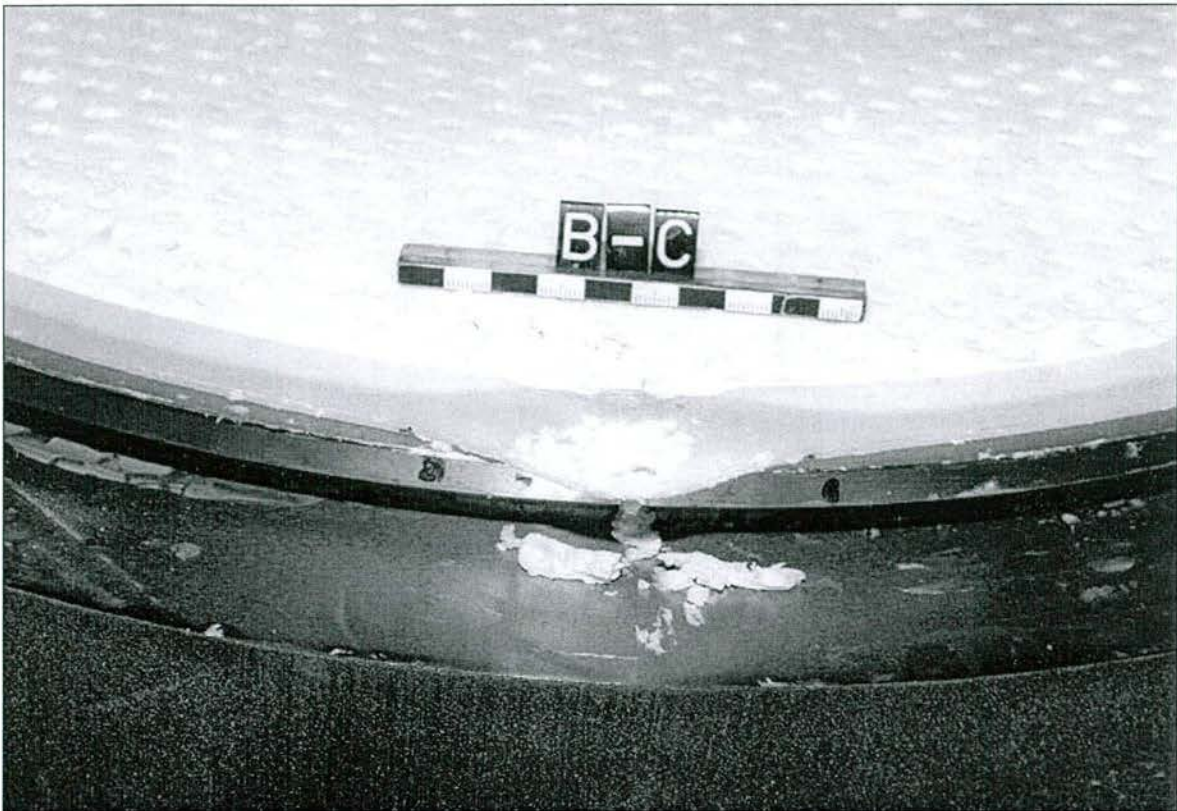


Abb. 6.16: Zweiter Defekt am UHMWPE-Verstärkungsring des Gleitlagers im Bereich B-C (Übersicht)



Abb. 6.17: Zweiter Defekt am UHMWPE-Verstärkungsring des Gleitlagers im Bereich B-C (Detailaufnahme)



Abb. 6.18: Geöffnetes Topflager nach dem statischen Langzeit-Belastungsversuch



Abb. 6.19: Topfwand, UHMWPE-Innendichtung und Elastomerkissen im Bereich B-D

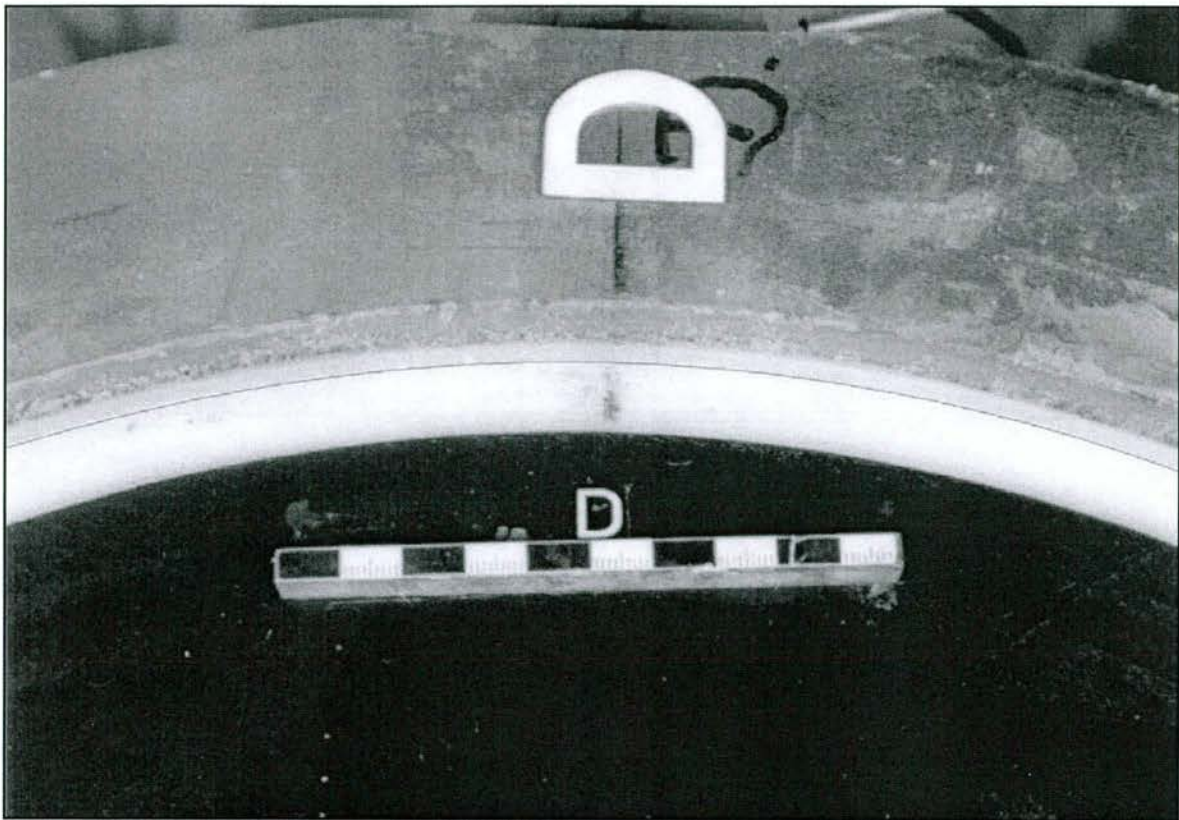


Abb. 6.20: Wulstbildung an der UHMWPE-Innendichtung bei Stelle D (mit gesamtem Lagerspiel; Wulstkontur nachgezeichnet)

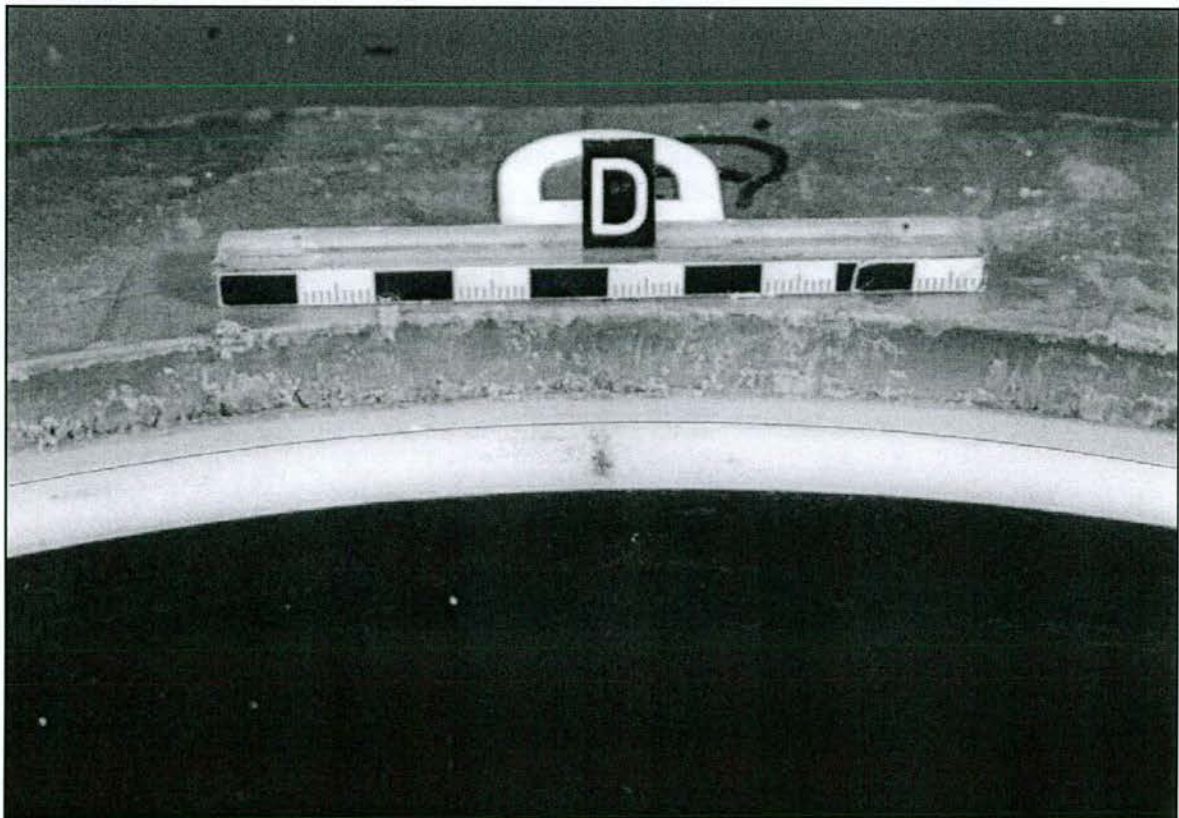


Abb. 6.21: Wulstbildung an der UHMWPE-Innendichtung bei Stelle D (mit gesamtem Lagerspiel; Wulstkontur nachgezeichnet)

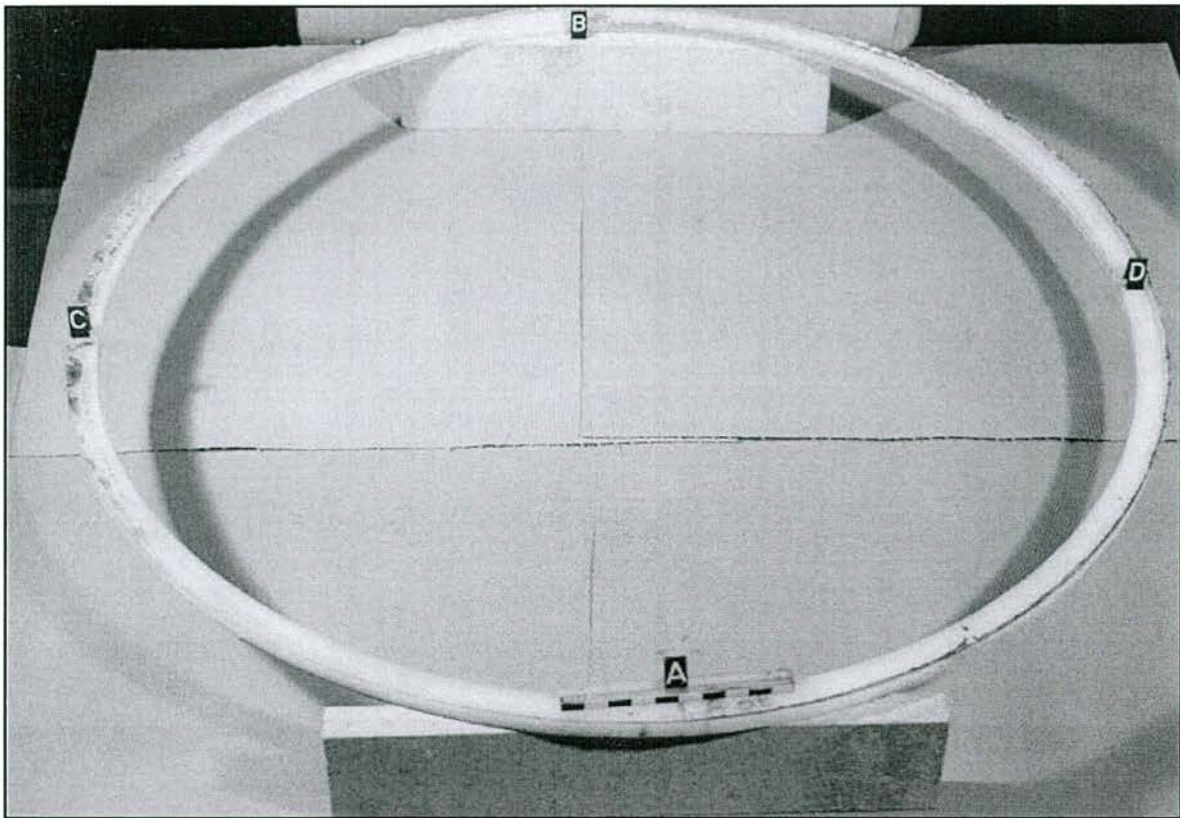


Abb. 6.22: UHMWPE-Innendichtung nach dem Langzeit-Belastungsversuch

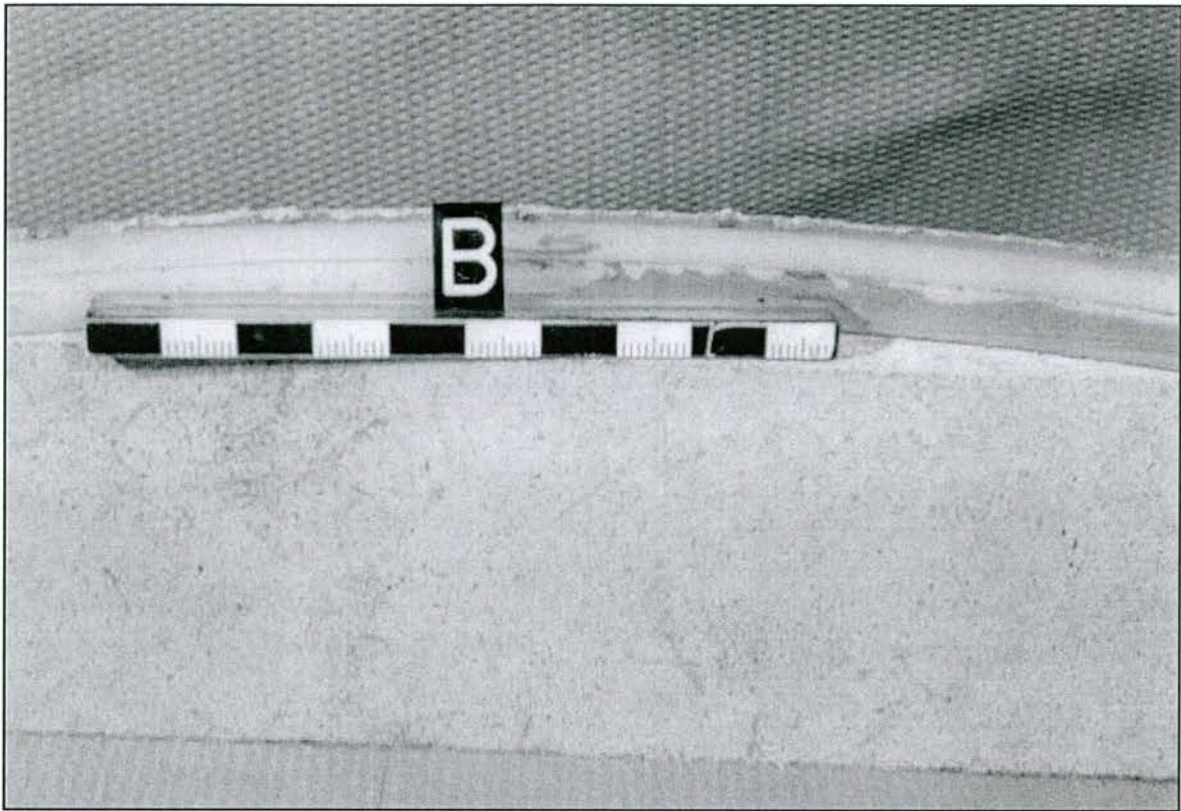


Abb. 6.23: UHMWPE-Innendichtung nach dem Langzeit-Belastungsversuch: Detailaufnahme bei Stelle B

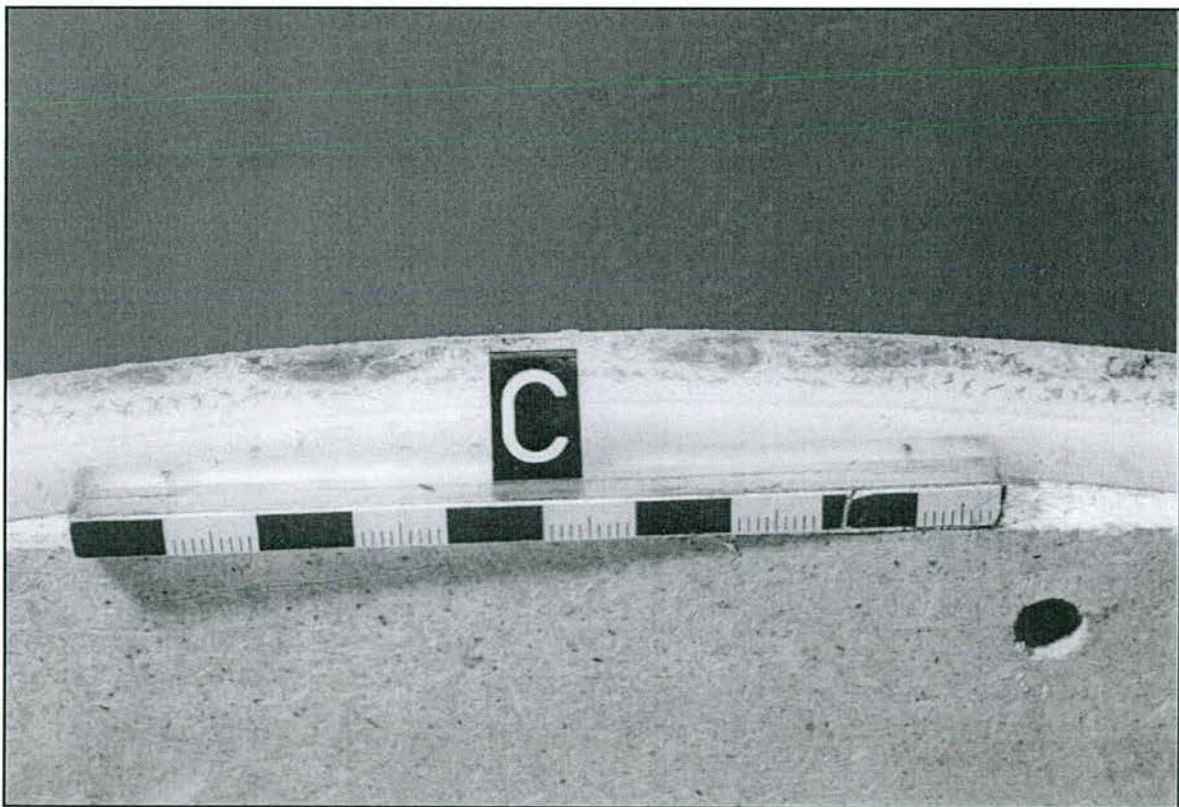


Abb. 6.24: UHMWPE-Innendichtung nach dem Langzeit-Belastungsversuch: Detailaufnahme bei Stelle C



Abb. 6.25: UHMWPE-Innendichtung nach dem Langzeit-Belastungsversuch: Detailaufnahme bei Stelle D (mit gesamtem Lagerspiel, Wulstkontur nachgezeichnet)

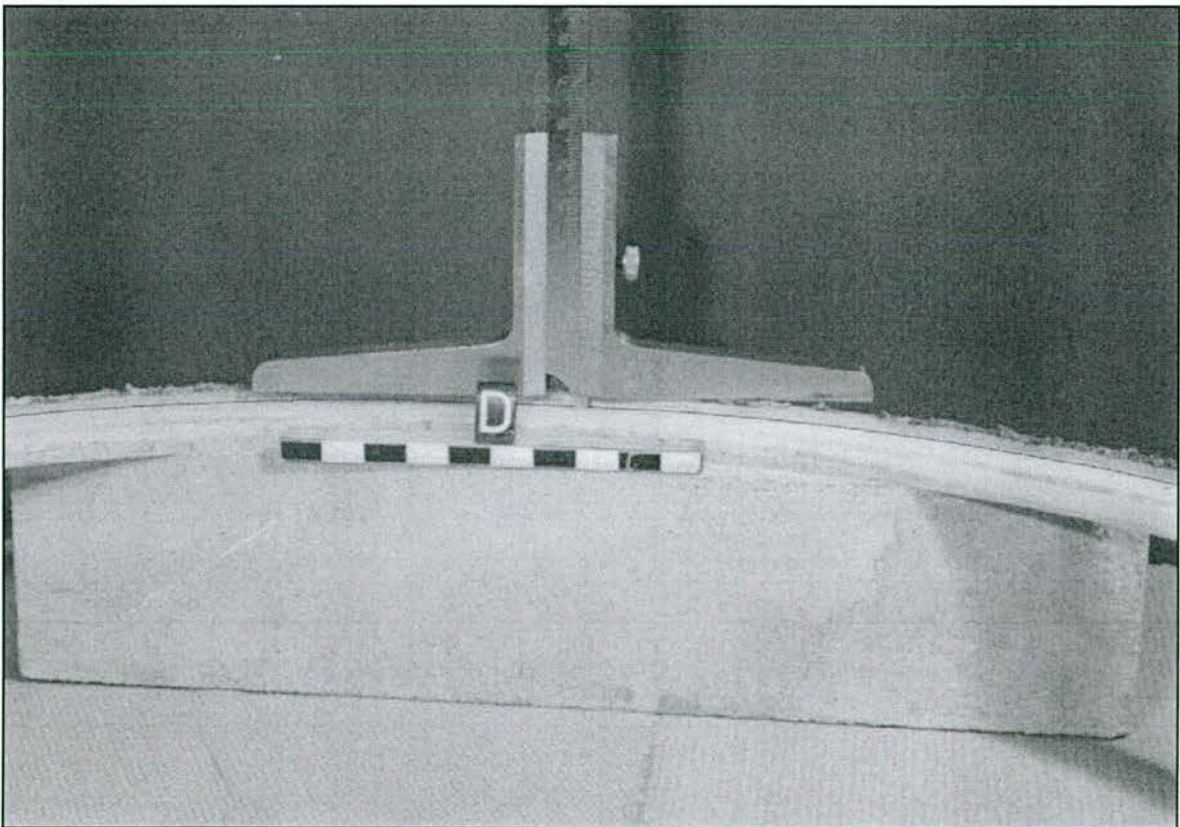


Abb. 6.26: UHMWPE-Innendichtung nach dem Langzeit-Belastungsversuch: Detailaufnahme bei Stelle D (mit gesamtem Lagerspiel, Wulstkontur nachgezeichnet)

ANLAGE 7

Zusätzlicher Verschleißversuch über 3000 m

Gesamtgleitweg

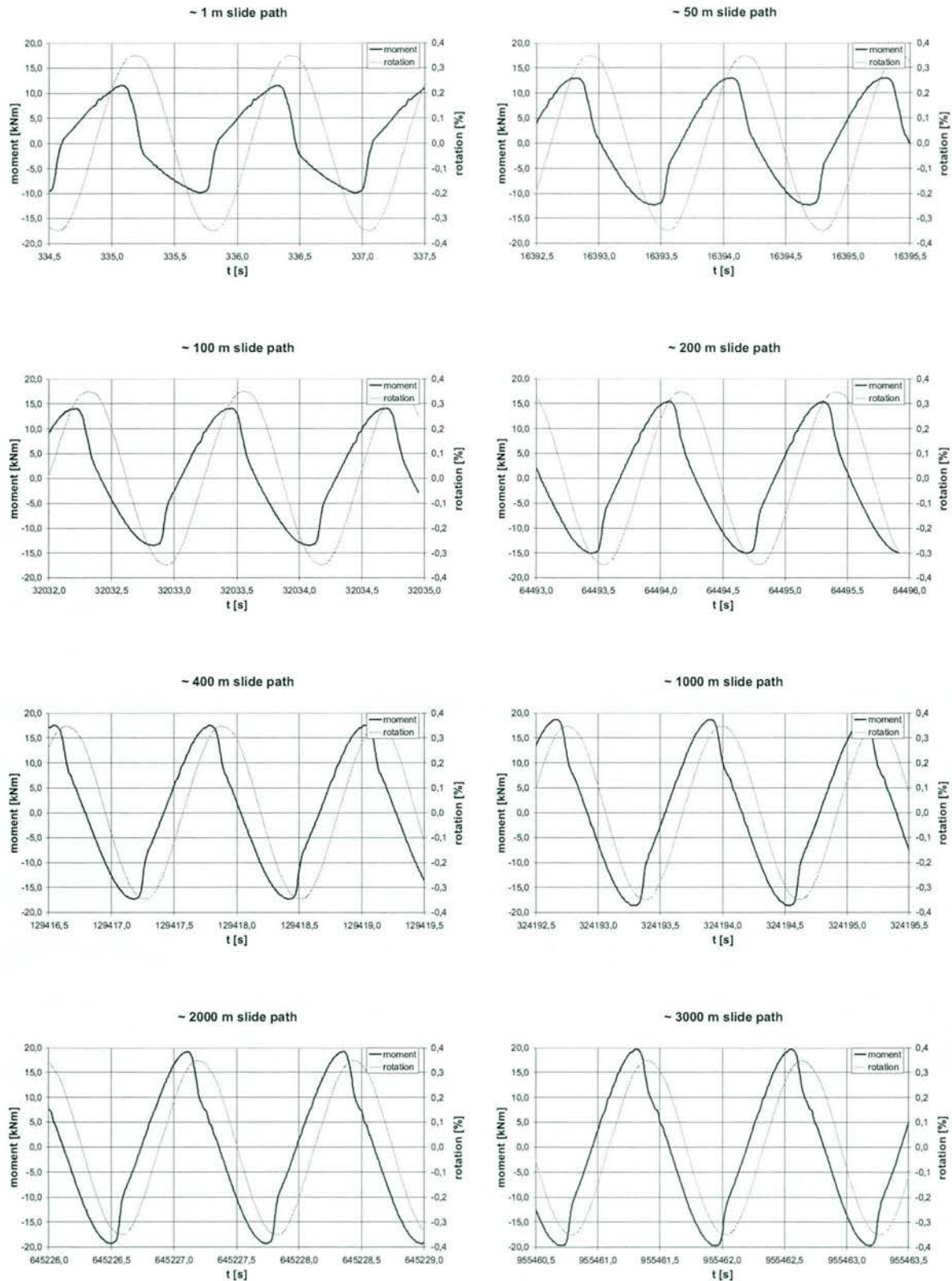


Abb. 7.1: Zeitlicher Verlauf von Moment und Kippwinkel während des 3000 m-Verschleißversuchs

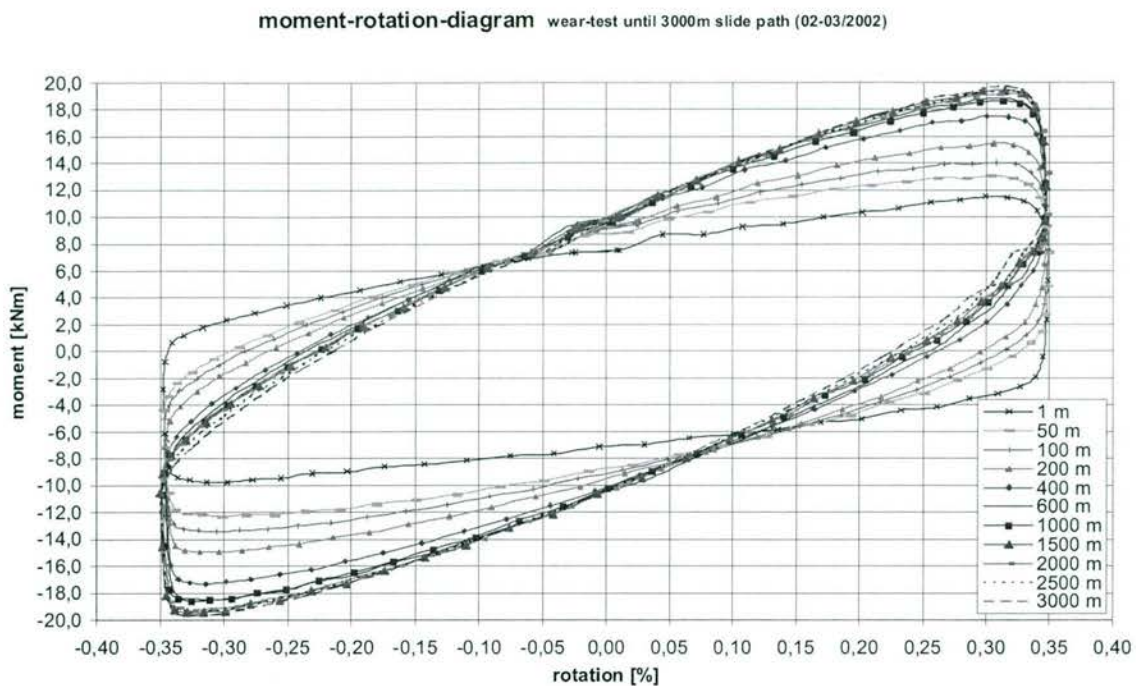


Abb. 7.2: Momenten-Kippwinkel-Hysteresen während des 3000m-Verschleißversuchs

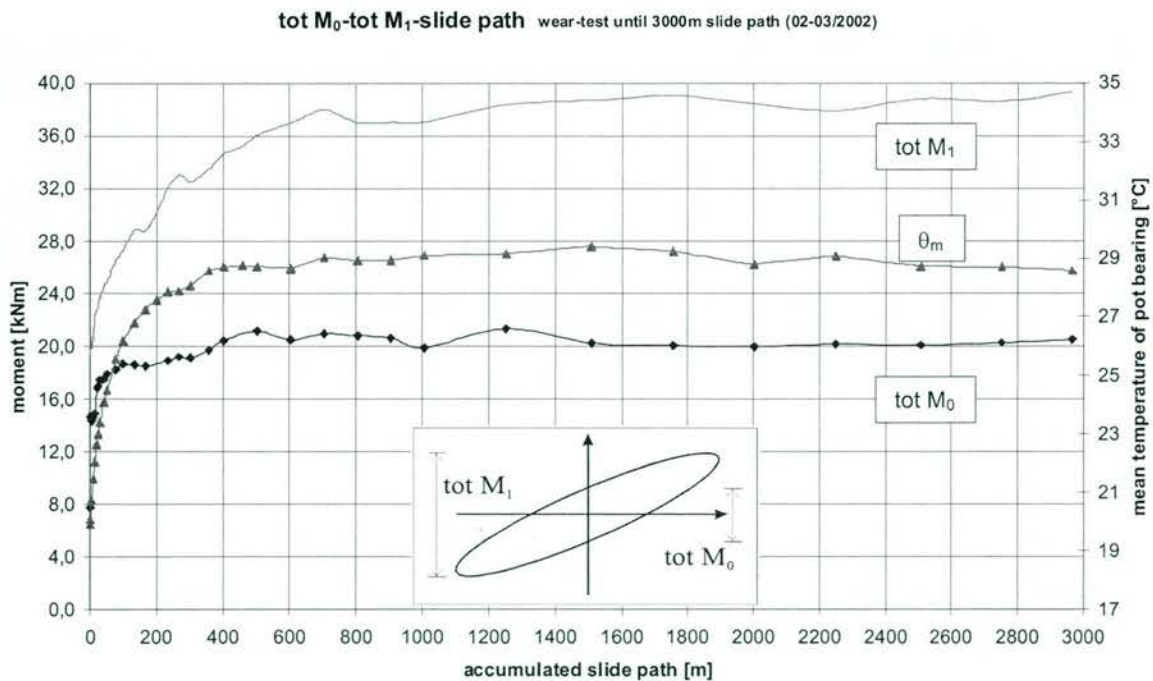


Abb. 7.3: Momente $\text{tot } M_0$ und $\text{tot } M_1$ sowie mittlere Lagertemperatur θ_m in Abhängigkeit vom Gleitweg (3000 m-Verschleißversuch)

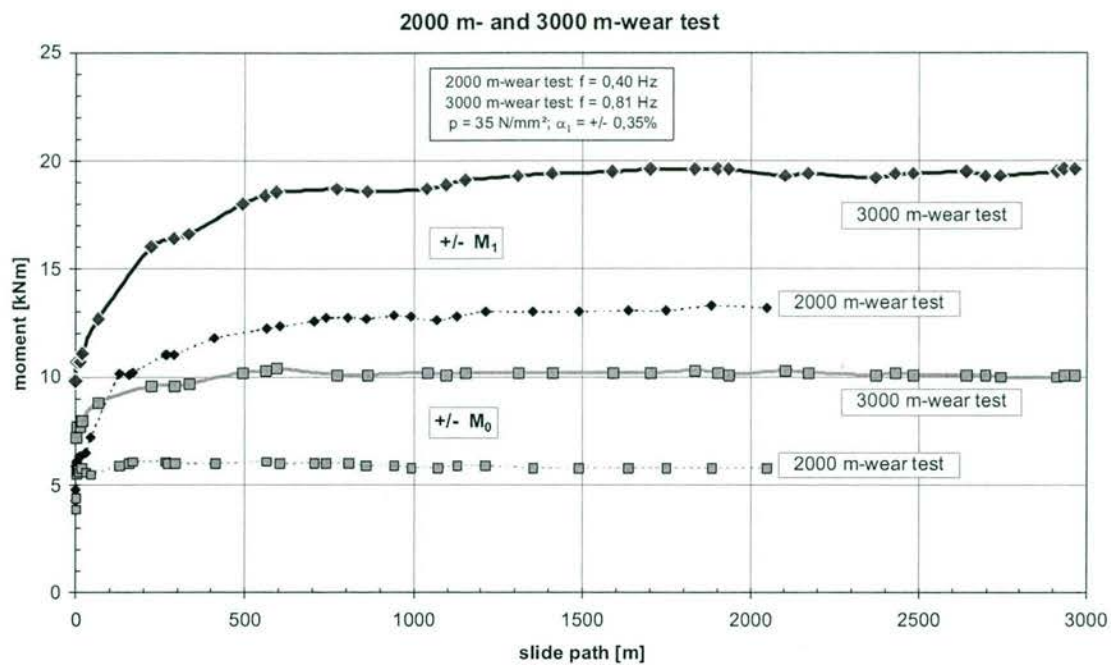


Abb. 7.4: Momente $\pm M_0$ und $\pm M_1$ des 2000 m- und 3000 m-Verschleißversuchs in Abhängigkeit vom Gleitweg



Abb. 7.5: Kippspalt bei Stelle C (in Kipprichtung) während des 3000 m-Verschleißversuchs nach ca. 600 m Gleitweg

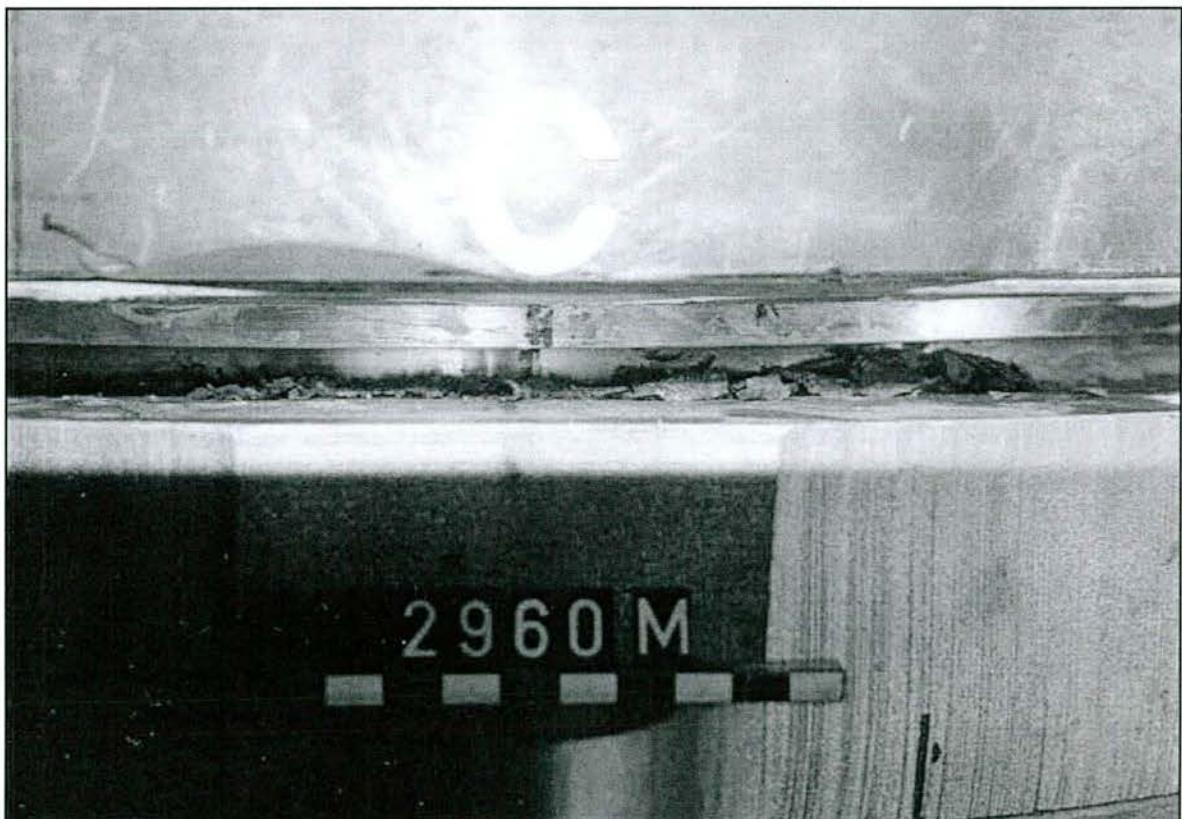


Abb. 7.6: Kippspalt bei Stelle C (in Kipprichtung) während des 3000 m-Verschleißversuchs kurz vor Versuchsende

ANLAGE 8

Testreihe 2:

Zusätzliche Kurzzeit-Kippversuche am Topflager mit verminderter Schmierwirkung

Raumtemperaturversuch „A-RT 1“

Kaltversuch „A-LT“

Raumtemperaturversuch „A-RT 2“:

- $p = 5 \text{ N/mm}^2$
 - $p = 10 \text{ N/mm}^2$
 - $p = 35 \text{ N/mm}^2$
- (p = mittlere Elastomerpressung)

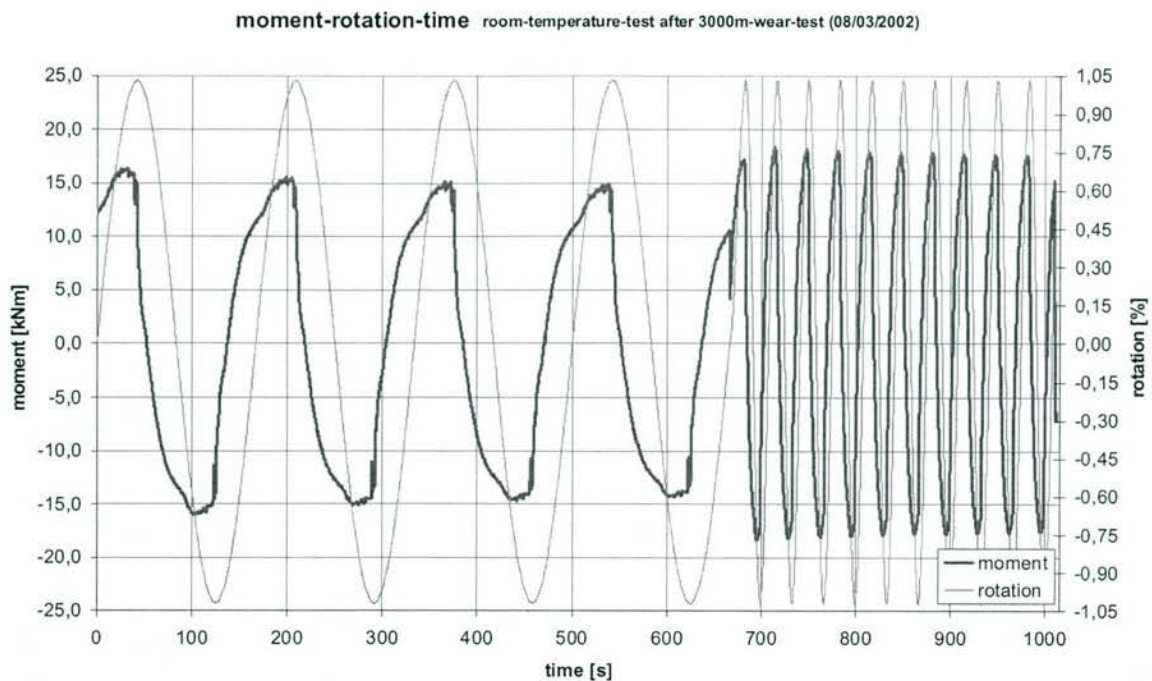


Abb. 8.1: Zeitlicher Verlauf von Rückstellmoment und Kippwinkel im Raumtemperaturversuch A-RT1 (08/03/2002)

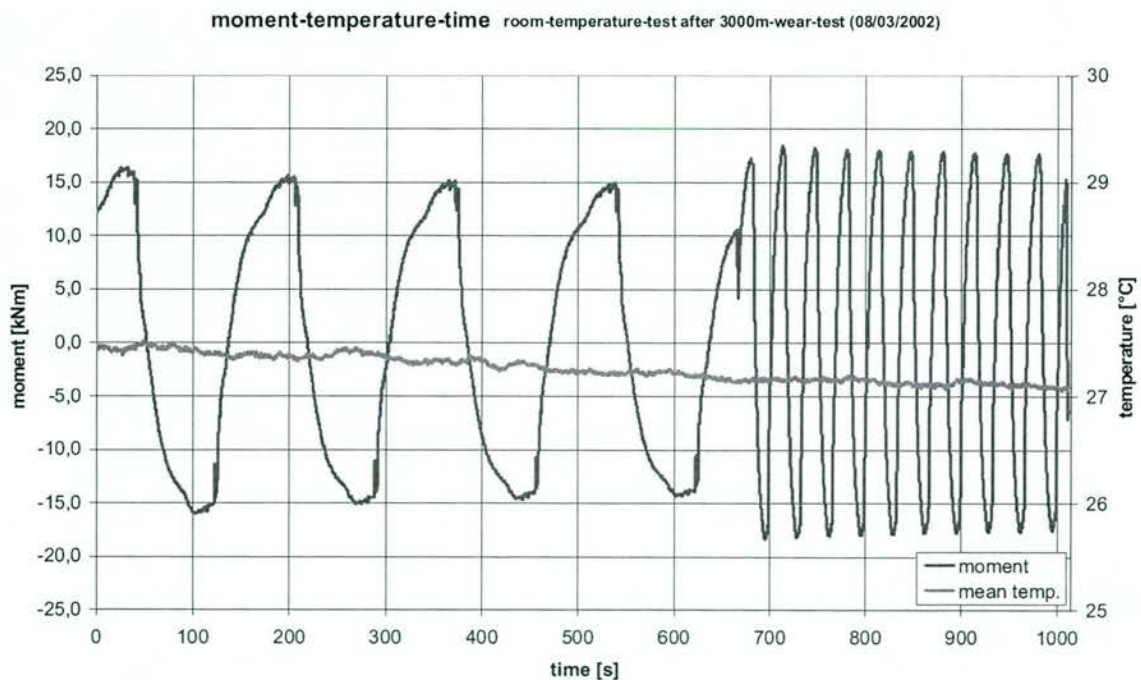


Abb. 8.2: Zeitlicher Verlauf von Rückstellmoment und mittlerer Lagertemperatur im Raumtemperaturversuch A-RT1 (08/03/2002)

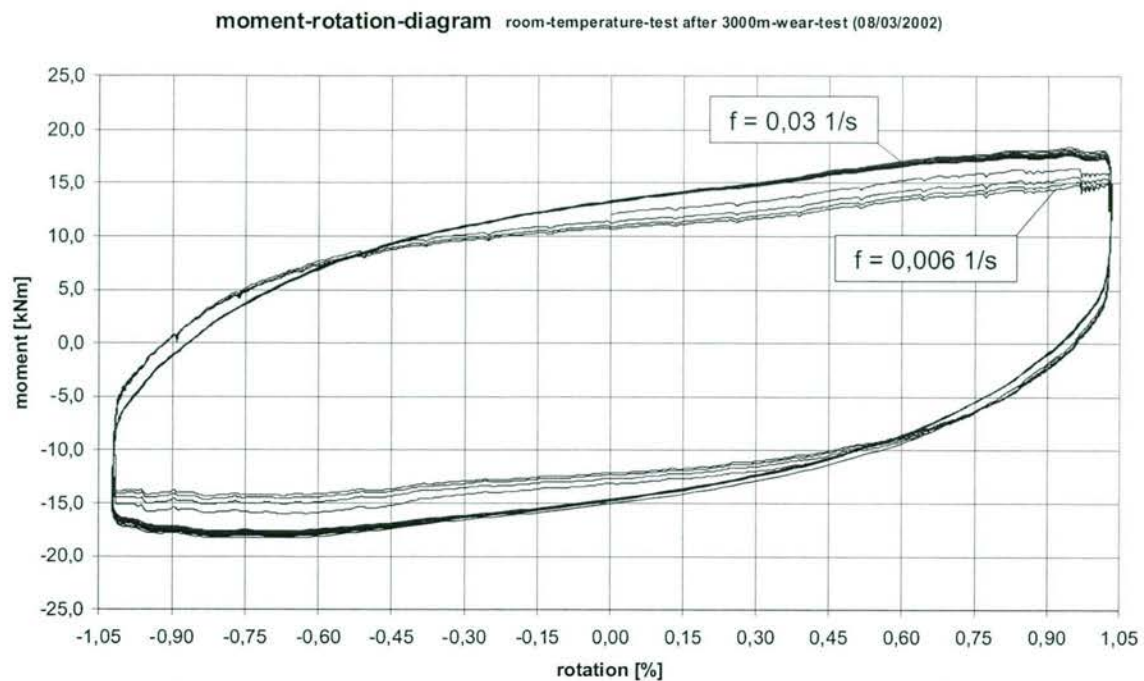


Abb. 8.3: Momenten-Kippwinkel-Hysteresen aller Kippwechsel im Raumtemperaturversuch A-RT1 (08/03/2002)

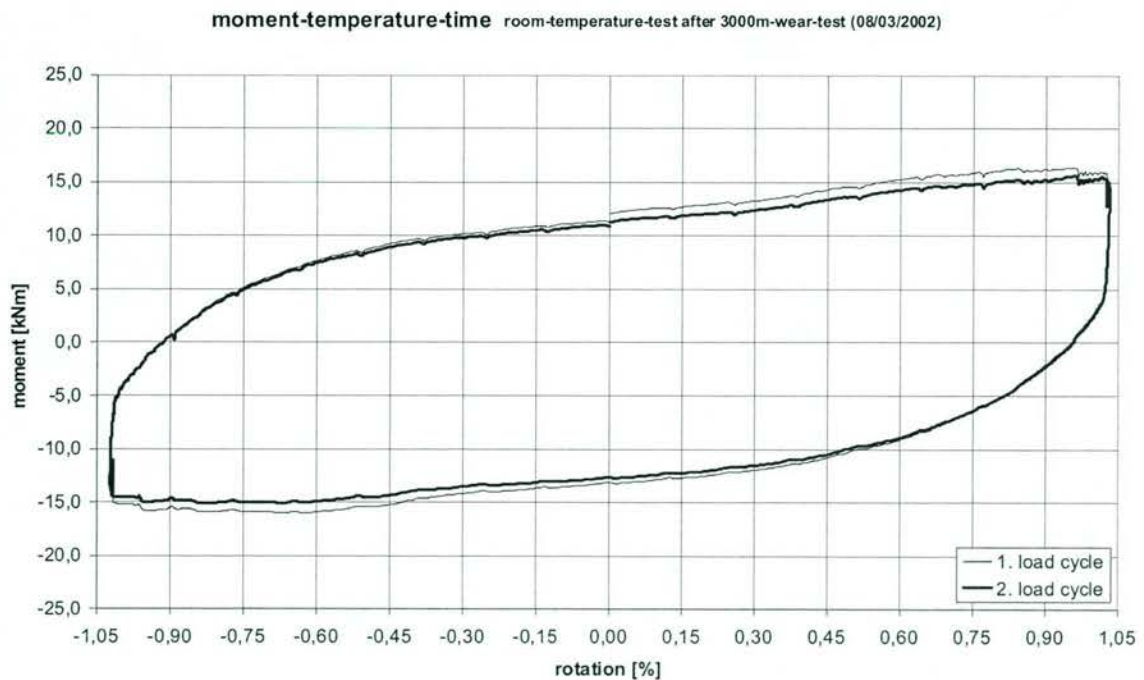


Abb. 8.4: Momenten-Kippwinkel-Hysteresen von Kippwechsel 1 und 2 ($f = 0,006 \text{ 1/s}$) im Raumtemperaturversuch A-RT1 (08/03/2002)

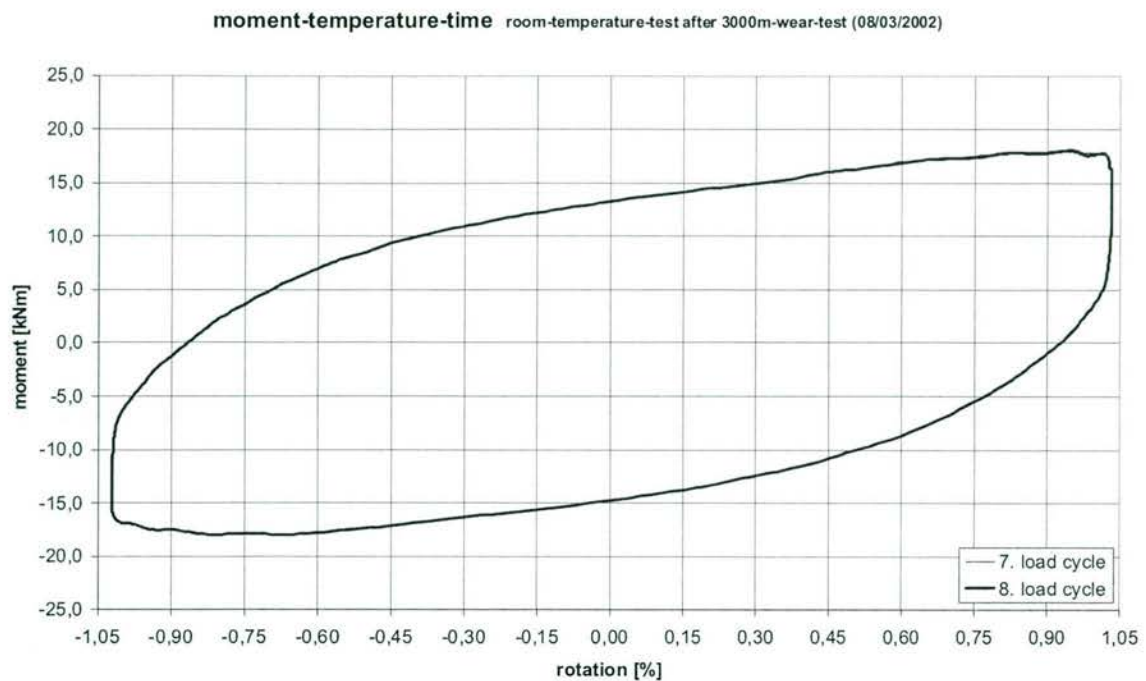


Abb. 8.5: Momenten-Kippwinkel-Hysteresen von Kippwechsel 7 und 8 ($f = 0,03 \text{ 1/s}$) im Raumtemperaturversuch A-RT1 (08/03/2002)

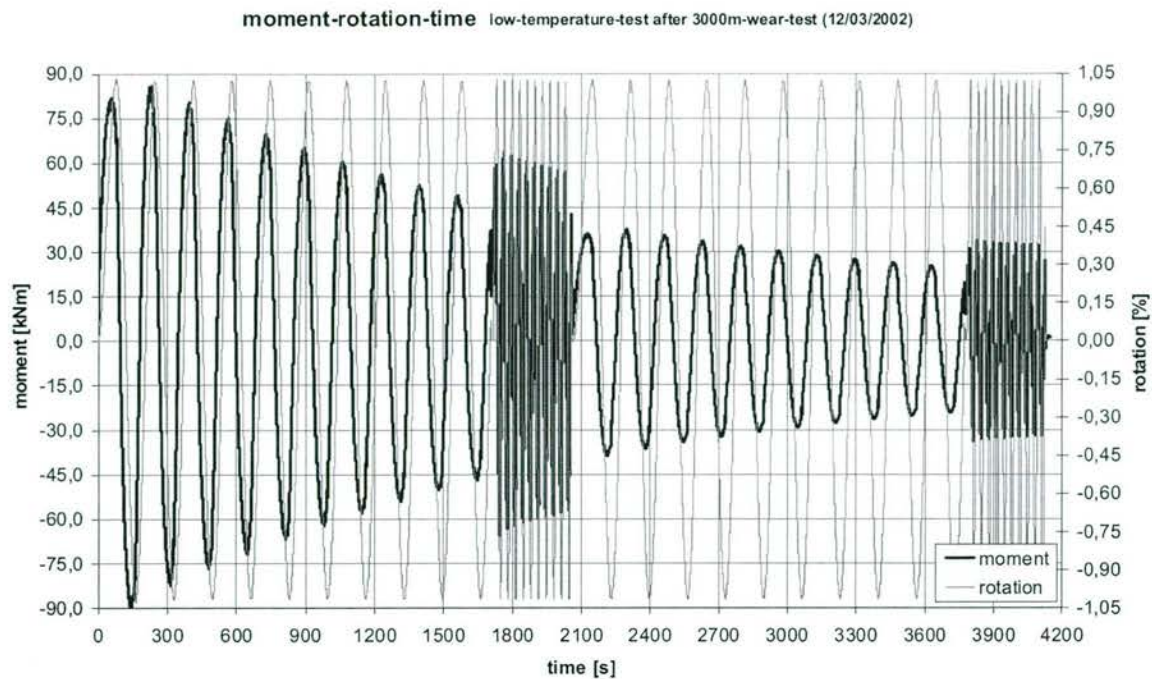


Abb. 8.6: Zeitlicher Verlauf von Rückstellmoment und Kippwinkel im Kaltversuch A-LT (12/03/2002)

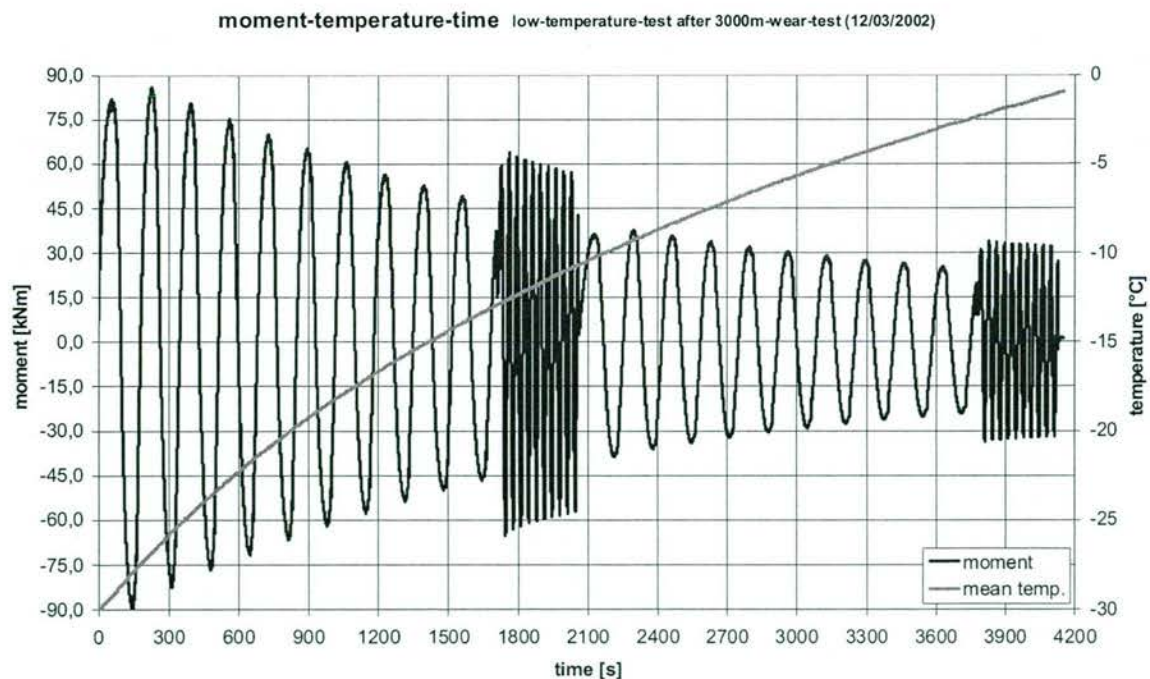


Abb. 8.7: Zeitlicher Verlauf von Rückstellmoment und mittlerer Lagertemperatur im Kaltversuch A-LT (12/03/2002)

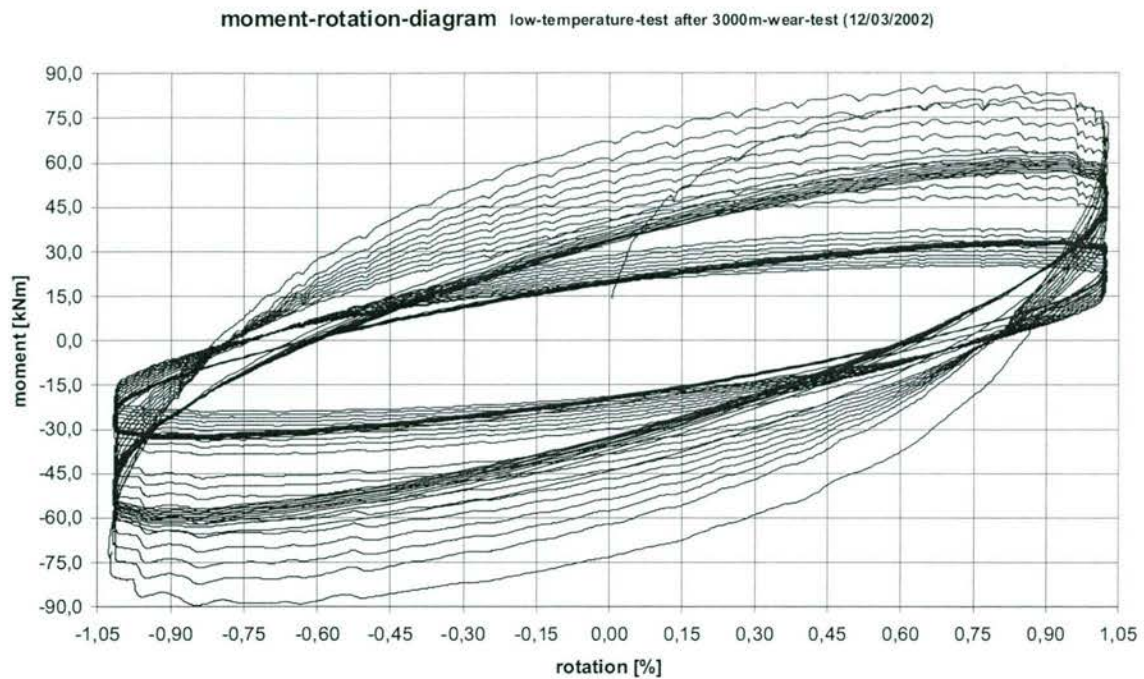


Abb. 8.8: Momenten-Kippwinkel-Hysteresen aller Lastwechsel im Kaltversuch A-LT (12/03/2002)

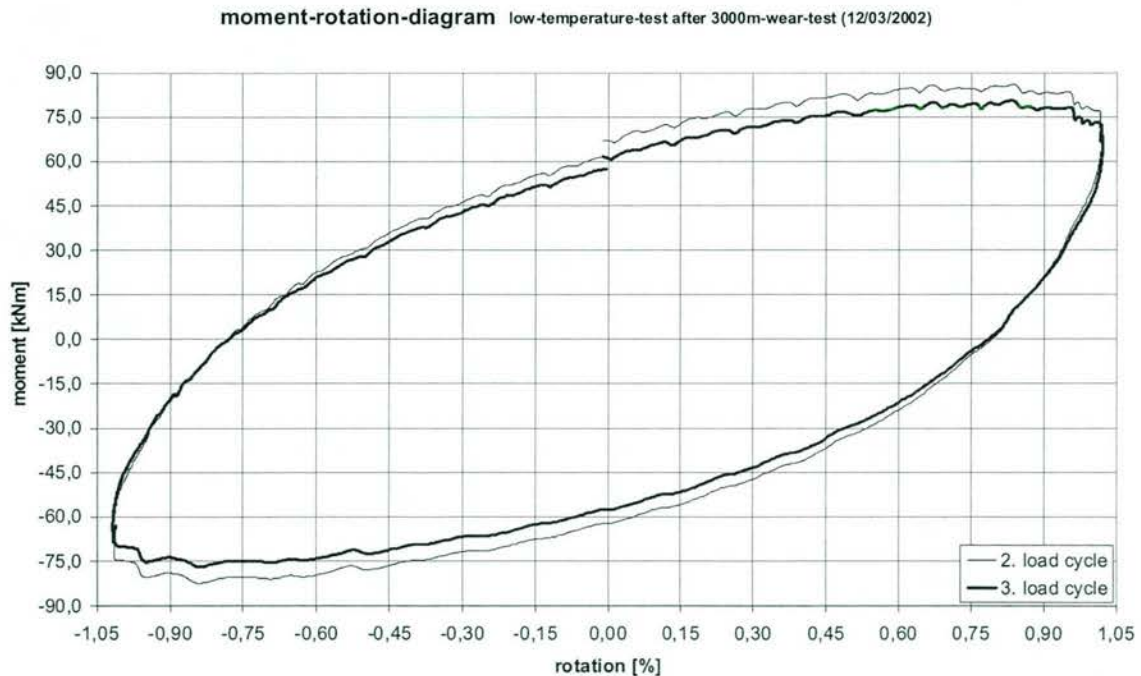


Abb. 8.9: Momenten-Kippwinkel-Hysteresen von Kippwechsel 2 und 3 ($f = 0,006 \text{ 1/s}$) im Kaltversuch A-LT (12/03/2002)

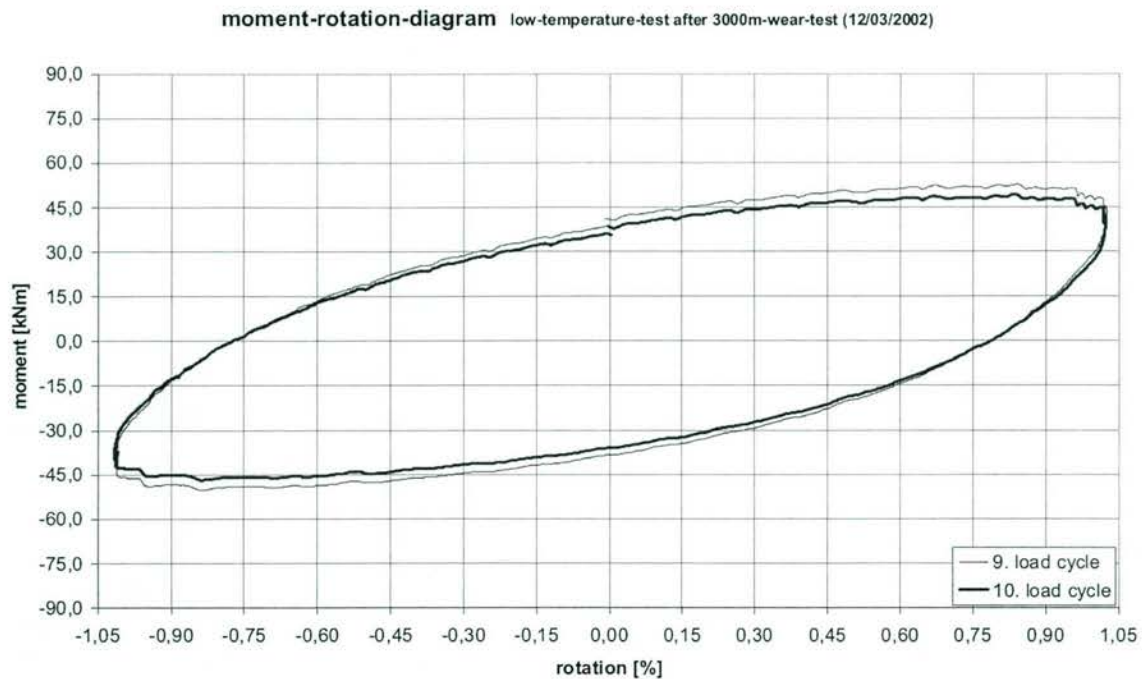


Abb. 8.10: Momenten-Kippwinkel-Hysteresen von Kippwechsel 9 und 10 ($f = 0,006 \text{ 1/s}$) im Kaltversuch A-LT (12/03/2002)

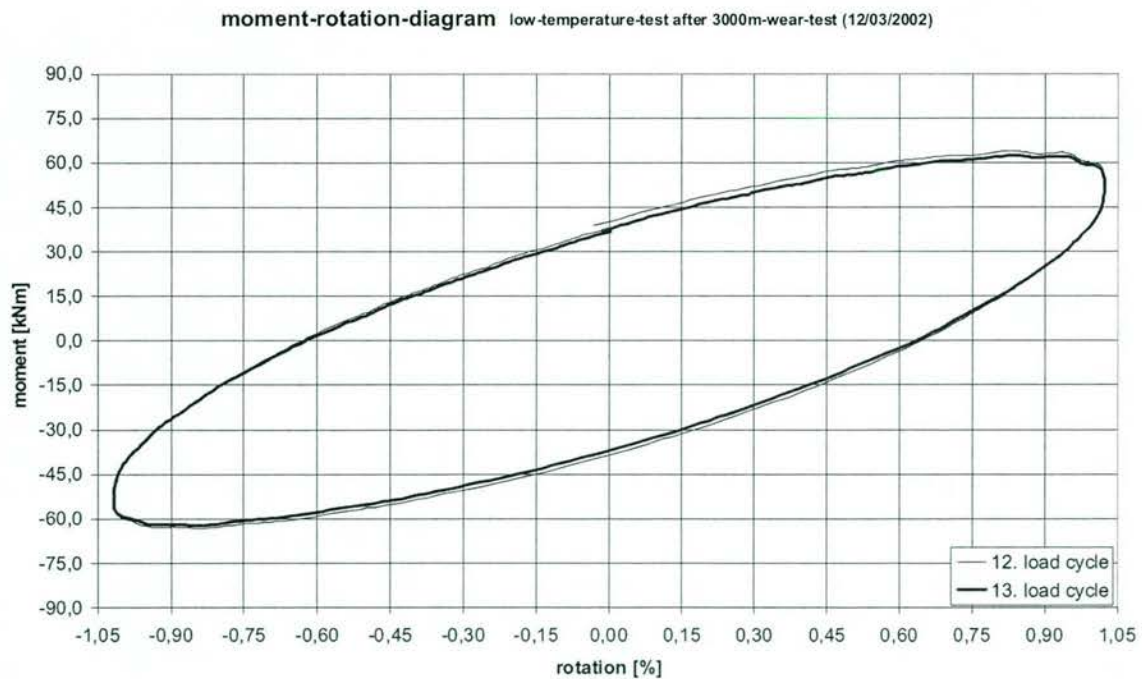


Abb. 8.11: Momenten-Kippwinkel-Hysteresen von Kippwechsel 12 und 13 ($f = 0,03 \text{ 1/s}$) im Kaltversuch A-LT (12/03/2002))

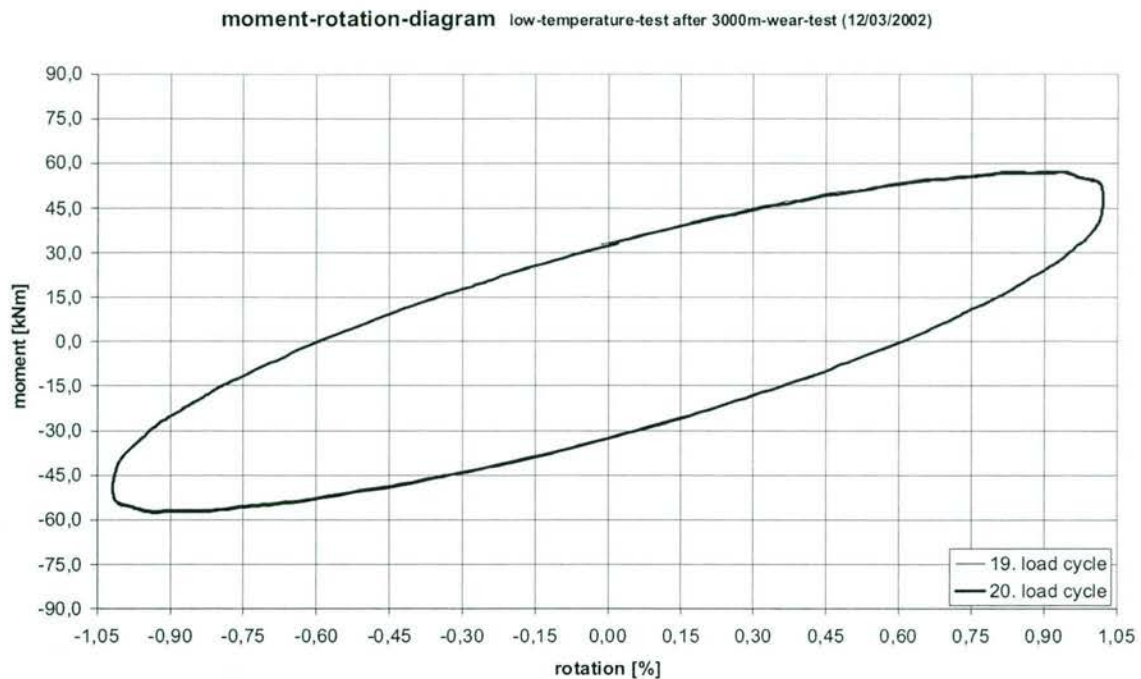


Abb. 8.12: Momenten-Kippwinkel-Hysteresen von Kippwechsel 19 und 20 ($f = 0,03 \text{ 1/s}$) im Kaltversuch A-LT (12/03/2002)

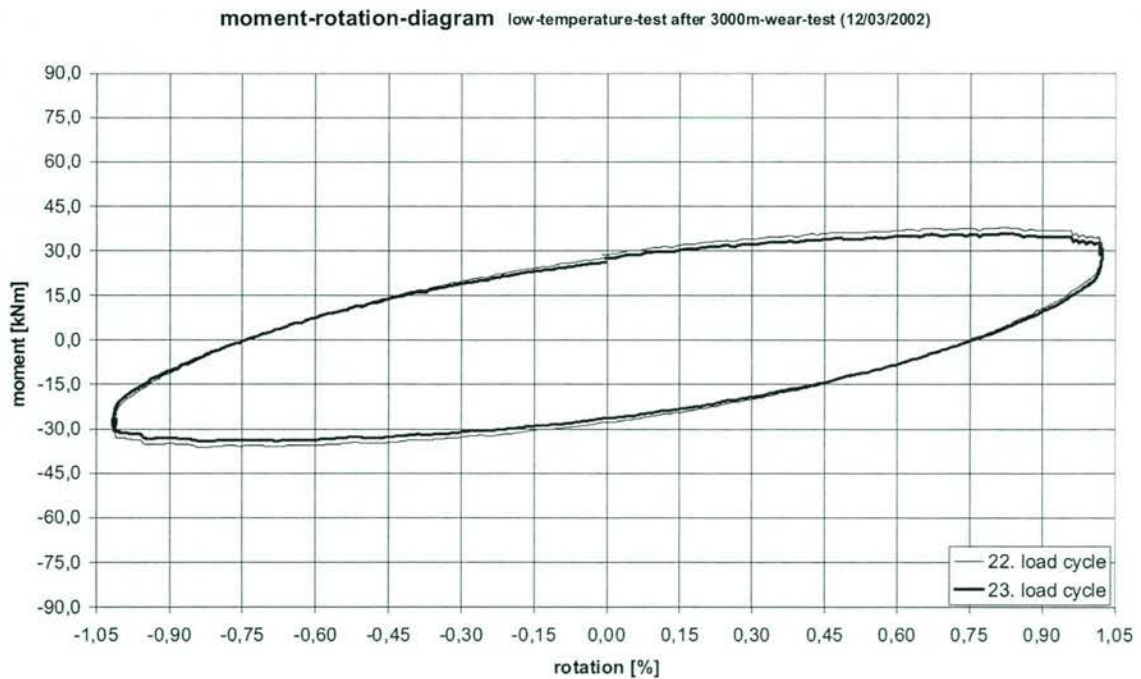


Abb. 8.13: Momenten-Kippwinkel-Hysteresen von Kippwechsel 22 und 23 ($f = 0,006 \text{ 1/s}$) im Kaltversuch A-LT (12/03/2002)

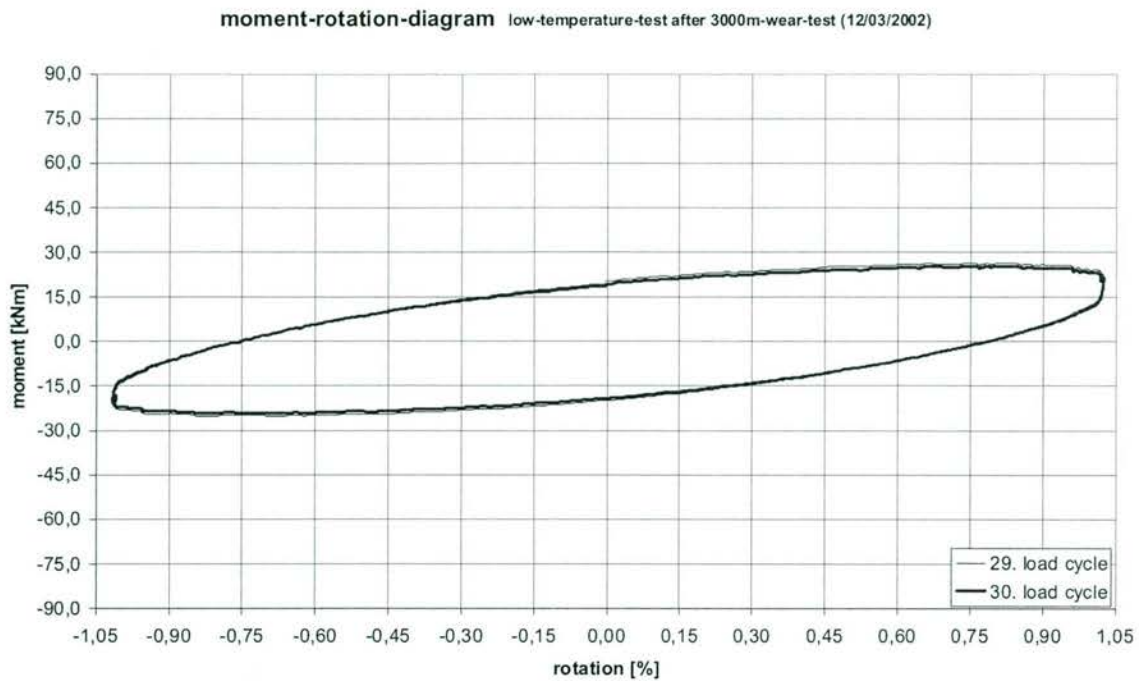


Abb. 8.14: Momenten-Kippwinkel-Hysteresen von Kippwechsel 29 und 30 ($f = 0,006 \text{ 1/s}$) im Kaltversuch A-LT (12/03/2002)

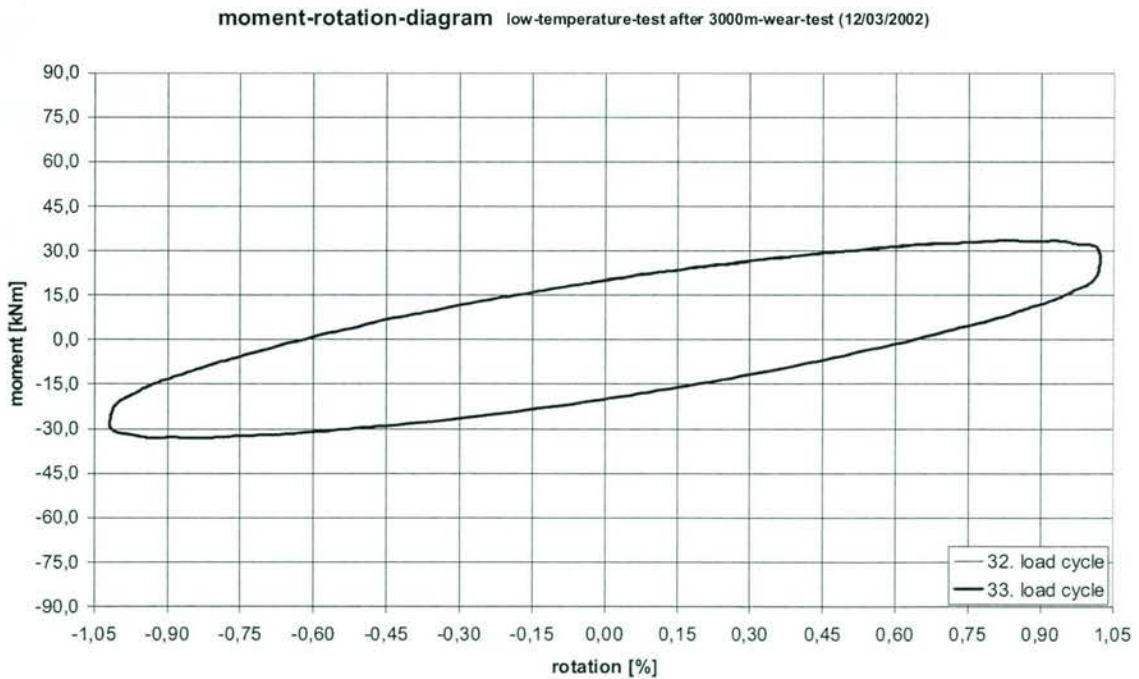


Abb. 8.15: Momenten-Kippwinkel-Hysteresen von Kippwechsel 32 und 33 ($f = 0,03 \text{ 1/s}$) im Kaltversuch A-LT (12/03/2002)

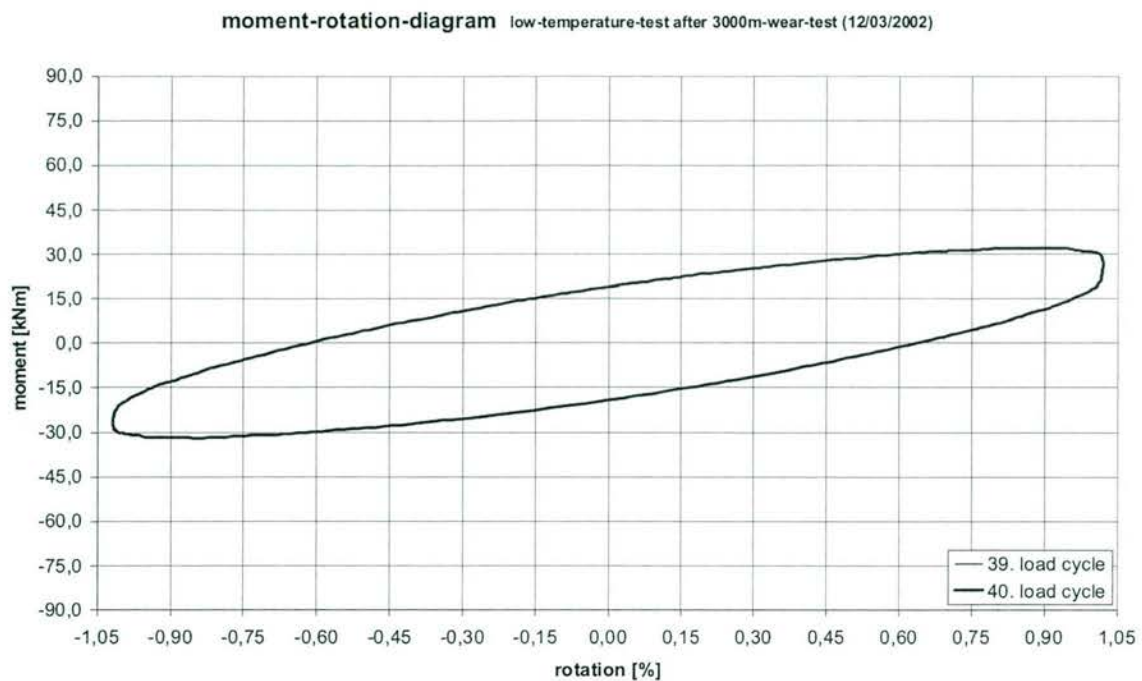


Abb. 8.16: Momenten-Kippwinkel-Hysteresen von Kippwechsel 39 und 40 ($f = 0,03 \text{ 1/s}$) im Kaltversuch A-LT (12/03/2002)

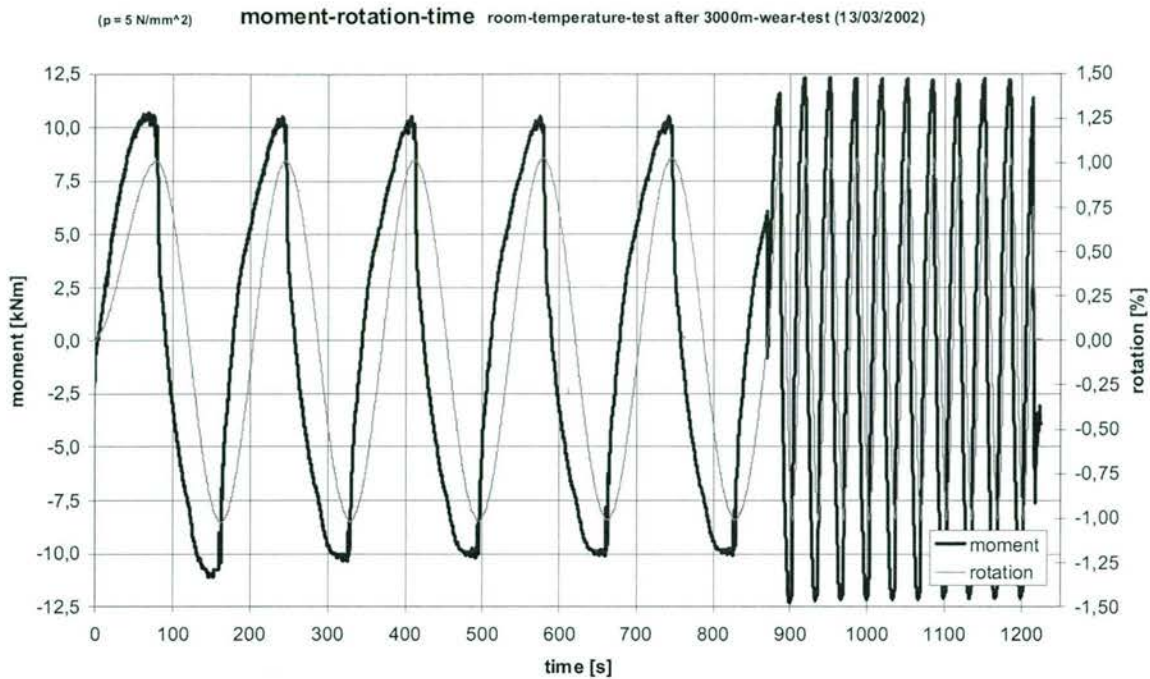


Abb. 8.17: Zeitlicher Verlauf von Rückstellmoment und Kippwinkel im Raumtemperaturversuch A-RT2 (13/03/2002); mittlere Elastomerpressung $p = 5 \text{ N/mm}^2$

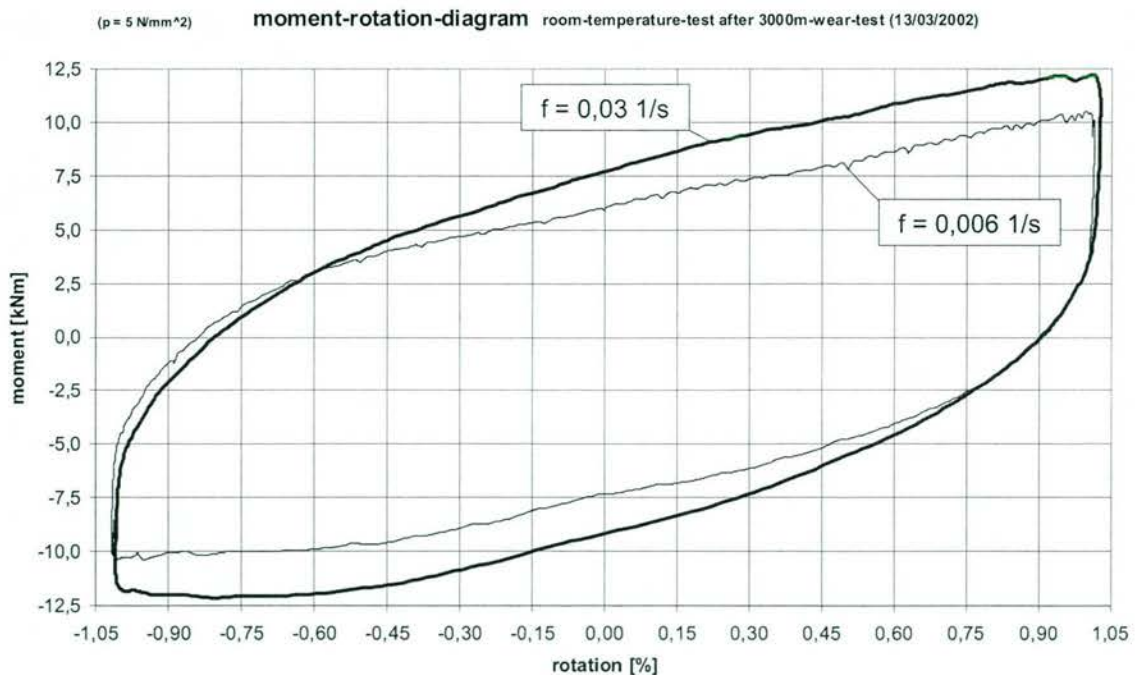


Abb. 8.18: Momenten-Kippwinkel-Hysteresen von Kippwechsel 2 ($f = 0,006 \text{ 1/s}$) und Kippwechsel 10 ($f = 0,03 \text{ 1/s}$) im Raumtemperaturversuch A-RT2 (13/03/2002); mittlere Elastomerpressung $p = 5 \text{ N/mm}^2$

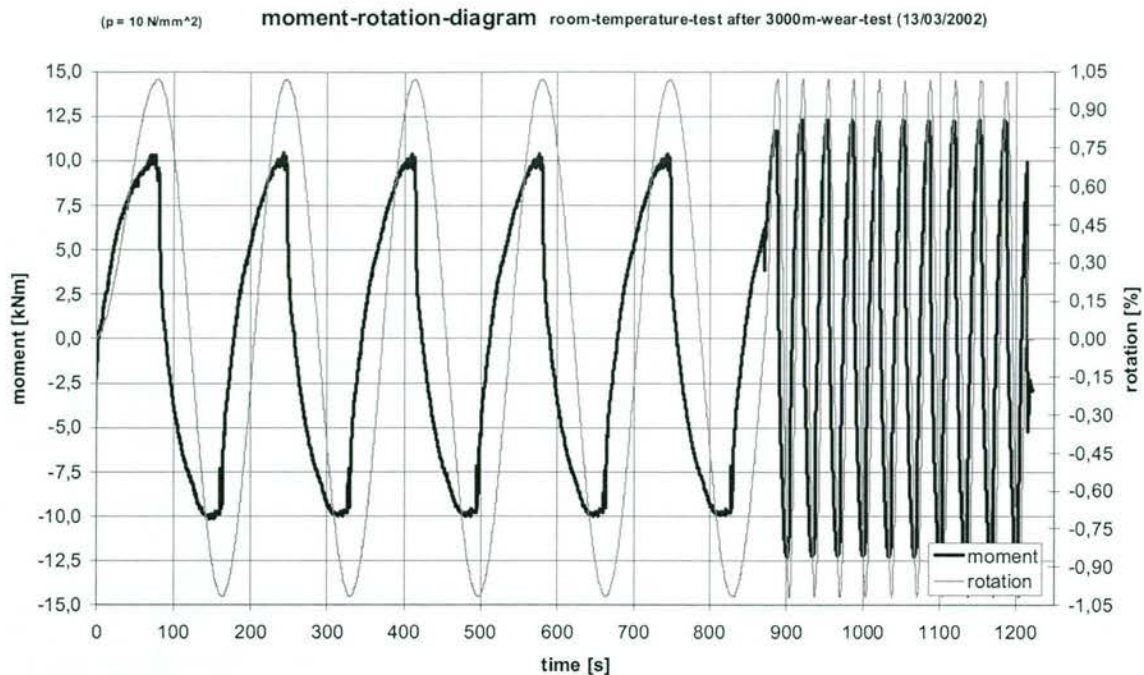


Abb. 8.19: Zeitlicher Verlauf von Rückstellmoment und Kippwinkel im Raumtemperaturversuch A-RT2 (13/03/2002);
mittlere Elastomerpressung $p = 10 \text{ N/mm}^2$

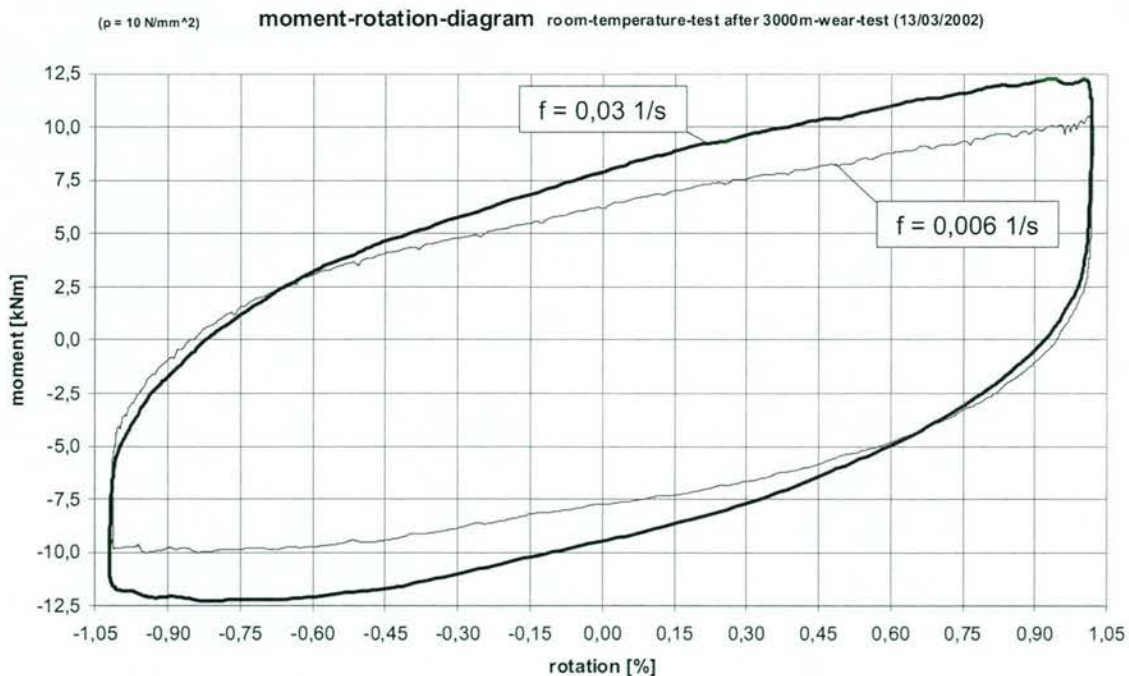


Abb. 8.20: Momenten-Kippwinkel-Hysteresen von Kippwechsel 2 ($f = 0,006 \text{ 1/s}$) und Kippwechsel 10 ($f = 0,03 \text{ 1/s}$) im Raumtemperaturversuch A-RT2 (13/03/2002);
mittlere Elastomerpressung $p = 10 \text{ N/mm}^2$

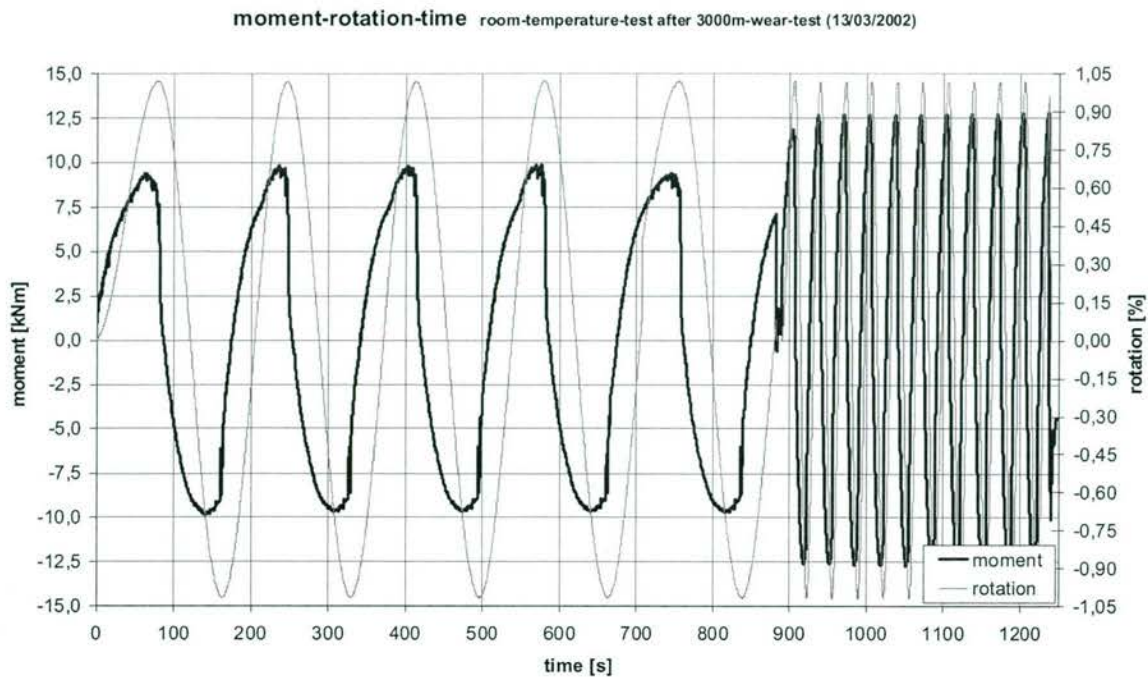


Abb. 8.21: Zeitlicher Verlauf von Rückstellmoment und Kippwinkel im Raumtemperaturversuch A-RT2 (13/03/2002);
mittlere Elastomerpressung $p = 35 \text{ N/mm}^2$

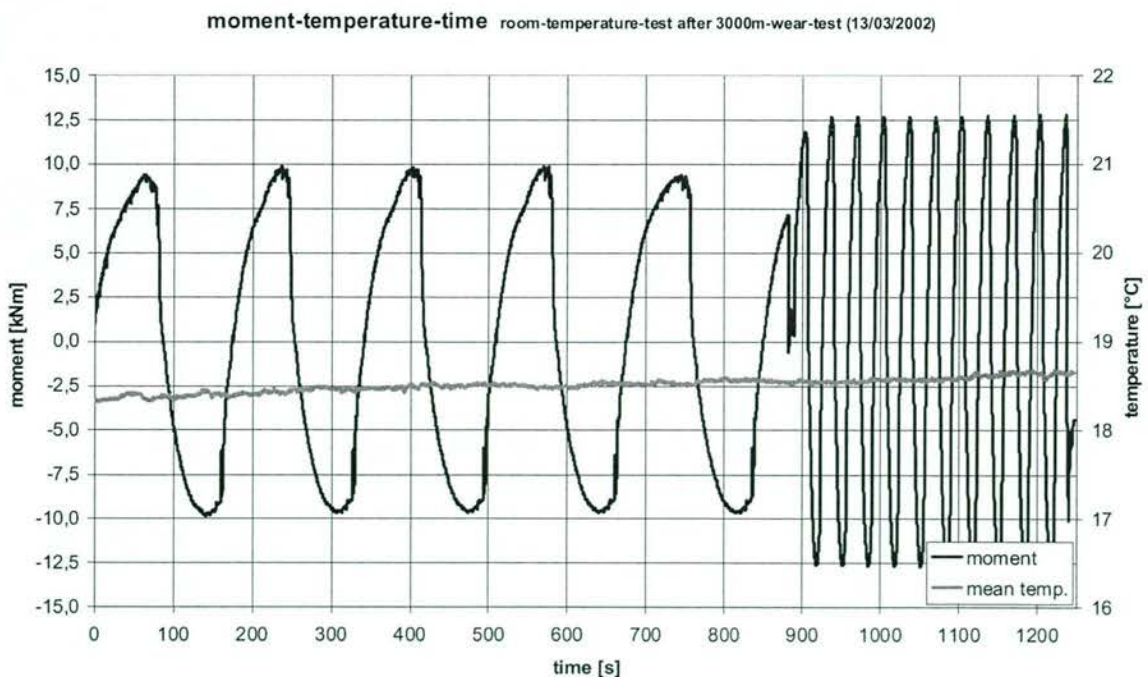


Abb. 8.22: Zeitlicher Verlauf von Rückstellmoment und mittlerer Lagertemperatur im Raumtemperaturversuch A-RT2 (13/03/2002);
mittlere Elastomerpressung $p = 35 \text{ N/mm}^2$

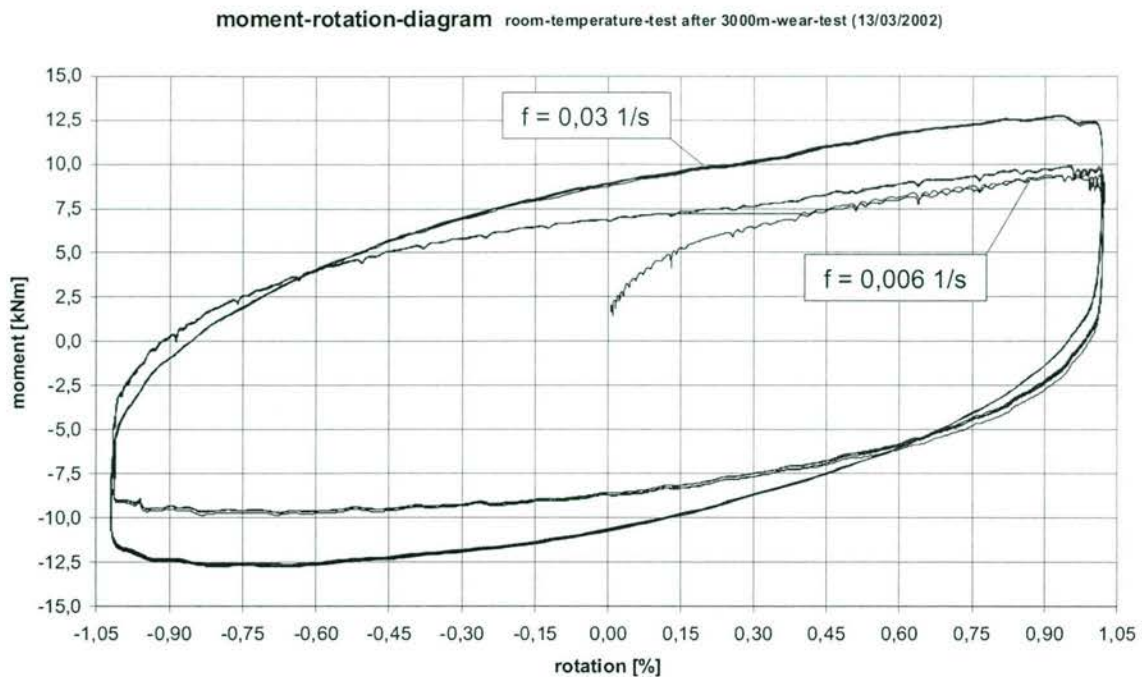


Abb. 8.23: Momenten-Kippwinkel-Hysteresen aller Kippwechsel im Raumtemperaturversuch A-RT2 (13/03/2002);
mittlere Elastomerpressung $p = 35 \text{ N/mm}^2$

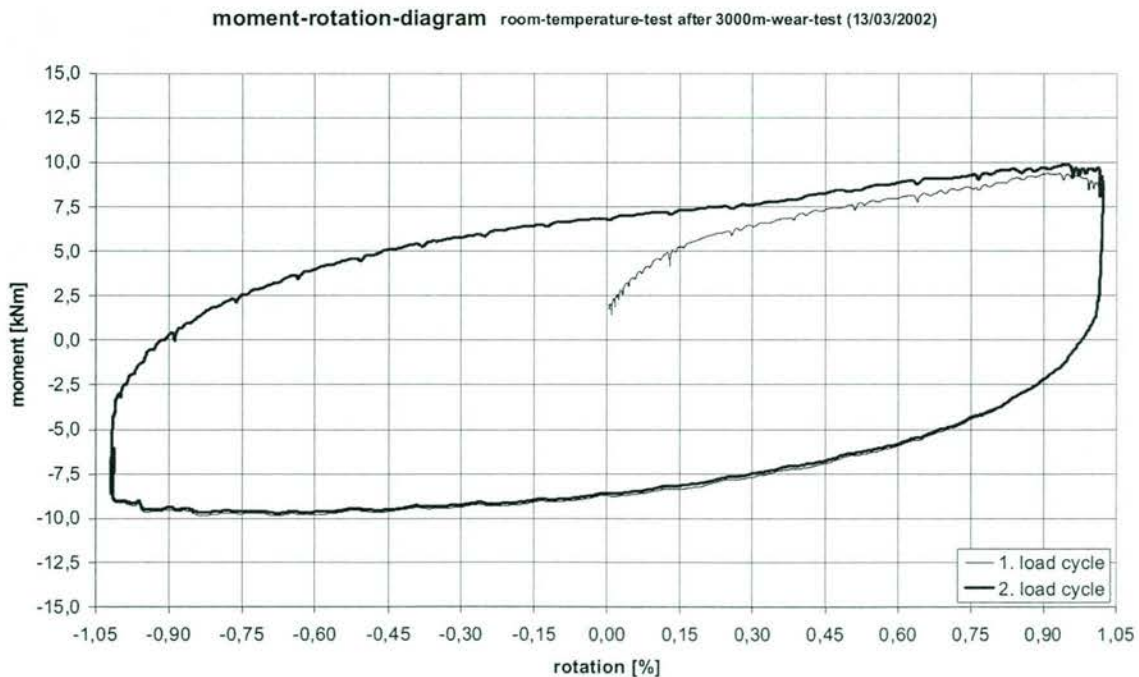


Abb. 8.24: Momenten-Kippwinkel-Hysteresen von Kippwechsel 1 und 2 ($f = 0,006 \text{ 1/s}$) im Kaltversuch A-RT2 (13/03/2002);
mittlere Elastomerpressung $p = 35 \text{ N/mm}^2$

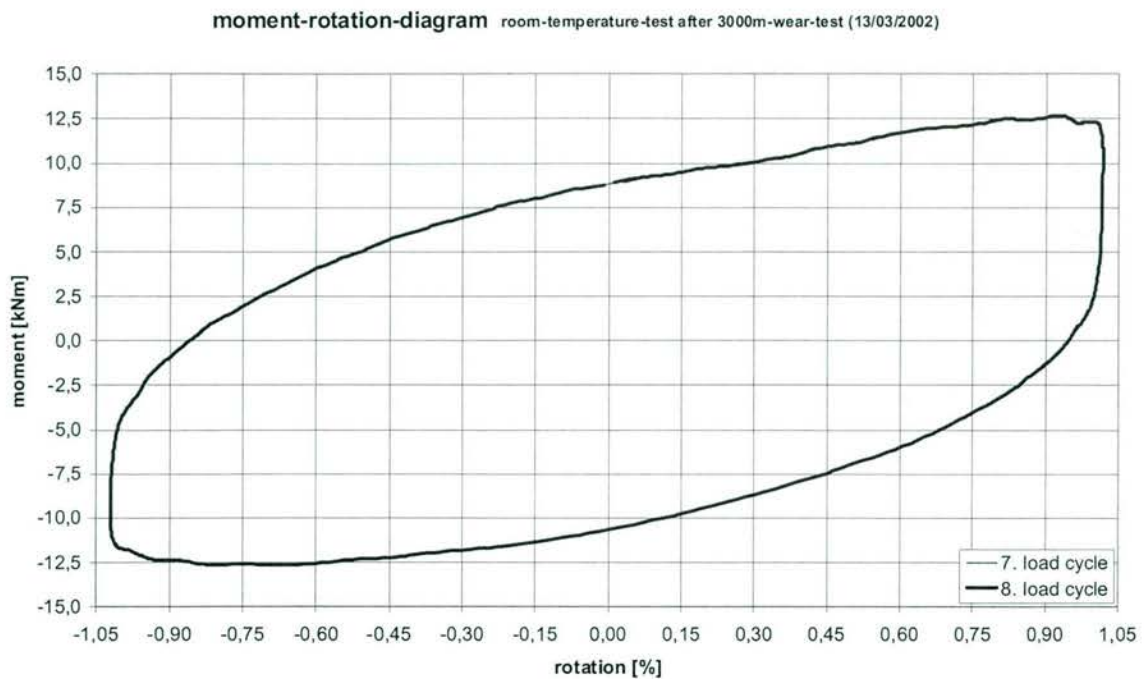


Abb. 8.25: Momenten-Kippwinkel-Hysteresen von Kippwechsel 7 und 8 ($f = 0,03 \text{ 1/s}$) im Kaltversuch A-RT2 (13/03/2002);
mittlere Elastomerpressung $p = 35 \text{ N/mm}^2$

ANLAGE 9

Fotos:

Zustand einzelner Lagerkomponenten nach Durchführung der Zusatzversuche (3000 m-Verschleißversuch und Kurzzeit-Kippversuche A-RT 1, A-LT und A-RT 2)

Ist-Abmessungen:

- UHMWPE-Topflager-Innendichtung
- UHMWPE-Verstärkungsring des Gleitlagers

nach einzelnen Versuchen

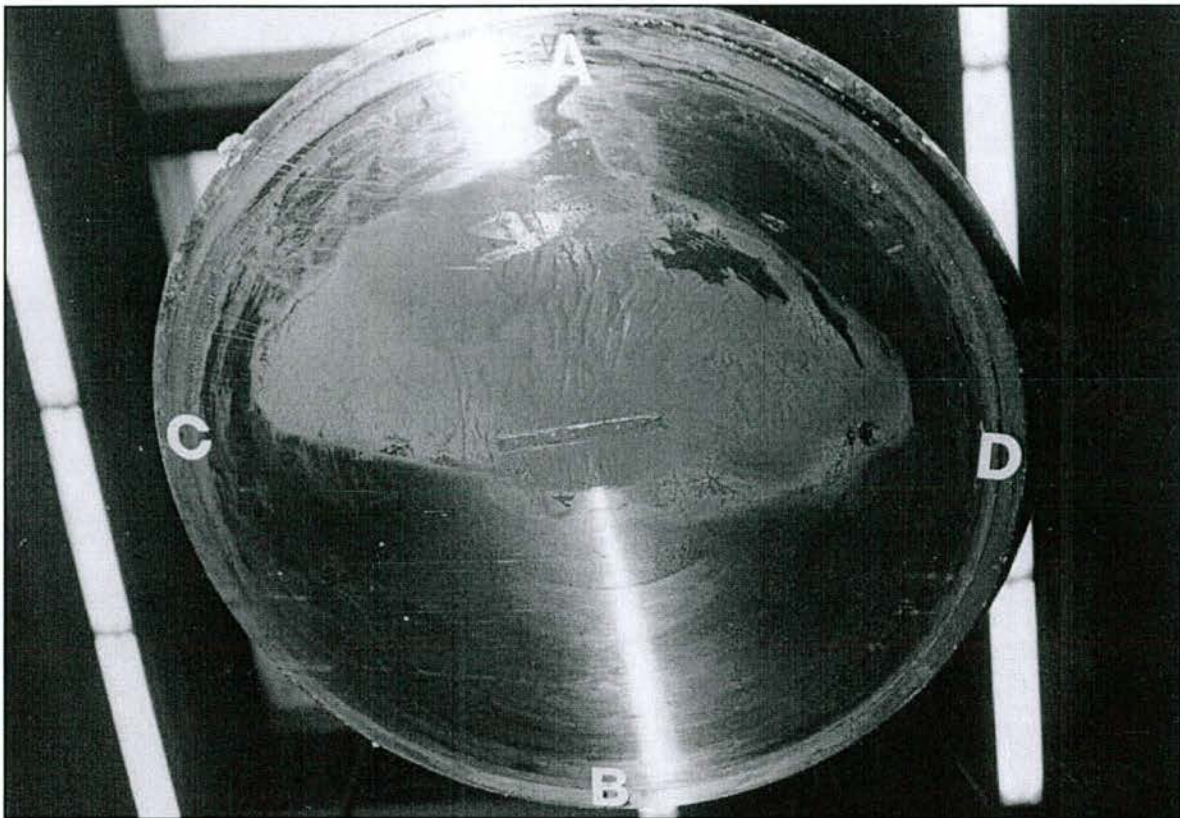


Abb. 9.1: Deckelunterseite nach Durchführung der Zusatzversuche (3000 m-Verschleißtest und Kurzzeit-Kippversuche)



Abb. 9.2: Topf mit Elastomerkissen und Innendichtung nach Durchführung der Zusatzversuche (3000 m-Verschleißtest und Kurzzeit-Kippversuche)

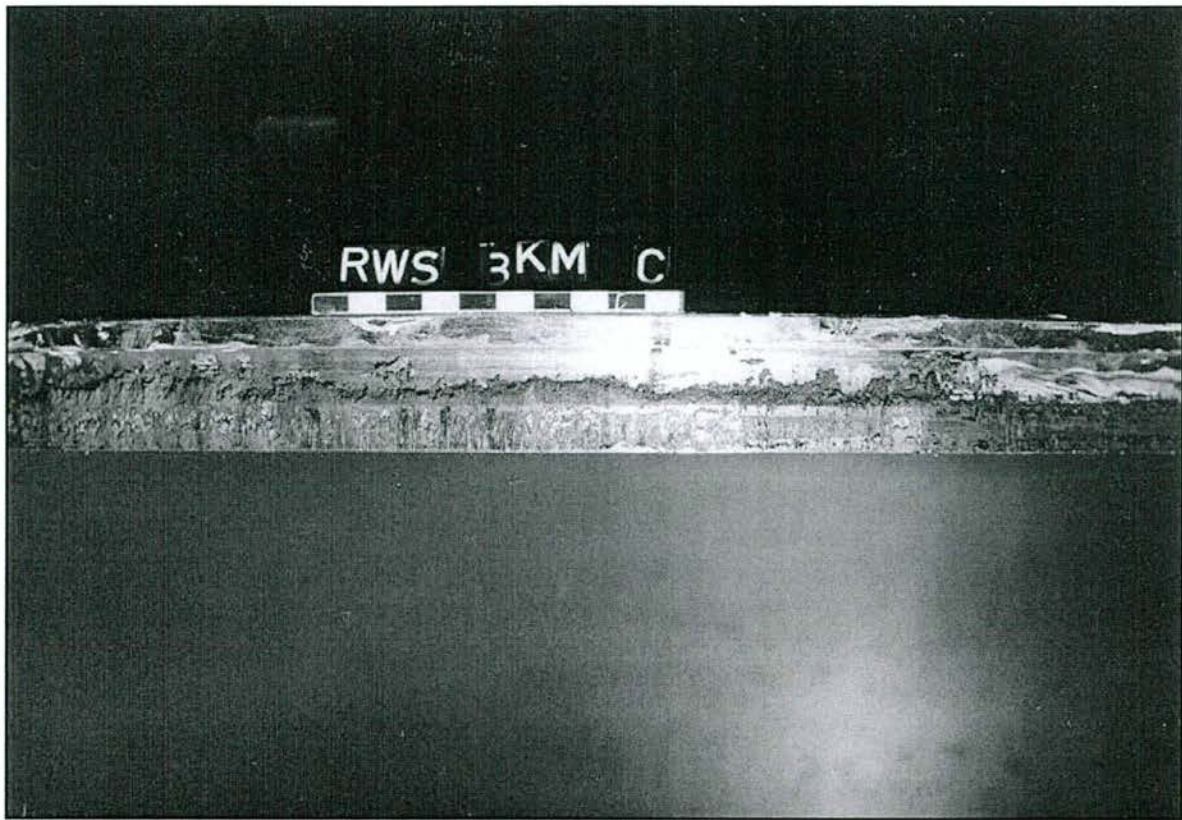


Abb. 9.3: Deckelbund an der Stelle C (in Kipprichtung)

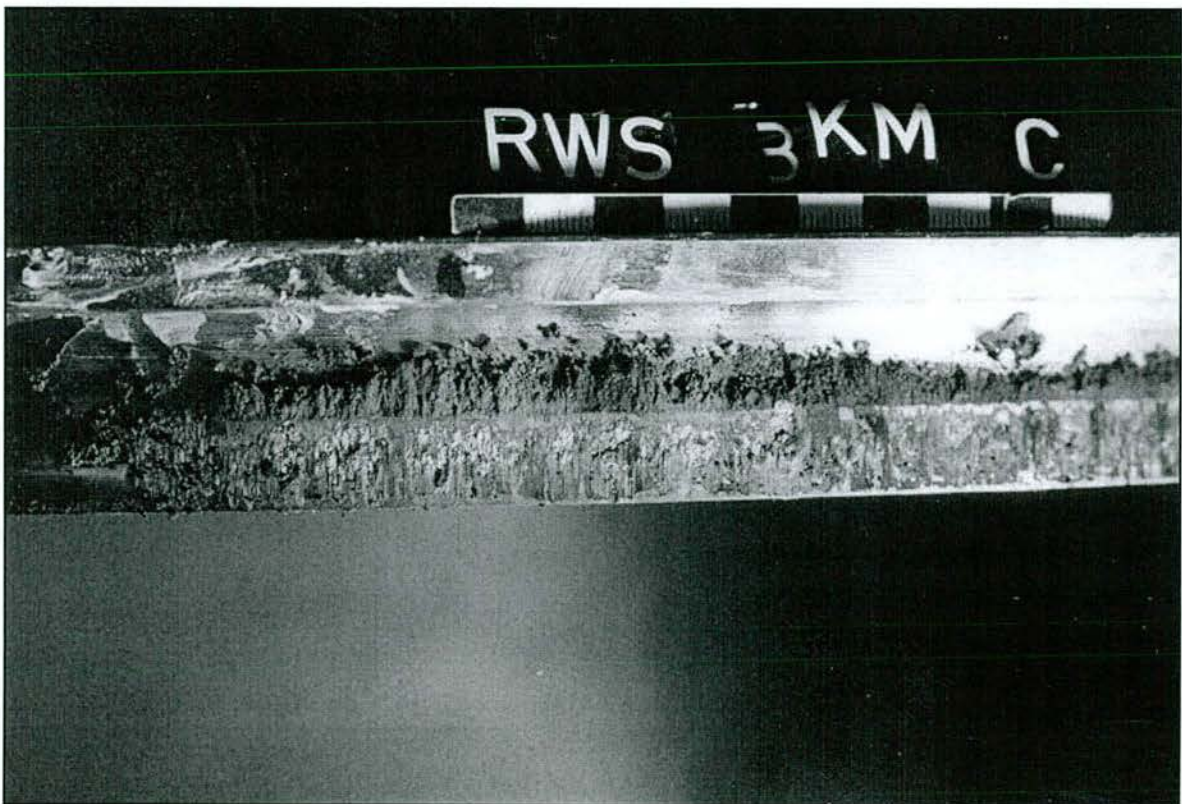


Abb. 9.4: Deckelbund an der Stelle C (in Kipprichtung)

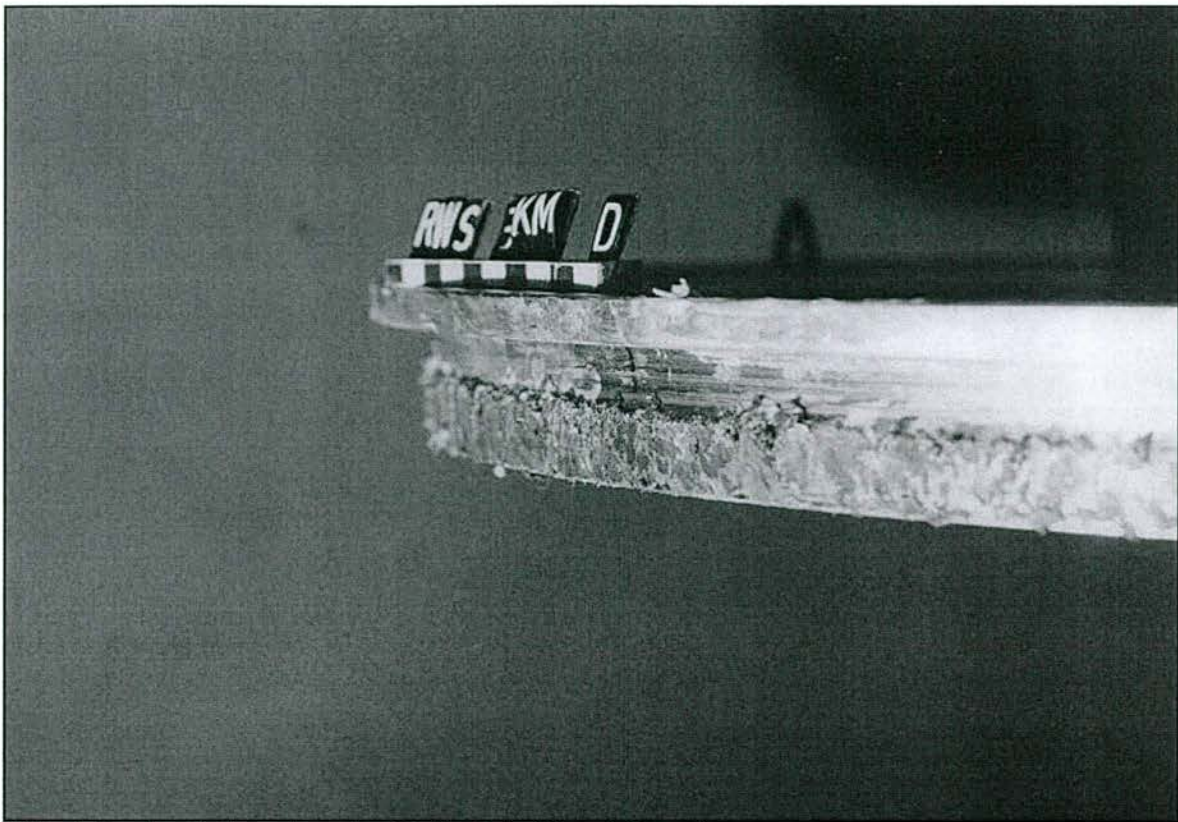


Abb. 9.5: Deckelbund an der Stelle D (in Kipprichtung)



Abb. 9.6: Deckelbund an der Stelle D (in Kipprichtung) nach örtlichem Säubern mit einem Lappen



Abb. 9.7: Topf mit Elastomerkissen und UHMWPE-Innendichtung an der Stelle C (in Kipp-
richtung)

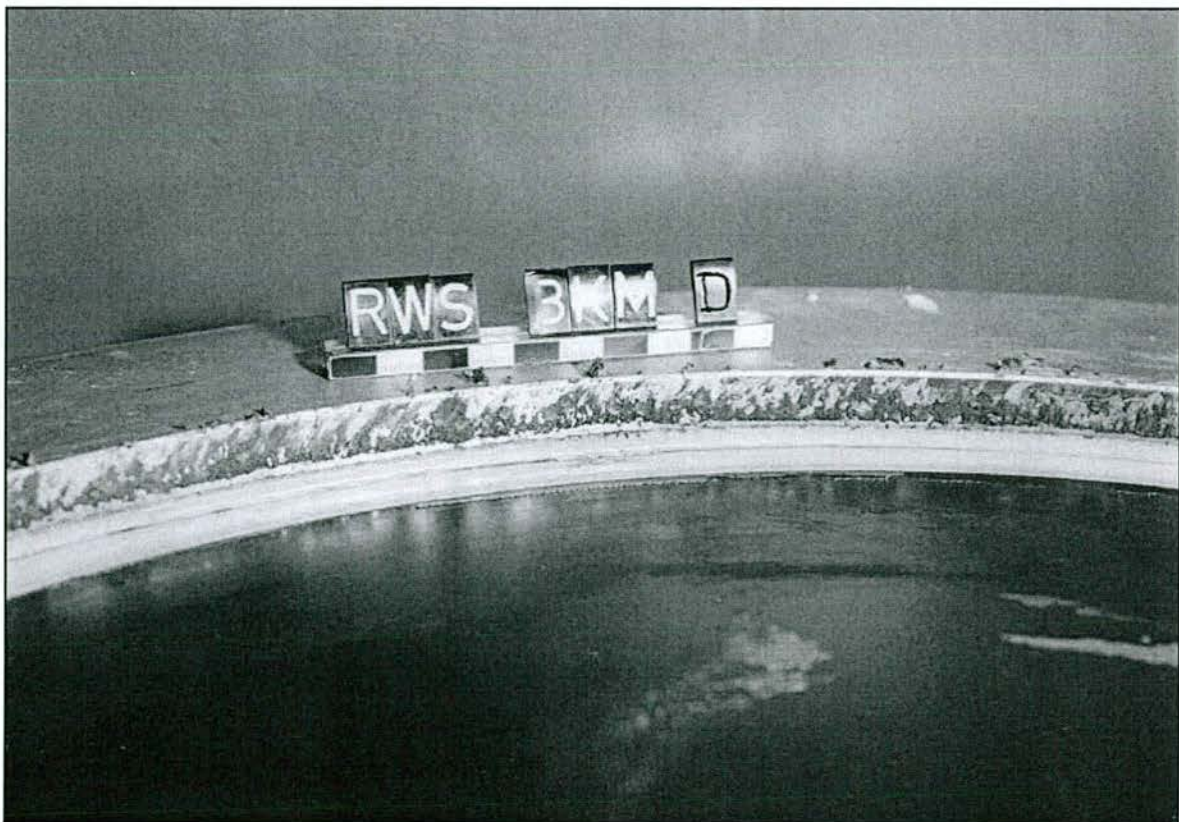


Abb.9.8: Topf mit Elastomerkissen und UHMWPE-Innendichtung an der Stelle C (in Kipp-
richtung)



Abb. 9.9: Topf mit Elastomerkissen an der Stelle C (in Kipprichtung) nach Ausbau der UHMWPE-Innendichtung



Abb. 9.10: Topf mit Elastomerkissen an der Stelle C (in Kipprichtung) nach Ausbau der UHMWPE-Innendichtung



Abb. 9.11: Topf mit Elastomerkissen an der Stelle D (in Kipprichtung) nach Ausbau der UHMWPE-Innendichtung



Abb. 9.12: Topf mit Elastomerkissen an der Stelle D (in Kipprichtung) nach Ausbau der UHMWPE-Innendichtung

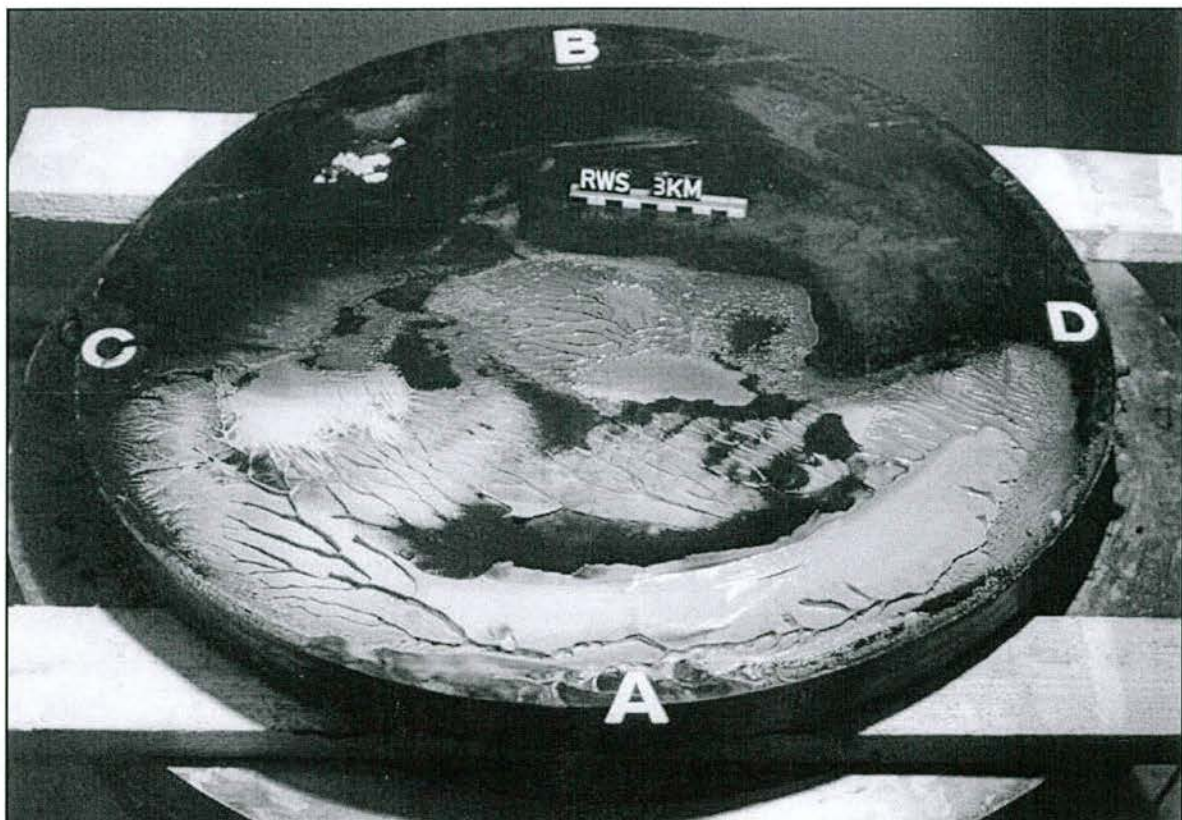


Abb. 9.13: Unterseite des Elastomerkissens nach Ausbau der Gummironde aus dem Topf



Abb. 9.14: Lagertopf nach Ausbau der UHMWPE-Innendichtung und des Elastomerkissens



Abb. 9.15: Lagertopf nach Ausbau des Elastomerkissens:
Kontaktflächen des Deckelbunds und der UHMWPE-Innendichtung an der
inneren Topfwand bei C (in Kipprichtung)



Abb. 9.16: Lagertopf nach Ausbau des Elastomerkissens:
Kontaktflächen des Deckelbunds und der UHMWPE-Innendichtung an der
inneren Topfwand bei C (in Kipprichtung)

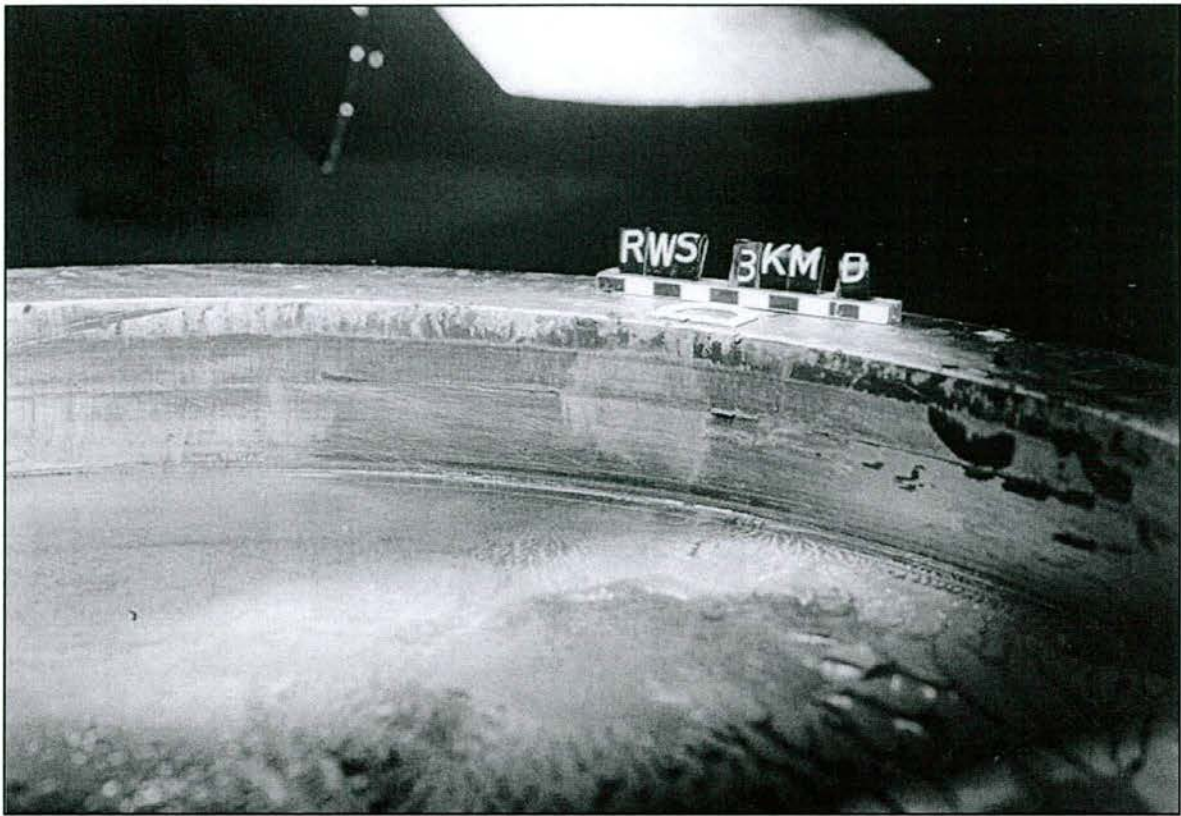


Abb. 9.17: Lagertopf nach Ausbau des Elastomerkissens:
Kontaktfläche der UHMWPE-Innendichtung bei D (in Kipprichtung)

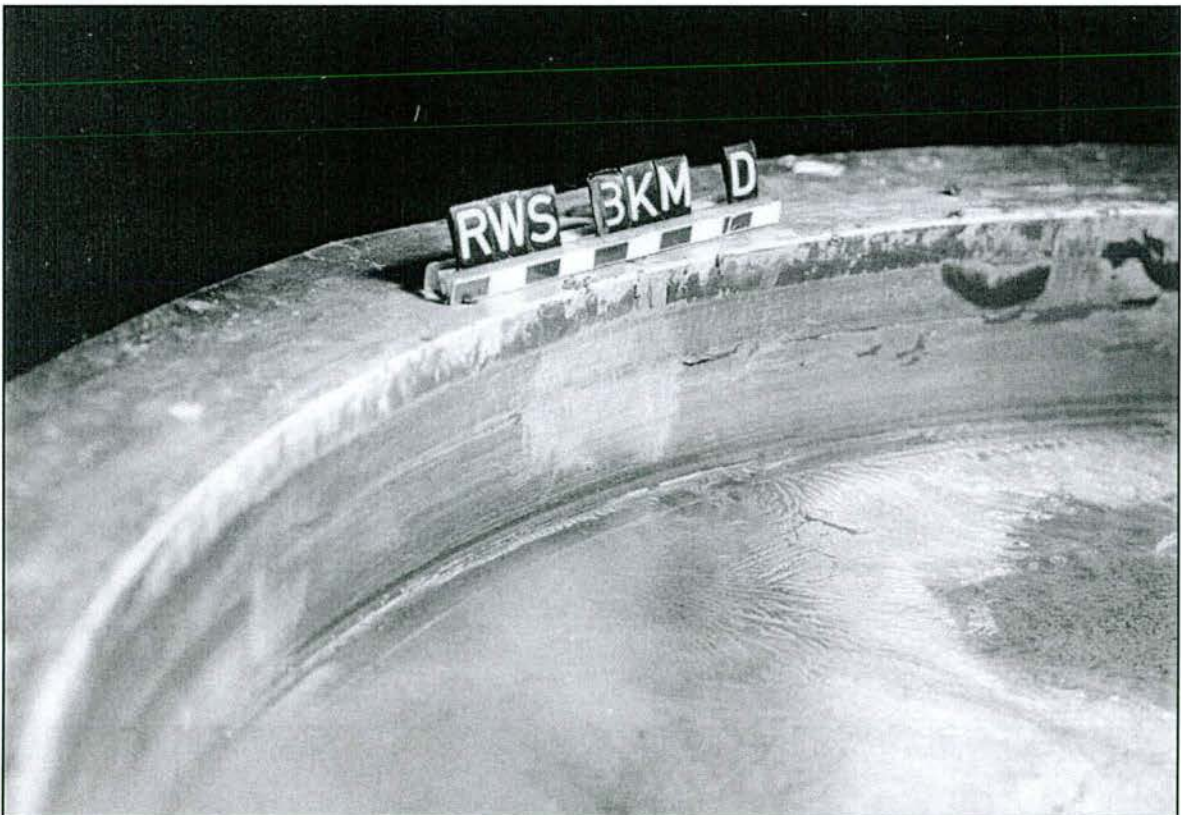


Abb. 9.18: Lagertopf nach Ausbau des Elastomerkissens:
Kontaktfläche der UHMWPE-Innendichtung bei D (in Kipprichtung)

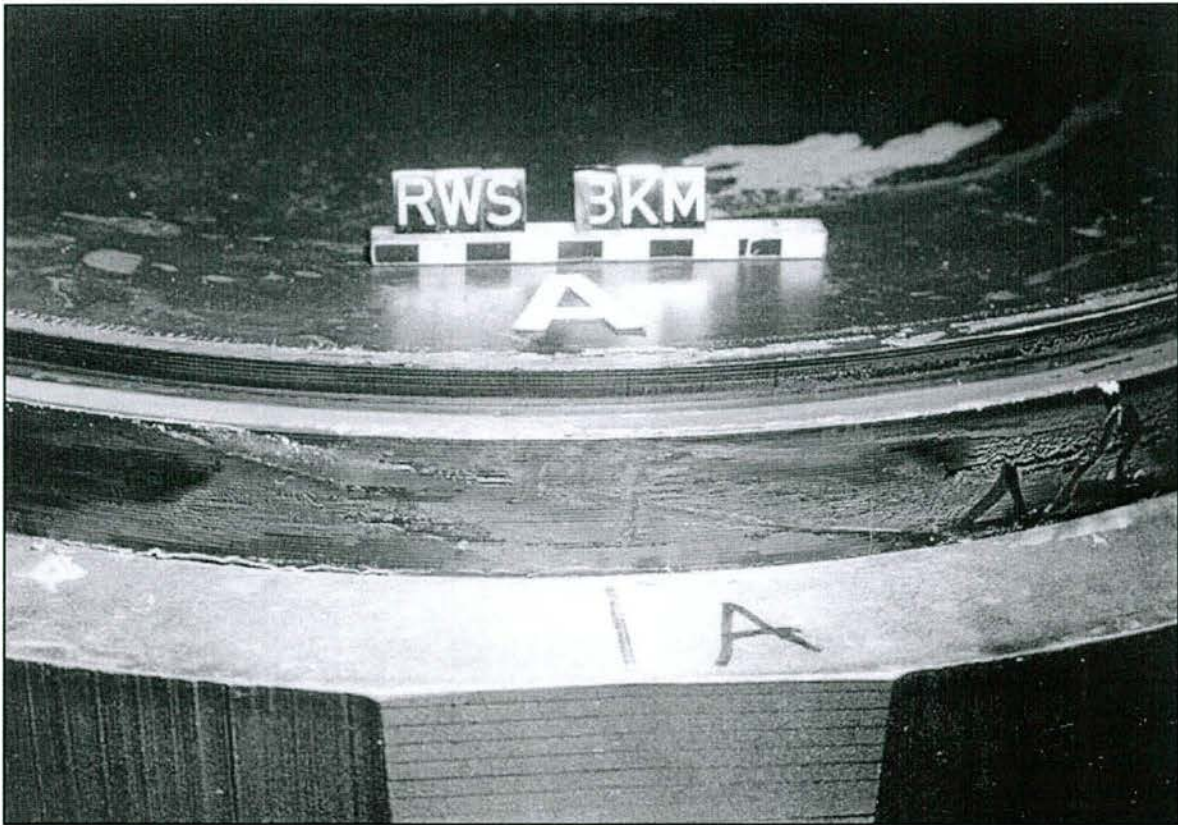


Abb. 9.19: Elastomerkissen nach Ausbau aus dem Topf:
Detailaufnahme des Rondenrands bei A (in Kippachse)

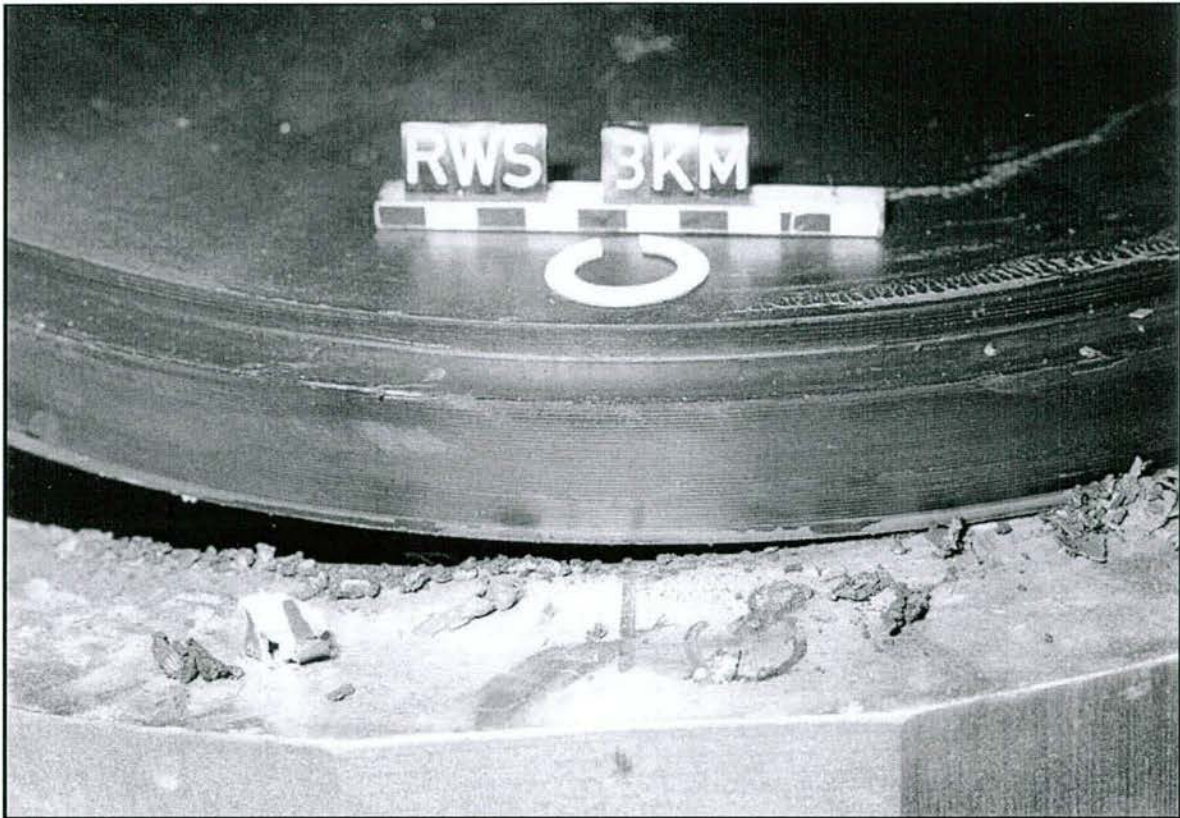


Abb. 9.20: Elastomerkissen nach Ausbau aus dem Topf:
Detailaufnahme des Rondenrands bei C (in Kipprichtung)



Abb. 9.21: Elastomerkissen nach Ausbau aus dem Topf:
Detailaufnahme des Rondenrands bei C (in Kipprichtung)



Abb. 9.22: Elastomerkissen nach Ausbau aus dem Topf:
Detailaufnahme des Rondenrands bei D (in Kipprichtung)



Abb. 9.23: Elastomerkissen nach Ausbau aus dem Topf:
Detailaufnahme des Rondenrands bei D (in Kipprichtung)

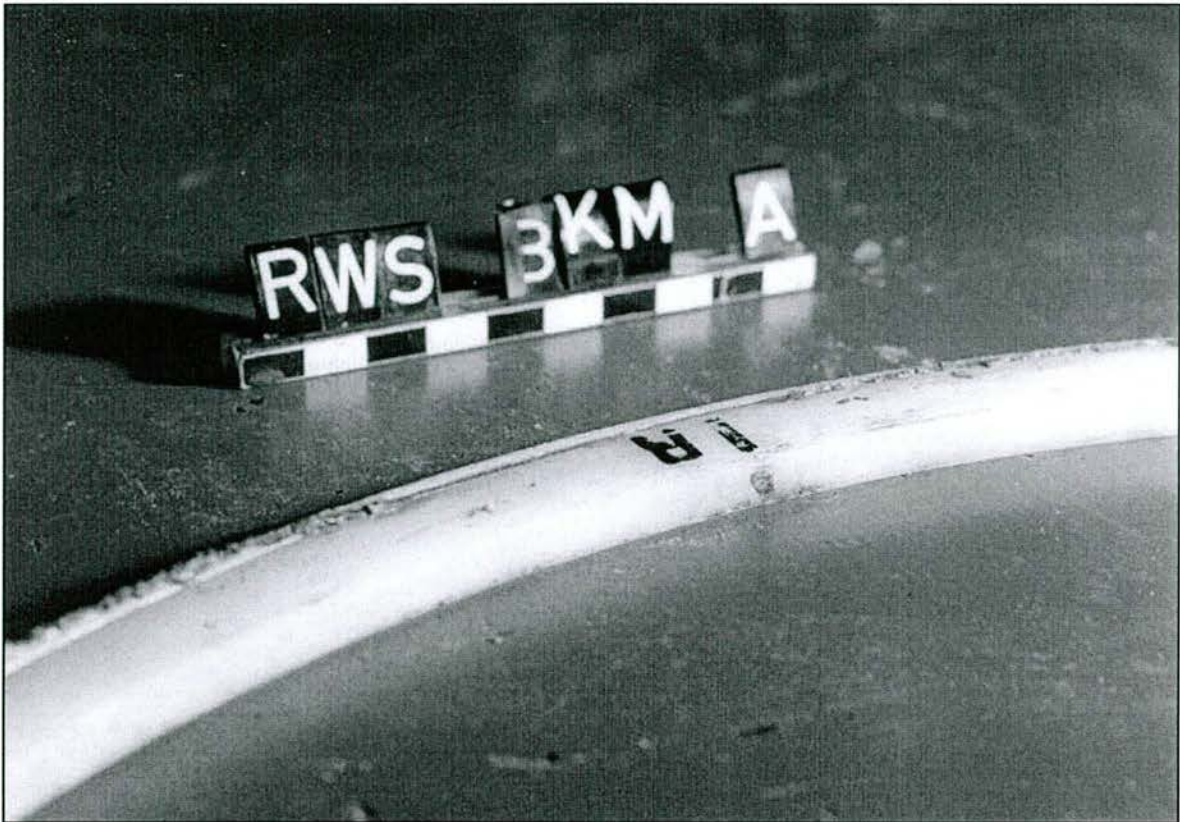


Abb. 9.24: UHMWPE-Innendichtung bei A (in Kippachse)

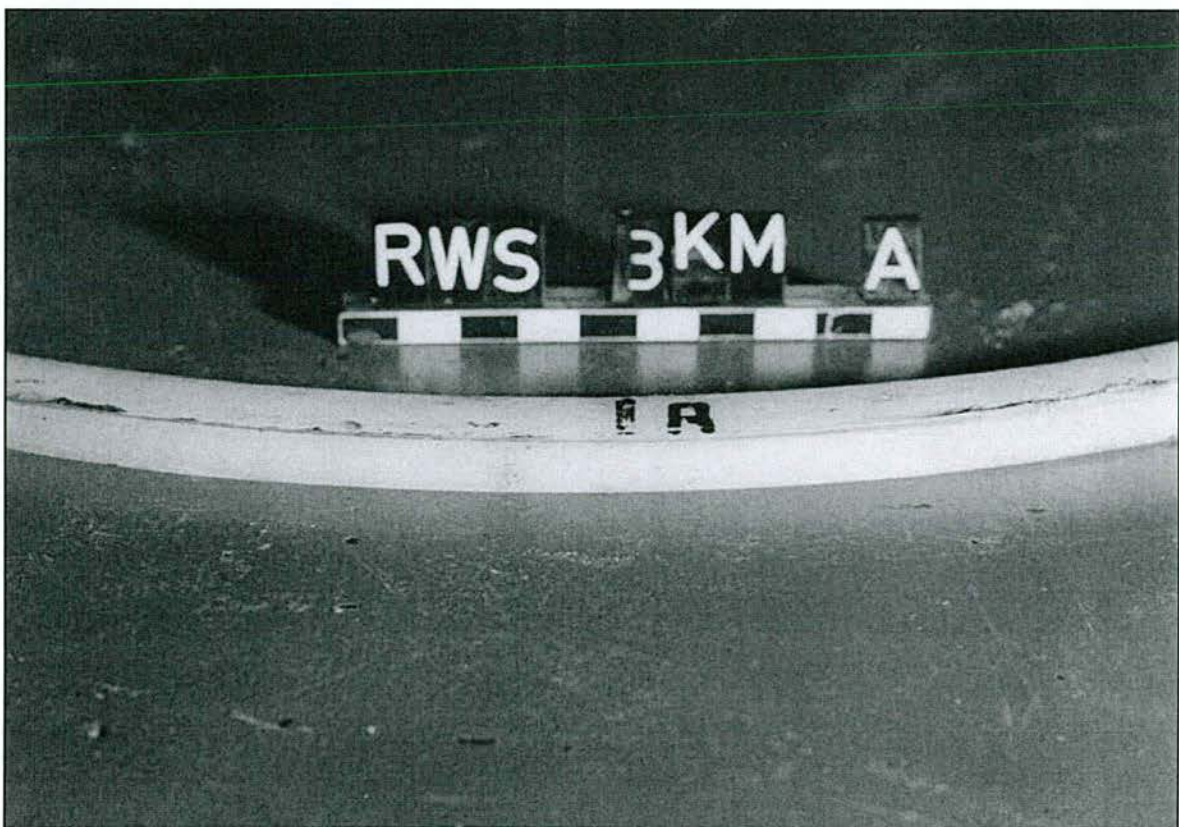


Abb. 9.25: UHMWPE-Innendichtung bei A (in Kippachse)



Abb. 9.26: UHMWPE-Innendichtung mit geringer Wulstbildung bei C (in Kipprichtung)

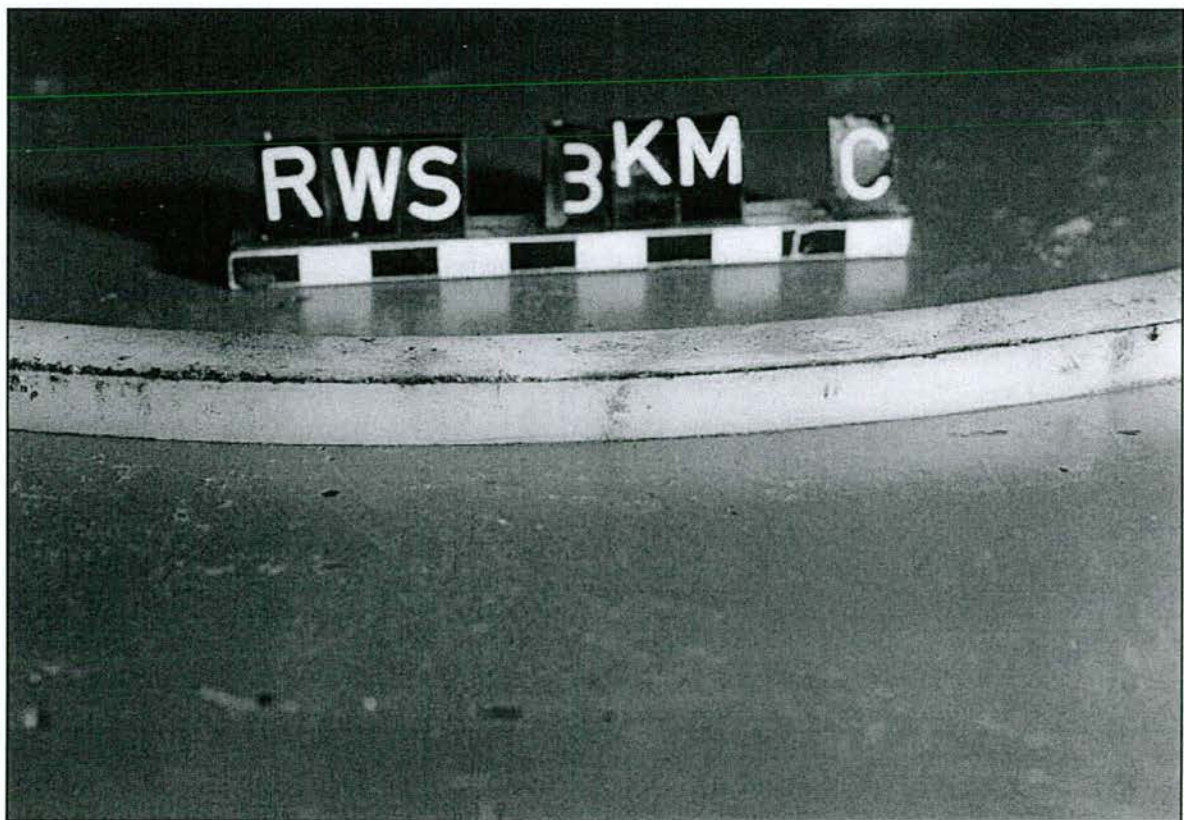


Abb. 9.27: UHMWPE-Innendichtung mit geringer Wulstbildung bei C (in Kipprichtung)

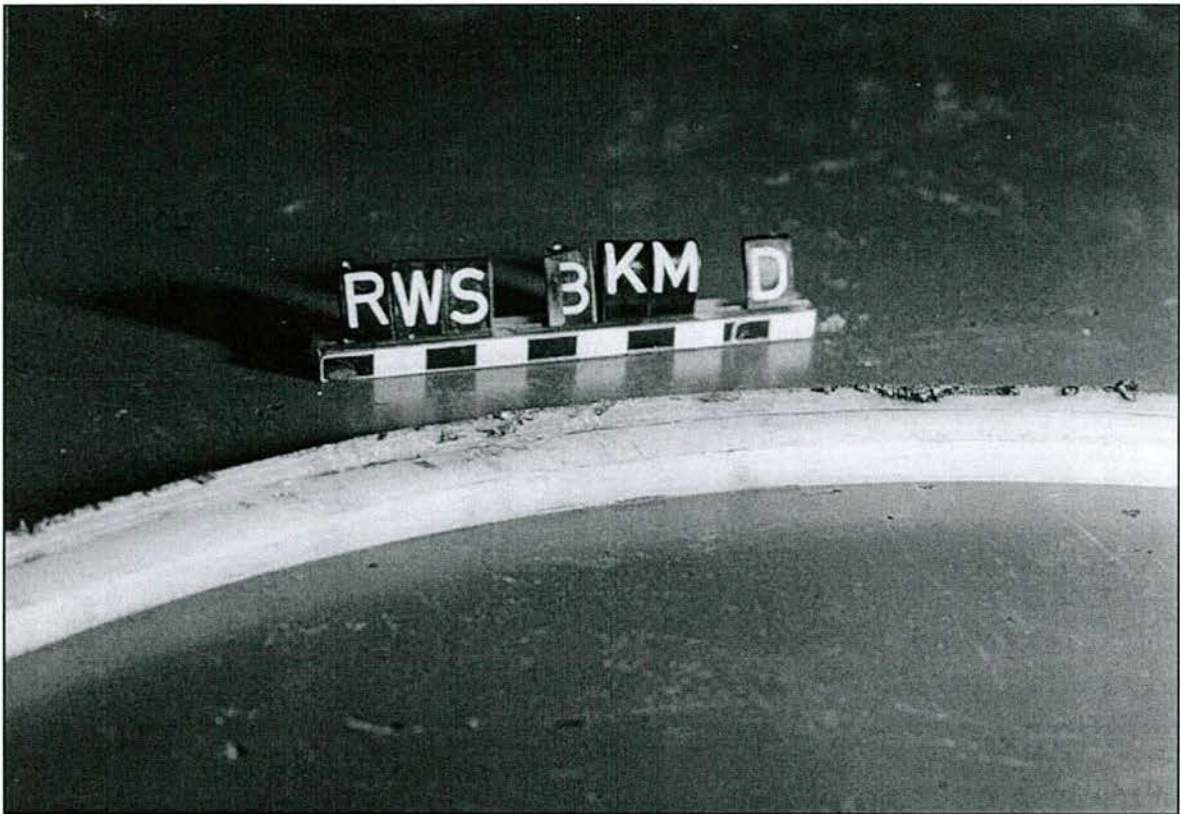


Abb. 9.28: UHMWPE-Innendichtung mit starker Wulstbildung bei D (in Kipprichtung)



Abb. 9.29: UHMWPE-Innendichtung mit starker Wulstbildung bei D (in Kipprichtung)

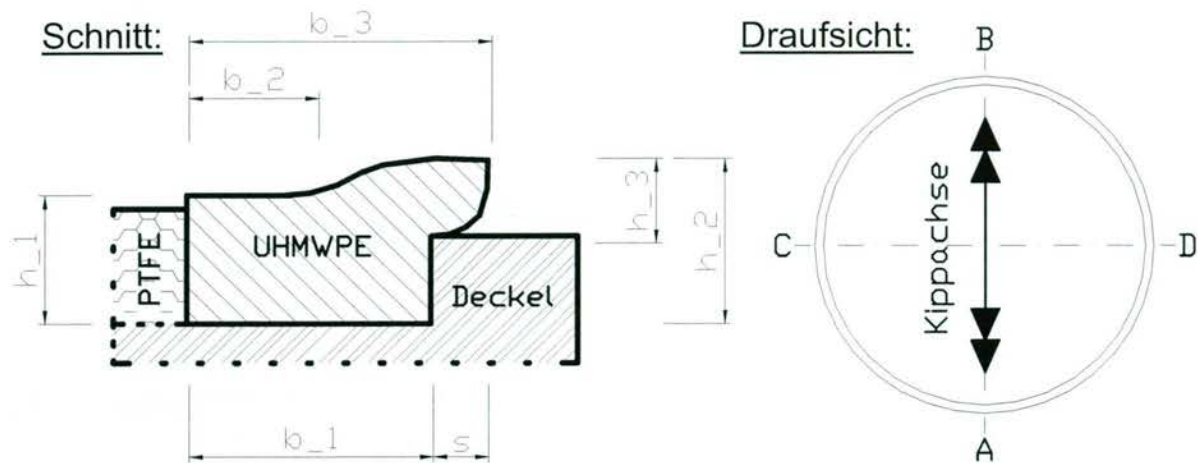


Abb. 9.30: Wulstbildung, Bezeichnungen der Abmessungen und Messstellen des UHMWPE-Verstärkungsringes im Gleitteil

	Measurements after LT-/ RT-Test (unlubricated pot bearing)				Measurements after 2000m-Wear-Test			
	A	B	C	D	A	B	C	D
h₁	-	-	-	-	8,3	8,3	8,3	8,2
h₂	-	-	-	-	8,7	8,6	8,7	8,8
h₃	-	-	-	-	3,5	3,6	3,6	3,6
s	0,3	0,3	0,6	0,6	1,4	1,6	1,4	1,5
b₁	15,0	15,0	15,1	15,1	14,8	14,9	14,6	14,6
b₂	-	-	-	-	11,5	11,0	10,8	11,5
b₃	15,3	15,3	15,7	15,7	16,1	15,9	16,0	16,2
Unit	[mm]							
dimensions prior to tests: h ₁ x b ₁ = 8,4 x 15,0 mm								

Tab. 9.1: Zusammenstellung der Abmessungen des UHMWPE-Verstärkungsringes nach Beendigung der einzelnen Versuche (Bezeichnungen und Messstellen siehe Abb. 9.30)

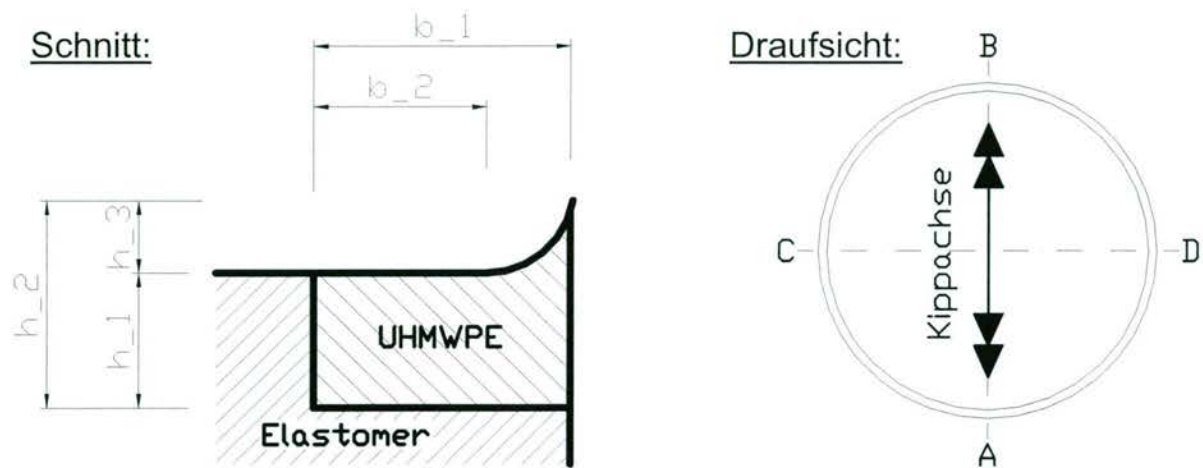


Abb. 9.31: Wulstbildung, Bezeichnungen der Abmessungen und Messstellen der UHMWPE-Topflager-Innendichtung

	Measurements after															
	LT-/ RT-Tests (unlubricated pot bearing)				2000m-Wear-Test				Static-Load-Test				3000m-Wear-Test and additional tests			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
h_1	8,4	8,3	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,5	8,4	8,4	8,4	8,5	8,4	8,4	8,5	8,4
h_2	8,5	8,6	9,1	9,2	8,9	8,8	9,1	9,3	9,2	9,6	9,0	12,1	9,5	9,6	8,6	12,0
h_3	0,1	0,3	0,7	0,8	0,5	0,4	0,7	0,8	0,8	1,2	0,6	3,6	1,1	1,2	0,1	3,6
b_1	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,9	14,8	14,8	15,0	14,9	14,9	15,0	14,8	14,8	15,0	15,1
b_2	-	-	-	-	-	-	-	-	14,4	14,4	14,5	13,5	14,4	14,6	14,0	14,0
Unit	[mm]															
dimensions prior to tests: $h_1 \times b_1 = 8,5 \times 14,9$ mm																

Tab. 9.2: Zusammenstellung der Abmessungen der UHMWPE-Topflager-Innendichtung nach Beendigung der einzelnen Versuche (Bezeichnungen und Messstellen siehe Abb. 9.31)

ANLAGE 10

In den Kurzzeit-Kippversuchen festgestellte Einflüsse auf die Rückstellmomente:

- Schmierungszustand des Topflagers
- Topflager-Temperatur
- Kippfrequenz
- Elastomerpressung

Momentenfaktoren F_0^* , F_1^* und F_2^* der Zusatzversuche

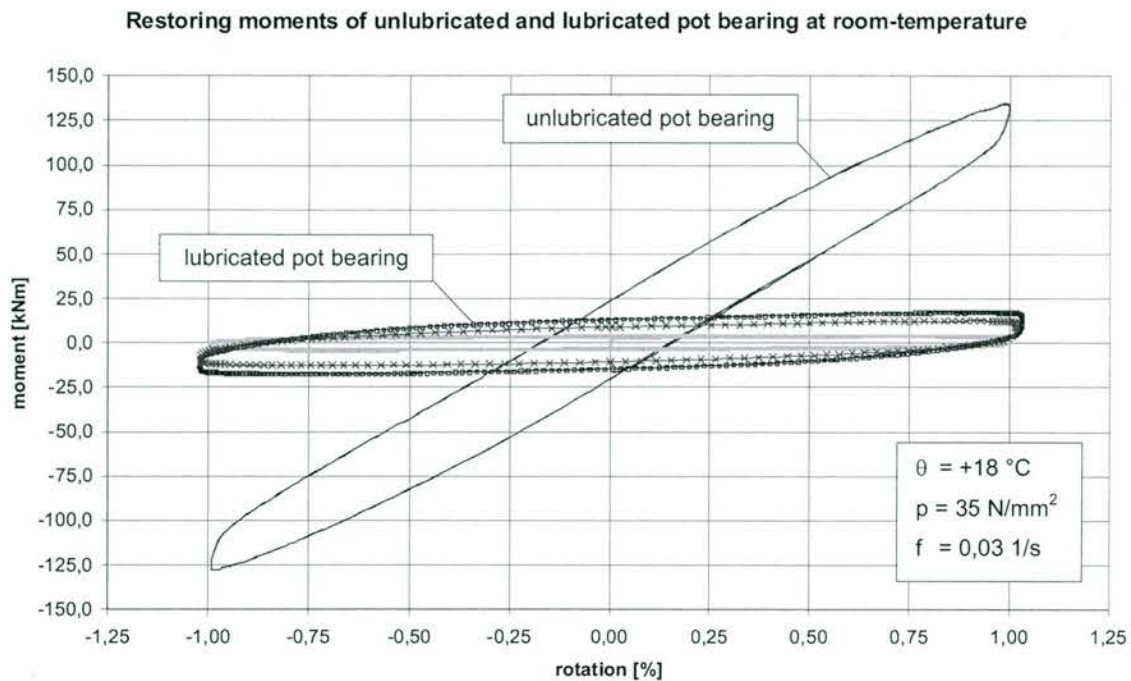


Abb. 10.1: Rückstellmomente des ungeschmierten und geschmierten Topflagers bei Raumtemperatur

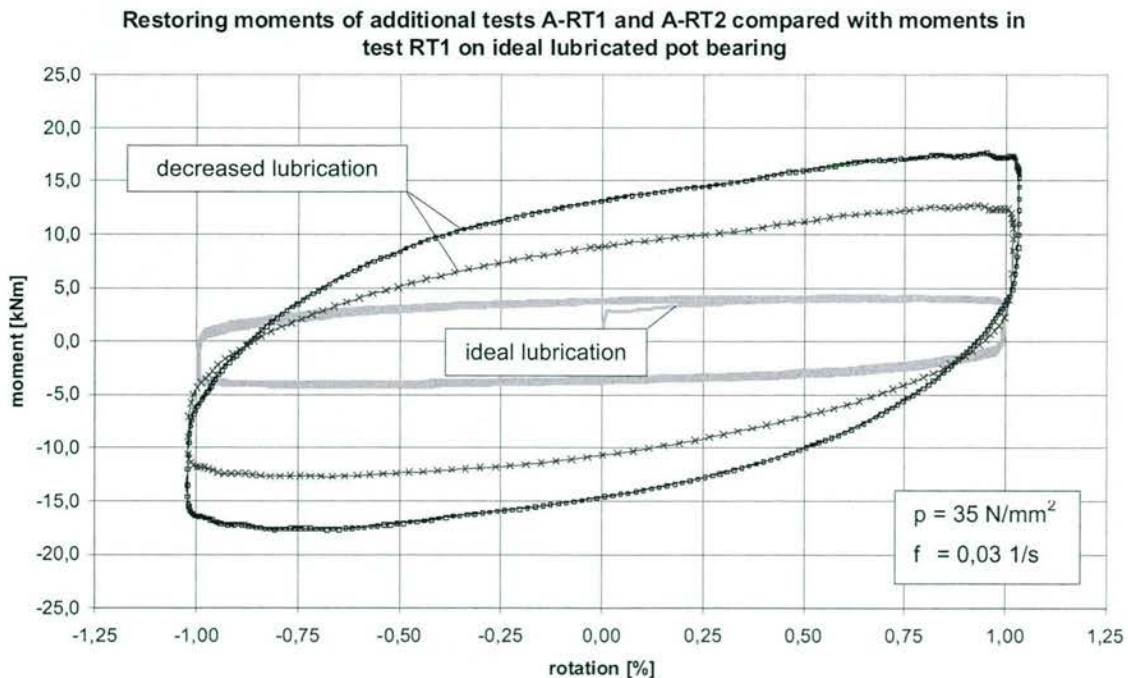


Abb. 10.2: Rückstellmomente der Zusatzversuche A-RT1 und A-RT2 am Topflager mit verminderter Schmierwirkung im Vergleich zu den Momenten des Versuchs RT1 am „ideal“ geschmierten Topflager

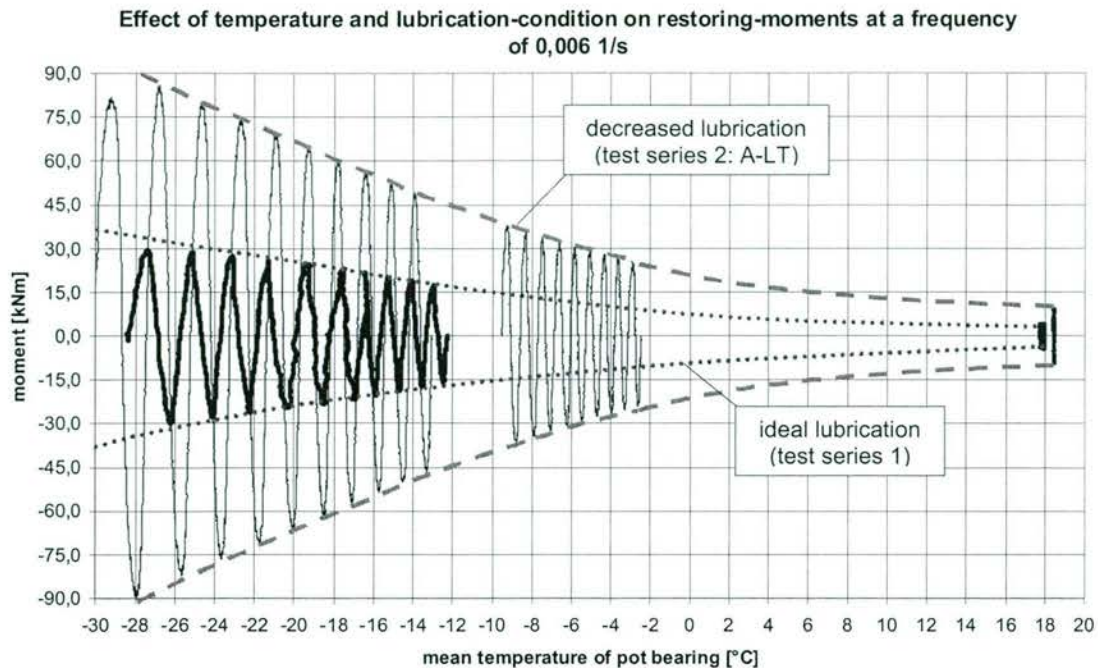


Abb. 10.3: Einfluss der mittleren Topflager-Temperatur und des Schmierungs Zustands auf die Rückstellmomente bei einer Kippfrequenz von $f = 0,006 \text{ 1/s}$

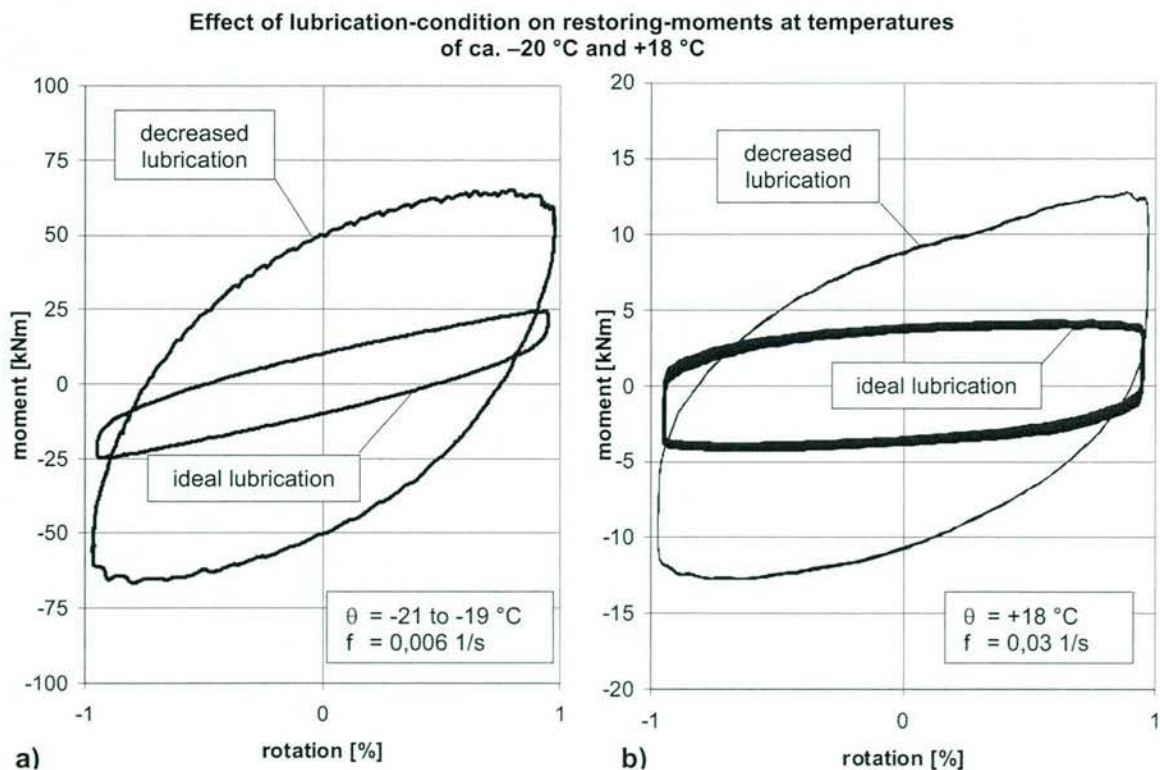


Abb. 10.4a)+b): Einfluss des Schmierungs Zustands auf die Rückstellmomente bei einer mittleren Topflager-Temperatur von ca. -20°C und $+18^\circ\text{C}$

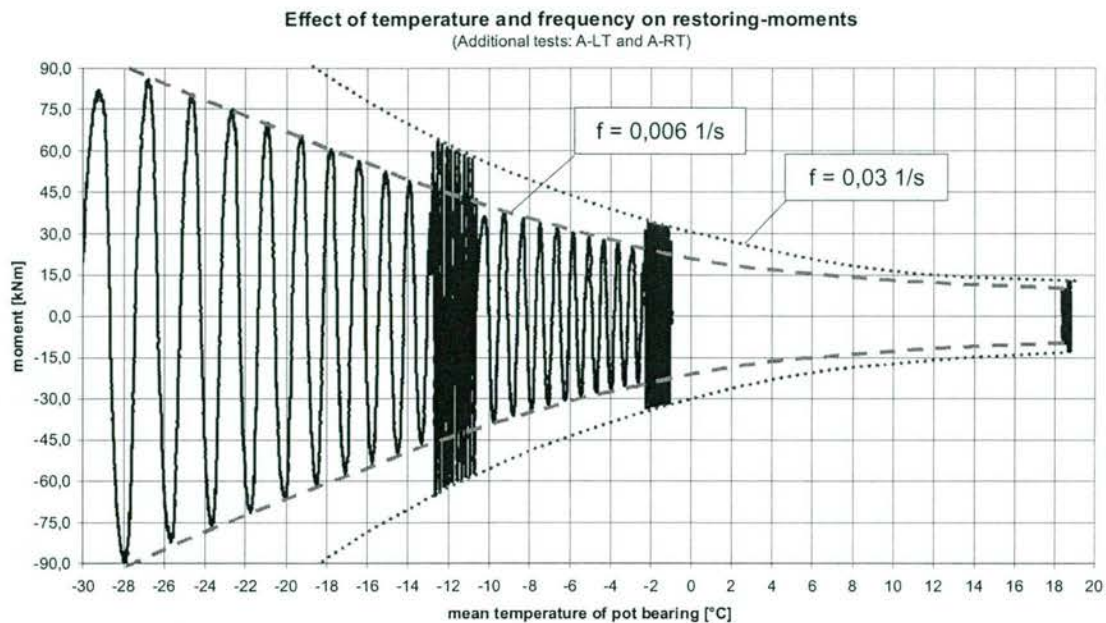


Abb. 10.3: Einfluss der mittleren Topflager-Temperatur und der Kippfrequenz f auf die Rückstellmomente

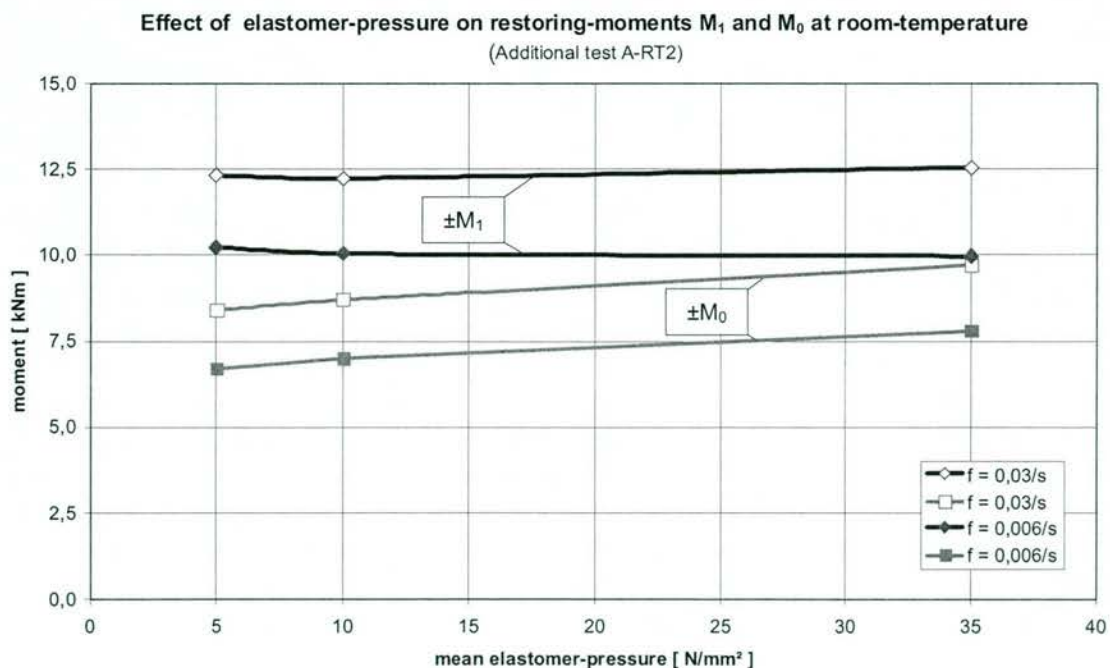


Abb. 10.6: Einfluss der mittleren Elastomerpressung und der Kippfrequenz f auf die Momente M_0 und M_1 bei Raumtemperatur

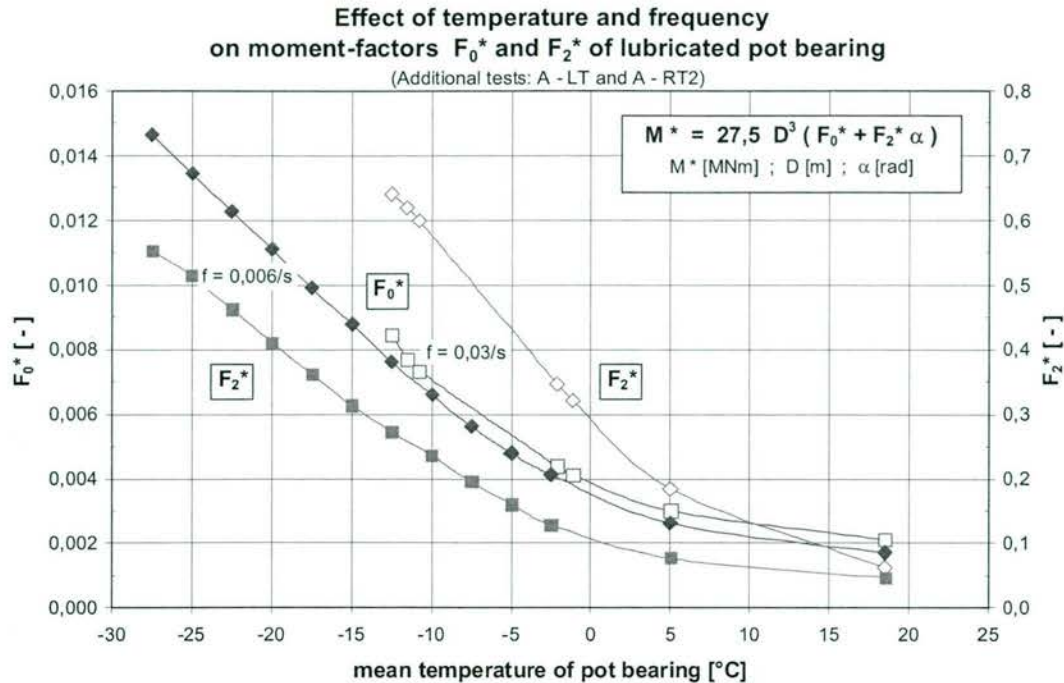


Abb. 10.7: Einfluss der mittleren Topflager-Temperatur und der Kippfrequenz f auf die Momenten-Faktoren F_0^* und F_2^* des Topflagers mit verminderter Schmierung

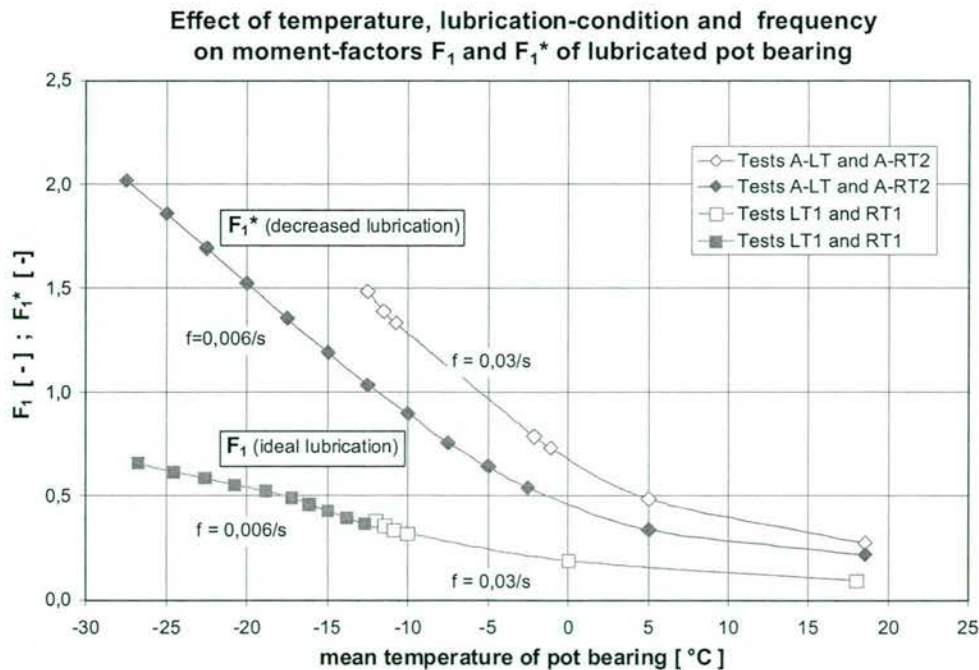


Abb. 10.6: Einfluss der mittleren Topflager-Temperatur und der Kippfrequenz f auf den Momenten-Faktor F_1 bei idealer Schmierung und F_1^* bei verminderter Schmierung des Topflagers

ANNEX

40 Seiten

ANNEXVERZEICHNIS

Annex 1	Pot Bearing for Testing	1-9
	- Requirements corresponding and in addition to EN 1337-2 and (draft) EN 1337-5. Drafted by RWS	
Annex 2	Testing of a pot bearing with UHMWPE extrusion seal	1-5
	- General information and Test Plan. Drafted by RWS	
Annex 3	Konstruktionspläne des Versuchslagers	1-7
	- Aufsteller / Hersteller: Federal Mogul - Sollinger Hütte GmbH	
Annex 4	Kontrollblatt Federal Mogul Sollinger Hütte GmbH	1
Annex 5	Abnahmebescheinigung für das Versuchslager	1
	- Bescheinigung über die Abnahmeprüfung durch die MPA STUTTGART	
Annex 6	Prüfzeugnisse einzelner Lagerkomponenten-Werkstoffe	1-17
	- Stahl	1
	- Gleitblech	7
	- Elastomer	12
	- UHMWPE	13
	- PTFE	14
	- Schmierstoff	16

ANNEX 1

POT BEARING FOR TESTING

Requirements corresponding and in addition to EN 1337-2 and (draft) EN 1337-5

Annex 1
Agreement Nr. BDN – 6128
Project Code – 3962K5

POT BEARING FOR TESTING

Requirements corresponding and in addition to EN 1337-2 and (draft) EN 1337-5.

PBMS: 3962K

Drafted by: J. S. Leendertz, Rijkswaterstaat (RWS)

Commission nr: , Annex 1

1. General

In many cases pot bearings suffer from extrusion of rubber because of the wear capacity of the seal. More and more pot bearings include seals which show a higher wear capacity than the seals of the past. Recently the Ministry of Transport of the Netherlands has tested modified sliding elements which include the use of Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE) that showed to have a good wear resistance. In hydraulic steel structures e.g. Lock doors for ship locks and other applications showed a good wear resistance as well. The objective of this test is to find a seal that at low cost shows a reliable performance over a long period of time.

Due attention shall be paid to the material certificates and reports from manufacturing given below. The tolerances and roughnesses are given with minimum and maximum values

2. Test bearing with UHMWPE-seal

This research project investigates the suitability of UHMWPE seals for pot bearings. One complete pot bearing will be manufactured with an additional elastomeric pad, including a seal and a separate austenitic steel sheet, which can serve as a sliding element in the testing machine.

2. Bearing dimensions and capacity

2.1 Design

Fig. 1 shows a cross section of the bearing. Other dimensions than the given ones are to be determined by the manufacturer. Detail 1 refers to 2.2.2 and detail 2 refers to 2.1.3.

POT BEARING

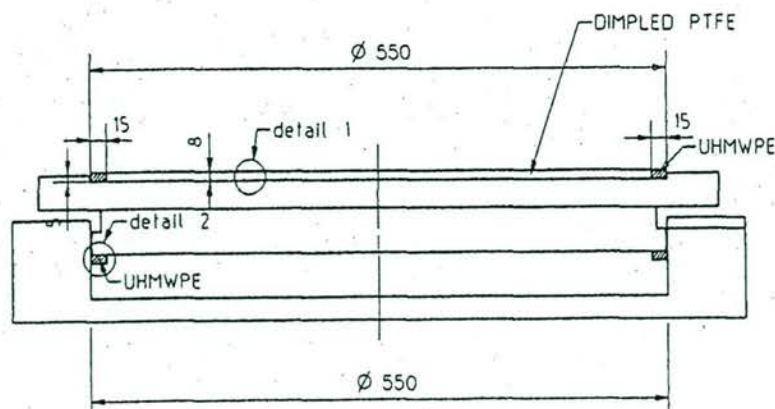


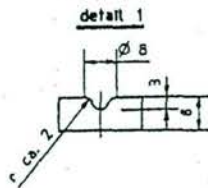
Fig. 1 Section of pot bearing with sliding element

Commission nr:, Annex 1

2.1.1 Pot

The pot shall have a inner diameter of 550mm.
The rubber pad shall have a thickness of 37mm'.

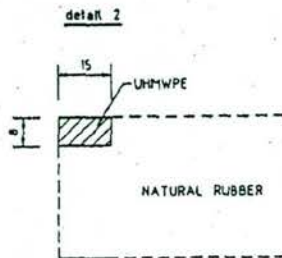
2.1.2 Piston with sliding element



The piston shall include a sliding element comprising dimpled PTFE with a thickness of 8mm, an UHMWPE seal thick 8mm, wide 15mm. The dimples in the PTFE shall have a depth of 3mm, the edges shall not be sharp, but rounded with a radius of approx. 2mm see Fig.3.

Fig.2 Section of dimpled PTFE

2.1.3 UHMWPE anti extrusion seal



The extrusion of the rubber shall be prevented by a seal made from UHMWPE, wide 15mm, thick 8mm, see Fig. 3 The seal shall be made from 1 piece and have no slits or splices.

Fig.3 Anti extrusion seal

2.1.4 Fit between piston and pot.

The total clearance between the piston and the pot shall amount 0.8mm
($D_{\text{piston}} - D_{\text{pot}} = 0.8\text{mm}$)

Commission nr:, Annex 1

2.2 Loads and movements

Type of test	Load/Imposed rotation	Load/pressure	Movement/rotation
Wear test	Vertical working load at beginning of wear test (pressure)	35N/mm ²	-0.0035 rad./ +0.0035 rad.
	Horizontal working load <i>for design</i>	800kN	
Static bearing test	Vertical working load (pressure)	63 N/mm ²	<u>0.03</u> rad.
Restoring moment test	Vertical working load (pressure)	35 N/mm ²	-0.010 rad./ + 0.0010 rad.

3. Material properties

The material properties shall be in accordance with the draft EN 1337-5 Pot bearings including the additional requirements as given below. As the interpretation of the test results may need full information about the materials, the material properties shall be reported as given in the tables.

3.1 Steel

Properties	Standard	Recording contractor	External test/recording
S275 or S355	EN 10025 EN 10083 EN 10113 EN 10066-2	3.1.B	Registered

3.2 Elastomeric pads

Composition	Fraction of mass.	Recording contractor	External test/recording
Natural rubber/Butadiene (60/40) for Nyhprene	≥ 60	3.1.B	
Natural rubber for "MG2"	≥ 60		
Ashes (minerals)	≥ 5		
Auxiliary materials (extractable)	≤ 15		
Soot (calculated as difference)	≤ 25		

Commission nr: , Annex 1

Mechanical Properties	Unit	Standard	Before Ageing	After Ageing	Recording contractor	External test/record in
Hardness Testpiece thickness at least 6mm	Shore A	-	50 ± 5	≤ 5	3.1.B	Test + Protocol MPA Stuttgart
Increase of Hardness from cooling 7d at -10°C	Shore A	-	≤ 10		3.1.B	-
Increase of Hardness from cooling 24h at -30°C	Shore A	-	≤ 15		3.1.B	-
Tear resistance in N/mm ² on norm bar S2 as the median from 5 Measurements	N/mm ²	-	≥ 15	≤ 15%	3.1.B	-
Tear elongation 811 on norm bar S2	%	-	≥ 500%	≤ 20%	3.1.B	-
Mass	kg.m ³	-	1060 ± 20 k /m ²		3.1.B	-
Compression test	%	-	≤ 25%		3.1.B	Protocol MPA Stuttgart
Ozone resistance in accordance with DIN 53 509 50 pphm, 100h, 23°C, 20 % elongation	-	DIN 53 509	Step D		3.1 .B from type test	-
Rheometer test	-	DIN 4141- 140:1991-01	Good compliance with type test results	-	Protocol	Test + Protocol MPA Stuttgart

3.3 PTFE

The Poly Tetra Fluor Ethylene (PTFE) sliding material shall be in accordance with draft EN 1337-2 and has to be approved by the MPA Stuttgart.

Commission nr: , Annex 1

3.4 Lubricant

A choice from two lubricants are permitted: Silicon grease e.g. "300 medium" from Fuchs or "Syntheso 8002" from Klüber.

Properties	Unit	Standard	Requirement	Recording contractor	External test/record
"Slow" penetration at 25°C in acc. with	0.1 mm	DIN 51 804	240 to 280	3.1.B	
"Fast" penetration at 251C	0.1 mm	DIN 51 804	265 to 295	≤	
Drop point in acc. with	°C	DIN 51 801, Volume 1	≥ 180	≥	
Mass fraction of oil (Oil separation after 24h at 100°C)	%	FMTS 791 B-321	≤ 3.0		
Oxidation resistance after 100h at 180°C, Fall of compression	N/mm²	DIN 51 808	≤ 0.1		
Pour-point of the oil basis	°C	DIN 51 597	below -60		
IR spectrum	-		Good compliance with type test	Protocol	Protocol MPA Stuttgart
Friction coefficient with PTFE	-		Good compliance with type test	Protocol	Test + Protocol MPA Stuttgart

Commission nr: , Annex 1

3.5 Ultra High Molecular Weight Poly Ethylene

The UHMWPE shall be virgin material, no regenerated material, without additional colorants or graphite, the origin of the material shall be GUR 412 or of equal quality.

Properties	Unit	Standard	Test specimen dimensions	Requirement	Recording contractor	External test/record
Density	g/cm ³	DIN 53 479	plate	0.94	3.1. B	Protocol MPA Stuttgart
Viscosity	ml/g	DIN 53 728	Concentration in decahydronaphtaline	1800 ± 100	3.1. B	-
Border viscosity	ml/g	-	-	1550 ± 100	3.1. B	Protocol MPA Stuttgart
Mass	g/mol	-	-	(4.4 ± 0.2)e6	3.1. B	Protocol MPA Stuttgart
Yielding (150/10)	N/mm ²	DIN 53 493	T-bone	0.15 ± 0.05	3.1. B	-
Density by shakin	-	-	Powder	> 0.4	3.1. B	-
Minimum tensile strength	N/mm ²	DIN 53 455	-	20	3.1. B	-
Tear strength	N/mm ²	DIN 53 455	Test specimen nr. 4	40	3.1. B	-
Shear elongation	%	DIN 53 455	Test specimen nr. 4	> 350	3.1. B	-
Bending stress at 3.5 % strain	N/mm ²	DIN 53 452	80 x 10 x 4 mm	20	3.1. B	-
Hardness Value at 30 sec. Test force: 365 N	HB	DIN 53 456	Plate thick 4mm	38	3.1. B	-
E modulus	N/mm ²	-	-	-	3.1. B	-

3.6 Austenitic steel sheet

Material and roughness in accordance with draft EN 1337-2

Commission nr: , Annex 1

4. Tolerances and finish

4.1 Tolerances

In addition to draft EN 1337-2, EN 1337-5 and NBD 00702A the following applies:

Item	Item	Minimum	Maximum
PTFE-sheet	Thickness $t=8.0$ mm	see EN 1337-2	see EN 1337-2
	Dimples $d= 3.0$ mm	-0.3 mm	+0.3mm
UHMWPE seal (for sliding element and anti extrusion for rubber) No slits No splices	$t= 8.0$ mm	-0.0 mm	+0.5mm
	Gap between UHMWPE and PTFE	-	0.2 mm
	Gap between UHMWPE and steel a stand of recess	-	0.2 mm
Piston and pot	$D_{pot} - D_{pist} = 0.8$ mm	-0.05 mm	+0.05 mm
Rubber pad	Diameter D_{NR}	-1.1 mm	+0. mm
	Thickness t_{NR}	-2.5 mm	+0. mm
	Deviation of parallelism	-	0.004 rad.

The manufacturer shall draft a protocol with the manufactured dimensions.

4.2. Contact surface finish

In addition to the requirements given in draft EN 1337-5 the following applies:

Faces in contact	R_{zDin} minimal (μm)	R_{zDin} maximal (μm)
Bottom of piston, in contact with rubber	20	25
Upper face of pot base, in contact with rubber	20	25
Inner face of pot ring, in contact rubber, seal and steel piston	6	8
Outer face of piston, in contact with steel pot wall	6	8
Austenitic steel sheet	see EN 1337-2	

The manufacturer shall draft a protocol with the finishes realised.

Commission nr: , Annex 1

5. External quality control

The external quality control shall be carried out by the MPA-Stuttgart and will comprise:

Item	Aspect	See par:
Materials		Tables in par. 3
Dimensions and finish	Sliding element	2.1, 2.1.2
	Piston	2.1, 4.2
	Pot	2.1, 4.2
	Gap between piston and of	4.1.4
	Rubber ad	4.1.5
	UHMWPE anti extrusion seal	4.1.2

6. Documentation

At delivery, the bearing shall be accompanied by the following documentation in one file:

- Drawing(s) with details
- Static calculation(s)
- Material certificates and reports from MPA Stuttgart (see clause 3. and 5.)
- Protocols in and reports from MPA-Stuttgart (see clause 4. and 5.)

ANNEX 2

TESTING OF POT BEARING WITH UHMWPE EXTRUSION SEAL

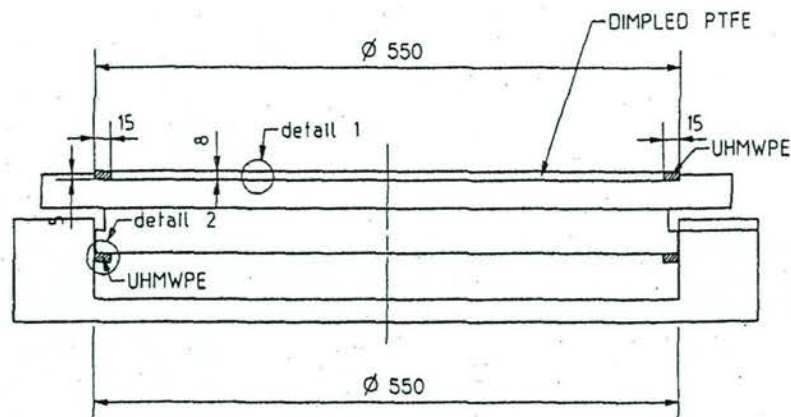
General information and test plan

Commission nr:....., Annex 2

Agreement Nr. BDN – 6128
Project Code – 3962K5

TESTING OF POT BEARING WITH UHMWPE EXTRUSION SEAL

General information and test plan



PBMS: 3962K5

Drafted by: J.S.Leendertz

Commission nr:....., Annex 2

1. General information

Pot bearings suffer from extrusion of rubber because of deficient seals.
Seal defects are caused by wear, which takes place under the travelling loads.
It is expected that the traffic volume will increase in the coming years. Wear resistant seals can help reducing the maintenance expenditure of the Min. of Transport.

During experiments with sliding elements the wear resistance of UHMWPE in bridge bearings was demonstrated which complies with the experience of UHMWPE applications in other fields e.g. hydraulic steel structures.

The bearing which is the subject of the investigations of this project is a more or less standard pot bearing where the seal is replaced by a UHMWPE ring. The dimensions, tolerances etc. have been selected in the most adverse way in order to justify the test of one bearing.

The testing includes a reaction moment test, a wear test and a static load test. When a test shows disappointing results, the other tests will be omitted.

The tests are described in the informative Annex 3, which complies with the draft prEN 1337-5 "Pot bearings", the requirements and procedures are amended as agreed between the Institut f. Massivbau in Karlsruhe and Rijkswaterstaat.

The tests will be carried out at the MPA Karlsruhe (D); the manufacturer has been selected by procedure amongst a limited amount of manufacturers; the external quality control will be included in the contract with the manufacturer and carried out by the MPA Stuttgart (D).

2. Organisation

2.1 Principal

Bouwdienst Rijkswaterstaat
Hoofdafdeling NI
Afdeling NIO
Postbus 59
NL 2700AB ZOETERMEER

Project manager: R. Gajadhar

Tel: 0031/79/3292406
Fax: 0031/79/3292301

Commission nr:....., Annex 2

Bouwdienst Rijkswaterstaat
Hoofdafdeling NI
Afdeling NIQ
Postbus 59
NL 2700AB ZOETERMEER

Design engineer and Assistant project surveyor: J.S.Leendertz

Tel: 0031/79/3292510 Mobile: 0031/6/53 72 77 25
Fax: 0031/79/3292301

Bouwdienst Rijkswaterstaat
Hoofdafdeling PD
Regionale Afdeling Noord-West
Dalsteindreef 36
NL 1112 XC DIEMEN

Project surveyor: G.W.Heine

Tel: 0031/20/6607140 Mobile: 0031/6/51 57 29 01
Fax: 0031/20/6951369

2.2 Testing Institute

Institut für Massivbau und Baustofftechnologie
Gotthard Franz Str. 3
D 76131 KARLSRUHE

Project manager for testing: Dipl.-Ing. W.Zeller
Assitant project manager for testing: Dipl.-Ing. L.Gerlach

Tel: 0049/721/608 2274 (Zeller)
Tel: 0049/721/608 2279 (Gerlach)
Fax: 0049/721/608 2265

2.3 Bearing manufacturer

Federal Mogul Sollinger Hütte

2.4 External survey Institute for manufacturing

Material Prüfungs Anstalt der Universität Stuttgart

Commission nr:....., Annex 2

Pfaffenwaldring 32
D 7000 STUTTGART 80 (Vaihingen)

Tel: 0049/711/685 2560
Fax: 0049/711/685 2635

External surveyor: Dr. A. Gerber

3.0 Test specimens

The test specimen comprise 1 pot bearing with an inner diameter of 550mm. The rubber pad is sealed by means of a UHMWPE ring ($w=15$, $th=8$). The piston has a sliding element featured as a 8mm dimpled PTFE disc in a UHMWPE ring ($w=15$, $th=8$).

(An additional rubber pad with a seal and lubricant comes separately with the bearing.)

The test specimen will fulfil the requirements given in EN 1337-2, EN 1337-5, NBD 00702A and the additions given in: POT BEARING FOR TESTING, Version 3. The test specimens will be checked and approved by the MPA-Stuttgart and accepted by Rijkswaterstaat. The test specimens will be delivered at the MPA Karlsruhe.

4. Tests

The tests will be carried out in the order as given below:

1. Reaction moment test

The reaction moment test is the standard test required for obtaining the "Zulassung" in Germany.

Compression stress in elastomere: 35 N/mm^2 .

Rotations: $-0.010 \text{ rad.} / + 0.010 \text{ rad.}$

Note: The bearing will use the 2nd rubber pad and extrusion seal.

1. Reaction moment test unlubricated
2. Reaction moment test lubricated

2. Wear Test

The wear test is the standard wear test as required for obtaining the "Zulassung" in Germany.

Compression stress in elastomere: 35 N/mm^2 ,

Commission nr:....., Annex 2

Rotation: $-0.0035 \text{ rad.} / +0.0035 \text{ rad.}$
Total accumulated slide path of seal 2000m.

Hold-/witnesspoint: Extrusion of rubber

3. Static Load Test

When the bearing resisted a minimum slide path of 2000m the static load test can be carried out.

The static load test is the standard test required for obtaining the "Zulassung" in Germany, but with a lower compression stress.

Compression stress in elastomere: 63 N/mm^2

Rotation: 0.030 rad.

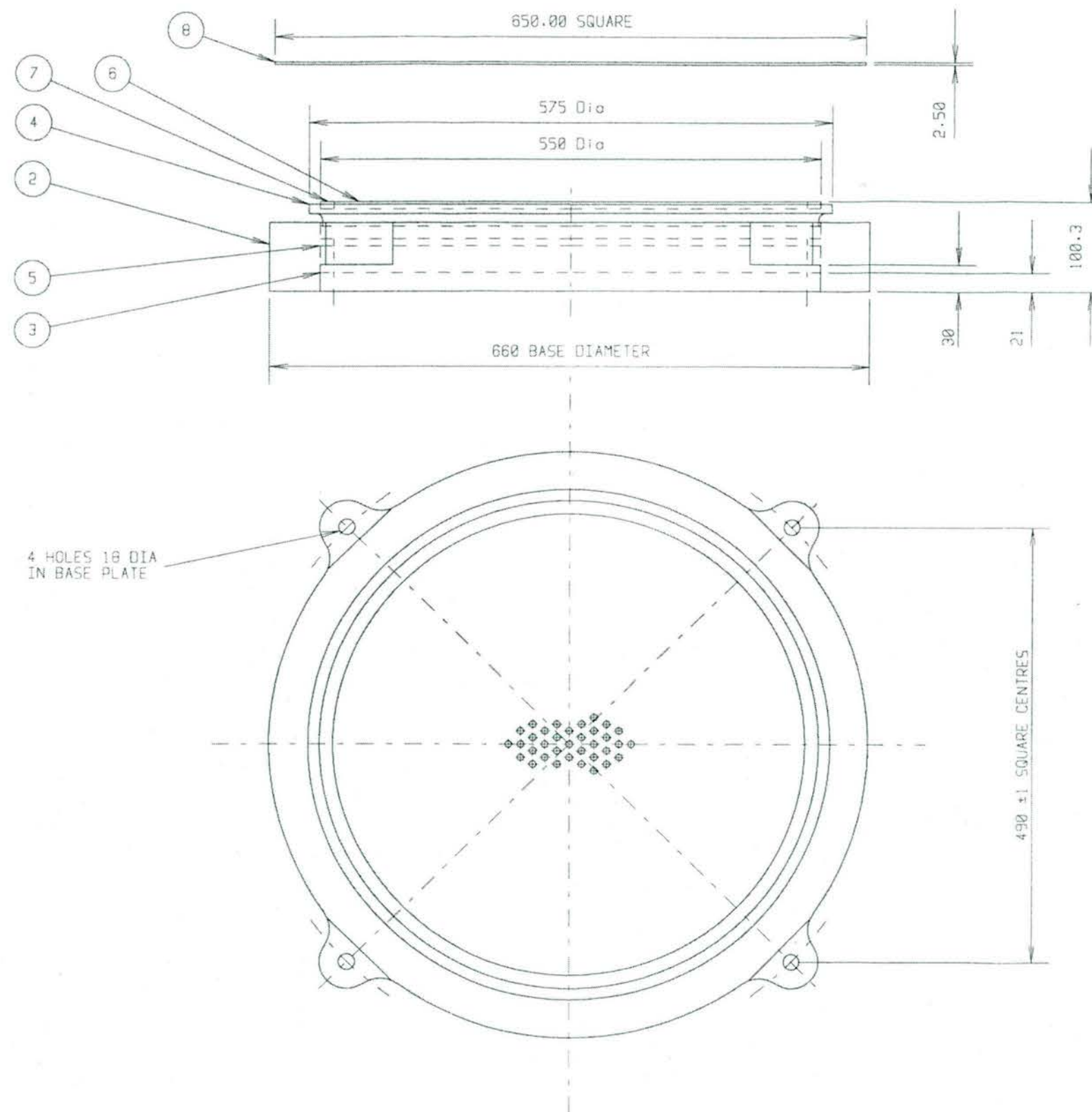
Duration: 168 hrs.

Hold-/witnesspoint: Extrusion of rubber, minimum slide path at rubber extrusion 2000m.

If the bearing fails at one of the tests carried out in the order as above, the seal design will be regarded as not suitable and the remaining tests will not be carried out.

ANNEX 3 KONSTRUKTIONSPÄNE DES VERSUCHS- LAGERS

Aufsteller / Hersteller: Federal Mogul - Sollinger Hütte GmbH



BEARING CAPABILITIES

MAX VERTICAL LOAD- 8709 kN. SLS
MAX VERTICAL LOAD- 14970 kN. STATIC LOAD TEST

MAX ROTATION- 0.011 RADIANS (RESTORING MOMENT TEST)
MAX ROTATION- 0.03 RADIANS (STATIC LOAD TEST)

APPROXIMATE BEARING WEIGHT - 205 kg.

CORROSION PROTECTION

DO NOT APPLY PAINT TO COMPONENTS

SPECIAL WORKS ASSEMBLY INSTRUCTIONS

BEARING TO BE ASSEMBLED IN THE PRESENCE OF MPA STUTTGART OFFICIAL (Dr GERBER?).
CHECK FIT OF COMPONENTS PARTICULARLY UHMWPE RINGS
PACK COMPONENTS SEPARATELY FOR TRANSPORT INCLUDING ADDITIONAL PAD AND SEALING RING.
INCLUDE 0.5kg SPECIAL GREASE.

8	MT-473159	BEARING PLATE 650x650x2.5	SS BS EN 10088 1.4401	1
7	PF-473157	SLIDING RING	UHMWPE	1
6	PF-473156	PTFE DISC	VIRGIN PTFE 8 THICK	1
5	PF-473158	SEALING RING	UHMWPE	2
4	PS-473153	PISTON	STEEL BS EN10025 5355J2G3	1
3	RB-473155	RUBBER PAD 550 DIA x 38.2	NATURAL RUBBER	2
2	CY-473152	BASE PLATE	STEEL BS EN10025 5355J2G3	1
1	PP-473154	BASE PLATE PROFILE	STEEL BS EN10025 5355J2G3	1
ITEM	PART No	DESCRIPTION	MATERIAL	QTY

200000 THIS DRAWING IS THE COPYRIGHT OF FEDERAL MOGUL SOLLINGER HUTTE GMBH AND THE INFORMATION CONTAINED THEREIN IS CONFIDENTIAL. THE DRAWING MAY NOT BE COPIED, USED OR DISCLOSED EXCEPT WITH THE WRITTEN PERMISSION OF AND IN THE MANNER PERMITTED BY THE PROPRIETORS

ISSUE	DATE	DRAWN	CHECK	APPROV	MODIFICATIONS
2	02/10/01	John			BASE WAS 650 DIA. HOLES WERE 22 DIA
1	12/09/01	John			

ORIGINAL DRAWING SIZE 594 x 420 (A2)	
UNLESS OTHERWISE STATED THE FOLLOWING APPLIES - ALL DIMENSIONS IN mm	
UNLIMITED MACHINED DIMENSIONS	x 0.2 mm
UNLIMITED CAST DIMENSIONS	x 0.5 mm
OTHER UNLIMITED DIMENSIONS	x 0.3 mm
UNLIMITED ANGLES	x 0.1 °
SURFACE FINISH IN MICROMETRES CLA	x 0.25 mm
ABBREVIATIONS AND SYMBOLS TO BS 308	
FLATNESS	0.05 mm
SQUARENESS	0.05 mm
PARALLELISM	0.05 mm
POSITION	0.25 mm
THICKNESS TOLERANCE	x 0.25 mm
ALL SHARP EDGES MUST BE BROKEN	

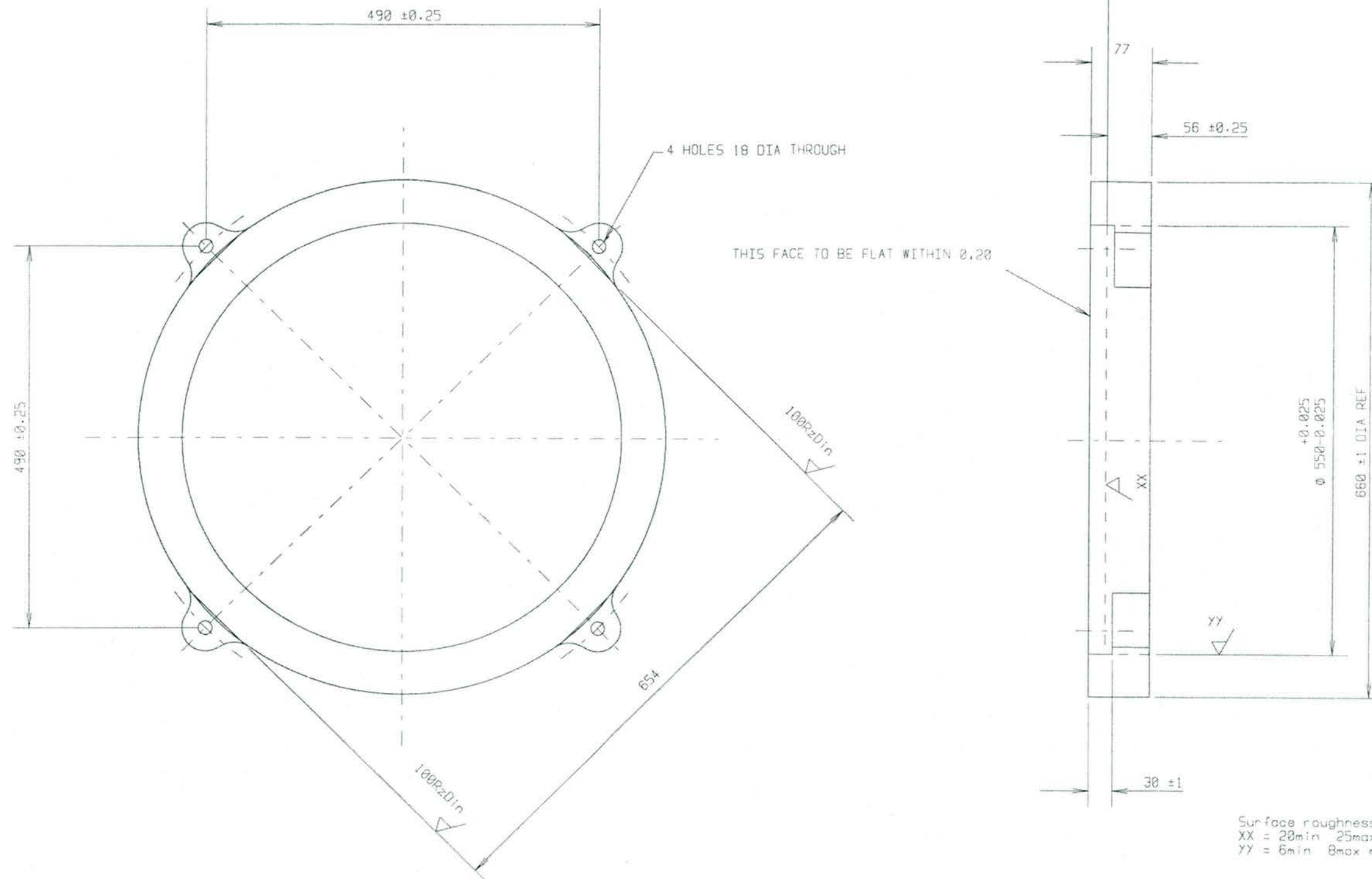
DO NOT SCALE
THIS PRINT MAY ONLY BE USED FOR MANUFACTURE IF STAMPED "ISSUE CHECKED" AND SIGNED BY A MEMBER OF THE DESIGN OFFICE

FIRST ANGLE
SCALE 1/4
PROJ REF 453326

FEDERAL MOGUL

FEDERAL MOGUL SOLLINGER HUTTE GMBH

CLIENT Bouwdienst Rijkswaterstaat	TITLE POT BEARING
CONTRACT Test Bearing	
STRUCTURE	
POSITION	
REFERENCE 600303	
DRAWING NUMBER K2-473150-0030	ISSUE 2



Surface roughness
 XX = 20min 25max microns RzDin
 YY = 6min 8max microns RzDin

MATERIAL STEEL TO EN 10025 S355J2G3 FLAME CUT BLANK
 BREAK ALL SHARP EDGES
 APPROX BLANK WEIGHT = 200 Kg
 APPROX FINISHED WEIGHT = 110 Kg


2000 © THIS DRAWING IS THE COPYRIGHT OF FEDERAL MOGUL SOLLINGER HUTTE GMBH AND THE INFORMATION CONTAINED THEREIN IS CONFIDENTIAL. THE DRAWING MAY NOT BE COPIED, USED OR DISCLOSED EXCEPT WITH THE WRITTEN PERMISSION OF AND IN THE MANNER PERMITTED BY THE PROPRIETORS

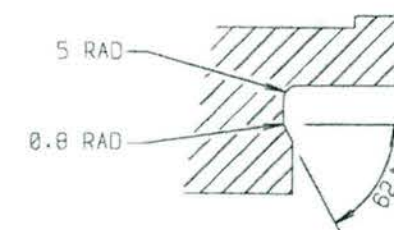
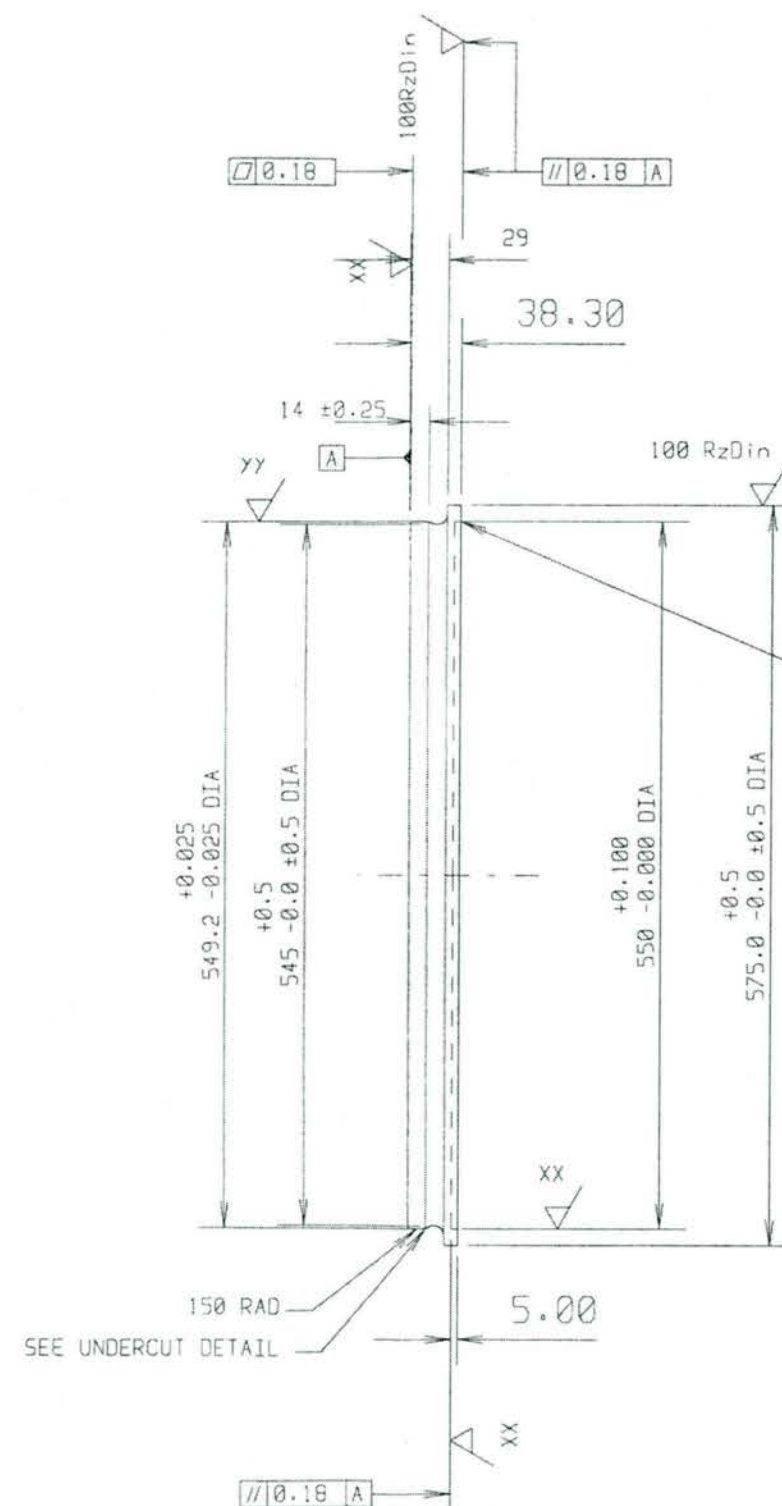
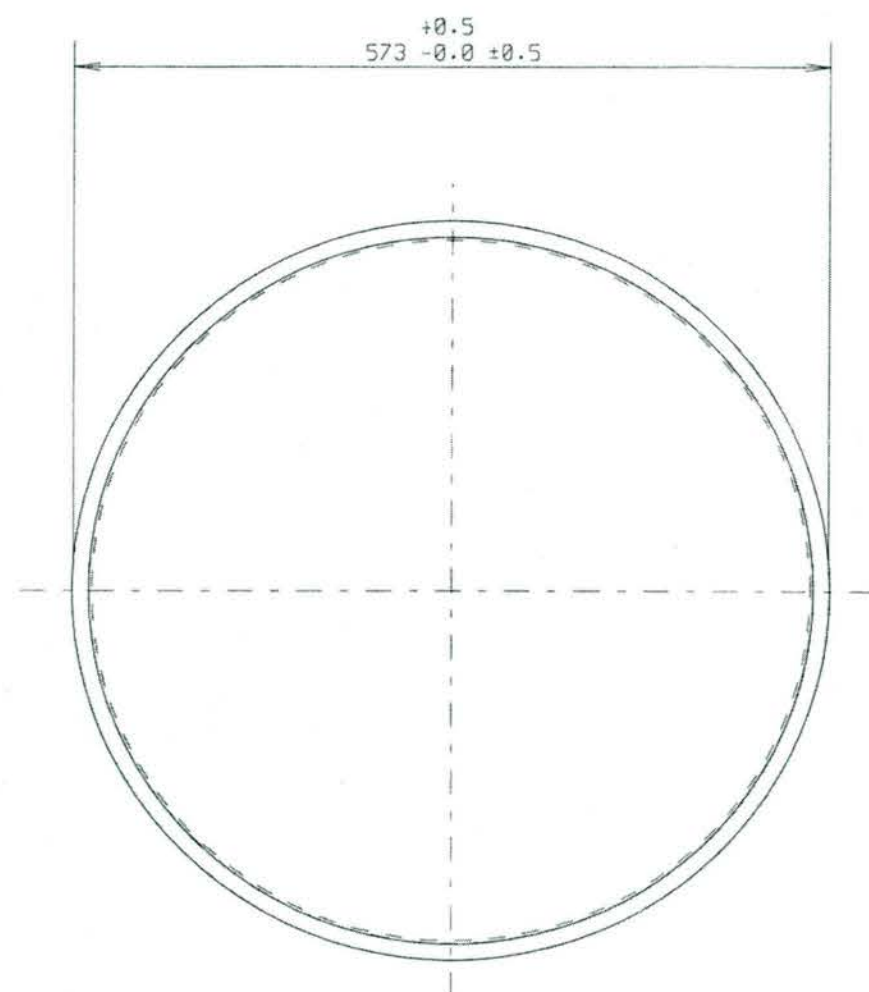
ISSUE	DATE	DRAWN	CHECK	APPROV	MODIFICATIONS
3	23/10/01	John			BORE DIA WAS 630
2	02/10/01	John			DIA WAS 690, HOLES WERE 22 DIA
1	17/9/01	John			

ORIGINAL DRAWING SIZE 594 x 420 (A2)	
UNLESS OTHERWISE STATED THE FOLLOWING APPLIES - ALL DIMENSIONS IN mm	
UNLIMITED MACHINED DIMENSIONS	± 0.2 mm
UNLIMITED CAST DIMENSIONS	± 0.5 mm
OTHER UNLIMITED DIMENSIONS	± 0.3 mm
UNLIMITED ANGLES	± 1°
SURFACE FINISH IN MICROMETRES CLA	100 RzDin
ABBREVIATIONS AND SYMBOLS TO BS 309	

DO NOT SCALE
 THIS PRINT MAY ONLY BE USED FOR MANUFACTURE IF STAMPED "ISSUE CHECKED" AND SIGNED BY A MEMBER OF THE DESIGN OFFICE

FIRST ANGLE
 SCALE 1/4
 PROJ REF 453326

ITEM	PART No	DESCRIPTION	MATERIAL	QTY
			FEDERAL MOGUL SOLLINGER HUTTE GMBH	
CLIENT	Bouwdienst Rijkswaterstaat		TITLE	
CONTRACT	Test Bearing		CYLINDER	
STRUCTURE			DRAWING NUMBER	
POSITION			C/1473152	
WITH REFERENCE	600302		ISSUE	
			3	



UNDERCUT DETAIL

SHARP EDGE MUST BE MAINTAINED

Surface roughness
XX = 20min 25max microns RzDin
YY = 6min 8max microns RzDin

MATERIAL MILD STEEL TO STEEL BS EN10025 5355J2G3
BREAK ALL BURRS AND SHARP EDGES EXCEPT
AT EDGE OF PTFE RECESS.
APPROX BLANK WEIGHT = 116 Kg

THIS DRAWING IS THE COPYRIGHT OF FEDERAL MOGUL SOLLINGER HUTTE GMBH AND THE INFORMATION CONTAINED THEREIN IS CONFIDENTIAL. THE DRAWING MAY NOT BE COPIED,
USED OR DISCLOSED EXCEPT WITH THE WRITTEN PERMISSION OF AND IN THE MANNER PERMITTED BY THE PROPRIETORS

ORIGINAL DRAWING SIZE 594 x 420 (A2)

DO NOT SCALE

FIRST ANGLE

SCALE
1/4

PROJ REF
453326

UNLESS OTHERWISE STATED THE FOLLOWING APPLIES - ALL DIMENSIONS IN mm
UNLIMITED MACHINED DIMENSIONS ±0.2 mm
UNLIMITED CAST DIMENSIONS ±0.5 mm
OTHER UNLIMITED DIMENSIONS ±0.3 mm
UNLIMITED ANGLES ±1°
SURFACE FINISH IN MICROMETRES CLA
ABBREVIATIONS AND SYMBOLS TO BS 308

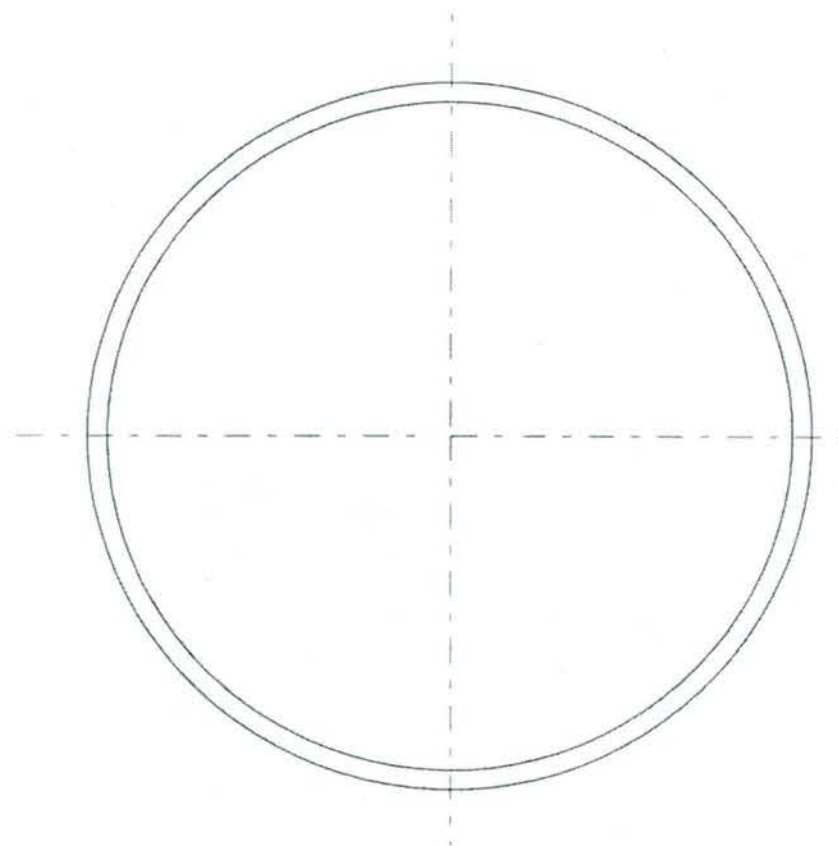
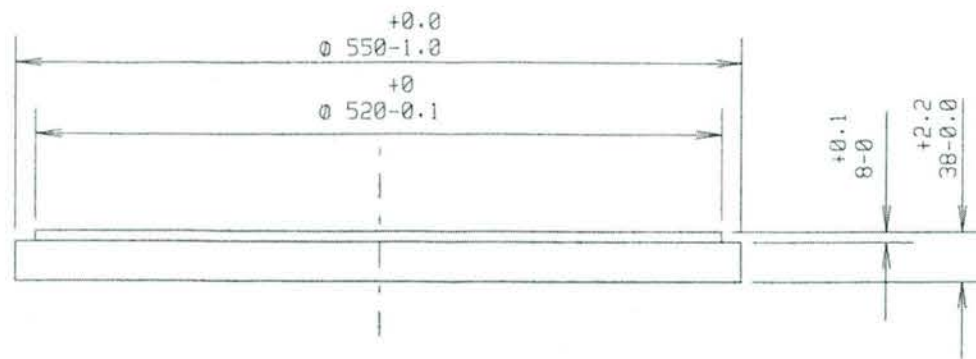
FLATNESS
SQUARENESS
PARALLELISM
POSITION
THICKNESS TOLERANCE ±0.25 mm
ALL SHARP EDGES MUST BE BROKEN

THIS PRINT MAY ONLY BE USED
FOR MANUFACTURE IF STAMPED
"ISSUE CHECKED"
AND SIGNED BY A MEMBER OF
THE DESIGN OFFICE

**FEDERAL
MOGUL**

FEDERAL MOGUL
SOLLINGER HUTTE GMBH

ITEM	PART No	DESCRIPTION	MATERIAL	QTY
<div> <div>CLIENT</div> <div>CONTRACT</div> <div>STRUCTURE</div> <div>POSITION</div> <div>REFERENCE</div> </div> <div> <div>Bouwdienst Rijkswaterstaat</div> <div>Test Bearing</div> <div></div> <div></div> <div>600303</div> </div>				
<div> <div>TITLE</div> <div>PISTON</div> </div>			<div> <div>DRAWING NUMBER</div> <div>PS1473153</div> </div>	
<div> <div>ISSUE</div> <div>1</div> </div>				<div> <div>DATE</div> <div>17/9/21</div> </div>
<div> <div>DRAWN</div> <div>John</div> </div>		<div> <div>CHECK</div> <div></div> </div>		
<div> <div>APPROV</div> <div></div> </div>		<div> <div>MODIFICATIONS</div> <div></div> </div>		



MATERIAL: NATURAL RUBBER (NYHAPREN)
SEE SPECIFICATION SHEET GPG 3006/D252 FOR COMPOSITION

2000

THIS DRAWING IS THE COPYRIGHT OF FEDERAL MOGUL SOLLINGER HUTTE GMBH AND THE INFORMATION CONTAINED THEREIN IS CONFIDENTIAL. THE DRAWING MAY NOT BE COPIED, USED OR DISCLOSED EXCEPT WITH THE WRITTEN PERMISSION OF AND IN THE MANNER PERMITTED BY THE PROPRIETORS.

ORIGINAL DRAWING SIZE 594 x 420 (A2)

DO NOT SCALE

FIRST ANGLE

UNLESS OTHERWISE STATED THE FOLLOWING APPLIES - ALL DIMENSIONS IN mm
 UNLIMITED MACHINED DIMENSIONS ± 0.2 mm
 UNLIMITED CAST DIMENSIONS ± 0.5 mm
 OTHER UNLIMITED DIMENSIONS ± 0.3 mm
 UNLIMITED ANGLES ± 1°
 SURFACE FINISH IN MICROMETRES CLA
 ABBREVIATIONS AND SYMBOLS TO BS 309

THIS PRINT MAY ONLY BE USED FOR MANUFACTURE IF STAMPED "ISSUE CHECKED" AND SIGNED BY A MEMBER OF THE DESIGN OFFICE

SCALE 1/4

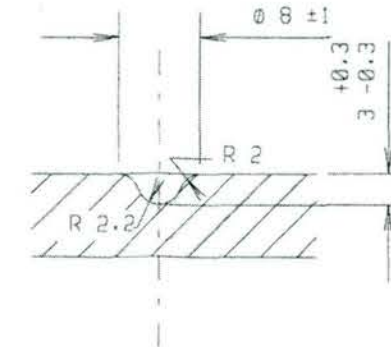
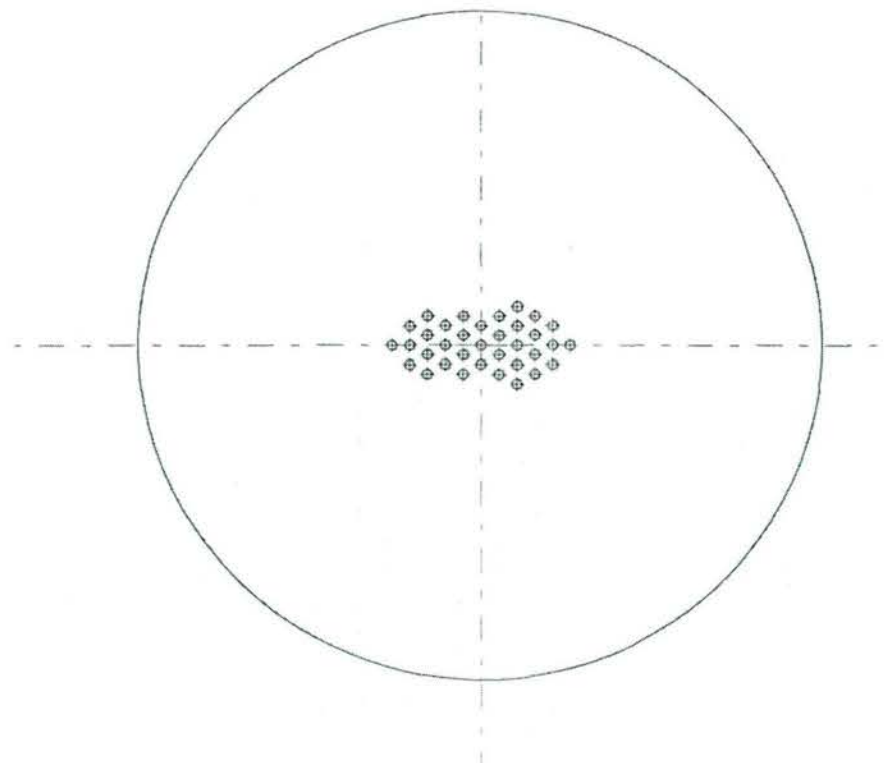
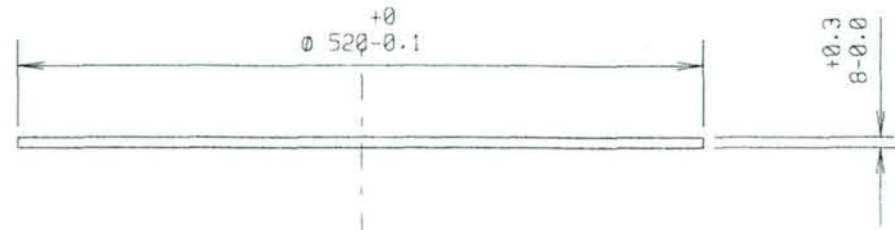
PROJ REF 453326

FEDERAL MOGUL

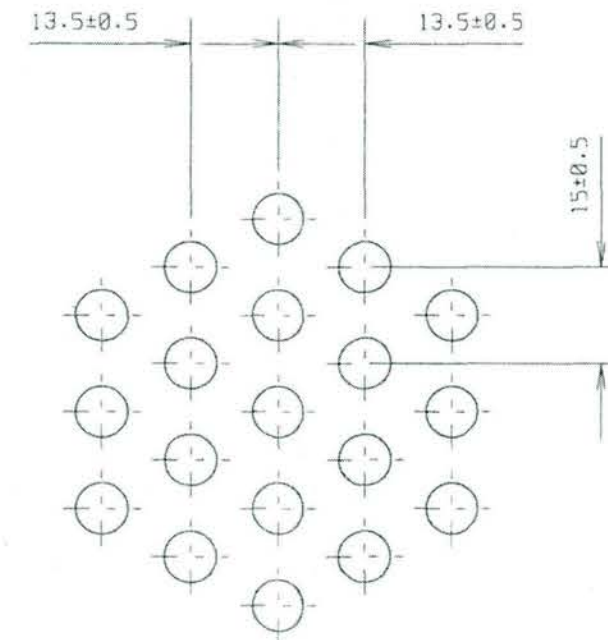
FEDERAL MOGUL SOLLINGER HUTTE GMBH

ITEM	PART No	DESCRIPTION	MATERIAL	QTY
CLIENT <i>Bouwdienst Rijkswaterstaat</i> CONTRACT <i>Test Bearing</i> STRUCTURE POSITION REFERENCE <i>600303</i>				
TITLE				
ELASTOMERIC PAD				
DRAWING NUMBER				ISSUE
<i>RB-4/3155</i>				<i>1</i>

ISSUE	DATE	DRAWN	CHECK	APPROV	MODIFICATIONS
1	12/9/81	John			



Details of dimples - Scale 5:1



MATERIAL PURE PTFE
SEE SPECIFICATION SHEET GPG 3006/D251

THIS DRAWING IS THE COPYRIGHT OF FEDERAL MOGUL SOLLINGER HUTTE GMBH AND THE INFORMATION CONTAINED THEREIN IS CONFIDENTIAL. THE DRAWING MAY NOT BE COPIED, USED OR DISCLOSED EXCEPT WITH THE WRITTEN PERMISSION OF AND IN THE MANNER PERMITTED BY THE PROPRIETORS.

ORIGINAL DRAWING SIZE 594 x 420 (A2)

DO NOT SCALE

FIRST ANGLE

UNLESS OTHERWISE STATED THE FOLLOWING APPLIES - ALL DIMENSIONS IN mm
UNLIMITED MACHINED DIMENSIONS ± 0.2 mm
UNLIMITED CAST DIMENSIONS ± 0.5 mm
OTHER UNLIMITED DIMENSIONS ± 0.3 mm
UNLIMITED ANGLES ± 1°
SURFACE FINISH IN MICROMETRES CLA
ABBREVIATIONS AND SYMBOLS TO BS 308

THIS PRINT MAY ONLY BE USED FOR MANUFACTURE IF STAMPED "ISQVE CHECKED" AND SIGNED BY A MEMBER OF THE DESIGN OFFICE

SCALE 1/4

PROJ REF 453326

FEDERAL MOGUL

FEDERAL MOGUL
SOLLINGER HUTTE GMBH

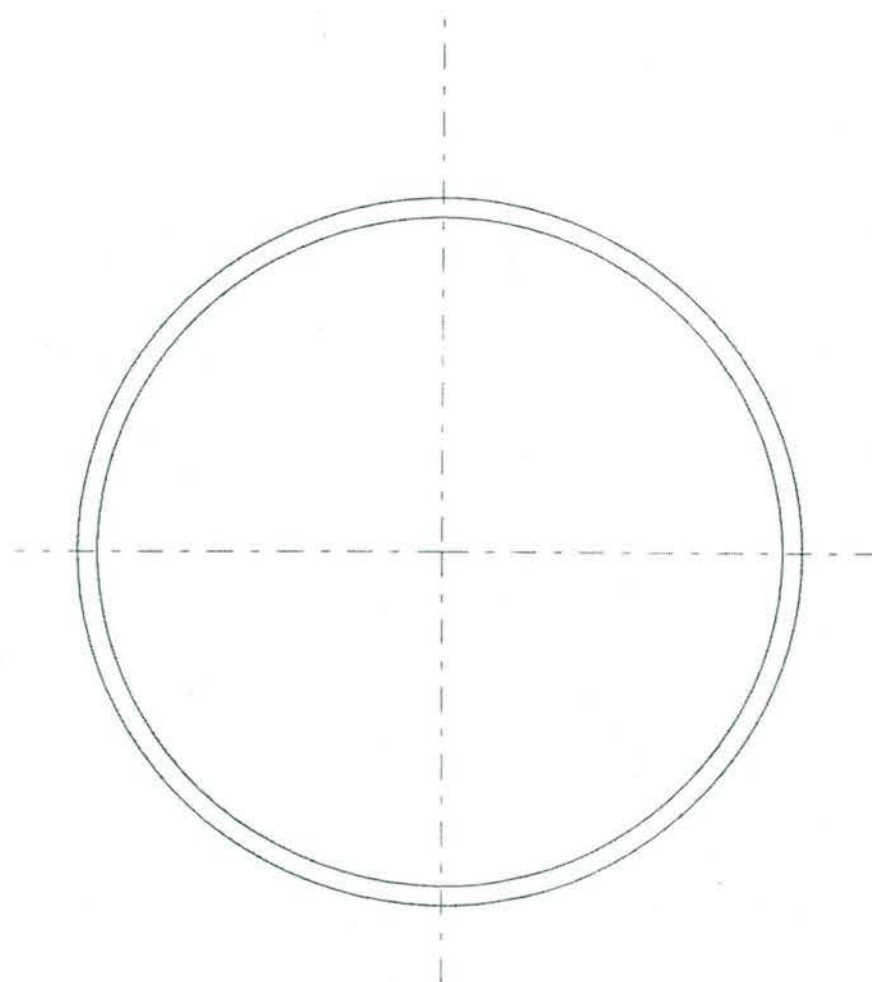
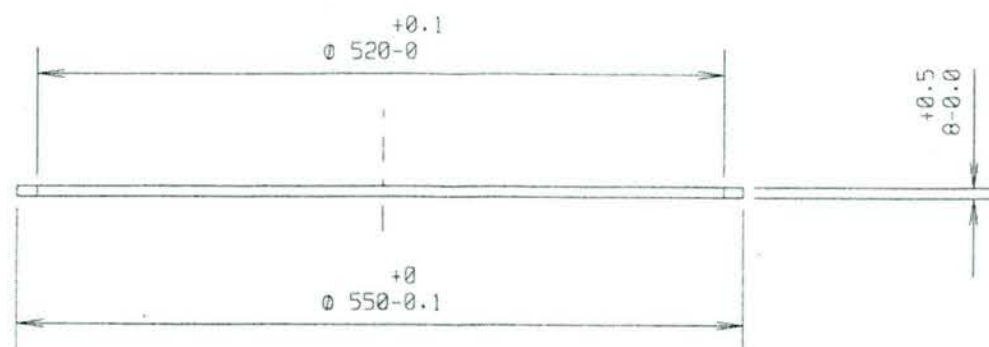
CLIENT Bouwdienst Rijkswaterstaat
CONTRACT Test Bearing
STRUCTURE
POSITION
REFERENCE 600703

TITLE
PTFE DISC

DRAWING NUMBER
PF-473156

ISSUE
1

ISSUE	DATE	DRAWN	CHECK	APPROV	MODIFICATIONS
1	1/29/81	1000			



MATERIAL ULTRA HIGH MOLECULAR WEIGHT POLYETHYLENE (UHMWPE)
SEE SPECIFICATION SHEET GPG 3006/D253

2000 © THIS DRAWING IS THE COPYRIGHT OF FEDERAL MOGUL SOLLINGER HUTTE GMBH AND THE INFORMATION CONTAINED THEREIN IS CONFIDENTIAL. THE DRAWING MAY NOT BE COPIED, USED OR DISCLOSED EXCEPT WITH THE WRITTEN PERMISSION OF AND IN THE MANNER PERMITTED BY THE PROPRIETORS

ISSUE	DATE	DRAWN	CHECK	APPROV	MODIFICATIONS
1	17/9/81	JPH			

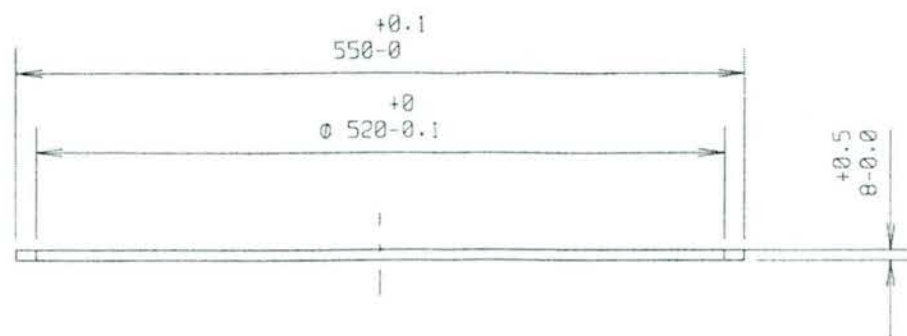
ORIGINAL DRAWING SIZE 594 x 420 (A2)	
UNLESS OTHERWISE STATED THE FOLLOWING APPLIES - ALL DIMENSIONS IN mm	
UNLIMITED MACHINED DIMENSIONS ± 0.2 mm	\square FLATNESS
UNLIMITED CAST DIMENSIONS ± 0.5 mm	\perp SQUARENESS ± 0.1 mm
OTHER UNLIMITED DIMENSIONS ± 0.3 mm	\parallel PARALLELISM
UNLIMITED ANGLES $\pm 1^\circ$	ϕ POSITION ± 0.25 mm
SURFACE FINISH IN MICROMETRES CLA	THICKNESS TOLERANCE ± 0.25 mm
ABBREVIATIONS AND SYMBOLS TO BS 308	ALL SHARP EDGES MUST BE BROKEN

DO NOT SCALE

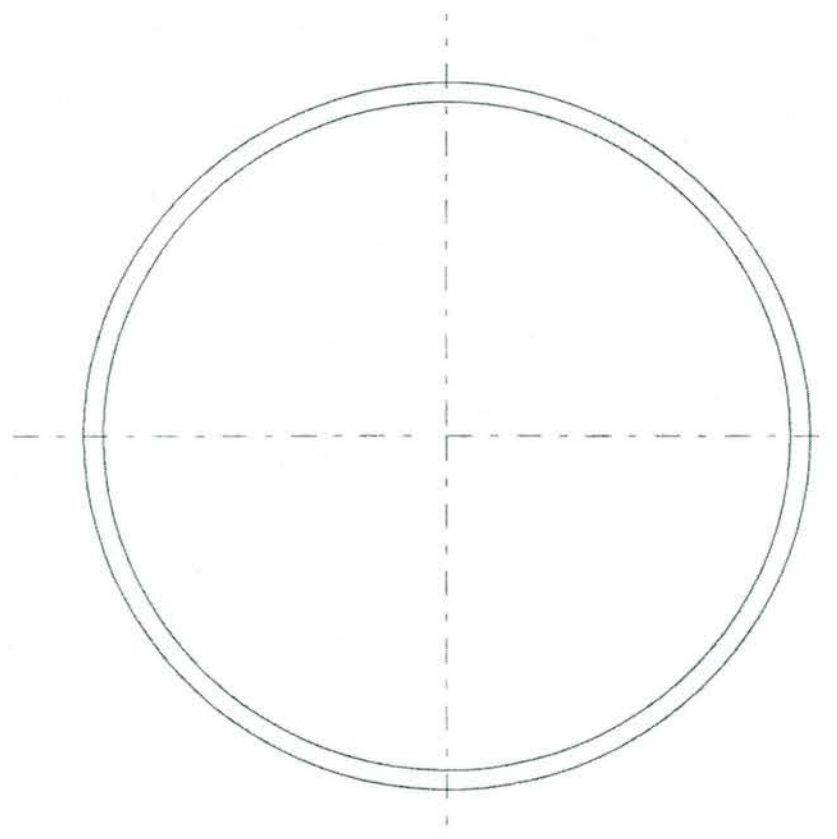
THIS PRINT MAY ONLY BE USED FOR MANUFACTURE IF STAMPED "ISSUE CHECKED" AND SIGNED BY A MEMBER OF THE DESIGN OFFICE

FIRST ANGLE
SCALE 1/4
PROJ REF 453328

ITEM	PART No	DESCRIPTION	MATERIAL	QTY
FEDERAL MOGUL SOLLINGER HUTTE GMBH			TITLE	
CLIENT <i>Bouwdienst Rijkswaterstaat</i>			UHMWPE SLIDING RING	
CONTRACT <i>Test Bearing</i>			DRAWING NUMBER	
STRUCTURE			PF-473157	
POSITION			ISSUE	
REFERENCE 600303			1	



Ring to be complete without split



MATERIAL ULTRA HIGH MOLECULAR WEIGHT POLYETHYLENE (UHMWPE)
SEE SPECIFICATION SHEET GPG 3006/D253


20000 THIS DRAWING IS THE COPYRIGHT OF FEDERAL MOGUL SOLLINGER HUTTE GMBH AND THE INFORMATION CONTAINED THEREIN IS CONFIDENTIAL. THE DRAWING MAY NOT BE COPIED, USED OR DISCLOSED EXCEPT WITH THE WRITTEN PERMISSION OF AND IN THE MANNER PERMITTED BY THE PROPRIETORS.

ISSUE	DATE	DRAWN	CHECK	APPROV	MODIFICATIONS
1	17/9/01	John			

ORIGINAL DRAWING SIZE 594 x 420 (A2)	
UNLESS OTHERWISE STATED THE FOLLOWING APPLIES - ALL DIMENSIONS IN mm	
UNLIMITED MACHINED DIMENSIONS	± 0.2 mm
UNLIMITED CAST DIMENSIONS	± 0.5 mm
OTHER UNLIMITED DIMENSIONS	± 0.3 mm
UNLIMITED ANGLES	± 1°
SURFACE FINISH IN MICROMETRES CLA	0.8
ABBREVIATIONS AND SYMBOLS TO BS 309	
FLATNESS	0.05 mm
SQUARENESS	0.05 mm
PARALLELISM	0.05 mm
PERPENDICULARITY	0.05 mm
POSITION	0.25 mm
THICKNESS TOLERANCE	± 0.25 mm
ALL SHARP EDGES MUST BE BROKEN	

DO NOT SCALE
THIS PRINT MAY ONLY BE USED
FOR MANUFACTURE IF STAMPED
"ISSUE CHECKED"
AND SIGNED BY A MEMBER OF
THE DESIGN OFFICE

FIRST ANGLE
SCALE 1/4
PROJ REF 453226

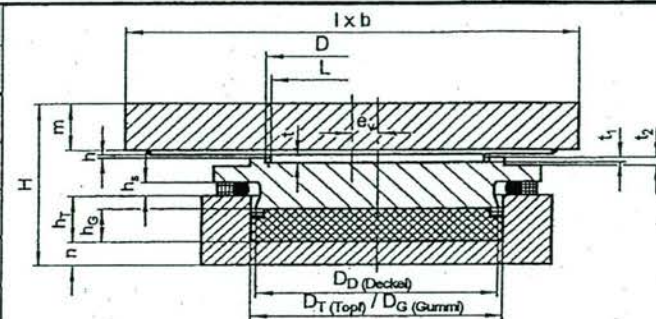
ITEM	PART No	DESCRIPTION	MATERIAL	QTY
 FEDERAL MOGUL			FEDERAL MOGUL SOLLINGER HUTTE GMBH	
CLIENT	Bouwdienst Rijkswaterstaat		TITLE	
CONTRACT	Test Bearing		UHMWPE SEALING RING	
STRUCTURE				
POSITION				
REFERENCE	600303		DRAWING NUMBER	ISSUE
			PF-473158	1

ANNEX 4

**KONTROLLBLATT FEDERAL MOGUL -
SOLLINGER HÜTTE GMBH**

25.10.01

Bezeichnung:		Auftrags.-Nr. 463 326	
Fremd/Überwachung/Abnahme: ja		nein	
Pos - Nr.: 1			
Zeichn.-Nr.:			
Menge:		Teilfertigung ja	nein Menge 5
Eigenkontrolle. / Datum:		25.10.01. Unterschrift: 2.	

[illegible]

ABK-P2-T1 1

Ersteller: AS

Rev.: ..25.10.01

VV.2 PTFE 4-2. 0161061514

Anlage 8

ANNEX 5

**ABNAHMEBESCHEINIGUNG FÜR DAS
VERSUCHSLAGER**

Bescheinigung über die Abnahmeprüfung durch die MPA STUTTGART

**Staatliche
Materialprüfungsanstalt**
Universität Stuttgart

MPA
STUTTGART

Bescheinigung über die Abnahmeprüfung

von Lagern für den Brücken- und Hochbau in Anlehnung an
Zulassungen des Deutschen Instituts für Bautechnik in Berlin

991 006 000-116 Dr.Ge/ge
09.11.2001

Auftraggeber: Bowdienst Rijkswaterstaat (RWS)
1100 AX Amsterdam

Hersteller: Federal Mogul • Sollinger Hütte
D-76162 Uslar

Prüfgegenstand: 2-achsig bewegliches Gummitopflager
mit UHMW-PE-Dichtung für Kippversuch
am Institut für Massivbau und Baustoff-
technologie, Universität Karlsruhe (TH)

Auftrag-Nr.: 600 303

Tag der Ab- nahme	Anzahl	Gegenstand	Zeichnung-Nr.
2001-10-26	1	<p>2-achsig bewegliches Gummitopflager mit NYH-Gummi- kissen (Qualität 1115) und UHMW-PE-Dichtung, Topf- nendurchmesser 550 mm, PTFE-Gleitfläche mit UHMW- PE-Ring und austenitischem Stahl, Schmierstoff Silicon- fett 300 mittel (Gleit- und Topfteil)</p> <p>Prüfung der relevanten Abmessungen und Toleranzen der einzelnen Lagerteile gemäß den vorliegenden Zeich- nungen - insbesondere vom Spiel Topf-/Topfdeckel (0,6 mm), der Rauhtiefe der vertikalen Topf-/Deckelkon- taktflächen (5,8 bis 7,5 / 7,8 bis 8,1 µm), der horizontalen Kontaktflächen zum Gummi vom Topfboden (16 bis 25 µm) und Topfdeckel (22,5 bis 24 µm). Prüfung der Aus- bildung und Abmessungen der beiden UHMW-PE-Ringe, der PTFE-Aufnahme, der PTFE-Gleitscheibe (vergröß- erte Schmieraschen, Tiefe 2,9 bis 3,4 mm) und des Elastomerkissens einschließlich Bestimmung der Härte (47 bis 48 Shore-A)</p> <p>Probezusammenbau des Lagers, der Endzusammenbau des Lagers erfolgt in der UNI Karlsruhe. Alle Lagerteile einschließlich Schmierfett werden mitgeliefert.</p> <p>Überprüfung der vorgelegten Zeugnisse für die einzelnen Lagerkomponenten, vgl. Anlage 1 bis 7.</p>	<p>K2-473150-0830 CY-473152 PS-473153 RB-473155 PF-473156 PF-473157 PF-473158 MT-473159</p>

Ergebnis der Prüfungen: Das Topf-/Deckelspiel von 0,6 anstatt 0,8 mm wurde von RWS akzeptiert.
Die gestellten Anforderungen wurden im übrigen erfüllt.

Anlagen: 1 bis 7

ausgefertigt: 1 x Bowdienst Rijkswaterstaat (RWS), Amsterdam
1 x Federal Mogul Sollinger Hütte GmbH, Uslar

Der mit der Abnahme
betrachte Ingenieur



ANNEX 6

PRÜFZEUGNISSE EINZELNER LAGER- KOMPONENTEN-WERKSTOFFE

- Stahl
- Gleitblech
- Elastomer
- UHMWPE
- PTFE
- Schmierstoff

Staatliche
Materialprüfungsanstalt
Universität Stuttgart

Auftrags-Nr.: 991 006 000-116
Anlage 1a

Abnahmeprüfzeugnis 3.1.B nach EN 10 204 der Dillinger Hütte für den Stahl
S355J2G3 mit der Schmelz-Nr. 16284 des Topfes







DILLINGER HÜTTE

Erläuterungen siehe Rückseite/Explanations voir au verso/See reverse for explanations		A02 ABNAHMEPRÜFZEUGNIS CERTIFICAT DE RECEPTION INSPECTION CERTIFICATE		3.1.B DIN EN 10204 - EN 10204 - DIN 50049 3.1.B NF EN 10204 3.1.B BS EN 10204 - ISO 10474 MATERIAL TEST REPORT	A09 Advice of dispatch No./ Date of dispatch 27970-26.03.01	A08/ Manufacturer's order/ A03 Certificate No. 234898-001	Sheet 1/...			
A06 Established inspecting body DH	A06 Purchaser Final receiver UNIVERSAL, HANNOVER UNIVERSAL, HANNOVER	A07.1 No. 1201 L-01-210860/153 A07.2 No.			B01 Product HOT ROLLED PLATES					
B02/ Steel grade S355J2G3 B03 Specifications DIN-EN10025:94		ADW1/TRB100			ÜBERHIN- STIMMUNGS- ZEICHEN					
B01-B99 PRODUCT DESCRIPTION										
B09 Item No.	B10 Quant	B11 Thick- ness	B12 x Width	B13 x Length	B14 Mass theoret. KG	B04 Delivery condition	B08 Heat No.	B07 Rol.plate/ Test-No.	B16 Customer reference	
01	2	80,00	x 3000	x 6950	26688	N	16284	06593		
02	1	70,00	x 2220	x 11000	13675	N	99194	01536		
02	1	70,00	x 2220	x 11000	13675	N	99194	01539		
**	2				27350					
***	4				54038					
B06 MARKING										
ITEM NO.: 01-02										
STEEL GRADE S355J2G3										
HEAT NO. / TRADEMARK / ROLLED PLATE NO./TEST NO. / INSPECTOR'S STAMP										
C10-C29 TENSILE TEST										
B09 Item No.	B08 Heat No.	B07 Rol.plate/ Test No.	B05 Reference condition	C01 C01	C02/ Temp.	C03 EE	C11 H/PM2	C12 RM	C13 AI LO- SD	C14 C15
01	16284	06593		K4	Q	GR.C	REH	532	30,0	
02	99194	01536		K4	Q	RT	372	528	30,5	
						RT	359			
C40-C49 IMPACT TEST										
B09 Item No.	B08 Heat No.	B07 Rol.plate/ Test No.	B05 Reference condition	C01 C01	C02/ Temp.	C03 GR.C	C41 Width	C40 Type of specimen	C44 C45/C42 Individual values	C43 Average value
01	16284	06593		K4	LO	-20		CHP-V	AV 205 194 208	202
02	99194	01536		K4	LO	-20		CHP-V	AV 195 207 207	203
A04										
201/202 We hereby certify, that the above mentioned materials have been delivered in accordance with the terms of order. QM-System: Certification as per ISO 9001 since 14 March 1990										
B. MUELLER Der Werkseachverständige										
AG der Dillinger Hüttenwerke Postfach 1580, D-66748 Dillingen/Saar Inspection department										
Inspector's stamp										
Date 26.03.01										
1										

Staatliche
Materialprüfungsanstalt
Universität Stuttgart

Auftrags-Nr.: 991 006 000-116
Anlage 1b

Abnahmeprüfzeugnis 3.1.B nach EN 10 204 der Dillinger Hütte für den Stahl
S355J2G3 mit der Schmelz-Nr. 16284 des Topfes

 DILLINGER HÜTTE																																																																																																																		
<small>(Erklärungen siehe Rückseite/Explanations voir au verso/See reverse for explanations)</small>																																																																																																																		
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td colspan="2"> A02 ABNAHMEPRUEFZEUGNIS 3.1.B DIN EN 10204 - EN 10204 - DIN 50049 CERTIFICAT DE RECEPTION 3.1.B NF EN 10204 INSPECTION CERTIFICATE 3.1.B BS EN 10204 - ISO 10474 MATERIAL TEST REPORT </td> <td> A08 Advice of dispatch No./ Date of dispatch 27970-26.03.01 </td> <td> A09 Manufacturer's order/ A03 Certificate No. 234898-001 </td> <td> Sheet 2 </td> </tr> <tr> <td> A05 Established inspecting body DH </td> <td> A06 Purchaser Final receiver UNIVERSAL, HANNOVER UNIVERSAL, HANNOVER </td> <td colspan="3"> A07.1 No. 1201 L-01-210860/153 A07.2 No. </td> </tr> <tr> <td colspan="2"> B02 Steel grade S355J2G3 B03 Specifications DIN-EN10025:94 </td> <td colspan="3"> ADW1/TRB100 </td> </tr> <tr> <td colspan="5"> C70-C99 CHEMICAL COMPOSITION 2 - HEAT ANALYSIS </td> </tr> <tr> <td colspan="5"> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <th colspan="2">C70</th> <th>C</th> <th>SI</th> <th>MN</th> <th>P</th> <th>S</th> <th>AL</th> <th>CU</th> <th>MO</th> <th>NI</th> <th>CR</th> <th>V</th> <th>NB</th> <th>TI</th> <th>B</th> </tr> <tr> <td>Heat No.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>16284</td> <td>Y</td> <td>0,156</td> <td>0,525</td> <td>1,56</td> <td>0,016</td> <td>0,0012</td> <td>0,038</td> <td>0,016</td> <td>0,005</td> <td>0,032</td> <td>0,027</td> <td>0,001</td> <td>0,000</td> <td>0,003</td> <td>0,0000</td> </tr> <tr> <td>99194</td> <td>Y</td> <td>0,160</td> <td>0,440</td> <td>1,52</td> <td>0,010</td> <td>0,0017</td> <td>0,042</td> <td>0,007</td> <td>0,008</td> <td>0,049</td> <td>0,030</td> <td>0,007</td> <td>0,001</td> <td>0,011</td> <td>0,0002</td> </tr> </table> </td> </tr> <tr> <td colspan="5"> D01 CHECKING OF MARKING, SURFACE, SHAPE AND DIMENSIONS </td> </tr> <tr> <td colspan="5"> ITEM NO.: 01-02 RESULT OF MARKING, SURFACE, SHAPE AND DIMENSIONS: NO REMARKS SURFACE AS PER DIN-EN10163-A1 THICKNESS AS PER DIN-EN10029-B:91 LENGTH AND WIDTH AS PER DIN-EN10029:91 FLATNESS AS PER DIN-EN10029-T4L:91 </td> </tr> <tr> <td colspan="2"> A04  </td> <td colspan="3"> 201/202 We hereby certify, that the above mentioned materials have been delivered in accordance with the terms of order. QM-System: Certification as per ISO 9001 since 14 March 1990 </td> </tr> <tr> <td colspan="2"> Trademark </td> <td colspan="3"> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td> AG der Dillinger Hüttenwerke Postfach 1580, D-66748 Dillingen/Saar Inspection department </td> <td> A01 </td> </tr> <tr> <td> E. MUELLER Der Werkstoffachverständige </td> <td> Inspector's stamp Date 26.03.01 </td> </tr> </table> </td> </tr> </table>		A02 ABNAHMEPRUEFZEUGNIS 3.1.B DIN EN 10204 - EN 10204 - DIN 50049 CERTIFICAT DE RECEPTION 3.1.B NF EN 10204 INSPECTION CERTIFICATE 3.1.B BS EN 10204 - ISO 10474 MATERIAL TEST REPORT		A08 Advice of dispatch No./ Date of dispatch 27970-26.03.01	A09 Manufacturer's order/ A03 Certificate No. 234898-001	Sheet 2	A05 Established inspecting body DH	A06 Purchaser Final receiver UNIVERSAL, HANNOVER UNIVERSAL, HANNOVER	A07.1 No. 1201 L-01-210860/153 A07.2 No.			B02 Steel grade S355J2G3 B03 Specifications DIN-EN10025:94		ADW1/TRB100			C70-C99 CHEMICAL COMPOSITION 2 - HEAT ANALYSIS					<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <th colspan="2">C70</th> <th>C</th> <th>SI</th> <th>MN</th> <th>P</th> <th>S</th> <th>AL</th> <th>CU</th> <th>MO</th> <th>NI</th> <th>CR</th> <th>V</th> <th>NB</th> <th>TI</th> <th>B</th> </tr> <tr> <td>Heat No.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>16284</td> <td>Y</td> <td>0,156</td> <td>0,525</td> <td>1,56</td> <td>0,016</td> <td>0,0012</td> <td>0,038</td> <td>0,016</td> <td>0,005</td> <td>0,032</td> <td>0,027</td> <td>0,001</td> <td>0,000</td> <td>0,003</td> <td>0,0000</td> </tr> <tr> <td>99194</td> <td>Y</td> <td>0,160</td> <td>0,440</td> <td>1,52</td> <td>0,010</td> <td>0,0017</td> <td>0,042</td> <td>0,007</td> <td>0,008</td> <td>0,049</td> <td>0,030</td> <td>0,007</td> <td>0,001</td> <td>0,011</td> <td>0,0002</td> </tr> </table>					C70		C	SI	MN	P	S	AL	CU	MO	NI	CR	V	NB	TI	B	Heat No.																16284	Y	0,156	0,525	1,56	0,016	0,0012	0,038	0,016	0,005	0,032	0,027	0,001	0,000	0,003	0,0000	99194	Y	0,160	0,440	1,52	0,010	0,0017	0,042	0,007	0,008	0,049	0,030	0,007	0,001	0,011	0,0002	D01 CHECKING OF MARKING, SURFACE, SHAPE AND DIMENSIONS					ITEM NO.: 01-02 RESULT OF MARKING, SURFACE, SHAPE AND DIMENSIONS: NO REMARKS SURFACE AS PER DIN-EN10163-A1 THICKNESS AS PER DIN-EN10029-B:91 LENGTH AND WIDTH AS PER DIN-EN10029:91 FLATNESS AS PER DIN-EN10029-T4L:91					A04 		201/202 We hereby certify, that the above mentioned materials have been delivered in accordance with the terms of order. QM-System: Certification as per ISO 9001 since 14 March 1990			Trademark		<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td> AG der Dillinger Hüttenwerke Postfach 1580, D-66748 Dillingen/Saar Inspection department </td> <td> A01 </td> </tr> <tr> <td> E. MUELLER Der Werkstoffachverständige </td> <td> Inspector's stamp Date 26.03.01 </td> </tr> </table>			AG der Dillinger Hüttenwerke Postfach 1580, D-66748 Dillingen/Saar Inspection department	A01	E. MUELLER Der Werkstoffachverständige	Inspector's stamp Date 26.03.01
A02 ABNAHMEPRUEFZEUGNIS 3.1.B DIN EN 10204 - EN 10204 - DIN 50049 CERTIFICAT DE RECEPTION 3.1.B NF EN 10204 INSPECTION CERTIFICATE 3.1.B BS EN 10204 - ISO 10474 MATERIAL TEST REPORT		A08 Advice of dispatch No./ Date of dispatch 27970-26.03.01	A09 Manufacturer's order/ A03 Certificate No. 234898-001	Sheet 2																																																																																																														
A05 Established inspecting body DH	A06 Purchaser Final receiver UNIVERSAL, HANNOVER UNIVERSAL, HANNOVER	A07.1 No. 1201 L-01-210860/153 A07.2 No.																																																																																																																
B02 Steel grade S355J2G3 B03 Specifications DIN-EN10025:94		ADW1/TRB100																																																																																																																
C70-C99 CHEMICAL COMPOSITION 2 - HEAT ANALYSIS																																																																																																																		
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <th colspan="2">C70</th> <th>C</th> <th>SI</th> <th>MN</th> <th>P</th> <th>S</th> <th>AL</th> <th>CU</th> <th>MO</th> <th>NI</th> <th>CR</th> <th>V</th> <th>NB</th> <th>TI</th> <th>B</th> </tr> <tr> <td>Heat No.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>16284</td> <td>Y</td> <td>0,156</td> <td>0,525</td> <td>1,56</td> <td>0,016</td> <td>0,0012</td> <td>0,038</td> <td>0,016</td> <td>0,005</td> <td>0,032</td> <td>0,027</td> <td>0,001</td> <td>0,000</td> <td>0,003</td> <td>0,0000</td> </tr> <tr> <td>99194</td> <td>Y</td> <td>0,160</td> <td>0,440</td> <td>1,52</td> <td>0,010</td> <td>0,0017</td> <td>0,042</td> <td>0,007</td> <td>0,008</td> <td>0,049</td> <td>0,030</td> <td>0,007</td> <td>0,001</td> <td>0,011</td> <td>0,0002</td> </tr> </table>					C70		C	SI	MN	P	S	AL	CU	MO	NI	CR	V	NB	TI	B	Heat No.																16284	Y	0,156	0,525	1,56	0,016	0,0012	0,038	0,016	0,005	0,032	0,027	0,001	0,000	0,003	0,0000	99194	Y	0,160	0,440	1,52	0,010	0,0017	0,042	0,007	0,008	0,049	0,030	0,007	0,001	0,011	0,0002																																														
C70		C	SI	MN	P	S	AL	CU	MO	NI	CR	V	NB	TI	B																																																																																																			
Heat No.																																																																																																																		
16284	Y	0,156	0,525	1,56	0,016	0,0012	0,038	0,016	0,005	0,032	0,027	0,001	0,000	0,003	0,0000																																																																																																			
99194	Y	0,160	0,440	1,52	0,010	0,0017	0,042	0,007	0,008	0,049	0,030	0,007	0,001	0,011	0,0002																																																																																																			
D01 CHECKING OF MARKING, SURFACE, SHAPE AND DIMENSIONS																																																																																																																		
ITEM NO.: 01-02 RESULT OF MARKING, SURFACE, SHAPE AND DIMENSIONS: NO REMARKS SURFACE AS PER DIN-EN10163-A1 THICKNESS AS PER DIN-EN10029-B:91 LENGTH AND WIDTH AS PER DIN-EN10029:91 FLATNESS AS PER DIN-EN10029-T4L:91																																																																																																																		
A04 		201/202 We hereby certify, that the above mentioned materials have been delivered in accordance with the terms of order. QM-System: Certification as per ISO 9001 since 14 March 1990																																																																																																																
Trademark		<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td> AG der Dillinger Hüttenwerke Postfach 1580, D-66748 Dillingen/Saar Inspection department </td> <td> A01 </td> </tr> <tr> <td> E. MUELLER Der Werkstoffachverständige </td> <td> Inspector's stamp Date 26.03.01 </td> </tr> </table>			AG der Dillinger Hüttenwerke Postfach 1580, D-66748 Dillingen/Saar Inspection department	A01	E. MUELLER Der Werkstoffachverständige	Inspector's stamp Date 26.03.01																																																																																																										
AG der Dillinger Hüttenwerke Postfach 1580, D-66748 Dillingen/Saar Inspection department	A01																																																																																																																	
E. MUELLER Der Werkstoffachverständige	Inspector's stamp Date 26.03.01																																																																																																																	

**Staatliche
Materialprüfungsanstalt**
Universität Stuttgart

Auftrags-Nr.: 991 006 000-116
Anlage 2a

Abnahmeprüfzeugnis 3.1.B nach EN 10 204 der Ilseburger Grobblech GmbH für den
Stahl S355J2G3 mit der Schmelz-Nr. 43398 des Topfdeckels



Abnahmeprüfzeugnis 3.1.B Inspection certificate 3.1.B DIN EN 10204 - ISO 10474		Nr./No. 186753 Seite / Page 1/4 Datum / Date 09.08.2001
Korrektur von Zeugnis-Nr. 186481 vom 08.08.2001		
Nr./No. L-01-211254/153 Besteller Universal Eisen Eisen und Stahl GmbH 30430 Hannover	13.06.2001 Erstellungs- Customer	Nr./No. Universal Eisen Eisen und Stahl GmbH 30430 Hannover
Erzeugnis Product Grobblech Heavy plate	Werkstoff und Lieferbedingung Material grade and terms of delivery S355J2G3 DIN EN 10025 03/94 ADM 1 07/95 DIN EN 10029 B 10/91 SEL 071 12/77	Werkzeug-Nr. 00493336/13 Werkstoff-Nr. WS Abnahme Inspector
Kennzeichnung des Materials/Marking of the product Herstellerzeichen/Stahlsorte/Schmelzen-Nr/ Erzeugnis-Nr./Sachverständigenstempel Trademark/Steelgrade/Heat-No/Product-No/ Inspector's stamp		

Materialdaten / Material data								
Pos. Item	Anzahl Quantity	Erzeugnis-Nr. Product No.	Schmelz-Nr. Heat No.	Lieferzustand Cond. of delivery	Dicke x Breite x Länge Thickness x Width x Length	mm x mm x mm		
14	1	537446 1	50049	N	35,00 x 2000,0 x 16000			
14	1	537447 1	50049	N	35,00 x 2000,0 x 16000			
14	1	537448 1	50045	N	35,00 x 2000,0 x 16000			
18	1	533800 1	43398	N	40,00 x 2500,0 x 10000			
18	1	536661 1	74499	N	40,00 x 2500,0 x 10000			
19	1	536208 1	00426	N	40,00 x 2500,0 x 12000			
19	1	536209 1	00426	N	40,00 x 2500,0 x 12000			
20	1	536227 1	74487	N	45,00 x 2500,0 x 12000			
25	1	532808 1	00849	N	60,00 x 3000,0 x 10600			
25	1	532809 1	00849	N	60,00 x 2800,0 x 10600			
14	3	Gewicht	26.376	N: normalisiert/normalized				
18	2	Weight	15.700					
19	2		18.840					
20	1		10.598					
25	2		28.957					
Σ	10		100.471					
Maßprüfung und Sichtkontrolle auf äußere Beschaffenheit: ohne Beanstandung Dimensional check and visual examination of the surface condition: without objection								

Es wird bestätigt, daß die Lieferung den Anforderungen der Lieferbedingung entspricht.
We hereby certify that the delivered material complies with the terms of the order.
GMB-System: Certificate as per ISO 10011 since 28 February 1990

Materialprüfungsanstalt
Universität Stuttgart

Ilseburger Grobblech GmbH
Verkehrsweg 18
D-30471 Hannover

Sachverständigenstempel
Inspector's Stamp



Sachverständiger
Abnahme
Werkstoffprüfer
Werkstoff Inspector

Diese durch ein geeignetes Datenverarbeitungssystem erstellte Bescheinigung ist gemäß EN 10 204, Abschnitt 5, ohne Unterschrift gültig.
This certificate was prepared by a suitable data processing system and is valid without signature according to EN 10 204, section 5.

Cyron

**Staatliche
Materialprüfungsanstalt**
Universität Stuttgart

Auftrags-Nr.: 991 006 000-116
Anlage 2b

Abnahmeprüfzeugnis 3.1.B nach EN 10 204 der Ilseburger Grobblech GmbH für
den Stahl S355J2G3 mit der Schmelz-Nr. 43398 des Topfdeckels



Abnahmeprüfzeugnis 3.1.B Inspection certificate 3.1.B DIN EN 10204 - ISO 10474		Nr./No. 186753 Seite/Page 2/4 Datum/Date 09.08.2001
Korrektur von Zeugnis-Nr. 186481 vom 08.08.2001		
Nr./No. L-01-211254/153 Bestell-Nr. Universal Eisen Eisen und Stahl GmbH 30430 Hannover	13.06.2001 Empfänger Universal Eisen Eisen und Stahl GmbH 30430 Hannover	
Erzeugnis Grobblech Produkt Heavy plate	Werkzeug-Nr. 00493336/13 Werkzeugs-Nr. WS Abnahme Inspection	
Werkstoff und Lieferbedingung S355J2G3 Steel grade and terms of delivery DIN EN 10025 03/94 ADM 1 07/95 DIN EN 10029 B 10/91 SEL 071 12/77		

Schmelzenanalyse / Ladle analysis										
Herstellernorm / Manufacturer standard										
Schmelz-Nr. Heat No.	C % s.02	Si % s.02	Mn % s.01	P % s.002	S % s.002	N %	Al %	Cu %	Cr %	Ni %
00426	0,18	0,42	1,44	0,015	0,006	0,004	0,036	0,01	0,03	0,03
00849	0,18	0,46	1,57	0,018	0,005	0,005	0,041	0,02	0,03	0,04
43398	0,18	0,47	1,52	0,030	0,007	0,003	0,040	0,05	0,09	0,10
50045	0,17	0,20	1,57	0,014	0,002	0,003	0,041	0,02	0,04	0,04
50049	0,18	0,44	1,50	0,012	0,007	0,006	0,033	0,04	0,04	0,05
74487	0,17	0,20	1,59	0,016	0,004	0,004	0,055	0,02	0,03	0,03
74499	0,17	0,28	1,54	0,016	0,015	0,005	0,033	0,04	0,04	0,04
Schmelz-Nr. Heat No.	Mo %	V %	Ti %	Nb %						
00426	0,00	0,00	0,00	0,00						
00849	0,01	0,01	0,01	0,00						
43398	0,02	0,01	0,00	0,00						
50045	0,00	0,00	0,00	0,02						
50049	0,01	0,01	0,00	0,00						
74487	0,00	0,01	0,00	0,02						
74499	0,00	0,00	0,00	0,02						
Erschmelzungsverfahren: Sauerstoffaufblasverfahren Steelmaking process: Basic oxygen process										

Es wird bezeugt, daß die Lieferung den Anforderungen der Lieferbedingung entspricht.
We hereby certify that the delivered material complies with the terms of the order.
Bild-Systeme Certification no. 155 5205 since 28 February 1998



Kuratortestzeichen
Testmark

Beschauer Grobblech GmbH
Verleitetest/Weg 10
D-30471 Hannover



Sachverständigenamt
Inspector's Stamp

Durch ein gedigitalisiertes Datenverarbeitungssystem wurde die Bescheinigung laut DIN EN 10 204, Abschnitt 5, ohne Unterschrift gültig.
This certificate was prepared by a suitable data processing system and is valid without signature according to DIN EN 10 204, section 5.



Das Gültigkeits-
Zeichen
Werkzeugvermerk
Werkzeuginspektion

Cytro

**Staatliche
Materialprüfungsanstalt**

Universität Stuttgart

Auftrags-Nr.: 991 006 000-116
Anlage 2c

Abnahmeprüfzeugnis 3.1.B nach EN 10 204 der Ilseburger Grobblech GmbH für
den Stahl S355J2G3 mit der Schmelz-Nr. 43398 des Topfdeckels



Abnahmeprüfzeugnis 3.1.B Inspection certificate 3.1.B DIN EN 10204 - ISO 10474		Nr./No. 186753 Seite/Page 3/4 Datum/Date 09.08.2001
Korrektur von Zeugnis-Nr. 186481 vom 08.08.2001		
Nr./No. L-01-211254/153 Hersteller Universal Eisen Eisen und Stahl GmbH 30430 Hannover	13.06.2001 W./No. Empfänger Universal Eisen Eisen und Stahl GmbH 30430 Hannover	
Erzeugnis Grobblech Produkt Heavy plate	Werkstoff und Lieferkennung S355J2G3 DIN EN 10025 03/94 ADW 1 07/95 DIN EN 10029 B 10/91 SEL 071 12/77	Werkstoff-Nr. 00493336/13 Werkstoff-Nr. WS Abnahme Inspection

Zugversuch / Tensile test

Proben-Nr. Specimen No.	Schmelz-Nr. Heat No.	Ort Location	Richt. Direct	Zustand Cond.	Form Type	Streckgrenze Yield point ReH N/mm ²	Zugfestigkeit Tensile strength Rm N/mm ² 40 - 520	Bruchdehnung Elongation A5 7) %	Ref/Nr. Ref/No.
517164 *)	43398	K4G	Q	N	P	418	589	23	0,71
532808	00849	K4G	Q	N	P	369	538	25	0,69
536208	00426	K4G	Q	N	P	375	522	28	0,72
536227	74487	K4G	Q	N	P	391	535	25	0,73
536661	74499	K4G	Q	N	P	389	516	25	0,75
537446	50049	K4G	Q	N	P	390	545	27	0,72
537448	50045	K4G	Q	N	P	386	524	30	0,74

*) K: Kopf/Top
 *) L: V4 Breite / V4 Width
 *) G: Bruchdehnung / Thickness of product
 *) Q: quer / transversal
 *) N: normalisiert / normalized
 *) P: prismatisch / prismatic
 *) AS: Last-AB-Test

*) Das Produkt ist nicht Bestandteil der Lieferung / The sample product is not part of the delivery

Kerbschlagblegeversuch / Impact test

Proben-Nr. Specimen No.	Schmelz-Nr. Heat No.	Ort Location	Richt. Direct	Zustand Cond.	Probenform Type of specimen	Temperatur Temperatures °C	Schlagarbeit Impact energy	1	2	3	MW 6) J 23
517164 *)	43398	K4O	L	N	KV450	-020	103	115	112	110	
532808	00849	K4V	L	N	KV450	-020	144	141	146	144	
536208	00426	K4O	L	N	KV450	-020	118	134	121	124	
536227	74487	K4V	L	N	KV450	-020	127	113	119	120	
536661	74499	K4O	L	N	KV450	-020	92	102	94	96	
537446	50049	K4O	L	N	KV450	-020	115	88	99	101	
537448	50045	K4O	L	N	KV450	-020	220	205	190	205	

K: Kopf/Top

L: V4 Breite / V4 Width

G: Bruchdehnung / Thickness of product

Q: quer / transversal

P: prismatisch / prismatic

AS: Last-AB-Test

L: Länge/longitudinal

N: normalisiert / normalized

SMV: Mittelwert / Average

*) Das Produkt ist nicht Bestandteil der Lieferung / The sample product is not part of the delivery

Es wird bestätigt, daß die Lieferung den Anforderungen der Lieferkennung entspricht.
We hereby certify that the delivered material complies with the terms of the order.
DIN-System: Certificate no. per ISO 9001 since 28 February 1998

Kernkraftwerk
Tendern

Ilseburger Grobblech GmbH
Verkehrsweg 18
D-30571 Hannover

A Sachverständigenstempel
Inspector's Stamp



Bestätigung
Abnahme
Werkstoffprüfung
Werkzeugprüfung

Cyron

Diese durch ein geeignetes Datenverarbeitungssystem erstellte Bescheinigung ist gemäß DIN EN 254, Abschnitt 5, ohne Unterschrift gültig.
This certificate was prepared by a suitable data processing system and is valid without signature according to DIN EN 254, section 5.

**Staatliche
Materialprüfungsanstalt**
Universität Stuttgart

Auftrags-Nr.: 991 006 000-116
Anlage 2d

Abnahmeprüfzeugnis 3.1.B nach EN 10 204 der Ilseburger Grobblech GmbH für
den Stahl S355J2G3 mit der Schmelz-Nr. 43398 des Topfdeckels



Abnahmeprüfzeugnis 3.1.B Inspection certificate 3.1.B DIN EN 10204 - ISO 10474		Nr./No. 186753 Seite/Page 4/4 Datum/Date 09.08.2001
Korrektur von Zeugnis-Nr. 186481 vom 08.08.2001		
Nr./No. L-01-211254/153 Besteller Universal Eisen Eisen und Stahl GmbH 30430 Hannover	13.06.2001 Empfänger Universal Eisen Eisen und Stahl GmbH 30430 Hannover	
Erzeugnis Product Grobblech Heavy plate	Werkzeug-Nr. 00493336/13 Werkzeug-Nr. WS Abnahme Inspection	
Werkstoff und Lieferbedingung S355J2G3 Steel grade and terms of delivery DIN EN 10025 03/94 ADM 1 07/95 DIN EN 10029 B 10/91 SEL 071 12/77		
Normalisierung: 910°C +/- 10°C Haltezeit: 1min/mm Abkühlung an ruhender Luft Normalizing: 910°C +/- 10°C Holdingtime: 1min/mm Cooling at still air		

Es wird bestätigt, daß die Lieferung den Anforderungen der Lieferbedingung entspricht.
We hereby certify that the delivered material complies with the terms of the order.
CEN-Schema Certificate no per ISO 9001 since 28 February 1998



Materialprüfungs-
Triedmarkt

Ilseburger Grobblech GmbH
Veckmannstr. 10
D-30827 Hannover



Sachverständigenamt
Inspector's Stamp



Qualitätsmanagement
Abnahme
Werkstoffprüfung
Werkstoff Inspector

Cyron

Dieses durch ein qualifiziertes Datenverarbeitungssystem erstellte Bescheinigung ist gemäß EN 10 204, Abschnitt 5, ohne Unterschrift gültig.
This certificate was prepared by a suitable data processing system and is valid without signature according to EN 10 204, section 5.

**Staatliche
Materialprüfungsanstalt**

Universität Stuttgart

Auftrags-Nr.: 991 006 000-116
Anlage 3a

Prüfungsbericht der MPA Stuttgart über die Oberflächen- und Härteprüfung für den
Stahl aus X5CrNiMo17-12-2 mit der Schmelz-Nr. L0057 des Gleitblechs

**Staatliche
Materialprüfungsanstalt**
Universität Stuttgart
Postfach 80 11 40
D-70511 Stuttgart



Prüfungsbericht

Auftraggeber:	Federal-Mogul Sollinger Hütte GmbH Postfach 1153 D-37162 Uslar
Auftrags-Nr. (Kunde):	
Auftrags-Nr. (MPA):	991 006 001-111 Dr.Ge/Dr.By/by
Prüfgegenstand	Oberflächen- und Härteprüfung an mechanisch behandeltem Gleitblech
Prüfspezifikation:	DIN EN ISO 4288, DIN ISO 13473-1 DIN EN ISO 3274 DIN EN ISO 6507-1
Eingangsdatum des Prüfgegenstandes:	2000-12-20
Datum der Prüfung:	2000-12-21
Datum des Berichts:	2001-01-16
Seite 1 von	3 Textseiten
Beilagen:	2
Anlagen:	-
Gesamtseitenzahl:	5
Anzahl der Ausfertigungen:	1 x Federal-Mogul Sollinger Hütte GmbH, D-37162 Uslar (Original)

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände.

Veröffentlichung des vorliegenden Berichtes (auch auszugsweise) ist nur mit schriftlicher Genehmigung der MPA Stuttgart zulässig.

**Staatliche
Materialprüfungsanstalt
Universität Stuttgart**

Auftrags-Nr.: 991 006 000-116
Anlage 3b

Prüfungsbericht der MPA Stuttgart über die Oberflächen- und Härteprüfung für den
Stahl aus X5CrNiMo17-12-2 mit der Schmelz-Nr. L0057 des Gleitblechs

**Staatliche
Materialprüfungsanstalt
Universität Stuttgart**

Auftrags-Nr.: 991 006 001-111
Seite 2 von 3 Textseiten

Lieferpapiere von : 2000-12-19
Unsere Zeichen: 991 006 001-111 Dr.Ge/Dr.By/by

An den uns am 20.12.2000 eingelieferten 3 Abschnitten rd. 500 mm x 121 mm x 2,5 mm
aus der Gleitblechlieferung der Firma AVESTA SHEFFIELD GMBH, HANS BOECKLER
STRASSE 36, 47877 WILLICH,

X5CrNiMo17-12-2, Werkstoff-Nr. 1.4401
gemäß Abnahmeprüfzeugnis 3.1.B nach EN 10204
von 2000-09-27, Zeugnis-Nr. 259186-1, vgl. Beilage 1
Schmelz-Nr. L0057
ursprüngliche Oberfläche in Ausführungsart N (kaltgewalzt 2B)
einseitig, d.h. Gleitfläche geschliffen und hochglanzpoliert,
mit Schutzfolie abgeklebt
Lieferumfang: 3 Tafeln 1500 mm x 3000 mm x 2,5 mm

wurde von uns die Oberflächenrauhtiefe gemäß DIN EN ISO 4288 und DIN ISO 13473-1 in
Verbindung mit DIN EN ISO 3274 sowie die Oberflächenhärte (Kleinlasthärte) nach Vickers
gemäß DIN EN ISO 6507-1 überprüft.

V Versuchsergebnisse

In den „Bedingungen für die Eigenschaften, die bauliche Durchbildung und die Prüfung von
PTFE-Gleitteilen für Gleit- und Kalottenlager“, des Deutschen Instituts für Bautechnik in
Berlin wurden für die Oberflächenrauhtiefe und die Oberflächenhärte folgende Grenzwerte

gemittelte Rauhtiefe $R_{z0.04}$	$\leq 1 \mu\text{m}$
Oberflächenhärte	150 bis 220 HV1

für die Freigabe von Gleitblech aus austenitischem Stahl in Brückenlagerqualität festgelegt.

Hausanschrift:
D-70569 Stuttgart (Vaihingen)
Plattenwaldweg 32

Telefon (07 11) 6 85 - 1
Telefax (07 11) 6 85-26 35

Telegramm-
Kurzanschrift:
MPA STUTTGART

Gütersendungen:
Stuttgart-Vaihingen
Stz. 1293

Bankverbindung:
BW-Bank Stuttgart, Kto-Nr. 1 054 611 700
(BLZ 600 200 30)

**Staatliche
Materialprüfungsanstalt**

Universität Stuttgart

Auftrags-Nr.: 991 006 000-116
Anlage 3c

Prüfungsbericht der MPA Stuttgart über die Oberflächen- und Härteprüfung für den
Stahl aus X5CrNiMo17-12-2 mit der Schmelz-Nr. L0057 des Gleitblechs

**Staatliche
Materialprüfungsanstalt
Universität Stuttgart**

Auftrags-Nr.: 991 006 001-111
Seite 3 von 3 Textseiten

Die ermittelten Ergebnisse

gemittelte Rautiefe $R_{z,DIN}$
Oberflächenhärte

rd. 0,1 μm , vgl. Beilage 2
167 HV 1

entsprechen den in den „Bedingungen“ festgelegten Anforderungen.



Dr.-Ing. H. Beyer
Prüfingenieur



Dr.-Ing. A. Gerber
Leiter der Stabsabteilung
Lager im Bauwesen

**Staatliche
Materialprüfungsanstalt**

Universität Stuttgart

Auftrags-Nr.: 991 006 000-116
Anlage 3d

Prüfungsbericht der MPA Stuttgart über die Oberflächen- und Härteprüfung für den
Stahl aus X5CrNiMo17-12-2 mit der Schmelz-Nr. L0057 des Gleitblechs

**Staatliche
Materialprüfungsanstalt
Universität Stuttgart**

Auftrags-Nr.: 991 006 001-111
Beilage 1

Staatliche Materialprüfungsanstalt
Auftrags-Nr.: 991 006 001-111
Beilage 1

ANFORDERUNG AN DEN BESTELLER

Die Materialprüfungsanstalt Stuttgart (MPA) ist eine Einrichtung der Universität Stuttgart. Sie ist für die Durchführung von Prüfungen im Bereich der Materialprüfung zuständig. Die MPA ist für die Durchführung von Prüfungen im Bereich der Materialprüfung zuständig. Die MPA ist für die Durchführung von Prüfungen im Bereich der Materialprüfung zuständig.

ANFORDERUNG AN DEN BESTELLER

Die Materialprüfungsanstalt Stuttgart (MPA) ist eine Einrichtung der Universität Stuttgart. Sie ist für die Durchführung von Prüfungen im Bereich der Materialprüfung zuständig. Die MPA ist für die Durchführung von Prüfungen im Bereich der Materialprüfung zuständig. Die MPA ist für die Durchführung von Prüfungen im Bereich der Materialprüfung zuständig.

ANFORDERUNG AN DEN BESTELLER

Die Materialprüfungsanstalt Stuttgart (MPA) ist eine Einrichtung der Universität Stuttgart. Sie ist für die Durchführung von Prüfungen im Bereich der Materialprüfung zuständig. Die MPA ist für die Durchführung von Prüfungen im Bereich der Materialprüfung zuständig. Die MPA ist für die Durchführung von Prüfungen im Bereich der Materialprüfung zuständig.

ANFORDERUNG AN DEN BESTELLER

Die Materialprüfungsanstalt Stuttgart (MPA) ist eine Einrichtung der Universität Stuttgart. Sie ist für die Durchführung von Prüfungen im Bereich der Materialprüfung zuständig. Die MPA ist für die Durchführung von Prüfungen im Bereich der Materialprüfung zuständig. Die MPA ist für die Durchführung von Prüfungen im Bereich der Materialprüfung zuständig.

ANFORDERUNG AN DEN BESTELLER

Die Materialprüfungsanstalt Stuttgart (MPA) ist eine Einrichtung der Universität Stuttgart. Sie ist für die Durchführung von Prüfungen im Bereich der Materialprüfung zuständig. Die MPA ist für die Durchführung von Prüfungen im Bereich der Materialprüfung zuständig. Die MPA ist für die Durchführung von Prüfungen im Bereich der Materialprüfung zuständig.

ANFORDERUNG AN DEN BESTELLER

Die Materialprüfungsanstalt Stuttgart (MPA) ist eine Einrichtung der Universität Stuttgart. Sie ist für die Durchführung von Prüfungen im Bereich der Materialprüfung zuständig. Die MPA ist für die Durchführung von Prüfungen im Bereich der Materialprüfung zuständig. Die MPA ist für die Durchführung von Prüfungen im Bereich der Materialprüfung zuständig.

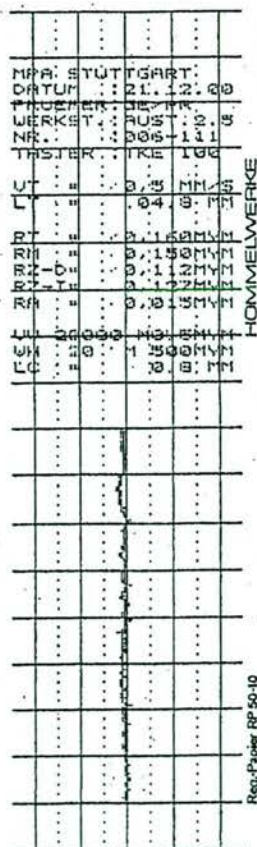
**Staatliche
Materialprüfungsanstalt
Universität Stuttgart**

Auftrags-Nr.: 991 006 000-116
Anlage 3e

Prüfungsbericht der MPA Stuttgart über die Oberflächen- und Härteprüfung für den
Stahl aus X5CrNiMo17-12-2 mit der Schmelz-Nr. L0057 des Gleitblechs

**Staatliche
Materialprüfungsanstalt
Universität Stuttgart**

Auftrags-Nr.: 991 006 001-111
Beilage 2



Kennzeichnende Aufnahme des Rauheits-
profils des Gleitbleches aus austenitischem
Stahl X5CrNiMo17-12-2
Oberfläche mechanisch behandelt,
Blechedicke 2,47 mm

Abnahmeprüfzeugnis 3.1B nach EN 10204
Schmelz-Nr. L0057

gemittelte Rauhtiefe der Gleitfläche
 R_{zDIN} rd. 0,1 μm



**Staatliche
Materialprüfungsanstalt
Universität Stuttgart**

Auftrags-Nr.: 991 006 000-116
Anlage 4

Abnahmeprüfzeugnis 3.1.B nach EN 10 204 der Firma New-York Hamburger für das
Elastomermaterial NYH 1115 mit der Charge 13 des Gummikissens

NYH New-York Hamburger
Gummi-Waaren Compagnie
Aktiengesellschaft

Nartenstraße 12 · D 21079 Hamburg · Telefon: 040/77129-1 · Fax: 040/77129415

Abnahmeprüfzeugnis (DIN EN 10 204 - 3.1 B)

Empfänger:
Federal-Mogul
Sollinger-Hütte GmbH
Postfach 1153
37162 Uslar

Besteller: Kd.-Bestell-Nr.:
B83311 v. 10.10.2001

Erzeugnis: Werkstoff:
NYHAPREN-SCHEIBE Wgl.-Qualität 1115

Lieferbedingungen und / oder amtliche Vorschriften:
Zulassungs-Nr.: Z - 16.3-246
Güteüberwacht durch TU-München / MPA-Stuttgart

NYH	0621
Qu.	1115
Cha	13
SH A	46
Ø	590
h max	38,9
h min	38,4
h m	38,7
h soll	38
Order	504179
Sign.	326-1
Kunde	Federal-Mogul
	5234 / 504179

453326

.../No.: 67/01

Artikel-Nr.	Signierung	Stück	Chargennummer
2.835 222.10	326-1	1	13
2.835			
2.835			
2.835			
2.835			
2.835			
2.835			
2.835			

1.1.2 Physikalische Eigenschaften	Soll	13	Ist-Werte (Chargen-Nr.)
Shorehärte A (Pkte.)	50 +/- 5	51	
Reißfestigkeit (N / mm²)	min. 15,0	17,8	
Reißdehnung (%)	min. 500	865	
Weiterreißwiderstand (N / mm)	min. 6,0	28,4	
Druckverformungsrest (%)	max. 25	15,5	
Dichte kg/m³	1,07 +/- 0,02	1,07	
Prüfung je Chargenserie			
Ozon 50pphm, 100 h, 22°C, 20% Dehnung	Stufe 0	Stufe 0	Stufe 0
Zunahme der Shorehärte 24h, -30°C (Pkte.)	max. +15	max + 11,6	max + 11,6
7d, -10°C (Pkte.)	max. +10	max + 4,3	max + 4,3

Es wird bestätigt, daß die Lieferung den Vereinbarungen bei der Bestellannahme entspricht.

Harburg, den 18.10.01

New-York Hamburger Gummi-Waaren Compagnie
Aktiengesellschaft

[Signature]
Der Werksachverständige

Anlagen:

PBE / VO - 029 / 004 - 15.11.2000

**Staatliche
Materialprüfungsanstalt**

Universität Stuttgart

Auftrags-Nr.: 991 006 000-116
Anlage 5

Abnahmeprüfzeugnis 3.1.B und 3.1.A nach EN 10 204 für das UHMW-PE-Material
des Topfdicht- und Gleitrings liegen noch nicht vor. Die Zeugnisse werden nachge-
reicht.

**Staatliche
Materialprüfungsanstalt
Universität Stuttgart**

Auftrags-Nr.: 991 006 000-116
Anlage 6a

Abnahmeprüfzeugnis 3.1.B nach EN 10 204 der Firma IBG Monforts Fluorkunststoffe GmbH für das PTFE-Material mit der Kennzahl 016102/514 der Gleitscheibe

Abnahmeprüfzeugnis von PTFE weiß in Brückenlagerqualität

DIN EN 10 204 3.1.B

Kunde:
Federal Mogul GmbH
Herr Stüber
Auschnippe 52

D 37170 Uslar

Hersteller:
IBG MONFORTS Fluorkunststoffe
GmbH & Co. KG
An der Waldesruh 23

41238 Mönchengladbach

Kunden-Bestell-Nr.: 883310; 453326;

Charge: 514

Kennzahl: 016102/514

freigegeben am: 12.09.2001

IBG-Auftrags-Nr.: 45 400866

Lot-Nr.: HH662229/30

Chargenumfang: ca. 520 kg verarbeitet zu Ronden und/oder Platten 1200 x 1200 mm \geq 4,5 mm (Nennstärke)

1. Plattenabmessungen max. Abweichung

$\Delta t = 0,3$ für $L \leq 1200$ mm
 $\Delta t = 0,4$ für $L \geq 1200$ mm

2. Anordnung und Form der Schmieraschen

Die Schmieraschen sind versetzt auf jeden 2. Punkt eines rechtwinkligen Rasters mit 7,5 bzw. 13,5 mm Abstand, Toleranz $\pm 0,5$ mm angeordnet.

Durchmesser der Schmieraschen in mm 8 $\pm 0,1$ 8,0

Tiefe der Schmieraschen in mm 3 $\pm 0,5$ 1,7

3. Lieferumfang

Lieferschein-Nr.: als Anlage vom: 18.10.2001 als Anlage

Gesamtgewicht: 3,490 kg

Für die oben genannte Lieferung bestätigen wir, daß die im Rahmen der Eigenüberwachung ermittelten Werte den in den „Bedingungen für die Eigenschaften, die bauliche Durchbildung und die Prüfung von PTFE-Gleitteilen für Gleit- und Kalottenlager“ festgelegten Sollwerten entsprechen.

Datum: 18.10.2001

Prüfer: W. Naumann

Werkzeugführer: G. Wegerl
IBG MONFORTS
Fluorkunststoffe GmbH & Co. KG
An der Waldesruh 23
D-41238 Mönchengladbach

Anlage: Abnahmeprüfzeugnis 3.1.A der MPA Stuttgart
Lieferschein



**Staatliche
Materialprüfungsanstalt
Universität Stuttgart**

Auftrags-Nr.: 991 006 000-116
Anlage 6b

Abnahmeprüfzeugnis 3.1.A nach EN 10 204 der MPA Stuttgart für das PTFE-Material mit der Kennzahl 016102/514 der Gleitscheibe

**Staatliche
Materialprüfungsanstalt
Universität Stuttgart**

**MPA
STUTTGART**

991 012 000-514 Dr. Ge/ge
02.10.2001

Abnahmeprüfzeugnis 3.1.A
(gemäß DIN EN 10 204)

Besteller: IBG Monforts Fluorkunststoffe GmbH + Co. KG
An der Waldesruh 23
41238 Mönchengladbach

Hersteller: dito

Prüfgegenstand: Polytetrafluorethylen (PTFE)
Lot-Nr.: HH662229/30
Kennzahl: 016102/514

Lieferumfang: 520 kg, rd. 100 kg zu Platten verarbeitet

Kennzeichnung: Selbstklebende Etikette des Herstellers

Anforderungen: Werkstoffkennwerte und tribologische Kennwerte für PTFE-Elemente gemäß den "Bedingungen für die Eigenschaften, die bauliche Durchbildung und die Prüfung von PTFE-Gleitteilen für Gleit- und Kalottenlager" des Deutschen Instituts für Bautechnik in Berlin

Werkstoffkennwerte:

Meßgröße	Rohdichte ¹⁾ kg/m ³	Reißfestigkeit ²⁾ N/mm ²	Reißdehnung ²⁾ %	Kugeldruckhärte ³⁾ N/mm ²
Sollwert	2140 bis 2200	29 bis 40	≥ 300	23 bis 33
Istwert	2162	34,6	369	27,9

¹⁾ gemäß DIN 53 479

²⁾ gemäß DIN 53 455

³⁾ gemäß DIN 53 456

Tribologische Kennwerte:

Reibungszahl	μ_{A1} bei T = +21 °C	μ_{A1} bei T = 0 °C	μ_{A1} bei T = -35 °C	μ_{Am} bei T = -35 °C
Sollwert	≤ 0,012	≤ 0,018	≤ 0,035	≤ 0,018
Istwert	0,005	0,010	0,026	0,010

Ergebnis der Prüfungen: Die gestellten Anforderungen wurden erfüllt.



ce/w
Dr.-Ing. A. Gerber
Stabsabteilungsleiter

Hausanschrift:
D-70569 Stuttgart (Vaihingen)
Plattenwaldring 32

Telefon (07 11) 8 55-1
Telefax (07 11) 8 55-26 35
Telex 7 255 764 mpa d

Telegramm-
Kurzanschrift:
MPA STUTTGART

Gütersendungen:
Stuttgart-Vaihingen
Stz. 1293

Bankverbindung:
BWL-Bank Stuttgart, Kto.-Nr. 101 46117
(BLZ 600 200 30)

**Staatliche
Materialprüfungsanstalt**
Universität Stuttgart

Auftrags-Nr.: 991 006 000-116
Anlage 7a

Abnahmeprüfzeugnis 3.1.B nach EN 10 204 der Firma FUCHS DEA Schmierstoffe GmbH für das Siliconfett 300 mittel der Kennzahl 6641-068 zur Schmierung des Topf- und Gleitteils

WACKER Silicon

FUCHS DEA SCHMIERSTOFFE GMBH & CO.KG

Chargen-Nr./Kennzahl
6641-068



Abnahmeprüfzeugnis 3.1.B
(gemäß DIN EN 10204)

für Schmierstoffe in Brückenlagerqualität

Betreff: Prüfung von Schmierstoffen für die Verwendung in Gleitlagern im Brücken- und Hochbau, gemäß allgemein bauaufsichtlichen Zulassungen des Instituts für Bautechnik, Berlin

Produkt-Bezeichnung	Wacker Siliconfett 300 mittel Brückenlagerqualität		
Lieferant:	FUCHS DEA SCHMIERSTOFFE GMBH & CO. KG Mannheim		
Chargenumfang:	kg 375		
Prüfergebnisse:	Einheit	Sollwerte	Istwerte
1. Ruhepenetration bei 25°C DIN 51 804	0.1 mm	240 - 280	<u>280</u>
2. Walzpenetration bei 25°C DIN 51 804	0.1 mm	265 - 295	<u>283</u>
3. Tropfpunkt DIN 51 801 / Blatt 1	°C	≥ 180	<u>212</u>
4. Ölabscheidung nach 24 h bei 100°C FTMS 791 B-321	Gew.-%	≥ 3	<u>0,0</u>
5. Oxydationsbeständigkeit nach 100 h bei 160°C DIN 51 808, Druckabfall	N/mm²	≤ 0,1	<u>0,02</u>
6. Pour-Point des Grundöles DIN 51 597	°C	unter -60	<u>< -60</u>
7. IR Spektrum	Nr.	entsprechend Nr. 7612-33	<u>09/48</u>

Datum

2.03.2000

Sachbearbeiter

C. L...

Laborleiter
FUCHS DEA SCHMIERSTOFFE GMBH & CO. KG

OS-1101
Friedrich
0.5.160 Mannheim

EMPFANGSZEIT 2. MAR. 15:58

AUSDRUCKSZEIT 2. MAR. 15:59

**Staatliche
Materialprüfungsanstalt**
Universität Stuttgart

Auftrags-Nr.: 991 006 000-116
Anlage 7b

Abnahmeprüfzeugnis 3.1.A nach EN 10 204 der MPA Stuttgart für das Siliconfett
300 mittel der Kennzahl 6641-068 zur Schmierung des Topf- und Gleitteils

Staatliche
Materialprüfungsanstalt
Universität Stuttgart

**MPA
STUTTGART**

991 022 000-88 Dr.Ga/Dr.By/by
09.03.2000

Abnahmeprüfzeugnis 3.1.A
(gemäß DIN EN 10 204)

Besteller: FUCHS DEA SCHMIERSTOFFE GMBH & CO:KG
Postfach 10 11 62
68145 Mannheim

Hersteller: dito

Prüfgegenstand: Schmierstoff 300 mittel
Kennzahl: 6641/068

Lieferumfang: 375 kg (15 Hobbocks à 25 kg)

Kennzeichnung: Selbstklebende Etikette des Herstellers auf jedem Hobbock

Anforderungen: Übereinstimmung des IR-Spektrums und der tribologischen Kennwerte für den Schmierstoff gemäß den "Bedingungen für die Eigenschaften, die bauliche Durchbildung und die Prüfung von PTFE-Gleiteilen für Gleit- und Kalottenlager" des Deutschen Instituts für Bautechnik in Berlin

IR-Spektrum:

Die Übereinstimmung des IR-Spektrums (IR-NR 0948.sp vom 01.03.2000) mit dem Referenzspektrum wird bestätigt.


Tribologische Kennwerte:

Reibungszahl	μ_{A1} bei T = +21 °C	μ_{A1} bei T = 0 °C	μ_{A1} bei T = -35 °C	μ_{A1} bei T = -35 °C
Sollwert	≤ 0,012	≤ 0,018	≤ 0,035	≤ 0,018
Istwert	0,006	0,013	0,026	0,014

Ergebnis der Prüfungen: Die gestellten Anforderungen wurden erfüllt. Die Hobbocks wurden unmittelbar nach der Probenahme verplombt und mit einem Abnahme-stempel versehen.


Dr.-Ing. H. Beyer
Prüfingenieur




Dr.-Ing. A. Gerbar
Leiter der Stabsabteilung
Lager im Bauwesen

Hausanschrift:
D-70569 Stuttgart (Vaihingen)
Plattenwerkling 32

Telefon (07 11) 8 85-1
Telefax (07 11) 8 85-28 28
Telex 7 253 764 mpe d

Telegramm:
Kurzanschrift:
MPA STUTTGART

Gütersendungen:
Stuttgart-Vaihingen
Sez. 1293

Bankverbindung:
BW-Bank Stuttgart, Kto.-Nr. 105 46117 00
(BLZ 600 200 30)

