

Oberflächentechnologie

Beschichtungen für Automotive und Industrie

Technische Produktinformation

Vorwort

Schlüsseltechnologien der industriellen Fertigung

Die Oberflächentechnik gehört weltweit zu den wichtigsten Schlüsseltechnologien der industriellen Fertigung. Schon seit über hundert Jahren werden Beschichtungen verwendet, um Bauteile langlebiger und leistungsfähiger zu machen. Die Anforderungen an die Oberflächentechnik unterliegen dabei einem ständigen Wandel.

Während es nach wie vor einen hohen Bedarf an mechanischen Komponenten mit stets steigenden Anforderungen an Korrosionsschutz und Verschleißschutz sowie Reibminderung gibt, erfordern die Mobilitätswende und die Energiewende völlig neue Beschichtungslösungen für die damit verbundenen Anwendungen. Hierzu gehören Beschichtungen für elektrische und thermische Leitfähigkeit, elektromagnetische Verträglichkeit, Energieumwandlung und Energiespeicherung sowie Sensorik.

Der Schaeffler-Beschichtungsbaukasten, den wir Ihnen in dieser Broschüre vorstellen, trägt diesen Entwicklungen Rechnung. Hier finden Sie alle validierten Schaeffler-Schichtsysteme mit ihren Eigenschaften und Anwendungsbeispielen und können sich davon überzeugen, wie die Schaeffler-Oberflächentechnologie ihren Beitrag zur Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit für das gesamte Schaeffler-Produktportfolio leistet.

Weitere Informationen

- E-Mail: surface.technology@schaeffler.com
- Telefon: +49 (0)9132 82-85999

Für weitere Unterstützung zu Themen der Oberflächentechnologie können Sie sich gerne an uns wenden. Das Team aus Experten steht Ihnen von der Auswahl eines geeigneten Schichtsystems bis hin zur Serienproduktion und der Untersuchung von Rückläufern kompetent zur Seite und beantwortet gerne alle Ihre Fragen.

Inhaltsverzeichnis

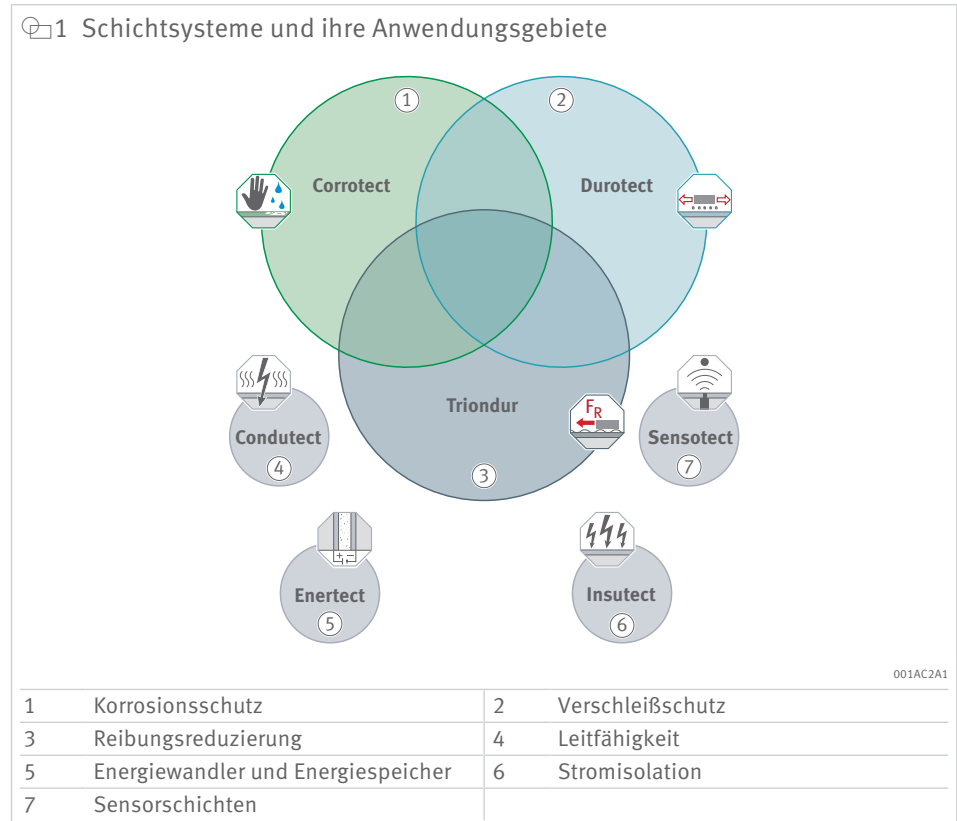
1	Technische Grundlagen	6
1.1	Beschichtungsbaukasten	6
1.1.1	Corrotect	6
1.1.2	Durotect	6
1.1.3	Triondur	6
1.1.4	Conductect	7
1.1.5	Enertect	7
1.1.6	Insutect.....	7
1.1.7	Sensotect.....	7
1.2	Schichtsysteme und ihre Anwendungsgebiete	8
1.3	Vorauswahl der Beschichtungen	10
2	Korrosionsschutz.....	15
2.1	Corrotect-Schichtsysteme	15
2.2	Beschichtungsverfahren	16
2.3	Beschichtungsvarianten	18
2.3.1	Corrotect A*, Corrotect N*	18
2.3.2	Corrotect ZI	20
2.3.3	Corrotect ZN	22
2.3.4	Corrotect ZK	24
2.3.5	Corrotect ZF, Corrotect ZF(rt)	26
2.3.6	Corrotect P	28
2.3.7	Corrotect H, Corrotect HP	30
3	Verschleißschutz und Reibungsreduzierung.....	32
3.1	Durotect-Schichtsysteme	32
3.2	Beschichtungsverfahren	33
3.3	Beschichtungsvarianten	34
3.3.1	Durotect B	34
3.3.2	Durotect Z	36
3.3.3	Durotect M	38
3.3.4	Durotect CK	40
3.3.5	Durotect CM, Durotect CMT	42
3.3.6	Durotect NP	44
3.3.7	Durotect C	46
3.3.8	Durotect S	48
3.3.9	Durotect H	50
3.3.10	Durotect HT	51
3.3.11	Durotect HA	52
3.3.12	Durotect P	54
4	Schichtsysteme für tribomechanisch hochbeanspruchte Oberflächen.....	56
4.1	Triondur-Schichtsysteme	56
4.2	Beschichtungsverfahren	57
4.3	Beschichtungsvarianten	59
4.3.1	Triondur C	59
4.3.2	Triondur C+.....	61
4.3.3	Triondur CX+.....	62
4.3.4	Triondur CH	64

4.3.5	Triondur CN	65
4.3.6	Triondur TN.....	66
4.3.7	Triondur MN	67
5	Elektrisch leitfähige Beschichtungen	68
5.1	Conductect-Schichtsysteme.....	68
5.2	Beschichtungsverfahren	68
5.3	Beschichtungsvarianten	70
5.3.1	Conductect ES.....	70
5.3.2	Conductect EG	71
5.3.3	Conductect EN	72
5.3.4	Conductect ET.....	73
5.3.5	Conductect EC.....	74
6	Schichtsysteme für Energiewandler und Energiespeicher.....	75
6.1	Enertect-Schichtsysteme.....	75
6.2	Beschichtungsverfahren	75
6.3	Beschichtungsvarianten	77
6.3.1	Enertect PI.....	77
6.3.2	Enertect PI+	78
6.3.3	Enertect PC+.....	79
7	Stromisolation.....	80
7.1	Insutect-Schichtsystem.....	80
7.2	Beschichtungsverfahren	80
7.3	Beschichtungsvarianten	81
7.3.1	Insutect A.....	81
8	Sensorik, Kraftmessung und Momentmessung.....	83
8.1	Sensotect-Schichtsystem	83
8.2	Beschichtungsvarianten	84
8.2.1	Sensotect.....	84

1 Technische Grundlagen

1.1 Beschichtungsbaukasten

Aktuell sind folgende Schichtsysteme verfügbar.



1.1.1 Corrotect

Unter Corrotect werden sämtliche Schichtsysteme geführt, die primär zum Schutz vor Korrosion (Schichtkorrosion und Grundmetallkorrosion) eingesetzt werden. Die Herstellung erfolgt je nach Schichtsystem mittels elektrochemischem Verfahren (galvanisch), als Lackierung oder durch thermisches Spritzen.

1.1.2 Durotect

Durotect-Schichtsysteme werden primär in Anwendungen eingesetzt, die Verschleißschutz, Reibungsreduzierung oder beides fordern. Die Herstellung erfolgt je nach Schichtsystem mittels chemischem oder elektrochemischem Verfahren, als Lackierung oder durch thermisches Spritzen.

1.1.3 Triondur

Triondur-Schichtsysteme bieten die beste Kombination von Verschleißschutz und Reibungsreduzierung für tribomechanisch sehr hoch beanspruchte Bauteile. Die Herstellung erfolgt im Vakuum mittels PVD-Verfahren oder plasma-unterstütztem CVD-Verfahren.

1.1.4 ConduTECT

ConduTECT-Schichtsysteme sind vorgesehen für die elektrische und thermische Leitfähigkeit sowie EMV-Abschirmung. Der Wandel zur E-Mobilität und der steigende Bedarf an intelligenten Systemen mit elektromechanischen Komponenten (z. B. sensorische Lager, Robotics) rücken bei Schaeffler neue Komponenten wie beispielsweise Steckkontakte und Busbars in den Fokus. Auch die Themen Wärmeleitfähigkeit und elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) gewinnen durch die Transformation des Produktportfolios zunehmend an Bedeutung.

Mit der neuen Beschichtungsfamilie ConduTECT nimmt sich Schaeffler dieser Veränderung an und bietet adäquate Beschichtungslösungen zur Verbesserung der elektrischen und thermischen Leitfähigkeit unter verschiedensten Bedingungen. Hiermit können nun auch EMV-Abschirmungen für den Leichtbau realisiert werden.

1.1.5 EnerTECT

Der bei weitem größte Teil der globalen Treibhausgas-Emissionen entsteht bislang bei der Verwendung und Umwandlung fossiler Energieträger. Die Transformation des Energiemarkts im Zuge der Energiewende hin zu einer CO₂-neutralen Versorgung auf Basis erneuerbarer Energieträger ist von zentraler Bedeutung, um die Klimaschutzziele zu erreichen.

Mit der neuentwickelten Beschichtungsserie EnerTECT gelingt es Schaeffler, den Einsatz von Elektrolyseuren sowie die Brennstoffzellentechnologie auf ein neues Level hinsichtlich Effizienz, Langlebigkeit und Kosten zu heben. Durch ihre exzellente Performance bestehen EnerTECT-Beschichtungen unter harschen Betriebsbedingungen, auch auf metallischen Komponenten wie Bipolarplatten aus Stahl. Hierbei zeichnen sie sich durch ihre hohe elektrochemische Stabilität und gleichzeitig hohe elektrische Leitfähigkeit sowie mechanische Robustheit aus.

1.1.6 InsuTECT

Unter InsuTECT werden Schichtsysteme geführt, die primär zur Stromisolation eingesetzt werden. Die Herstellung erfolgt durch thermisches Spritzen.

1.1.7 SensotECT

SensotECT ist eine sensorische Beschichtung, die eine Funktionserweiterung von Bauteilen ermöglicht. Dies ist insbesondere im Zusammenhang mit den Themen Industrie 4.0 und Digitalisierung von Bedeutung.

Dieses Schichtsystem wird zur kontinuierlichen Kraftmessung und Drehmomentmessung an 2-dimensionalen und 3-dimensionalen Bauteilgeometrien eingesetzt. Die Besonderheit besteht darin, dass die Sensorik mittels PVD-Technologie und anschließender Laserstrukturierung direkt auf die Bauteiloberfläche aufgebracht wird.

1.2 Schichtsysteme und ihre Anwendungsgebiete

Die Anwendung maßgeschneiderter Schichtsysteme verbessert die Einsatzfähigkeit von Komponenten aus Automotive und Industrie. Schichtsysteme werden daher als ein eigenes Konstruktionselement angesehen.

Beschichten ist ein bewährtes Verfahren, um die Leistungsfähigkeit des Grundmaterials durch Funktionserweiterung zu erhöhen und so die Bauteile mit zusätzlichen Eigenschaften für spezielle Anwendungen zu versehen. Schaeffler beschichtet deshalb seit langem Wälzlager und Präzisionsbauteile zur Verbesserung des Korrosionsschutzes sowie der tribologischen und elektrisch isolierenden Eigenschaften.


Korrodierte Lagerteile können zu Funktionsstörungen, einem geringeren Wirkungsgrad und zum frühzeitigen Ausfall der Lager führen. Angepasste Beschichtungen können eine Alternative zu teuren, korrosionsbeständigen Lagerstählen sein.

Die Qualität eines Wälzlagers wird zu einem wesentlichen Teil von seinem Leichtlauf und seiner Verschleißbeständigkeit bestimmt. Diese Faktoren beeinflussen neben der Grundfunktion den Bedarf an Energie und Betriebsstoffen. So reduziert ein niedriger Reibungskoeffizient neben dem Energieaufwand auch den Bedarf an Schmierstoff. Damit verbunden ist ein geringerer mechanischer Verschleiß. Das wiederum sichert die Funktion des Lagers langfristig und seine Gebrauchsdauer steigt.

Zur Verbesserung des tribologischen Verhaltens eignen sich Durotect-Beschichtungssysteme und Triondur-Beschichtungssysteme. Mit der Auswahl der richtigen Beschichtung kann hierbei auch die Performance bei schlechten Schmierbedingungen (Mangelschmierung) signifikant gesteigert werden.

Zur Vermeidung von Wälzlagerschäden aufgrund von Stromdurchgang können Mantelflächen und Stirnseiten der Lagerringe mit isolierenden, keramischen Schichten versehen werden.

Die folgenden Tabellen geben einen groben Überblick über die Leistungsstärken der Beschichtungen in Bezug auf Korrosionsschutz, Verschleißschutz und Reibungsreduzierung.

 Die tatsächliche Performance hängt von der jeweiligen Anwendung ab und kann ggf. abweichen. Hierzu bitte bei Schaeffler rückfragen.

1 Eigenschaften der Beschichtungen mit Hauptfunktion Korrosionsschutz

Schichtsystem	Hauptfunktion		
	Korrosionsschutz	Verschleißschutz	Reibungsreduzierung
Corrotect ZK	+	--	--
Corrotect ZI	++	--	--
Corrotect ZN	+++	--	--
Corrotect ZF, Corrotect ZF(rt)	+++	--	--
Corrotect P	++	--	--
Corrotect H	++	--	--
Corrotect HP	+++	--	--

2 Eigenschaften der Beschichtungen mit Hauptfunktion Verschleißschutz

Schichtsystem	Hauptfunktion		
	Korrosionsschutz	Verschleißschutz	Reibungsreduzierung
Durotect NP	++	++	--
Durotect HA	+	+	--
Durotect CM, Durotect CMT	+	++	+
Durotect CK	+	+++	+
Durotect HT	--	++	--

3 Eigenschaften der Beschichtungen mit Hauptfunktion Reibungsreduzierung

Schichtsystem	Hauptfunktion		
	Korrosionsschutz	Verschleißschutz	Reibungsreduzierung
Durotect B	-	+	+
Durotect M	-	+	+
Durotect Z	-	+	+
Durotect C	--	--	+
Durotect S	--	--	+
Durotect P	+	+	++
Triondur-Systeme	--	+++	+++

- +++ hoch
- ++ mittel
- + mäßig
- kurzzeitig (z. B. für den Transport mit Beölung)
- nicht sichergestellt

1.3 Vorauswahl der Beschichtungen

4 Corrotect-Schichtsysteme Cr(VI)-frei, Korrosionsschutz

Schichtsystem	Zusammensetzung	Hauptfunktion			Zusatzfunktion	Haupteinsatzgebiet
		Korrosionsschutz	Verschleißschutz	Reibungsreduzierung		
Corrotect A*	Zink-Eisen-Dünnschicht	+	-	-	-	Riementrieb Schaltwellen Lager Lagerkomponenten
Corrotect N*	Zink-Eisen-Dünnschicht	+	-	-	-	Riementrieb Arretierungen
Corrotect ZI	Zink-Eisen	+	-	-	-	Riementrieb Lagerkomponenten Schrauben mit mittleren Korrosionsschutzanforderungen
Corrotect ZN	Zink-Nickel	+	-	-	-	Riementrieb Lagerkomponenten Schrauben mit hohen Korrosionsschutzanforderungen
Corrotect ZK	Zink	+	-	-	-	einfache Korrosionsschutzanwendungen
Corrotect ZF, Corrotect ZF(rt)	Zink-Lamellen	+	-	-	Reibwerteeinstellung durch Topcoat möglich	Fahrwerktechnik Komponenten Schrauben und Sicherheitsbauteile mit hoher Zugfestigkeit
Corrotect P	Lacksysteme	+	-	-	je nach Schichtvariante stromisolierend	Gehäuse Flansche Drehverbindungen Verbindungselemente Hauptlager
Corrotect H	Zink oder Zink-Aluminium	+	-	-	-	Korrosionsschutz für Innenringe und Außenringe bei Großlagern Drehverbindungen Hauptlager Generatorlager
Corrotect HP	Zink oder Zink-Aluminium mit Topcoat	+	-	-	-	Korrosionsschutz für Innenringe und Außenringe bei Großlagern Drehverbindungen Hauptlager Generatorlager

5 Corrotect-Schichtsysteme Cr(VI)-haltig, Korrosionsschutz

Schichtsystem	Zusammensetzung	Hauptfunktion			Zusatzfunktion	Haupteinsatzgebiet
		Korrosionsschutz	Verschleißschutz	Reibungsreduzierung		
Corrotect C	Zink-Eisen-Dünnschicht	+	–	–	–	Lager Lagerkomponenten
Corrotect F	Zink-Eisen-Dünnschicht	+	–	–	–	Linearkomponenten vereinzelte Lagerkomponenten



Informationen zu REACH

Mit Inkrafttreten der Altautoverordnung (EU-Richtlinie 2000/53/EG) wurde erstmalig die Verwendung von sechswertigen Chromverbindungen reglementiert. In der Automobilbranche sind Cr(VI)-haltige Nachbehandlungen bei Beschichtungsverfahren, das sogenannte Gelbchromatieren (Corrotect C) und Schwarzchromatieren (Corrotect F), unzulässig.

Im April 2013 wurden sechswertige Chromverbindungen aufgrund ihrer mutagenen und karzinogenen Wirkung durch die Europäische Chemikalienagentur (ECHA) in den Anhang XIV der REACH-Verordnung aufgenommen. Hintergrund dieser Richtlinie ist die Verbesserung des Schutzes der menschlichen Gesundheit und der Umwelt vor Risiken, die durch Chemikalien entstehen können. Die REACH-Verordnung ist innerhalb der gesamten Europäischen Union (zusätzlich Liechtenstein, Island, Norwegen) gültig. Die Schweiz hat mit REACH harmonisierte Gesetze.

Ohne eine durch die ECHA genehmigte Autorisierung ist die Verwendung sechswertiger Chromverbindungen im Beschichtungsprozess ab September 2017 für alle Branchen innerhalb des REACH-Geltungsbereichs verboten. Folglich ist hiervon auch der Industriebereich betroffen.

Bei Schaeffler werden deshalb alle betroffenen Produkte sukzessiv auf Cr(VI)-freie Nachbehandlungen umgestellt. Für sämtliche Neuteile werden die Beschichtungsvarianten Corrotect C und Corrotect F daher nicht mehr empfohlen und nicht mehr eingesetzt.

6 Durotect-Schichtsysteme, Verschleißschutz und Reibungsreduzierung

Schichtsystem	Zusammensetzung	Hauptfunktion			Zusatzfunktion	Haupteinsatzgebiet
		Korrosionsschutz	Verschleißschutz	Reibungsreduzierung		
Durotect B	Eisenmischoxid	-	-	+	verbessertes Einlaufverhalten reduzierte Schlupfschäden kurzzeitiger Korrosionsschutz verringerte WEC-bedingte Ausfälle	Riementrieb Schaltwellen Lager Lagerkomponenten
Durotect Z	Zinkphosphat	-	-	+	kurzzeitiger Korrosionsschutz (z. B. für den Transport) Schutz gegen Passungsrost geeignet bei Schiebesitzen Haftschicht für Lacke, Seifen, Öle, Vulkanisierung	Aerospace Lager Lagerkomponenten
Durotect M	Manganphosphat	-	-	+	verbessertes Einlaufverhalten kurzzeitiger Korrosionsschutz (z. B. für den Transport) Notlaufschmierung Trägerschicht für Trockenschmierstoffe	Aerospace Linearführungen Lagerkomponenten
Durotect CK	kolumnare Dünnschichtverchromung	-	+	-	Korrosionsschutz möglich, abhängig von der Anwendung leicht verringerte Reibung reduziert Passungsrost	Lineartechnik Aerospace Schwingsieblager Spindellager
Durotect CM, Durotect CMT	mikrorissige Dünnschichtverchromung	-	+	-	Korrosionsschutz möglich, abhängig von der Anwendung leicht verringerte Reibung	Nadellager Lagerkomponenten Motorenkomponenten
Durotect NP	Nickel-Phosphor	+	+	-	Reibungsreduzierung durch Zusätze von PTFE	Hülsen Führungsringsegmente
Durotect C	Kupfer	-	-	+	Notlaufschmierung Ableitung von Reibungswärme	Käfige in Lagern mit hohen Drehzahlen
Durotect S	Silber	-	-	+	Notlaufschmierung Ableitung von Reibungswärme	Aerospace Linearführungen Lagerkomponenten Käfige in Lagern mit hohen Drehzahlen
Durotect H	Chromstahl oder Manganstahl	-	+	-	-	zur Maßkorrektur von Wälzlagering
Durotect HT	verschiedene Varianten	-	+	-	Haftreibungserhöhung (statisch oder dynamisch)	Synchronringe, Innenringe, Zwischenringe
Durotect HA	Hardanodisation (Al)	+	- +	-	Stromisolation	Schiebehülsen Lagerkäfige Gehäusekomponenten
Durotect P	polymerbasierte Beschichtung	-	-	+	Schutz gegen Passungsrost Stromisolation	Lagering Führungshülsen Käfige

7 Triondur-Schichtsysteme, Verschleißschutz und Reibungsreduzierung tribomechanisch hochbeanspruchter Bauteile

Schichtsystem	Zusammensetzung	Hauptfunktion			Zusatzfunktion	Haupteinsatzgebiet
		Korrosionsschutz	Verschleißschutz	Reibungsreduzierung		
Triondur C	a-C:H:Me (metallhaltige und wasserstoffhaltige amorphe Kohlenstoffschicht)	–	+	+	Reduzierung von Schlupfschäden	Lagerkomponenten Motorelemente
Triondur C+	a-C:H (wasserstoffhaltige amorphe Kohlenstoffschicht)	–	+	+	–	Motorelemente Lagerkomponenten
Triondur CX+	a-C:H:X (modifizierte, wasserstoffhaltige amorphe Kohlenstoffschicht)	–	+	+	–	Motorelemente Lagerkomponenten, nanostrukturiert beste Kombination aus Reibungsreduzierung und Verschleißschutz
Triondur CH	ta-C (tetraedrische, wasserstofffreie amorphe Kohlenstoffschicht)	–	+	+	–	Motorelemente Reibungsreduzierung mit entsprechendem Schmierstoff höchste Verschleißbeständigkeit aller Schichtsysteme
Triondur CN	Cr _x N (Chromnitrid)	–	+	+	–	Ventiltriebkomponenten
Triondur TN	TiN (Titanitrid)	–	+	+	–	Lagerkomponenten Bordflächen
Triondur MN	CuMoN (nitridische Hartstoffschicht)	–	+	+	Erhöhung der Temperaturbeständigkeit	Motorelemente Lagerkomponenten, nanostrukturiert

8 Condulect-Schichtsysteme, elektrisch leitfähige Schutzschichten für stromführende Komponenten

Schichtsystem	Zusammensetzung	Hauptfunktion			Zusatzfunktion	Haupteinsatzgebiet
		Korrosionsschutz	Verschleißschutz	Reibungsreduzierung		
Condulect ES	Silber	+	–	–	–	Anwendungen im Kfz-Motorraum Steuergerätekontaktierung
Condulect EG	Gold	+	–	–	–	Steckverbindungen mit hoher Sicherheitsrelevanz Anwendungen mit hoher Steckzyklenzahl
Condulect EN	Nickel	+	+	–	–	bei verschleißfester Oberflächenvorgabe für korrosiv beanspruchte Bereiche
Condulect ET	Zinn	+	–	–	–	wenn Gold und Silber nicht erforderlich bzw. nicht vorgeschrieben Lötanschlüsse bzw. Schweißverbindungen Anwendungen mit niedriger Steckzyklenzahl
Condulect EC	Kupfer	–	–	–	–	Zwischenschicht oder Anbindungsschicht, Leiterbahnen

9 Enertect-Schichtsysteme, Energiewandler und Energiespeicher

Schichtsystem	Zusammensetzung	Hauptfunktion			Zusatzfunktion	Haupteinsatzgebiet
		Korrosionsschutz	Verschleißschutz	Reibungsreduzierung		
Enertect PI	edelmetallhaltige Beschichtung	+	+	–	–	Komponenten für Energieumwandlung und Energiespeicherung
Enertect PI+	Beschichtung mit reduziertem Edelmetallgehalt	+	+	–	–	Komponenten für Energieumwandlung und Energiespeicherung
Enertect PC+	edelmetallfreie Beschichtung	+	+	+	–	Komponenten für Energieumwandlung und Energiespeicherung

10 Insutect-Schichtsysteme, Stromisolation

Schichtsystem	Zusammensetzung	Hauptfunktion	Zusatzfunktion	Haupteinsatzgebiet
Insutect A	Aluminiumoxid	Stromisolation	–	Schienenfahrzeuge Elektromotoren Generatoren

11 Sensotect-Schichtsysteme, Sensorik

Schichtsystem	Zusammensetzung	Hauptfunktion	Zusatzfunktion	Haupteinsatzgebiet
Sensotect	Mehrschichtsystem aus Isolationsschicht und dehnungsempfindlicher PVD-Beschichtung	Kraftmessung und Drehmomentmessung	–	Wälzlager Tretlager Radlager Wellen Biegebalken

2 Korrosionsschutz

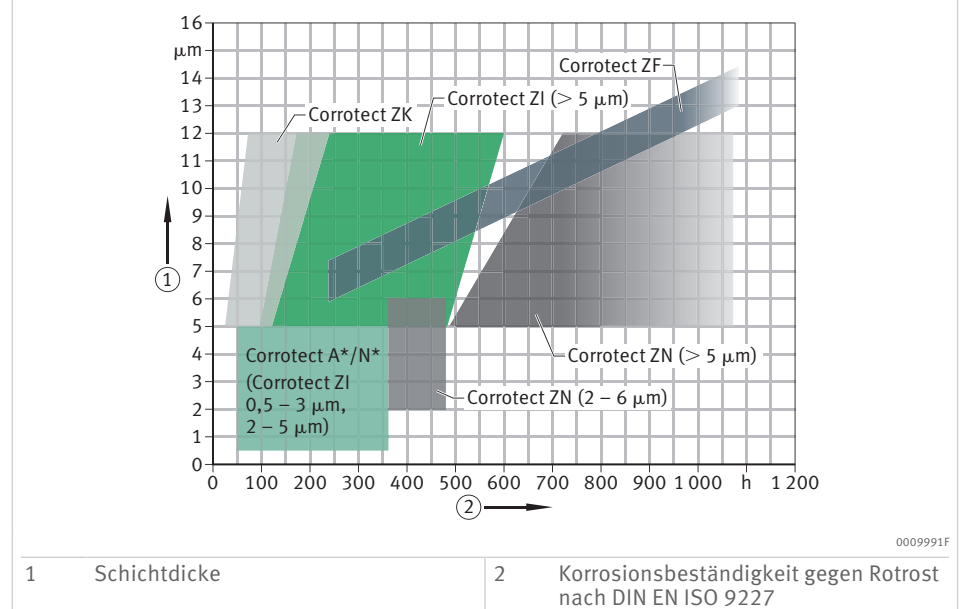
2.1 Corrotect-Schichtsysteme

Wälzlagerkomponenten werden üblicherweise aus martensitischen, bainitischen oder einsatzgehärteten Wälzlagerstählen hergestellt, wie z. B. 100Cr6. Beim Kontakt mit Wasser oder Luftfeuchtigkeit können Standard-Wälzlagerstähle jedoch korrodieren, wodurch die vorgesehene Funktion nachhaltig beeinträchtigt werden kann. Rostbeständige Wälzlagerstähle schaffen Abhilfe, sind jedoch teuer. Die wirtschaftlichere Variante zur Optimierung der Eigenschaften bei mittlerer Korrosionsbelastung ist deshalb häufig die Kombination eines Standard-Wälzlagerstahls mit entsprechender Beschichtung. Für besonders hohe Korrosionsbelastungen gibt es seewasserbeständige Beschichtungen.

Eine große Auswahl an unterschiedlich leistungsfähigen Corrotect-Beschichtungen sorgt für einen individuell auf die Kundenanwendung abgestimmten Korrosionsschutz (für Schichtkorrosion und Grundmetallkorrosion). Die Korrosionsschutzschichten von Schaeffler werden nachfolgend detailliert mit Anwendungsbeispielen erläutert.

Corrotect umfasst sämtliche Schichtsysteme, die primär zum Schutz vor Korrosion Verwendung finden. Die hierfür verfügbaren Schichtsysteme schützen auf unterschiedliche Art und Weise. Je nach Schichtsystem beruht die Wirkung auf einem kathodischen Korrosionsschutz (wie bei Zinklegierungen), einem anodischen Korrosionsschutz (wie bei Chemisch-Nickel-Beschichtungen) oder einem Barriereeffekt (z. B. bei Lacksystemen).

☞ 2 Vergleich der Corrotect-Schichtsysteme (kathodischer Korrosionsschutz) in der neutralen Salzsprühnebelprüfung



In der neutralen Salzsprühnebelprüfung (NSS-Prüfung) nach DIN EN ISO 9227 werden die Bauteile einem definierten Natriumchlorid-Klima ausgesetzt, um die Korrosionsschutzleistung der Beschichtungssysteme im Vergleich darzustellen.

2.2 Beschichtungsverfahren

Je nach Schichtsystem wird die Herstellung entweder durch einen elektrochemischen (galvanischen) Prozess, z. B. für Zinklegierungen, oder durch das Spritzverfahren oder das Tauchverfahren für Lacksysteme durchgeführt.

Galvanische Korrosionsschutzschichten

Zink und Zinklegierungen sind seit vielen Jahren als Korrosionsschutzbeschichtung im technischen Einsatz. Bei Wälzlageranwendungen werden die weichen Schichten im Betrieb im überrollten Bereich der Lagerlaufbahn abgetragen. Dadurch erhöht sich das Lagerspiel. Schichtdicken $> 5 \mu\text{m}$ sind daher in diesen Bereichen im Allgemeinen nicht geeignet. Bei den Dünnschichtvarianten Corrotect A* und Corrotect N* werden Schichtdicken im Bereich von $0,5 \mu\text{m}$ bis $5 \mu\text{m}$ aufgebracht, wodurch ein Einsatz dieser Beschichtungen bei Standard-Wälzlagern möglich wird.

Zinkbasierte Korrosionsschutzbeschichtungen sind aufgrund ihres amphoteren Charakters nur bedingt oder gar nicht für den Einsatz in aggressiven Umgebungen geeignet. Bei Kontakt mit sauren oder alkalischen Medien (pH-Werte < 6 oder pH-Werte > 8) ist mit einem Angriff auf die beschichtete Oberfläche oder mit beschleunigter Schichtkorrosion und Grundmetallkorrosion zu rechnen.

! Während des Beschichtungsprozesses befindet sich das Bauteil in einem elektrischen Stromkreis. Dadurch bildet sich ein elektrisches Feld mit unterschiedlicher Intensität über die gesamte Bauteilgeometrie aus, was zu einer erhöhten Schichtbildung an Kanten führt (Knocheneffekt). Aufgrund dieser physikalischen Effekte kommt es jedoch in Bohrungen, Hinterschnitten und Innenkanten zu einer geringeren oder sogar zu gar keiner Schichtabscheidung. Durch optimierte und speziell auf das Bauteil angepasste Beschichtungsgestelle können diese Effekte ggf. reduziert oder eliminiert werden.

☞ 3 Beschichtetes und unbeschichtetes Teil nach Salzsprühnebelprüfung, Prüfzeit 24 h im Salzsprühnebel



Passivierung und Versiegelung von Zinkschichten und Zinklegierungsschichten

Zur Erhöhung der Korrosionsschutzwirkung werden Zinkschichten und Zinklegierungsschichten zusätzlich passiviert. Hierbei wird eine Cr(VI)-freie Umwandlungsschicht durch Tauchen der Bauteile in Passivierungslösungen erreicht. Diese Umwandlungsschicht schützt die Zinkbasisbeschichtung vor Korrosion und verlängert somit die Beständigkeit des Gesamtsystems gegen Weißrost und Rotrost.

Bei speziellen Anwendungen ist zusätzlich eine Versiegelung möglich. Hierbei werden organische oder anorganische Stoffe als Deckschicht auf die Passivierung aufgebracht. Dadurch verbessert sich die Korrosionsbeständigkeit nochmals.

Kombination unterschiedlicher Metallkontaktflächen

Die Schutzleistung der Beschichtungen mit kathodischem Korrosionsschutz wird durch einen Kontakt mit Edelmetallen oder Halbedelmetallen wie Kupferdichtringen durch die entstehende elektrochemische Potentialdifferenz stark verringert. Der Kontakt von Flächen aus unterschiedlichen Metallen sollte daher möglichst vermieden werden.

Transportaufgaben und Handhabungsaufgaben

Werden nur geringe Anforderungen an die Korrosionsbeständigkeit gestellt, z. B. für Aufgaben im Zusammenhang mit Transport, Lagerung und Handhabung, ist eine kostengünstige Zinkphosphatierung (Durotect Z) oder Brünierung (Durotect B), jeweils mit Beölung, möglich. Hierbei sind jedoch die Erwartungen an das Schutzsystem mit den möglichen Systemleistungen abzugleichen und sorgfältig abzuwägen. In der Regel liefern diese einfachen Schutzsysteme nur bei zeitgleicher Beölung akzeptable Korrosionsschutzleistungen.

Lackbasierte Korrosionsschutzschichten

Gerade bei großen Bauteilabmessungen oder Bauteilen mit speziellen Anforderungen ist das Eintauchen der Bauteile in den Elektrolyten eines galvanischen Prozesses oftmals nicht möglich. Alternativ werden daher Lackierungen (Corrotect P) oder ein hochbeständiges, lackbasiertes Schichtsystem (Corrotect ZF und Corrotect ZF(rt)) für den Korrosionsschutz eingesetzt.

Weitere Beschichtungen für den Korrosionsschutz

Im Kontakt mit stark korrosiven Medien wie Säuren oder Laugen haben sich stromlos abgeschiedene Nickel-Phosphor-Schichten (NiP-Schichten) bewährt. Hierfür sind allerdings höhere Schichtdicken erforderlich, sodass ein entsprechendes Abmaß bei der Konstruktion des Bauteils berücksichtigt werden muss.

Kolumnare Dünnschichtverchromung

Als verschleißfeste und überrollfeste Korrosionsschutzschicht kann auch die kolumnare Dünnschichtverchromung Durotect CK eingesetzt werden.

2.3 Beschichtungsvarianten

2.3.1 Corrotect A*, Corrotect N*

Zink-Eisen-Beschichtung (Schichtdicke $\leq 5 \mu\text{m}$) mit Dickschichtpassivierung A* oder Nanopartikel-gestützter Dickschichtpassivierung N*

Beschichtungsprozess

- galvanisches Verfahren
- bei hochfesten Werkstoffen ist eine nachgelagerte Wärmebehandlung notwendig (gegen Wasserstoffversprödung)

Vorteile, Nutzen

- Schutz gegen Grundmetallkorrosion (Rotrostbildung)
- kostengünstiger, kathodischer Korrosionsschutz
- Dünnschichttechnologie ermöglicht Lagerkomplettbeschichtung ohne Berücksichtigung der Abmaße und Toleranzvorgaben

Übliche Anwendungen

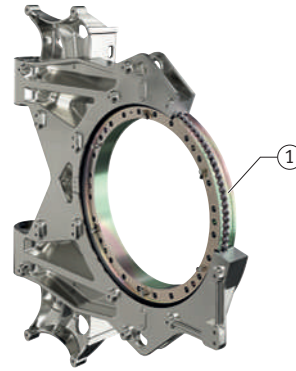
Diverse Lager, Lagerkomponenten und Lagerumbauteile mit Forderung nach höherer Korrosionsbeständigkeit:

- Lagerinnenringe, Außenringe
- Nadelhülsen und dünnwandige Bauteile in großen Stückzahlen, z. B. Arretierhülsen

12 Eigenschaften

Merkmal	Beschichtung	
	Corrotect A*	Corrotect N*
Zusammensetzung	Zink-Eisen	
Nachbehandlung	Dickschichtpassivierung	Nanopartikel-gestützte Dickschichtpassivierung
Korrosionsbeständigkeit	abhängig von der Schichtdicke und der Passivierung zwischen 48 h und 360 h gegen Grundmetallkorrosion (Salzsprühnebelprüfung nach DIN EN ISO 9227)	
Farbe	silberfarben, irisierend	silberfarben, leicht irisierend
Schichtdicke	0,5 μm bis 3 μm 2 μm bis 5 μm	
Schichtbeständigkeit	Beschichtung hat amphoterer Charakter, also eine verringerte Korrosionsbeständigkeit für pH-Wert < 6 und pH-Wert > 8	

4 Anwendungsbeispiel Schwenksystem



0009E14B

- 1 Vierpunktlager, Innenring beschichtet mit Corrotect A*

2.3.2 Corrotect ZI

Zink-Eisen-Beschichtung (Schichtdicke > 5 µm) mit Dickschichtpassivierung A* oder Nanopartikel-gestützter Dickschichtpassivierung N*

Beschichtungsprozess

- galvanisches Verfahren
- nachgelagerte Wärmebehandlung bei hochfesten Werkstoffen notwendig (gegen Wasserstoffversprödung)

Vorteile, Nutzen

- Schutz gegen Grundmetallkorrosion (Rotrostbildung)
- kostengünstiger, kathodischer Korrosionsschutz

Übliche Anwendungen

Bauteile mit Forderung nach höherer Korrosionsbeständigkeit, z. B.:

- Lagerumbauteile
- Gehäuse
- Riemenscheiben
- Hebel

13 Eigenschaften

Merkmal	Beschichtung	
	Corrotect ZI A*	Corrotect ZI N*
Zusammensetzung	Zink-Eisen	
Nachbehandlung	Dickschichtpassivierung	Nanopartikel-gestützte Dickschichtpassivierung
Korrosionsbeständigkeit	abhängig von der Schichtdicke und der Passivierung zwischen 120 h und 600 h gegen Grundmetallkorrosion (Salzsprühnebelprüfung nach DIN EN ISO 9227)	
Farbe	silberfarben, irisierend	silberfarben, leicht irisierend
Schichtdicke	> 5 µm	
Schichtbeständigkeit	Beschichtung hat amphoteren Charakter, also eine verringerte Korrosionsbeständigkeit für pH-Wert < 6 und pH-Wert > 8	



Jede Anwendung, bei der Kontakt mit Dichtungen besteht, muss im Einzelnen geprüft werden.

5 Riementrieb-Entkoppler



001ABD86

6 Anwendungsbeispiel Riementrieb



000A09E8

2.3.3 Corrotect ZN

Zink-Nickel-Beschichtung mit Dickschichtpassivierung A*

Beschichtungsprozess

- galvanisches Verfahren
- nachgelagerte Wärmebehandlung bei hochfesten Werkstoffen notwendig (gegen Wasserstoffversprödung)

Vorteile, Nutzen

- Schutz gegen Grundmetallkorrosion (Rotrostbildung)
- hochwertiger, kathodischer Korrosionsschutz
- bestes Verhältnis von Schichtdicke zu Korrosionsschutzwirkung

Übliche Anwendungen

Bauteile mit Forderung nach sehr hoher Korrosionsbeständigkeit, z. B.:

- Gelenkbuchsen und Arretierbuchsen
- Lagerbolzen
- mechanische Hebel
- Großlagerringe mit max. Durchmesser 1 m

14 Eigenschaften

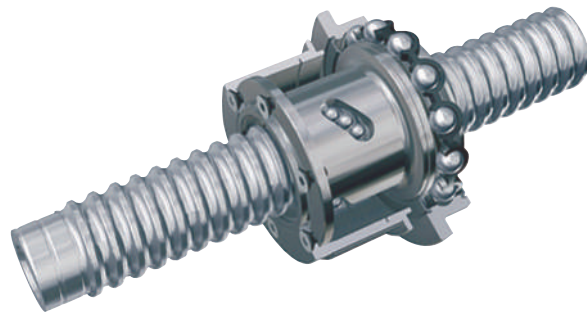
Merkmal	Beschichtung
	Corrotect ZN A*
Zusammensetzung	Zink-Nickel
Nachbehandlung	Dickschichtpassivierung
Korrosionsbeständigkeit	abhängig von der Schichtdicke und der Passivierung zwischen 360 h und 720 h gegen Grundmetallkorrosion (Salzsprühnebelprüfung nach DIN EN ISO 9227) In Kombination mit einer leistungssteigernden Nachbehandlung ist ggf. auch Korrosionsschutz über 720 h gegen Rotrost möglich.
Farbe	silberblau, teilweise farbig irisierend
Schichtdicke	> 2 µm
Schichtbeständigkeit	Beschichtung hat amphoteren Charakter, also eine verringerte Korrosionsbeständigkeit für pH-Wert < 6 und pH-Wert > 8

7 Außenring aus dem Kugelgewindetrieb, beschichtet mit Corrotect ZN A*



0009E18C

8 Anwendungsbeispiel Kugelgewindetrieb



000B2DEF

2.3.4 Corrotect ZK

Galvanische Zinkbeschichtung mit Dickschichtpassivierung A* oder Dünnschichtpassivierung A bzw. B

Beschichtungsprozess

- galvanisches Verfahren
- nachgelagerte Wärmebehandlung bei hochfesten Werkstoffen notwendig (gegen Wasserstoffversprödung)

Vorteile, Nutzen

- Schutz gegen Grundmetallkorrosion (Rotrostbildung)

Übliche Anwendungen

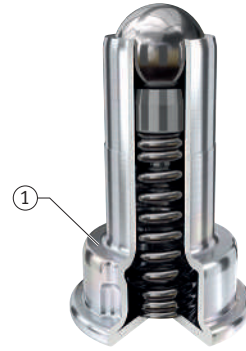
Bauteile mit Forderung nach geringer Korrosionsbeständigkeit:

- einfache Stanzteile und Biegeteile
- kleine Einbauteile wie Schlagbüchsen
- Schrauben

15 Eigenschaften

Merkmal	Beschichtung		
	Corrotect ZK A*	Corrotect ZK A	Corrotect ZK B
Zusammensetzung	Zink		
Nachbehandlung	Dickschichtpassivierung	Dünnschichtpassivierung	Dünnschichtpassivierung
Korrosionsbeständigkeit	abhängig von der Schichtdicke und der Passivierung zwischen 24 h und 240 h gegen Grundmetallkorrosion (Salzsprühnebelprüfung nach DIN EN ISO 9227)		
Farbe	silberfarben, irisierend	farblos, silberfarben	silberblau
Schichtdicke	> 5 µm		
Schichtbeständigkeit	Beschichtung hat amphoteren Charakter, also eine verringerte Korrosionsbeständigkeit für pH-Wert < 6 und pH-Wert > 8		

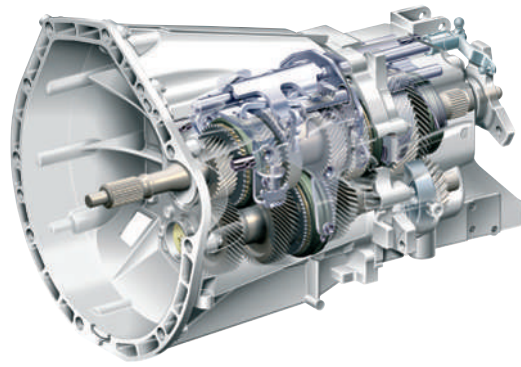
9 Schaltstangenarretierung aus dem Schaltgetriebe



000A3F0D

1 Hülse beschichtet mit Corrotect ZK

10 Anwendungsbeispiel Schaltgetriebe



0009CA4C

2.3.5 Corrotect ZF, Corrotect ZF(rt)

Zink-Lamellenbeschichtung

Beschichtungsprozess

- Tauchverfahren, Schleuderverfahren oder Spritzverfahren
- Variante Corrotect ZF(rt) bei Raumtemperatur härtbar

Vorteile, Nutzen

- Schutz gegen Grundmetallkorrosion (Rotrostbildung)
- teilkathodischer, lackähnlicher Korrosionsschutz
- erhöhte Temperaturbeständigkeit im Vergleich zu normalen Korrosionsschutzlacken
- Korrosionsschutz ohne nachgelagerte Wärmebehandlung von hochfesten Werkstoffen. Keine Gefahr von Wasserstoffversprödung durch Beschichtungsprozess
- Beschichtung von montierten Komponenten möglich

Übliche Anwendungen

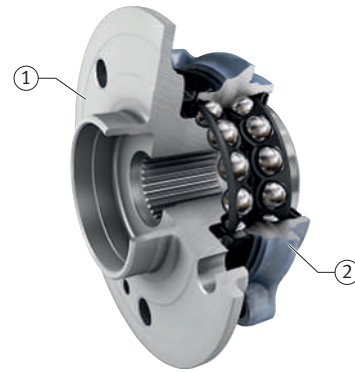
Im Automobilbereich:

- Achslagerkomponenten und Radlagerkomponenten
- Impulsringe und Zwischenringe
- hochfeste Schrauben (ab Gewinde M5)

☒ 16 Eigenschaften

Merkmal	Beschichtung
	Corrotect ZF, Corrotect ZF(rt)
Zusammensetzung	Zink(-Aluminium)-Lamelle
Nachbehandlung	keine Passivierung, ggf. mit Topcoat
Korrosionsbeständigkeit	abhängig von der Schichtdicke bis 1000 h gegen Grundmetallkorrosion (Salzsprühnebelprüfung nach DIN EN ISO 9227)
Farbe	silbergrau (Topcoat optional beliebig einfärbbar)
Schichtdicke	> 5 µm

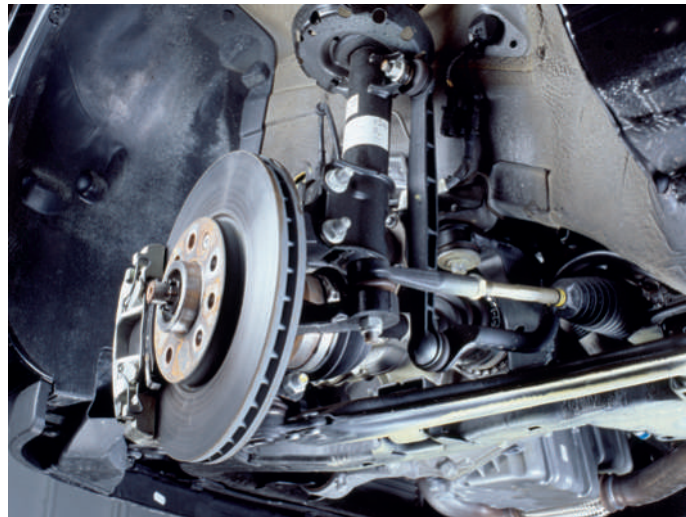
11 Radflansch



000A0271

- | | | | |
|---|---------------------------------------------------------------|---|----------------------------------------|
| 1 | Felgensitz beschichtet mit Corrotect ZF oder Corrotect ZF(rt) | 2 | Außenring beschichtet mit Corrotect ZN |
|---|---------------------------------------------------------------|---|----------------------------------------|

12 Anwendungsbeispiel Radaufhängung



000A39DB

2.3.6 Corrotect P

Polymerbasierte Beschichtung

Zu Corrotect P gehören verschiedene Lack-Schichtsysteme, die für den Korrosionsschutz eingesetzt werden.

Beschichtungsprozess

- Tauchverfahren:
 - Komplettschichtung von Einzelkomponenten
- Spritzverfahren:
 - komplette oder partielle Beschichtung
- Aushärtetemperatur, abhängig vom Lacksystem, von Raumtemperatur bis etwa +250 °C

Vorteile, Nutzen

- Schutz gegen Grundmetallkorrosion (Rotrostbildung)
- Korrosionsschutz für verschiedene Umgebungsbedingungen nach DIN EN ISO 12944, Korrosivitätskategorien C1 bis C5-M
- keine Weißrostbildung
- je nach Schichtvariante Stromisolation im Niederspannungsbereich
- gute chemische Beständigkeit
- Farbe frei wählbar

Übliche Anwendungen

Bauteile mit niedrigen bis sehr hohen Anforderungen an den Korrosionsschutz, z. B.:

- Rotorhauptlagerungen bei Windkraftanlagen
- Wankstabilisator (Gehäuse, Drehstab)
- Stehlager
- Radlager

17 Eigenschaften

Merkmal	Beschichtung
	Corrotect P
Zusammensetzung	polymerbasiert
Nachbehandlung	keine Passivierung
Korrosionsbeständigkeit	Korrosionsschutz nach DIN EN ISO 12944, Korrosivitätskategorien C1 bis C5-M abhängig von der Schichtdicke bis 720 h gegen Grundmetallkorrosion (Salzsprühnebelprüfung nach DIN EN ISO 9227)
Farbe	frei wählbar
Schichtdicke	15 µm bis 500 µm

13 Wankstabilisator



000A0A82

- 1 Stabilisatorarme beschichtet mit Corrotect P

14 Anwendungsbeispiel SAF-Stehlagergehäuse



001ABCF4

2.3.7 Corrotect H, Corrotect HP

Thermisch gespritzte, metallische Schichten als Korrosionsschutz mit Zink oder Zink-Aluminium (optional mit Topcoat)

Beschichtungsprozess

- thermisches Spritzen (optional Topcoat durch Lackieren)

Vorteile, Nutzen

- Korrosionsschutz für verschiedene Umgebungsbedingungen nach DIN EN ISO 12944
- Korrosivitätskategorien C1 bis C5-M, mögliche Korrosionsschutzdauer 15 a (Schutzdauerklasse H)
- Beschichtung von geometrisch anspruchsvollen und großdimensionierten Komponenten

Übliche Anwendungen

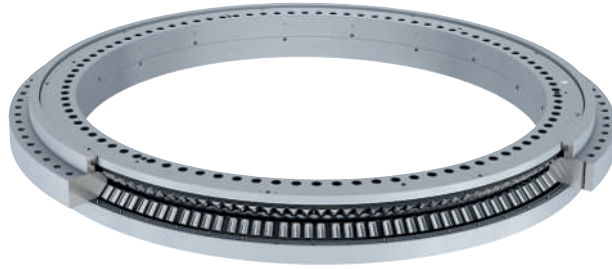
Sehr hoher Korrosionsschutz für folgende Bereiche:

- Innenringe und Außenringe für Großlager
- Drehverbindungen, Hauptlager und Generatorlager in Windkraftanwendungen

☒ 18 Eigenschaften

Merkmal	Beschichtung	
	Corrotect H	Corrotect HP
Zusammensetzung	Zinkbeschichtung oder Zink-Aluminium-Beschichtung	
Nachbehandlung	ohne	polymerbasierter Topcoat (Lack)
Korrosionsbeständigkeit	> 15 a möglich, nach DIN EN ISO 12944	
Farbe	metallisch	Topcoat individuell einfärbbar
Schichtdicke	50 µm bis 400 µm	

15 Kegelrollenlagersystem für Windkraftanlagen, beschichtet mit Corrotect H an allen Außenflächen



000A04AF

16 Anwendungsbeispiel Offshore-Windkraftanlage



000A39FF

3 Verschleißschutz und Reibungsreduzierung

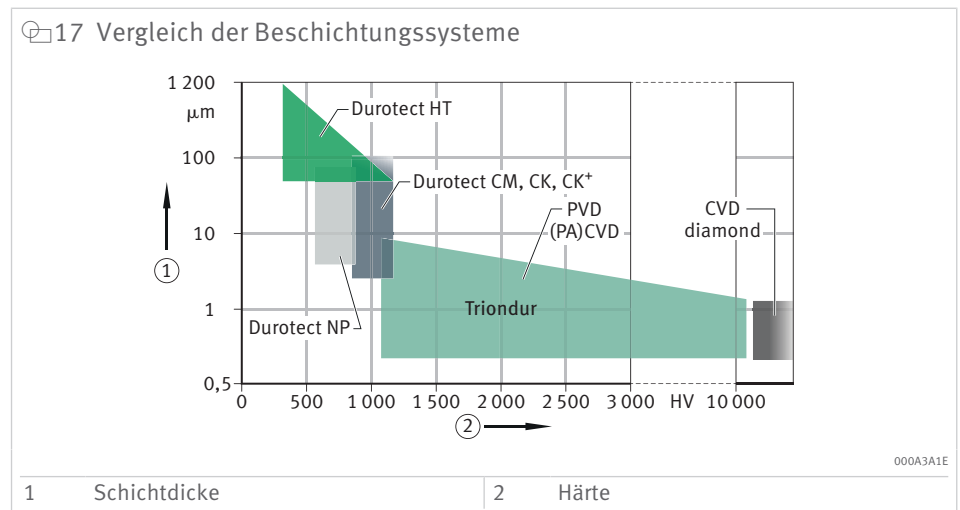
3.1 Durotect-Schichtsysteme

Der Schaeffler-Beschichtungsbaukasten stellt für tribologisch beanspruchte Bauteile verschiedene Beschichtungen zur Verfügung. Diese werden speziell auf die jeweilige Anwendung abgestimmt.

Darüber hinaus bieten spezielle Durotect-Schichtsysteme Zusatzfunktionen wie Notlaufschmierung, Wärmeabfuhr, Schutz gegen (tribo-)chemische Reaktionen (z. B. Passungsrost) oder kurzzeitigen Korrosionsschutz (z. B. für den Transport).

Abhängig von den Anforderungen an das Bauteil erfolgt der Herstellungsprozess mittels chemischen oder elektrochemischen Verfahren, als Lackierung oder durch thermisches Spritzen.

Im Folgenden werden die Schichtsysteme mit Anwendungsbeispielen vorgestellt.



3.2 Beschichtungsverfahren

Abrasiver und adhäsiver Verschleiß

Zum Schutz gegen abrasiven Verschleiß ist eine hohe Oberflächenhärte notwendig. Die Kontaktpartner können hier durch besonders harte Beschichtungen geschützt werden.

Durotect-Schichtsysteme wie Durotect CM, Durotect CMT, Durotect CK oder Durotect NP können dem abrasiven Verschleiß vorbeugen, da sie härter sind als der Grundwerkstoff.

Adhäsiver Verschleiß tritt vor allem bei Kontaktpartnern mit gleichem Bindungscharakter auf, z. B. bei Stahl auf Stahl. Zur Vermeidung dieses Verschleißmechanismus kann die Bindungsart durch die geeignete Beschichtung eines Kontaktpartners verändert werden.

Ein typisches Beispiel für adhäsiven Verschleiß sind Schlupfschäden. Dieser Verschleiß lässt sich unter anderem durch die gezielte Oxidation der Werkstoffoberfläche vermindern, z. B. durch Brünieren.

Schaeffler setzt mit dem speziell optimierten Brünierverfahren beim Schichtsystem Durotect B weltweit Maßstäbe.

3.3 Beschichtungsvarianten

3.3.1 Durotect B

Eisenmischoxid-Beschichtung mit optimierter Oberflächenstruktur

Beschichtungsprozess

- chemische Konversion

Vorteile, Nutzen

- keine Veränderung der Bauteilgeometrie notwendig
- formstabile Beschichtung auch unter Biegebeanspruchung und Druckbeanspruchung am Bauteil
- Verbesserung des Einlaufverhaltens
- Reduzierung von Schlupfschäden
- größere Robustheit gegenüber WEC-bedingten Ausfällen
- verbesserte Widerstandsfähigkeit gegen Oberflächen-induzierte Schäden (surface initiated fatigue, SIF)
- Verbesserung der Reibeigenschaften bei Mangelschmierung

Übliche Anwendungen

- vollrollige Zylinderrollenlager
- Kugellager
- Wälzkörper und Ringe für Lager in Windkraftanlagen und Bahnmotorenlagern
- diverse Komponenten von Getriebesystemen und Riementriebsystemen

19 Eigenschaften

Merkmal	Beschichtung
	Durotect B
Zusammensetzung	Eisenmischoxid
Farbe	dunkelbraun bis schwarz
Schichtdicke	≥ 0,5 µm

18 Einreihiges Zylinderrollenlager, beschichtet mit Durotect B



0009CA55

19 Anwendungsbeispiel Windkraftanlage



0009F243

3.3.2 Durotect Z

Zinkphosphatschicht

Beschichtungsprozess

- chemische Konversion

Vorteile, Nutzen

- temporärer Korrosionsschutz im beöhlten Zustand
- Vermeidung von Passungsrost (Tribokorrosion) in Lagersitzen
- Vermeidung von adhäsivem Verschleiß
- Verringerung von Schäden durch Stillstandsmarkierungen (false brinelling)

Übliche Anwendungen

- Kegelrollenlager in Schienenfahrzeugen
- Großlager (vorwiegend in der Papierindustrie)
- Wälzlagerkäfige und Hülsen
- Trägerschicht für Schmierstoffe wie Seifen, Öle, Fette oder Wachse
- Grundierung für Lackierungen und Zink-Lamellen-Schichtsysteme
- Hilfsmittel für die Kaltumformung (z. B. Tiefziehen)

☒ 20 Eigenschaften

Merkmal	Beschichtung
	Durotect Z
Zusammensetzung	Zinkphosphat
Korrosionsbeständigkeit	≤ 24 h (mit Beölung) gemäß Salzsprühnebelprüfung nach DIN EN ISO 9227
Farbe	hellgrau bis dunkelgrau
Struktur	feinkristalliner Schichtaufbau
Schichtdicke	1 µm bis 10 µm
Temperaturbeständigkeit	bis +250 °C

20 Kegelrollenlagereinheit für Anwendungen im schweren Güterverkehr



000A0283

- | | |
|---|--------------------------------------------------------------|
| 1 | Innenring, Außenring und Käfig
beschichtet mit Durotect Z |
|---|--------------------------------------------------------------|

21 Anwendungsbeispiel Bahn



000A3D94

3.3.3 Durotect M

Manganphosphatschicht

Beschichtungsprozess

- chemische Konversion

Vorteile, Nutzen

- Verbesserung des Gleitverhaltens und des Einlaufverhaltens
- Notlaufschmierung
- Verschleißschutz bei Käfigen
- Vermeidung von adhäsivem Verschleiß
- Verringerung von Schäden durch Stillstandsmarkierungen (false brinelling)

Übliche Anwendungen

- Stahlblechkäfige
- Innenringbohrungen von Kurbelwellenlagern
- Grundierung für Gleitlacke und Trockenschmierstoffe
- Einlaufhilfe bei Tassenstößeln

21 Eigenschaften

Merkmal	Beschichtung
	Durotect M
Zusammensetzung	Manganphosphat
Korrosionsbeständigkeit	≤ 24 h (mit Beölung) gemäß Salzsprühnebelprüfung nach DIN EN ISO 9227
Farbe	dunkelgrau bis schwarz
Struktur	feinkristalliner Schichtaufbau
Schichtdicke	1 µm bis 10 µm
Temperaturbeständigkeit	bis +350 °C

22 Gelenklager GE80-DO-2RS, beschichtet mit Durotect M am Innenring und Außenring



000A086F

23 Anwendungsbeispiel Spreizenträger



000A090E

3.3.4 Durotect CK

Kolumnare Dünnschichtverchromung

Beschichtungsprozess

- galvanisches Verfahren
- nachgelagerte Wärmebehandlung bei hochfesten Werkstoffen notwendig (gegen Wasserstoffversprödung)

Vorteile, Nutzen

- hohe Verschleißfestigkeit besonders an den Anlaufstellen oder bei Passungsflächen, an denen mit Reibkorrosion zu rechnen ist
- effektiver Verschleißschutz bei Mischreibung für kleine Kugellager und Rollenlager
- niedrige Reibungskoeffizienten bei Mischreibung
- zwangsfreie Verschiebungen bei Loslagern durch reduzierte Reibungskoeffizienten
- höhere Korrosionsbeständigkeit im Vergleich zu Wälzlagerstahl (Salzsprühnebelprüfung nach DIN EN ISO 9227)

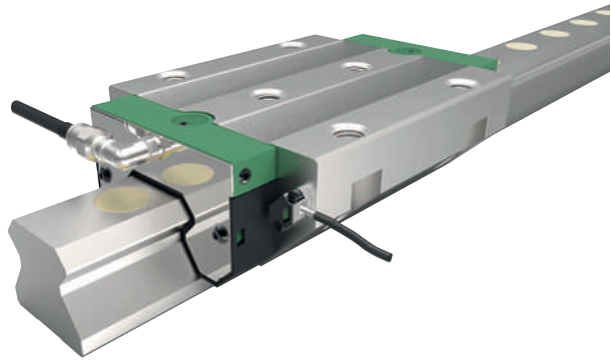
Übliche Anwendungen

- Laufbahnen bei Hochgenauigkeitslagern für Aerospace
- Außenseiten bei Spindellagern
- Komponentenbeschichtung von Pendelrollenlagern (Ringe, Wälzkörper), die in korrosiver Umgebung laufen
- Schutz gegen Passungsrost bei Innenseiten
- Innenringe und Außenringe von Kugellagern für Taumelscheiben in Helikoptern
- Linearkomponenten in aggressiver Umgebung

22 Eigenschaften

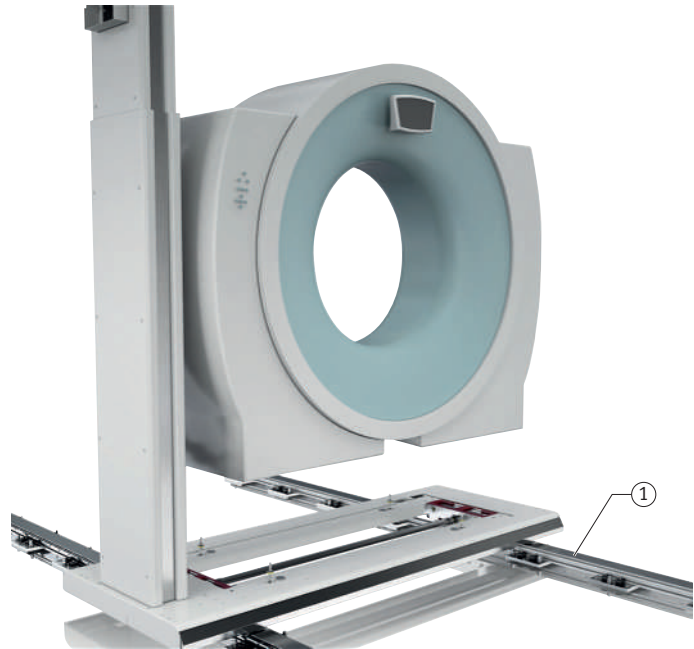
Merkmal	Beschichtung
	Durotect CK
Zusammensetzung	Hartchrom
Farbe	grau (matt)
Struktur	perlartige Oberfläche (kolumnar)
Schichtdicke	1 µm bis 4 µm
Härte	900 HV bis 1000 HV

☞ 24 Rollenumlaufeinheit RUE, an den Außenflächen beschichtet mit Durotect CK



000A0A70

☞ 25 Anwendungsbeispiel eines fahrbaren, schienengeführten Computertomographen



000A0A66

1 Linearsystem beschichtet mit Durotect CK

3.3.5 Durotect CM, Durotect CMT

Mikrorissige Hartchrombeschichtung

Beschichtungsprozess

- galvanisches Verfahren
- nachgelagerte Wärmebehandlung bei hochfesten Werkstoffen notwendig (gegen Wasserstoffversprödung)

Vorteile, Nutzen

- verbessertes Reibungsverhalten und Verschleißverhalten unter Mangel-schmierung
- erhöhte Lebensdauer durch harte Oberflächen als Verschleißschutz
- guter Korrosionsschutz und hohe Beständigkeit gegen viele Chemikalien bei Schichtdicken über 30 µm
- Schutz gegen Tribokorrosion
- Schutz gegen Stillstandsmarkierungen (false brinelling)
- niedriger Reibungskoeffizient, gute Gleiteigenschaften
- antiadhäsive Eigenschaften

Übliche Anwendungen

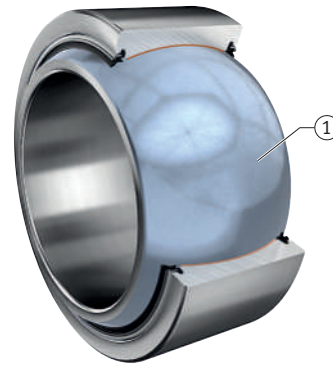
Anwendungen mit hoher Verschleißbelastung in den Bereichen Automotive und Industrie:

- Gelenklager
- Wellen
- Lagerkomponenten und Motorenkomponenten

23 Eigenschaften

Merkmal	Beschichtung
	Durotect CM, Durotect CMT
Zusammensetzung	Hartchrom
Farbe	silberfarben (glänzend)
Struktur	mikrorissige Hartchromschicht, die Ausgangsrauigkeit bleibt weitestgehend erhalten
Schichtdicke	0,1 µm bis 500 µm (je nach Anwendung)
Härte	850 HV bis 1100 HV
Temperaturbeständigkeit	farbstabil bis +300 °C
	härtestabil bis +700 °C

☞ 26 Radial-Gelenklager GE60-UK-2TS, wartungsfrei



000A232B

- | | |
|---|----------------------------------------|
| 1 | Innenring beschichtet mit Durotect CMT |
|---|----------------------------------------|

☞ 27 Anwendungsbeispiel mit hoher Verschleißbelastung: Gelenklager im Bagger



000A20E3

- | | |
|---|------------------------------------------|
| 1 | Gelenklager beschichtet mit Durotect CMT |
|---|------------------------------------------|

3.3.6 Durotect NP

Nickel-Phosphor-Legierung

Beschichtungsprozess

- autokatalytische, chemische Abscheidung

Vorteile, Nutzen

- nahezu gleichmäßige Schichtverteilung über die gesamte Bauteiloberfläche
- Kombination von Verschleißschutz und Korrosionsschutz
- Korrosionsschutz für maritime Anwendungen
- hohe chemische Beständigkeit gegen aggressive Medien
- bedingt lebensmittelverträglich
- Anpassung der Reibeigenschaften und Verschleißigenschaften durch Einbau von PTFE-Partikeln oder Hartstoffpartikeln (Diamant, SiC) möglich
- Erhöhung der Härte durch thermische Nachbehandlung

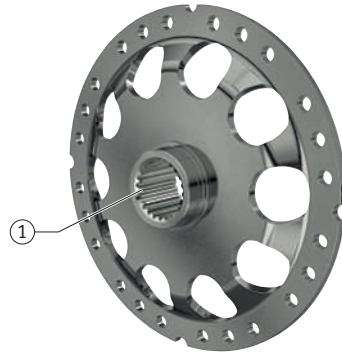
Übliche Anwendungen

- Führungsringe von Pendelrollenlagern
- Gelenklager
- Gehäuse für die Lebensmittelindustrie
- Nadelkränze
- Anlaufscheiben

24 Eigenschaften

Merkmal	Beschichtung
	Durotect NP
Zusammensetzung	Nickel-Phosphor
Farbe	metallisch silberfarben, leicht gelbstichig
Schichtdicke	
bei Korrosionsschutz	5 µm bis 75 µm (nicht maritime Anwendung) > 75 µm (maritime Anwendung)
bei tribologischer Beanspruchung	> 5 µm (je nach Anforderung)
Phosphorgehalt	
2 % bis 5 %	Verschleißschutz
6 % bis 9 %	allgemeine Anwendung für Verschleißbeständigkeit und Korrosionsbeständigkeit
10 % bis 13 %	Korrosionsschutz
Härte (abhängig vom Phosphorgehalt)	
Standard	500 HV bis 600 HV 0,1
mit Wärmebehandlung	750 HV bis 1000 HV 0,1
Magnetismus	magnetische Wirkung bis 9 % Phosphor

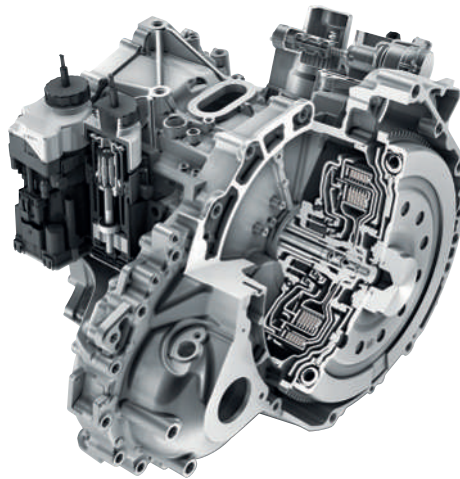
28 Kupplungsnahe



000A130B

- | | |
|---|---------------------------------------------|
| 1 | Innenverzahnung beschichtet mit Durotect NP |
|---|---------------------------------------------|

29 Anwendungsbeispiel Kupplungssystem



000A0FAC

3.3.7 Durotect C

Kupferbeschichtung

Beschichtungsprozess

- galvanisches Verfahren
- nachgelagerte Wärmebehandlung bei hochfesten Werkstoffen notwendig (gegen Wasserstoffversprödung)

Vorteile, Nutzen

- Verbesserung der tribologischen Eigenschaften
- Verbesserung des Notlaufverhaltens bei Mangelschmierung
- Temperaturabführung aus dem Funktionsbereich
- Einsatz bei hohen Umdrehungen und Geschwindigkeiten
- erhöhte elektrische Leitfähigkeit

Übliche Anwendungen

- Stahlblechkäfige für Pleuellagerungen von Zweitaktmotoren und Viertaktmotoren
- Käfige für Luftfahrt und Raumfahrt
- Großlagerkäfige
- Steckkontakte

☒ 25 Eigenschaften

Merkmal	Beschichtung
	Durotect C
Zusammensetzung	reine Kupferschicht
Farbe	kupferfarben
Schichtdicke	2 µm bis 50 µm (je nach Anforderung)

30 Nadelkranz für Pleuellagerungen



000A0FC8

1 Käfig beschichtet mit Durotect C

31 Anwendungsbeispiel Motorrad



000A08FA

3.3.8 Durotect S

Silberbeschichtung

Beschichtungsprozess

- galvanisches Verfahren
- nachgelagerte Wärmebehandlung bei hochfesten Werkstoffen notwendig (gegen Wasserstoffversprödung)

Vorteile, Nutzen

- Verbesserung der tribologischen Eigenschaften
- Verbesserung des Notlaufverhaltens bei Mangelschmierung
- Temperaturabführung aus dem Funktionsbereich
- Einsatz bei hohen Umdrehungszahlen und Geschwindigkeiten
- Verbesserte tribologische Performance im Vergleich zu Durotect C
- Höhere elektrische Leitfähigkeit

Übliche Anwendungen

- Stahlblechkäfige für Pleuellagerungen von Zweitaktmotoren und Viertaktmotoren
- Käfige für Luftfahrt und Raumfahrt
- Großlagerkäfige

☒ 26 Eigenschaften

Merkmal	Beschichtung
	Durotect S
Zusammensetzung	Silberbeschichtung auf Kupfer-Haftschrift
Farbe	silberfarben
Schichtdicke	≥ 2 µm (je nach Anforderung)

32 Triebwerkslager für Flugzeuge, FAG-Dreipunktlager



000A3A55

33 Anwendungsbeispiel Flugzeug, Triebwerk



001AD7A2

3.3.9 Durotect H

Metallische Beschichtung zur Maßkorrektur (abhängig von der Anwendung)

Beschichtungsprozess

- thermisches Spritzen

Vorteile, Nutzen

- Materialauftrag zur Maßkorrektur (Wiederherstellung von beschädigten oder verschlissenen Flächen)
- zusätzliche Erhöhung der Verschleißbeständigkeit

Übliche Anwendungen

- Großlager

27 Eigenschaften

Merkmal	Beschichtung
	Durotect H
Zusammensetzung	metallische Beschichtung, Werkstoff der Beschichtung von der jeweiligen Anwendung abhängig
Farbe	metallisch
Schichtdicke	wählbar, abhängig von der notwendigen Maßkorrektur
Härte	wählbar, abhängig von der Härte des Grundwerkstoffs

3.3.10 Durotect HT

Metallische Beschichtung

Beschichtungsprozess

- thermisches Spritzen

Vorteile, Nutzen

- Erhöhung der Verschleißfestigkeit von stark beanspruchten Flächen
- Erhöhung des statischen Reibungskoeffizienten
- Einstellung eines dynamischen Reibungskoeffizienten

Übliche Anwendungen

Motorelemente:

- Synchronringe
- Nockenwellenversteller
- Kettenräder

☒ 28 Eigenschaften

Merkmal	Beschichtung
	Durotect HT
Zusammensetzung	metallische Beschichtung, Werkstoff der Beschichtung von der jeweiligen Anwendung abhängig (z. B. CrO ₂ , WC-Co, SiC)
Farbe	metallisch (abhängig vom eingesetzten Beschichtungswerkstoff)
Schichtdicke	50 µm bis 500 µm (je nach Anwendung)
Härte	> 650 HV, abhängig vom Beschichtungsmaterial, auch Härten > 1000 HV realisierbar

3.3.11 Durotect HA

Aluminiumoxidschicht auf Aluminiumlegierungen

Beschichtungsprozess

- elektrolytische Oxidation (Anodisierung)

Vorteile, Nutzen

- Erhöhung der Verschleißbeständigkeit von Aluminium und Aluminiumlegierungen durch Erhöhung der Oberflächenhärte
- erhöhte chemische Beständigkeit
- verbesserte Gleiteigenschaften abhängig vom Gegenlaufpartner
- erhöhter Korrosionsschutz
- sehr gleichmäßige Schichtdickenverteilung (mit Ausnahme von schmalen Spalten)

Übliche Anwendungen

- Aluminium-Schiebehülsen von Kupplungslagern
- Aluminiumkäfige für Luftfahrt und Raumfahrt
- Haftschrift für Lackierungen aufgrund erhöhter Oberflächenrauigkeit bei unverdichteter Durotect HA-Ausführung
- Gehäuse für hydraulische Kupplungssysteme

29 Eigenschaften

Merkmal	Beschichtung
	Durotect HA
Zusammensetzung	Aluminiumoxid
Struktur	kapillare Säulenstruktur
Farbe	silberfarben bis mausgrau (matt, je nach Legierung), bei der nicht verdichteten Ausführung kann die gesamte Oxidschicht beliebig eingefärbt werden
Schichtdicke	2 µm bis 25 µm (davon 50 % als Volumenzuwachs), Verschleißschutz ab 15 µm
Härte	350 HV bis 600 HV (Mischhärte, je nach Legierung)
Temperaturbeständigkeit	bis +400 °C

34 Aluminiumkäfige, beschichtet mit Durotect HA



000A2107

35 Anwendungsbeispiel Bremsklappen-Antrieb an der Flugzeugtragfläche



000A08F3

3.3.12 Durotect P

Polymerbasierte Beschichtung

Beschichtungsprozess

- Tauchverfahren:
 - Komplettbeschichtung von Einzelkomponenten
- Spritzverfahren:
 - komplette oder partielle Beschichtung
- Aushärtetemperatur, abhängig vom Lacksystem, von Raumtemperatur bis etwa +250 °C

Vorteile, Nutzen

- Verbesserung der Gleitfähigkeit durch Festschmierstoffe (MoS₂, Graphit, PTFE) im ungeschmierten Zustand. Bei Belastung der Schicht werden die Festschmierstoffe freigesetzt
- Reduzierung des Reibungskoeffizienten auf $\mu < 0,1$ bei axialer Verschiebung von Lagerringen
- spezielle Typen auch für Hochtemperaturanwendungen einsetzbar
- Stromisolation im Niedervoltbereich
- Gleithilfe beim Einpressen
- selbstschmierende Schicht

Übliche Anwendungen

- Pendelrollenlager-Außenringmantelfläche
- Käfige
- Führungshülsen

☐30 Eigenschaften

Merkmal	Beschichtung
	Durotect P
Zusammensetzung	polymerbasierte Beschichtung
Farbe	schwarz
Schichtdicke	15 µm bis 100 µm

36 Beispiele für Bauteile, beschichtet mit Durotect P



001ABD04

4 Schichtsysteme für tribomechanisch hochbeanspruchte Oberflächen

4.1 Triondur-Schichtsysteme

Mit der sich kontinuierlich erhöhenden Energieeffizienz sowohl in modernen Verbrennungsmotoren als auch in der gesamten Energiekette (vom Windkraftrad bis hin zu jeder bewegten Komponente im Fahrzeug) steigen die Anforderungen an die tribologische Belastbarkeit der Bauteile.

Mithilfe von modernen PVD- und PACVD-Beschichtungsprozessen, die bei den Triondur-Beschichtungen von Schaeffler zum Einsatz kommen, kann die Leistungsfähigkeit tribologisch hochbeanspruchter Komponenten deutlich gesteigert werden. Hierdurch ergeben sich Potenziale für die Lebensdauersteigerung, Reibminimierung und den Leichtbau. Triondur-Schichtsysteme sind somit ein aktiver Beitrag zur Umweltschonung und Ressourcenschonung sowie zur Nachhaltigkeit.

Triondur-Schichtsysteme werden im Vakuum durch physikalische Gasphasenabscheidung (physical vapor deposition, PVD) und plasmaunterstützte chemische Gasphasenabscheidung (plasma assisted chemical vapor deposition, PACVD) hergestellt. Durch die geeignete Wahl der Schichtzusammensetzung und des Abscheideverfahrens werden Triondur-Schichtsysteme perfekt an die jeweilige Anwendung angepasst. Von elastischen Schichtsystemen für den Wälzkontakt bis hin zu extrem harten Verschleißschutzschichten sowie von chemischer Beständigkeit bis hin zu gezielten Reaktionen zur Schmierfilmbildung mit ausgesuchten Öladditiven sind vielfältige Optimierungen möglich.

Triondur-Schichtsysteme sind mehr als nur eine Beschichtung: Es sind Schichtsysteme, die aufgrund individuell angepasster Beschichtungsprozesse und konstruktiv optimierter Bauteile von der Herstellung bis zur Anwendung alle notwendigen Aspekte berücksichtigen.

4.2 Beschichtungsverfahren

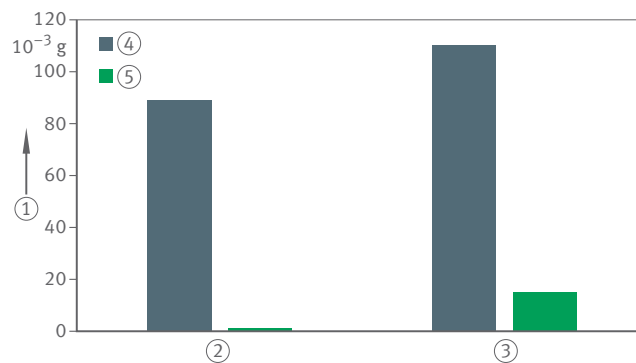
Triondur-Schichtsysteme für Wälzlager

In Wälzlagern kann durch den Einsatz beschichteter Wälzkörper eine deutliche Steigerung der Gebrauchsdauer erreicht werden, insbesondere wenn das Lager in seiner Anwendung mit Schlupf und Mangelschmierung konfrontiert wird.

Beschichtete Zylinderrollen, die in einem Prüfstandslauf unter extremer Mangelschmierung getestet wurden, zeigen eine deutlich verbesserte Leistungsfähigkeit als unbeschichtete Referenzteile. Die gravimetrische Auswertung des Verschleißes zeigt, dass durch den Einsatz von Triondur C der Verschleiß am Wälzkörper nahezu eliminiert wurde. Gleichzeitig wurde der Verschleiß an den unbeschichteten Axialscheiben deutlich reduziert.

Eine weitere typische Anwendung für Triondur-Schichtsysteme in Wälzlagern ist die Beschichtung der großen Stirnseiten von Kegelrollen zur Reduzierung von Reibung und Verschleiß im Kontakt mit dem Bord des Innenrings.

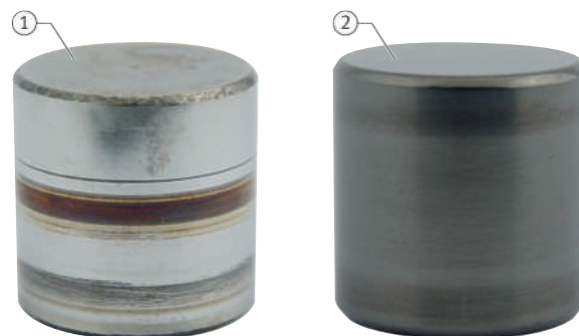
37 Prüfstandslauf unter extremer Mangelschmierung



001AC523

1	Verschleiß	2	Wälzkörper
3	Axialscheiben	4	unbeschichtet
5	beschichtet		

38 Wälzkörper nach Prüfstandslauf



000C80B9

1	unbeschichtet	2	beschichtet mit Triondur C
---	---------------	---	----------------------------

Triondur-Schichtsysteme für Motorenkomponenten

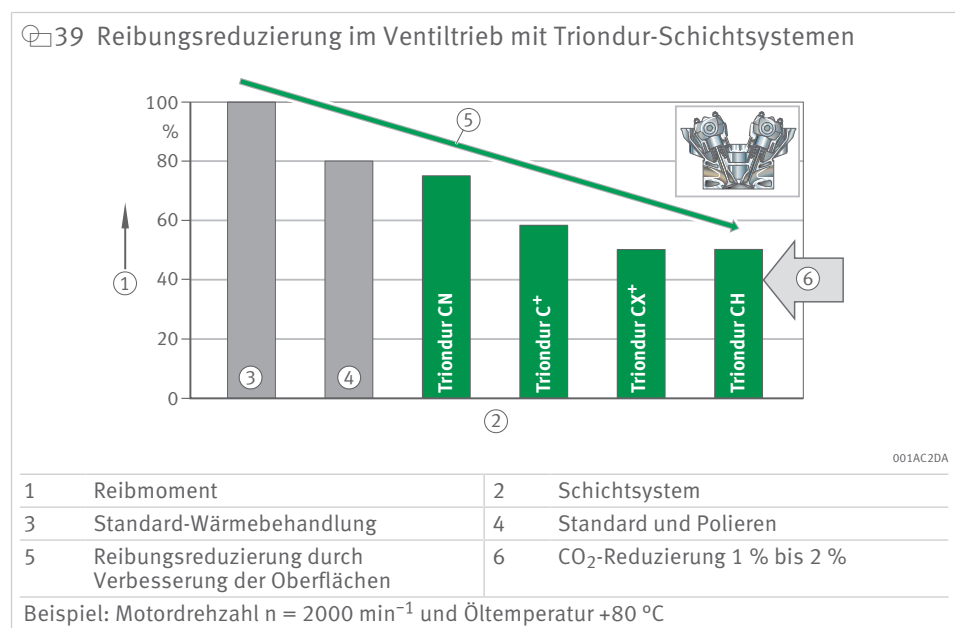
Mit Triondur-Schichtsystemen ist es gelungen, die Reibung im Tasse-Nocke-Kontakt des Ventiltriebs kontinuierlich zu reduzieren.

Bis vor etwa 15 Jahren war der Einsatz von rein wärmebehandelten Tassenstößeln Stand der Technik. Durch den Einsatz und die stete Entwicklung von Triondur-Schichtsystemen konnte das Reibmoment durch Triondur um bis zu 50 % gesenkt werden. Dies entspricht einer CO₂-Reduzierung von 1 % bis 2 %.

Triondur-Schichtsysteme finden nicht nur bei mechanischen Tassenstößeln Anwendung, sondern auch in anderen hochbelasteten Kontakten.

Beispiele:

- Nockenrollen und Ventilauflageflächen von Rollenschlepphebeln
- Gleitlagerkomponenten
- Kolben im Hochdruckbereich von Kraftstoffpumpen



4.3 Beschichtungsvarianten

4.3.1 Triondur C

Metallhaltige und wasserstoffhaltige amorphe Kohlenstoffschicht

Beschichtungsprozess

- PVD-Verfahren

Vorteile, Nutzen

- hohe Schutzwirkung gegen abrasiven und adhäsiven Verschleiß bei gleichzeitiger Schonung des Reibpartners
- Verringerung der Trockenreibung gegen Stahl um bis zu 80 %
- erhebliche Erhöhung der Gebrauchsdauer des gesamten tribologischen Systems, wenn nur ein Reibpartner beschichtet wird
- durch den sehr duktilen Schichtaufbau Verträglichkeit gegenüber hohen Flächenpressungen, wie sie in Wälzlager-Anwendungen auftreten

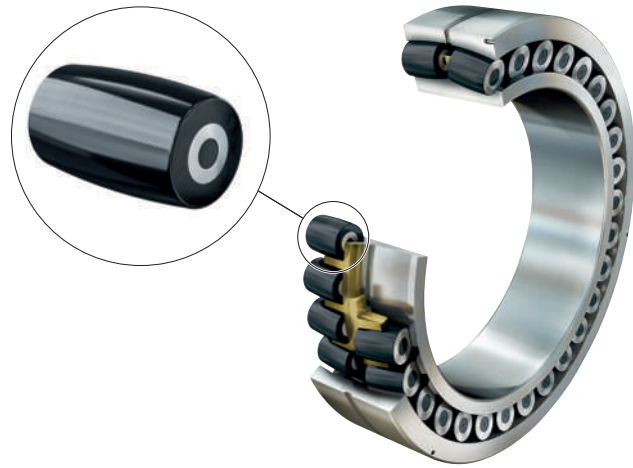
Übliche Anwendungen

- Lagerkomponenten wie Wälzkörper, Innenringe, Außenringe und Axiallager-scheiben
- Stützrollen und Kurvenrollen

31 Eigenschaften

Merkmale	Beschichtung
	Triondur C
Zusammensetzung	a-C:H:Me (Funktionsschicht)
Farbe	anthrazit
Schichtdicke	0,5 µm bis 4 µm
Reibungsreduzierung	bis zu 80 % bei DLC/Stahl im Vergleich zu Stahl/Stahl (im trockenen Zustand)
Härte	> 1200 HV

40 Asymmetrisches Pendelrollenlager für die Lagerung der Rotorwelle in einer Windkraftanlage, Tonnenrolle beschichtet mit Triondur



000A3A96

41 Anwendungsbeispiel Pendelrollenlager bei Windkraftanlagen



000A0A79

4.3.2 Triondur C+

Wasserstoffhaltige amorphe Kohlenstoffschicht

Beschichtungsprozess

- PVD- und PACVD-Verfahren

Vorteile, Nutzen

- Schichtsysteme für sehr hohe tribomechanische Beanspruchungen
- hoher abrasiver Verschleiß-Widerstand und hoher Schutz gegen adhäsiven Verschleiß
- sehr hohe mechanische Festigkeit
- bestens geeignet für tribologisch hochbeanspruchte Bauteile mit Mangel-schmierung

Übliche Anwendungen

- Motorenelemente wie Tassenstößel oder Schleppebel
- Einspritzkomponenten wie Pumpenkolben und Steuerkolben, Düsenadeln

32 Eigenschaften

Merkmal	Beschichtung
	Triondur C+
Zusammensetzung	a-C:H (Funktionsschicht)
Farbe	schwarz
Schichtdicke	2 µm bis 4 µm
Reibungsreduzierung	bis zu 85 % bei DLC/Stahl im Vergleich zu Stahl/Stahl (im trockenen Zustand)
Härte	> 2000 HV

42 Steuerkolben für Dieselinjektoren



000A7EA6

4.3.3 Triondur CX+

Modifizierte, wasserstoffhaltige amorphe Kohlenstoffschicht

Triondur CX+ ist ein modifiziertes und nanostrukturiertes Schichtsystem.

Beschichtungsprozess

- PVD- und PACVD-Verfahren

Vorteile, Nutzen

- sehr genaue Anpassung an die jeweils vorliegenden tribologischen Anforderungen möglich
- beste Kombination von Reibungsminimierung, tribochemischer Beständigkeit und Verschleißschutz aller Schichtsysteme

Übliche Anwendungen

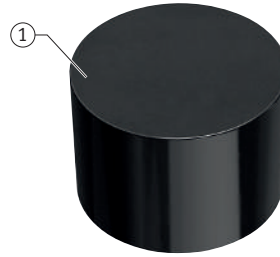
Motorelemente:

- Schlepphebel
- Tassenstößel
- Schlepphebelachse
- Käfige im Kolbentrieb

☒ 33 Eigenschaften

Merkmal	Beschichtung
	Triondur CX+
Zusammensetzung	a-C:H:X (Funktionsschicht)
Farbe	schwarz
Schichtdicke	2 µm bis 4 µm
Reibungsreduzierung	bis zu 85 % bei DLC/Stahl im Vergleich zu Stahl/Stahl (im trockenen Zustand)
Härte	> 2000 HV

43 Tassenstößel TSTM



0009E247

1 Gleitflächen beschichtet mit
Triondur CX+

44 Schaltbarer Schleppebel



000A25E8

1 Außenhebel beschichtet mit
Triondur CX+

4.3.4 Triondur CH

Tetraedrische, wasserstofffreie amorphe Kohlenstoffschicht

Beschichtungsprozess

- PVD-Verfahren

Vorteile, Nutzen

- bedingt durch die hohe Härte weist Triondur die höchste Verschleißbeständigkeit aller Triondur CH-Schichten auf
- in maßgeschneiderten tribologischen Systemen mit abgestimmten Schmierstoffen entfaltet Triondur CH die höchste Wirkung und sorgt für maximale Reibungsreduzierung bei gleichzeitig maximalem Verschleißschutz

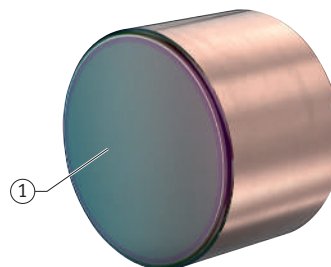
Übliche Anwendungen

- Tassenstößel

34 Eigenschaften

Merkmal	Beschichtung
	Triondur CH
Zusammensetzung	ta-C (Funktionsschicht)
Farbe	grünlich
Schichtdicke	0,5 µm bis 1 µm
Reibungsreduzierung	bis zu 85 % bei DLC/Stahl im Vergleich zu Stahl/Stahl (im trockenen Zustand)
Härte	> 4000 HV

45 Tassenstößel, beschichtet mit Triondur CH



000A25FA

1 Gleitflächen beschichtet mit Triondur CH

4.3.5 Triondur CN

Nitridische Chromschicht

Beschichtungsprozess

- PVD-Verfahren

Vorteile, Nutzen

- besonders hohe Härte und Duktilität
- hoher Verschleißwiderstand und sehr gute Ölbenetzung
- für Teilen, die hohen Reibenergien ausgesetzt sind
- Hartchromersatz, Chrom(VI)-frei

Übliche Anwendungen

- Wälzkörper
- wartungsfreie Gelenklager

35 Eigenschaften

Merkmal	Beschichtung
	Triondur CN
Zusammensetzung	Chromnitrid (Funktionsschicht)
Farbe	silberfarben
Schichtdicke	1 µm bis 4 µm
Reibungsreduzierung	bis zu 20 % bei Triondur CN/Stahl im Vergleich zu Stahl/Stahl (im trockenen Zustand)
Härte	> 2200 HV

46 Schwenkwiegenlager, beschichtet mit Triondur CN



001ABD25

4.3.6 Triondur TN

Titannitridbeschichtung

Beschichtungsprozess

- PVD-Verfahren

Vorteile, Nutzen

- hoher abrasiver Verschleißschutz
- Verschleißschutz von Komponenten im Gleitkontakt

Übliche Anwendungen

- Verschleißschutz von Borden in Triebwerkslagern, insbesondere durch den am Bord anlaufenden Käfig

36 Eigenschaften

Merkmal	Beschichtung
	Triondur TN
Zusammensetzung	TiN (Funktionsschicht)
Farbe	goldfarben
Schichtdicke	2 µm bis 5 µm
Reibungsreduzierung	bis zu 20 % bei Triondur/Stahl im Vergleich zu Stahl/Stahl (im trockenen Zustand)
Härte	> 2000 HV

47 Anlaufflächen am Innenring beschichtet mit Triondur



000A7380

48 Anwendungsbeispiel Aerospace



000A2122

4.3.7 Triondur MN

Metalldotierte, nanostrukturierte Molybdänitridschicht

Beschichtungsprozess

- PVD-Verfahren

Vorteile, Nutzen

- Verschleißschutz und Reibungsminimierung unter anspruchsvollen Schmierungsbedingungen
- hohe Härte und sehr niedriger Reibungskoeffizient im Vergleich zu anderen nitridischen Schichten
- sehr hohe Temperaturbeständigkeit bis zu +600 °C
- hohe tribochemische Verschleißbeständigkeit

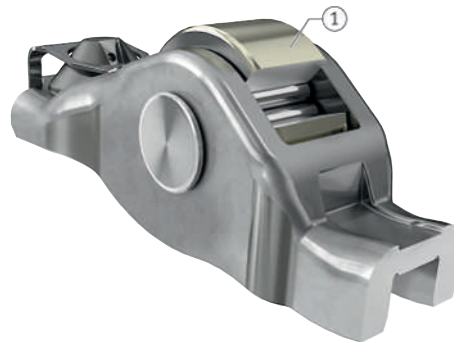
Übliche Anwendungen

- Wälzlagerkomponenten
- Gleitlagerkomponenten
- Motorenkomponenten

37 Eigenschaften

Merkmale	Beschichtung
	Triondur MN
Zusammensetzung	CuMoN (Funktionsschicht)
Farbe	silberfarben
Schichtdicke	1 µm bis 4 µm
Reibungsreduzierung	bis zu 85 % bei Triondur MN/Stahl im Vergleich zu Stahl/Stahl (im trockenen Zustand)
Härte	> 2200 HV

49 Nockenrolle im Schleppebel



0015B41A

- | | |
|---|-----------------------------------------|
| 1 | Nockenrolle beschichtet mit Triondur MN |
|---|-----------------------------------------|

5 Elektrisch leitfähige Beschichtungen

5.1 Condulect-Schichtsysteme

Der Wandel zur E-Mobilität rückt bei Schaeffler neue Komponenten wie beispielsweise Steckkontakte und Busbars in den Fokus. Stromführende Teile müssen eine Vielzahl von funktionsrelevanten Eigenschaften erfüllen und diese während der gesamten Funktionszeit gewährleisten. Condulect-Beschichtungen können für folgende Zwecke eingesetzt werden:

- Verbesserung der elektrischen Leitfähigkeit
- Steigerung der chemischen Beständigkeit gegen aggressive Medien (Säuren, Laugen, Schadgase)
- Steigerung der chemischen Beständigkeit gegen vermeintlich unkritische Substanzen (Öle, Ölnebel, Wasser, Alkohole und Mischungen aus den möglichen Medien, u. a. bei wechselnden Temperaturen)
- Beeinflussung der thermischen Leitfähigkeit
- Verbesserung des Verschleißverhaltens
- Veränderung des Setzverhaltens bei Pressungen

5.2 Beschichtungsverfahren

Als Beschichtungsverfahren stehen, je nach Anwendung, unterschiedlichste Technologien zur Verfügung. Hierbei hat sich das nasschemische Beschichtungsverfahren, oft auch als Galvanik oder Galvanotechnik bezeichnet, als Standard-Methode etabliert und findet weitverbreitet Verwendung zur Oberflächenoptimierung stromführender Komponenten. Bauteilgestalt, Gewicht, Oberflächenanforderung, Menge und Beschädigungsgefahr entscheiden, ob eine Trommelbeschichtung (Trommelware), Gestellbeschichtung (Gestellware) oder ggf. Bandbeschichtung angewandt werden kann.

Beschichtungsart und Beschichtungsvarianten

Eine dem Substrat angepasste Oberflächenbeschichtung ist ein wesentliches Kriterium für die später angedachte Funktion und erwartete Lebensdauer der Kontaktverbindung. Je nach verwendetem Grundmaterial sind unterschiedliche Beschichtungsvarianten oder Kombinationen unterschiedlichster Beschichtungswerkstoffe untereinander erforderlich bzw. möglich.

Nachbehandlung

Vereinzelte Grundmaterialien bzw. aufgebraute Oberflächenstoffe unterliegen einer naturgemäßen chemischen Oberflächenreaktion, die sich meist durch eine oberflächennahe Oxidation (Anlaufverhalten) widerspiegeln. Die hierbei gebildeten Reaktionsprodukte sind in der Regel unerwünscht, da visuell erkennbare und vor allem technische Eigenschaften beeinträchtigt werden. Zur Reduzierung dieser Reaktionen stehen verschiedene Methoden zur Verfügung, die im Folgenden beispielhaft vorgestellt werden.

- chemischer Anlaufschutz:
 - Oktadekanthiol (ODT)
 - Hexadekanthiol (HDT)
 - Gemisch
- metallischer Anlaufschutz:
 - Sn-, Pd- oder Cr-Basis
 - keine organischen Bestandteile
- mechanische Bearbeitung:
 - Bürsten mittels Vliessträger, Schwammträger oder Scheibenträger
- Wärmebehandlung:
 - thermische Gefügeveränderung

Kombination unterschiedlicher Metallkontaktflächen

Die Condulect-Überzugsmaterialien sind nicht uneingeschränkt miteinander kombinierbar bzw. reagieren unter speziellen Bedingungen und aufgrund unterschiedlicher elektrochemischer Potentiale. Eine Entscheidung zur angedachten Bauteiloberfläche ist auf die spätere Anwendung abzustimmen. Grundsätzlich sollte bereits in der Designphase eine Berücksichtigung der späteren Kontaktpartner erfolgen.

Nachfolgende Abschnitte geben einen ersten Eindruck über häufig verwendete Beschichtungen und die bisher in der Praxis angedachten Einsatzbereiche und Anwendungsbereiche.

5.3 Beschichtungsvarianten

5.3.1 Condulect ES

Silberbeschichtung

Beschichtungsprozess

- galvanisches Verfahren

Vorteile, Nutzen

- höchste elektrische Leitfähigkeit
- lötbond und bondbar
- Anwendung in Bereichen, die einer hohen Schwingungsbelastung ausgesetzt sind
- Anwendungen, die hohe Ströme/Stromlasten (bei > 30 A als Ersatz für Sn) übertragen müssen

Übliche Anwendungen

- Kfz-Motorraum-Anwendungen
- Steuergerätekontaktierung

☒ 38 Eigenschaften

Merkmal	Beschichtung
	Condulect ES
Zusammensetzung	Silber
Schichtdicke	2 µm bis 4 µm, 3 µm bis 6 µm oder 4 µm bis 6 µm
Härte	70 HV bis 90 HV (90 HV bis max. 120 HV bei Hartsilber)

5.3.2 Condulect EG

Goldbeschichtung

Beschichtungsprozess

- galvanisches Verfahren

Vorteile, Nutzen

- keine Oberflächenveränderung in atmosphärischen Umgebungen
- hohe Abriebfestigkeit
- niedriger elektrischer Kontaktwiderstand auch bei niedrigen Spannungen ($< 1 \text{ V}$)
- Anwendung in Systemen mit extremen Umgebungsbedingungen, wie z. B. hohen Temperaturen, hohen Schadstoffbelastungen, hohen Schwingungsbelastungen oder hoher Stechkhäufigkeit

Übliche Anwendungen

- Steckverbindungen mit hoher Sicherheitsrelevanz
- Anwendungen mit hoher Steckzyklenzahl
- Bondgold bei Halbleitern

☒ 39 Eigenschaften

Merkmal	Beschichtung
	Condulect EG
Zusammensetzung	Gold
Schichtdicke	0,1 μm bis 5 μm (0,5 μm bis 2 μm als Hartgold)
Härte	80 HV bis 110 HV (140 HV bis 170 HV als Hartgold)

5.3.3 ConduTECT EN

Nickelbeschichtung

Beschichtungsprozess

- galvanisches bzw. chemisches Verfahren

Vorteile, Nutzen

- gute chemische Beständigkeit
- Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit
- ferromagnetische Eigenschaft
- geringe Diffusionsneigung mit Cu, Sn, Au und Ag
- einfache und günstige Abscheidungsprozesse
- weltweite Verfügbarkeit

Übliche Anwendungen

- unterstützend bei verschleißfester Oberflächenvorgabe
- für korrosiv beanspruchte Bereiche
- Diffusionsbarriere
- Einsatz als Zwischenschicht
- Steckkontakte für moderate Ströme

☒ 40 Eigenschaften

Merkmal	Beschichtung
	ConduTECT EN
Zusammensetzung	Nickel
Schichtdicke	1 µm bis 5 µm (< 1 µm als Flash-Schicht)
Härte	300 HV bis 750 HV (verfahrensbedingt)

5.3.4 Condulect ET

Zinnbeschichtung

Beschichtungsprozess

- galvanisches Verfahren

Vorteile, Nutzen

- Möglichkeit für hohe Schichtdicken wegen High-Speed-Abscheidung
- häufig eingesetztes Kontaktmetall im Automobilbereich
- Löthilfe
- häufig mit Cu- (auf Messing) oder Ni-Zwischenschicht
- einfache Prozessführung

Übliche Anwendungen

- Stromschienen
- wenn Au und Ag nicht erforderlich bzw. nicht vorgeschrieben sind
- Lötanschlüsse bzw. Schweißverbindungen
- Kfz-Steckverbinder bei niedriger Steckzyklenzahl

41 Eigenschaften

Merkmal	Beschichtung
	Condulect ET
Zusammensetzung	Zinn
Schichtdicke	0,5 µm bis 5 µm (je nach Anforderung) > 5 µm zur Whiskerreduzierung
Härte	10 HV bis 25 HV

5.3.5 ConduTECT EC

Kupferbeschichtung

Beschichtungsprozess

- galvanisches Verfahren

Vorteile, Nutzen

- Verbesserung der Haftfestigkeit nachfolgender Beschichtungen auf Stahl und Cu-haltigen Substraten

Übliche Anwendungen

- als Zwischenschicht oder Haftvermittler
- Leiterplatten

42 Eigenschaften

Merkmal	Beschichtung
	ConduTECT EC
Zusammensetzung	Kupfer
Schichtdicke	1 µm bis 5 µm (< 1 µm als Flash-Schicht)
Härte	70 HV bis 250 HV (elektrolytabhängig)

6 Schichtsysteme für Energiewandler und Energiespeicher

6.1 Enertect-Schichtsysteme

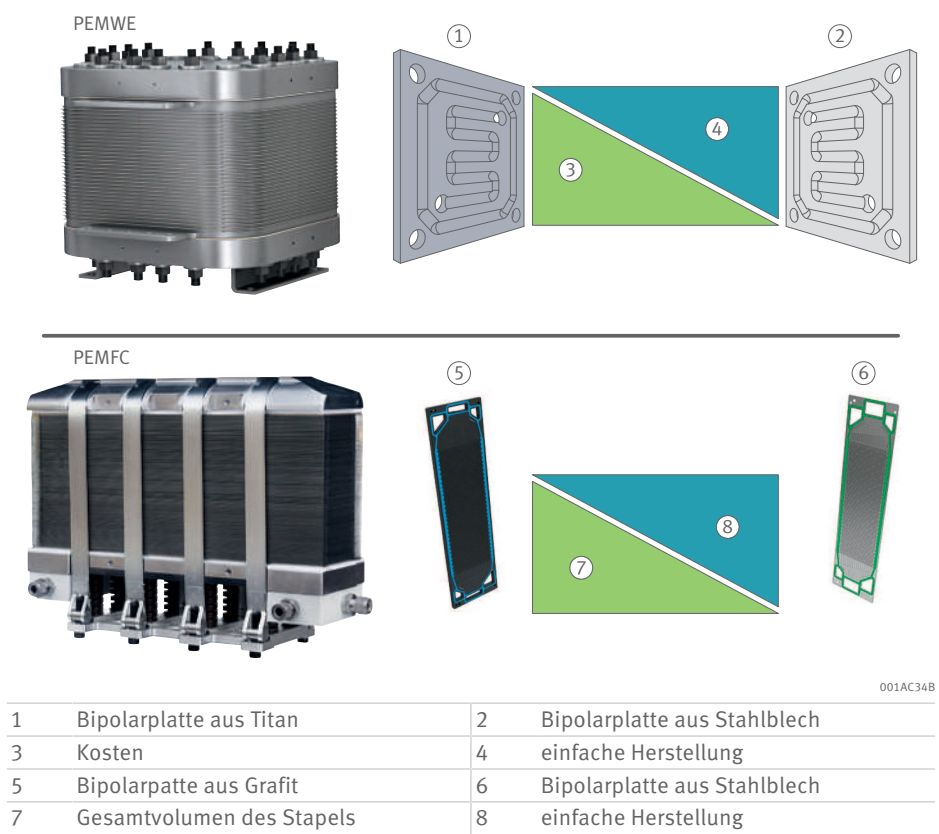
Schaeffler ist mit seinen Lösungen an verschiedenen Stellen in der Wasserstoff-Energiekette vertreten. Von der Gewinnung regenerativer Energien über die Erzeugung von grünem Wasserstoff durch Elektrolyseure bis hin zu dessen Nutzung, beispielsweise durch die Brennstoffzellentechnologie. Hierbei entwickelt Schaeffler bereits Komponenten für PEMWE (Proton Exchange Membrane Water Electrolyser) und PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell), etwa Bipolarplatten (BPP), die zu sogenannten Stacks geschichtet den Kern eines PEMWE- oder PEMFC-Systems bilden.

6.2 Beschichtungsverfahren

Bipolarplatten aus Stahl

Konventionelle BPP werden üblicherweise aus Graphit, Graphit-Compound-Werkstoffen oder teuren Metallen wie Titan hergestellt. Alle diese Werkstoffe haben erhebliche Nachteile nicht nur mit Blick auf hohe Kosten, herausfordernde Fertigung und Gewicht, sondern auch bezüglich ihrer CO₂-Bilanz. Der werkstoffseitige Fokus der Entwicklung rückt daher zunehmend auf BPP aus vergleichsweise dünnem Stahlblech.

☞ 50 Vergleich der konventionellen und aus Stahl gefertigten Bipolarplatten für PEMWE und PEMFC



Beschichtungslösung

Aufgrund der harschen Bedingungen ist der Einsatz von Schutzschichten für Stahl-BPP unumgänglich. Die beschichtete BPP für den Einsatz in PWMWE oder PEMFC muss technische Anforderungen wie elektrochemische Robustheit und geringe elektrische Grenzflächenwiderstände erfüllen können. Zudem muss der fertigungstechnische Schritt des Beschichtens für eine Herstellung in der industriellen Großserie geeignet sein und die beschichtete BPP schließlich eine vorteilhafte CO₂-Bilanz aufweisen. Hierbei wurden sowohl edelmetallhaltige (Enertect PI und Enertect PI+) als auch edelmetallfreie Beschichtungslösungen (Enertect PC+) für metallische BPP aus Stahl entwickelt. Die Beschichtung Enertect PC+ weist im Vergleich zu edelmetallbasierten Beschichtungen einen deutlich geringeren CO₂-Fußabdruck auf und ist zudem kosteneffizienter bei vergleichbarer Performance bei hohen Lebensdauernanforderungen.

51 Beschichtungssysteme für Bipolarplatten mit und ohne Edelmetallanteil



001AC2FA

1	Enertect PI und PI+	2	Enertect PC+
3	Substrat	4	edelmetallhaltige Deckschicht
5	Zwischenschicht	6	metallischer Haftvermittler
7	edelmetallfreie Deckschicht	8	beste Leistungsfähigkeit unter aggressiven Bedingungen
9	bestes Preis-Leitungs-Verhältnis	10	90 % Kostensenkung

6.3 Beschichtungsvarianten

6.3.1 Enertect PI

Edelmetallhaltige Beschichtung

Beschichtungsprozess

- PVD-Verfahren

Vorteile, Nutzen

- geringer elektrischer Widerstand
- hohe Verschleißbeständigkeit
- Korrosionsschutz

Übliche Anwendungen

- Komponenten für Energieumwandlung und Energiespeicherung

☒ 43 Eigenschaften

Merkmal	Beschichtung
	Enertect PI
Zusammensetzung	edelmetallhaltige Beschichtung
Schichtdicke	≥ 300 nm

6.3.2 EnerTECT PI+

Beschichtung mit reduziertem Edelmetallgehalt

Beschichtungsprozess

- PVD-Verfahren

Vorteile, Nutzen

- geringer elektrischer Widerstand
- hohe Verschleißbeständigkeit
- Korrosionsschutz
- geringerer CO₂-Fußabdruck im Vergleich zu EnerTECT PI

Übliche Anwendungen

- Komponenten für Energieumwandlung und Energiespeicherung

44 Eigenschaften

Merkmal	Beschichtung
	EnerTECT PI+
Zusammensetzung	Beschichtung mit reduziertem Edelmetallgehalt
Schichtdicke	≥ 300 nm

6.3.3 Enertect PC+

Edelmetallfreie Beschichtung

Beschichtungsprozess

- PVD-Verfahren

Vorteile, Nutzen

- geringer elektrischer Widerstand
- hohe Verschleißbeständigkeit
- Korrosionsschutz
- deutlich geringerer CO₂-Fußabdruck im Vergleich zu edelmetallbasierten Beschichtungen
- kosteneffizienter als edelmetallhaltige Beschichtungen bei vergleichbarer Performance

Übliche Anwendungen

- Komponenten für Energieumwandlung und Energiespeicherung

☒ 45 Eigenschaften

Merkmal	Beschichtung
	Enertect PC+
Zusammensetzung	edelmetallfreie Beschichtung
Schichtdicke	150 nm bis 300 nm

7 Stromisolation

7.1 Insutect-Schichtsystem

Insutect-Schichtsystem

Beim Einsatz von Wälzlagern in Radsätzen und Fahrmotoren von Schienenfahrzeugen, Gleichstrommotoren und Wechselstrommotoren sowie Generatoren kann es zum Stromdurchgang kommen. Unter ungünstigen Bedingungen führt das zu Schäden an den Laufbahnen und Wälzkörpern.

7.2 Beschichtungsverfahren

Zur Stromisolation wird das Plasmaspritzverfahren angewandt. Das eingesetzte Aluminiumoxidpulver schmilzt beim Beschichtungsprozess auf und wird mit hoher Geschwindigkeit auf Außenring oder Innenring gespritzt.

Bevor die Oxidschicht aufgetragen wird, muss das Grundmaterial aufgeraut werden. Anschließend wird die Oxidschicht versiegelt.

Schutz vor Stromdurchgang

Um dem Ausfall des Lagers vorzubeugen, werden stromisolierte Lager eingesetzt. Der Stromdurchgang zwischen Gehäuse und Welle wird dadurch unterbrochen. Eine elektrische Isolierung ist unter anderem durch die Isolationsbeschichtung von Komponenten (Außenring oder Innenring) möglich.

- ⚠ Bei der Auswahl der Schicht müssen das elektrische und das mechanische Beanspruchungsprofil der Anwendung berücksichtigt werden.

52 Stromisolierte Beispiellager



001AC4B1

Isolationsbeschichtungen

Abhängig von den Anforderungen der Anwendung können im Rahmen des Beschichtungsbaukastens unterschiedliche Insutect A-Beschichtungsvarianten angeboten werden. Nachfolgend werden die wesentlichen Schichteigenschaften und Einsatzgebiete des Insutect A-Schichtsystems aufgeführt.

7.3 Beschichtungsvarianten

7.3.1 Insutect A

Keramikschicht aus Aluminiumoxid (Al_2O_3) mit Versiegelung

Beschichtungsprozess

- Plasmaspritzverfahren

Vorteile, Nutzen

- Gleichstromwiderstand bis 1000 M Ω
- Schichtdicke 120 μm bis 200 μm , auf Kundenwunsch bis zu einer maximalen Schichtstärke von 700 μm möglich.
- Stromisolation auch in feuchter Umgebung
- Der Wechselstromwiderstand sinkt mit zunehmender Frequenz. Bei 100 kHz beträgt er z. B. für den Lagertyp 6314 noch 346 Ω .
- zusätzlich Korrosionsschutz
- Die Außenabmessungen des Lagers entsprechen DIN 616:2022. Damit sind beschichtete Lager mit Standardlagern austauschbar.
- Unterschiedliche Schichtdicken, abgestimmt auf die geplante Anwendung. Je nach Schichtsystem können Durchschlagsfestigkeiten von bis zu DC 6000 V erreicht werden.

Übliche Anwendungen

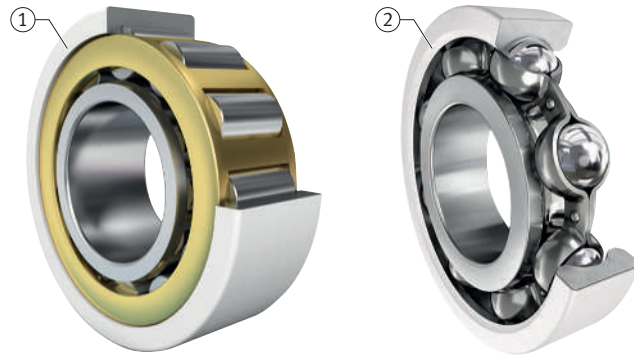
- Lager für Elektromotoren
- Fahrmotorenlager
- Radsatzlagerungen
- Lager in Generatoren
- Schiffsantriebe

Eine Übersicht der wichtigsten Kennwerte für die gängigsten Varianten von Insutect A sind in der folgenden Tabelle dargestellt:

☒ 46 Eigenschaften

Merkmal	Beschichtung		
	J20GA	J20GB	J20GI
Lagerbeschichtung	Außenring	Außenring	Innenring
Farbe	beige (matt)		
Schichtdicke	120 μm	200 μm	120 μm
Einsatzumgebung	trocken, feucht		
Spannungsfestigkeit	DC 3000 V		
Ohmscher Widerstand	250 M Ω	400 M Ω	250 M Ω
Impedanz (6314, f = 100 kHz)	221 Ω	346 Ω	419 Ω
Mögliche Abmessungen			
Innendurchmesser	–	–	≥ 70 mm
Außendurchmesser	70 mm bis 800 mm	70 mm bis 800 mm	bis 800 mm

☐53 Stromisolierte Lager, Außenring beschichtet mit Insutect A



0009E252

1 Zylinderrollenlager

2 Rillenkugellager

☐54 Anwendungsbeispiel Bahn



000A3D94

Weitere Informationen

TPI 206, Stromisolierende Lager, <https://www.schaeffler.de/std/1FE8>

8 Sensorik, Kraftmessung und Momentmessung

8.1 Sensotect-Schichtsystem

Mit der innovativen Dünnschichtsensorik Sensotect führt Schaeffler intelligente Schichtsysteme in die Automobilbranche und die Industriesparte ein.

Sensotect erlaubt bauraumneutral und in Echtzeit die Messung des Belastungszustands an Orten, an denen klassische Sensoren wie geklebte Dehnungsmessstreifen nicht eingesetzt werden können.

Die Funktionalität wird durch eine submikrometerdünne, dehnungsempfindliche Metallbeschichtung realisiert, die durch Mikrobearbeitung strukturiert wird. Diese Messtruktur ermöglicht eine kontinuierliche Kraftmessung und Drehmomentmessung während des Betriebs.

Das Bauteil wird mithilfe moderner Dünnschichttechnik zum Sensor und der Sensor wird zum Bauteil. Durch diese Messtechnik ist es beispielsweise möglich, an Antriebswellen oder in Fahrzeuggetrieben das Drehmoment sehr schnell und genau zu bestimmen. Die Motorleistung kann exakt auf die anfallende Belastung eingestellt werden. Damit liefert Sensotect einen wichtigen Beitrag in der Energieeinsparung und Treibstoffeinsparung und hilft letztendlich den CO₂-Ausstoß zu reduzieren.

Sowohl die Automobilbranche als auch die Industriesparte bieten zahlreiche Anwendungsgebiete, bei denen die integrierte Sensorbeschichtung einen Beitrag zur Digitalisierung leisten kann.

55 Sensorisiertes Präzisionswellengetriebe



8.2 Beschichtungsvarianten

8.2.1 Sensotect

Mehrschichtsystem aus Isolationsbeschichtung und dehnungsempfindlicher Metallbeschichtung

Beschichtungsprozess

- PVD-Verfahren und Mikrostrukturbearbeitung

Vorteile, Nutzen

- sehr genaue Kraftmessung und Momentmessung auf Funktionsbauteilen, bei denen die Möglichkeiten konventioneller Methoden begrenzt sind
- Sensorschicht wird direkt auf die Substratoberfläche abgeschieden
- Messung an 2D- und 3D-Geometrien möglich
- bauraumneutrale Sensorik
- kein Einsatz von Klebstoffen und Transferpolymeren
- kontinuierliche Kraftmessung und Momentmessung im Betrieb
- hohe Sensitivität bei sehr geringer Hysteresabweichung und Linearitätsabweichung
- keine Temperaturabweichungen
- keine Alterungseffekte
- drahtlose Datenübertragung und Energieübertragung (Telemetrie)

Übliche Anwendungen

- Lager
- Achsen
- Wellen
- individuelle Biegebalken

47 Eigenschaften Sensotect

Merkmal	Beschichtung
Zusammensetzung	Mehrschichtsystem aus Isolationsbeschichtung und dehnungsempfindlicher Metallbeschichtung
Struktur	Mäanderstruktur
Farbe	hellgrau bis beige (matt)
Schichtdicke	etwa 10 µm

56 LoadSense Pin, beschichtet mit Sensotect



001AC614

**Schaeffler Technologies
AG & Co. KG**

Industriestrasse 1 – 3
91074 Herzogenaurach
Deutschland
www.schaeffler.de
info.de@schaeffler.com

In Deutschland:
Telefon 0180 500872
Aus anderen Ländern:
Telefon +49 9132 82-0

Alle Angaben wurden von uns sorgfältig erstellt und geprüft, jedoch können wir keine vollständige Fehlerfreiheit garantieren. Korrekturen bleiben vorbehalten. Bitte prüfen Sie daher stets, ob aktuellere Informationen oder Änderungshinweise verfügbar sind. Diese Publikation ersetzt alle abweichenden Angaben aus älteren Publikationen. Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit unserer Genehmigung.

© Schaeffler Technologies AG & Co. KG
TPI 186 / 01 / de-DE / DE / 2024-03