



# PTFE-beschichtete hydrodynamische Lager



**Michell  
Bearings**

## Über uns

Als Erfinder des hydrodynamischen Lagers vor mehr als 100 Jahren haben wir unsere Produkte kontinuierlich weiterentwickelt, um den sich ändernden Anforderungen der Industrie gerecht zu werden.

Unsere internen Konstruktionsingenieure arbeiten mit unseren spezialisierten Fertigungsteams in Großbritannien und Indien zusammen, um Ihnen hochwertige, innovative hydrodynamische Lager mit Weißmetall- und PTFE-Beschichtung für eine Reihe von industriellen, kommerziellen Marine- und Schifffahrtsmärkten anzubieten.

Um kritische Anwendungen in Branchen zu unterstützen, in denen Produkte strenge Spezifikationen erfüllen und in anspruchsvollen Umgebungen eingesetzt werden müssen, haben wir eine Reihe einzigartiger Leistungssoftware entwickelt, die auf unsere Produkte zugeschnitten ist. Diese bietet genauere und zuverlässigere Leistungsprognosen als jede andere handelsübliche Software. Die Ergebnisse der Software, die durch jahrelange Forschungs- und Entwicklungstests untermauert werden, geben Ihnen die Gewissheit, dass wir sichere und zuverlässige Lagerlösungen liefern.

### Unsere Produktpalette umfasst:

- Vertikale Führungslager (V)
- Fortschrittliche vertikale Axial- und Führungslager (AV)
- Große vertikale Axial- und Führungslager (LV)
- Axiallager für Marineanwendungen
- Industrielle Horizontallager (IH)
- Schwerlast-Axiallager (HD)
- Marine-Propellerwellenlager (MA & MT)
- Selbstausrichtende Stehlager (NSA)
- Omega Druckringe
- Omega Equalised Druckringe
- Traglagersegmenteinheiten
- Sonderausführungen nach individueller Kundenspezifikation

### Qualität

- Das Qualitätssystem, das bei Michell Bearings für die Konstruktion und den Support unserer Produkte eingesetzt wird, ist nach BS EN ISO 9001:2015 zugelassen
- Unser Managementsystem ist nach der Gesundheits-, Sicherheits- und Umweltnorm BS EN ISO 14001:2015 zertifiziert
- Michell Bearings erfüllt auch die Arbeitsschutznorm BS OHSAS 18001:2007.

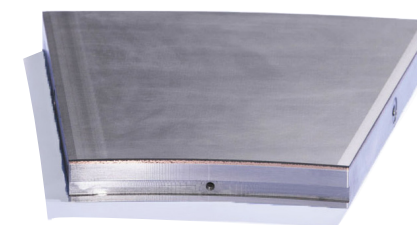
Die ursprüngliche, ungefüllte (weiße) PTFE-Installation von Michell Bearings in einem Pumpspeicherkraftwerk in Großbritannien, das seit 1996 in Betrieb ist. Die Lagerlebensdauer beträgt bereits mehr als das Vierfache der ursprünglich eingebauten Weißmetallsegmente.

## Überblick

Die Entwicklung des PTFE-Lagers durch Michell Bearings begann Mitte der 1990er Jahre, als bei den Prüfungen festgestellt wurde, dass das Material ohne übermäßigen Verschleiß und bei bestimmten Lasten deutlich höher als Weißmetall- (oder Babbitt-)Lager und ohne Hochdruckölspritzung betrieben werden kann.

Die Lagertechnologie aus Polytetrafluorethylen (PTFE) gibt es bereits seit einigen Jahren. Als sie ursprünglich entwickelt wurden, um Probleme in großen, stark belasteten Hydrogenerator-Axiallagern zu überwinden, wurden die Vorteile der Verwendung von PTFE in hydrodynamischen Lagern entdeckt. PTFE-Lager bieten die Möglichkeit, das Hochdruckölspritzsystem an einem Weißmetall- (oder Babbitt-)Lager zu eliminieren, das zum Anheben der Welle beim Starten und Stoppen verwendet wird.

Die Fähigkeit des Materials, bei minimalen Ölfilmstärken sicher zu arbeiten, ermöglicht eine höhere spezifische Lastkapazität als dies normalerweise bei Weißmetall der Fall ist. Anfänglich konzentrierte sich die Entwicklungstätigkeit auf große Kippsegmente, die in Hydrogeneratoranwendungen verwendet werden, wobei die Vorteile von PTFE die Zuverlässigkeit problematischer Maschinen verbessern könnten. Heute wird PTFE oft als erste Wahl für Hydroanwendungen spezifiziert und es hat sich gezeigt, dass es klare Vorteile für kleine Segmentanwendungen in standardisierten Reversierpumpenanwendungen hat.



Ein großes PTFE-Hydro-Kippsegment

### Verpflichtung zur kontinuierlichen Entwicklung

Die Zusammenarbeit mit weltweit führenden Tribologen hat es unserem Forschungsteam ermöglicht, ein detailliertes mathematisches Modell der betrieblichen Wärmeübertragung und der thermoelastischen Verformung von PTFE-Segmenten zu erstellen. Unsere speziell konstruierten Prüfstände dienen zur Überprüfung theoretischer Vorhersagen und ermöglichen die Prüfung produktionsreifer und prototypischer Entwürfe bis zu ihren Betriebsgrenzen und darüber hinaus. Diese Tests ermöglichten die Einführung von PTFE-Segmenten auf Kohlenstoffbasis, die hinsichtlich Verschleiß- und Kriechbeständigkeit überlegen sind.

### Konstruktion

Unsere PTFE-Lager sind in Konstruktion und Betrieb ähnlich wie Weißmetall- (oder Babbitt-)Segmente, mit der Ausnahme, dass die Weißmetallschicht durch eine Verbundschicht aus komprimiertem Kupferdraht und PTFE ersetzt wird.

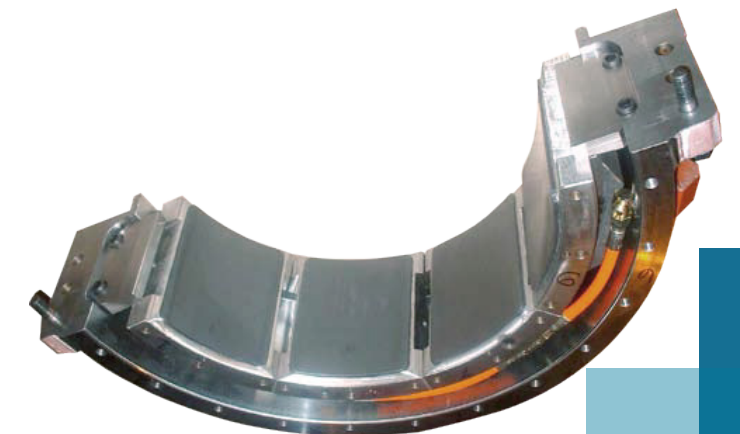
Die chemische Trägheit von PTFE stellt Schwierigkeiten bei der Verbindung mit Metalloberflächen dar und sein erhöhter Ausdehnungskoeffizient bedeutet, dass eine einfache Klebeverbindung mit dem Stahlsegment nicht stark genug wäre, um den durch thermisches Wachstum verursachten Betriebslasten standzuhalten. Um eine robuste und zuverlässige Verbindung zu gewährleisten, befestigen wir das PTFE auf einem engmaschigen Kupferdrahtgeflecht, das eine mechanische Verbindung bildet. Das Kupfergeflecht wird dann mit der Stahlunterlage verlötet, um eine metallurgische Verbindung zu bilden. Die kritischen Fertigungszeiten, Drücke und Temperaturen werden digital gesteuert, sodass jedes Segment unsere hohen Standards erfüllt und die Qualität nie beeinträchtigt wird.

### PTFE-Radiallager

Mit ähnlichen bewährten Fertigungstechniken wie bei Kippsegmenten können wir das PTFE/Kupfer-Verbundmaterial mit einer gekrümmten Radiallagerfläche zu verbinden. Dadurch wird sichergestellt, dass die geforderten Bindungsstärken erhalten bleiben und die PTFE-Eigenschaften nicht beeinträchtigt werden.

Umfangreiche Tests mit einer Gleitgeschwindigkeit von bis zu 85 m/s (280 ft/s) haben gezeigt, dass unsere PTFE-Traglagersegmente die erheblichen betrieblichen Vorteile bieten, die mit unseren PTFE-Axiallagern verbunden sind.

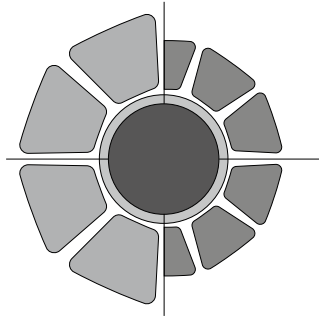
Aufbauend auf unserem Hintergrund in der Konstruktion und Herstellung hydrodynamischer Lager aus dem Jahr 1920 haben wir die PTFE-Herstellungsprozesse optimiert und für PTFE-Axial- und Radiallageranwendungen weiter ausgebaut. Damit setzt sich die Lagerinnovationstradition fort, die unser Gründer A.G.M. Michell 1905 mit der Erfindung des Kippsegmentlagers begann.



Traglagersegmente mit einem Durchmesser von 450mm (18") für einen Hauptdrucklager-Prüfstand



## Technische Vorteile



Gleiche maßstabsgetreue Planzeichnungen von gleich belasteten Weißmetall- und PTFE-Lagern

### Erhöhte Lasttragfähigkeit

Tests haben gezeigt, dass unsere gefertigten PTFE-Kippsegmente eine deutlich höhere Lasttragkapazität als die von Weißmetall haben.

### Kleinere und leichtere Lager

Die kleinere Segmentoberfläche eines PTFE-Lagers kann im Vergleich zu Weißmetall zu reduzierten Gesamtlagerabmessungen führen. Die Reduzierung des Druckringdurchmessers und der äußeren Gehäuseabmessungen kann zu einer Gewichtseinsparung von typischerweise 20% führen. In Kombination mit unserem Know-how in der Konstruktion und Herstellung kompakter, eigenständiger Konstruktionen können noch größere Gewichtseinsparungen erzielt werden.

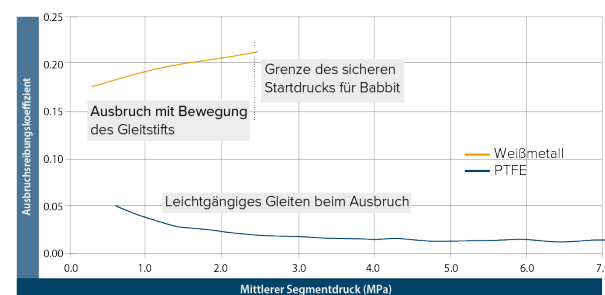
Wenn PTFE in unseren Produktsortimenten AV (Advanced Vertical) und LV (Large Vertical) verwendet wird, kann das Lager normalerweise in einer Rahmengröße geliefert werden, die kleiner ist als das Weißmetalläquivalent.

### Geringere Leistungsverluste

Die kleinere Arbeitsfläche des Lagers reduziert die Leistungsverluste durch Ölscherung erheblich, wobei die Einsparungen im Vergleich zu einem Weißmetalllager, das unter denselben Bedingungen betrieben wird, normalerweise 20 bis 30 % betragen.

### Hervorragende Reibungs- und Verschleißigenschaften

Die bekannten reibungsarmen Eigenschaften von PTFE erweisen sich als wertvoll, wenn der hydrodynamische Ölhub, der beim Start und Stoppen verwendet wird, nicht erzeugt werden kann. Die statischen Reibungskoeffizienten liegen bei etwa 0,05 und darunter. Einzigartig ist, dass der Reibungskoeffizient von PTFE mit steigendem Segmentdruck verringert wird, wodurch PTFE-beschichtete Lager deutliche Vorteile für Hochlaststarts bieten (siehe Grafik unten). Außerdem ist keine Haltezeit vor dem Neustart erforderlich.



Vergleich der Ausbruchreibung von Weißmetall (Babbitt) und PTFE

### Vollständige Eliminierung der Hochdrucköleinspritzung

Aufgrund der geringen Reibungs- und Verschleißmerkmale eines PTFE-Lagers ist es nicht erforderlich, einen Hochdruckhub (HP) zu verwenden. Im Gegensatz zu Weißmetall hat PTFE viel höhere Belastungsgrenzen beim Starten und Stoppen und es ist auch möglich, die Maschine mit wesentlich niedrigeren Geschwindigkeiten zu betreiben, bevor Bremssysteme eingesetzt werden. HP-Hub kann in PTFE-Segmente eingebaut werden, wenn dies vom Kunden angegeben wird.

### Sehr „verzeihendes“ Material

PTFE ist in der Lage, sich in einem lokalisierten Maßstab plastisch zu verformen, während das gesamte Segmentprofil beibehalten wird, das erforderlich ist, um den hydrodynamischen Film aufrechtzuerhalten. Mit einem Elastizitätsmodul von nur 0,2 % gegenüber Weißmetall ist das Material daher sehr nachgiebig. Dadurch können Überlastungen, transiente Effekte und Fehlausrichtungen besser berücksichtigt werden, was zu einem sehr belastbaren Material mit langer Lebensdauer führt.

### Ideales Material für problematische Weißmetallanwendungen

Die „verzeihende“ Natur von PTFE hat es uns ermöglicht, PTFE-Kippsegmente erfolgreich in einer Reihe von Einheiten nachzurüsten, die zuvor mit Weißmetall wiederholt ausfielen.

### Kein katastrophaler Ausfallmechanismus

Von der extremen Überlastprüfung in unserem speziell entwickelten Prüfstand bis hin zur mikroskopischen Analyse der PTFE-Oberfläche haben wir festgestellt, dass PTFE-Lagersegmente nicht die katastrophalen Ausfallmechanismen aufweisen, die bei Weißmetallsegmenten auftreten. Dies ermöglicht den kontinuierlichen Betrieb und die kontrollierte Abschaltung von Maschinen. PTFE-Lager können daher die Ausrüstung vor mechanischen Schäden wie Laufrillen schützen, die häufig bei Weißmetall auftreten.

### Opfermaterial

Die relative Weichheit von PTFE sorgt dafür, dass es bei Eindringen von Fremdkörpern in das Schmierölsystem opfernd wirkt. Die Betriebserfahrung zeigt, dass PTFE eine größere Kapazität als Weißmetall hat, um den Betrieb auch bei Schäden an der Oberfläche der Segmente fortzusetzen. In einigen Fällen können Fremdkörper in die PTFE-Oberfläche eindringen, ohne Schäden zu verursachen, die andernfalls zum Ausfall von Weißmetallagern führen würden.

### Thermische und elektrische Isolierung

Mit einer Wärmeleitfähigkeit von nur 0,6 % gegenüber Weißmetall zeigen PTFE-Segmente eine signifikante Verringerung der thermischen „Krönung“ der Segmentoberfläche, wodurch sichergestellt wird, dass mehr von der Oberfläche verwendet werden kann, um die auf das Lager aufgetragenen Lasten zu tragen. Die Tatsache, dass einige PTFE-Typen elektrische Isolatoren sind, bedeutet, dass ein kombiniertes PTFE-Axial- und Radiallager eine vollständige elektrische Isolierung der Welle vom gesamten Lager gewährleisten kann. Dadurch wird die Gefahr elektrischer Erosion durch umlaufende Wellenströme ausgeschlossen, ohne dass eine separate elektrische Isolierung erforderlich ist.





## Anwendungen

Unsere PTFE-Kippsegmente sind auf vier Kontinenten installiert und reichen von der Nachrüstung bestehender Wasserkraftgeneratoren bis hin zu den innovativen Lagern, die für einen Hochgeschwindigkeits-Wasserstrahlkatamaran geliefert werden.

### Wasserkrafterzeugung

PTFE-beschichtete Lager sind ideal für die niedrigen Drehzahl- und Hochlastbedingungen geeignet, die häufig in Anwendungen zur Wasserkrafterzeugung erforderlich sind.

Da PTFE-Pads kleiner sind als gleichwertig belastete Weißmetall-Pads, ist es möglich, PTFE in vorhandene Weißmetall-Axiallager nachzurüsten und dabei die Hochdruckhebeseysteme zu entfernen. Dadurch werden die betrieblichen Vorteile von PTFE genutzt, ohne dass weitere wesentliche Änderungen an der Maschine vorgenommen werden müssen.

### Problemlager

Ungleichmäßige Belastung und transiente Belastungsbedingungen, sei es aufgrund eines Lagers, das außerhalb seiner Konstruktionsbedingungen arbeitet, oder eines spezifischen Konstruktionsproblems, können in einigen Fällen durch Nachrüstung eines PTFE-beschichteten Lagers behoben werden.

Bei einem Projekt in einem Pumpspeicherkraftwerk traten bei drei Maschinen, die ursprünglich mit konventionellen Weißmetalllagern ausgestattet waren, Ausfälle auf, als die Maschinen vom Generator- in den Pumpmodus wechselten. Es wurde festgestellt, dass eine unkontrollierte Verformung des Druckrings dazu führte, dass sich die Axiallast auf die inneren 50 % der Segmentflächen konzentrierte und die resultierenden lokalen Drücke zu hoch waren, um vom Weißmetall gestützt zu werden. PTFE-Beschichtungen wurden anstelle des Weißmetalls nachgerüstet, was bedeutete, dass alle drei Maschinen sofort arbeiten konnten und seit ihrer Umrüstung im Jahr 1999 in Betrieb sind, obwohl die ursprüngliche Druckringverformung noch vorhanden ist.

### Schiffsdrucklager

Die signifikanten Gewichts- und Größeneinsparungen, die durch den Einsatz eines neuen PTFE-beschichteten Lagers im Vergleich zu einem Weißmetalllager erzielt werden, können bei der Konstruktion von Schiffsantriebssystemen von besonderem Wert sein. Im Jahr 2002 lieferten wir die Hauptantriebsdrucklager mit PTFE-beschichteten Lagern, die auf einem großen Hochgeschwindigkeitskatamaran in Japan verwendet werden, der von Rolls-Royce Wasserstrahlröhren angetrieben wurde, bei denen Platz und Gewicht entscheidend für die Konstruktion waren. Unsere PTFE-Konstruktion ermöglichte eine Einsparung von fünf Tonnen beim Gewicht des Schiffes. Wir haben auch einen großen Unterwasser-Drucklager-Prüfstand mit PTFE-beschichteten Kippsegmenten entwickelt.

### Kostenvorteile

Durch die Verwendung von PTFE können die Kosten im gesamten Projekt gesenkt werden, da kleinere Wellenschmieden, Lagergehäuse, Kühler und Schmiersysteme möglich sind. Darüber hinaus verbessert die Verwendung von PTFE-Segmenten die Effizienz des Generators und bedeutet, dass keine Hochdruckeinspritzung erforderlich ist. Die Kostenersparnis durch reduzierte Leistungsverluste bei einem 90-MW-Generator über einen Betriebszeitraum von 30 Jahren würde in der Regel 0,5 Millionen US-Dollar betragen.

### Eigenständige Pumpenlager

Die Reduzierung des Leistungsverlusts durch die Verwendung von PTFE-Segmenten hat es uns ermöglicht, eigenständige,

lüftergekühlte Lager für Pumpeninstallationen zu liefern. Dadurch wurden die Leistungsverluste durch größere Weißmetallkippsegmente reduziert, die normalerweise Ölkreislaufsysteme oder Wasserkühlung erforderlich gemacht hätten. Dank unseres PTFE-Lagers in Kombination mit unserem Know-how in der Konstruktion und Herstellung kompletter Lager ist kein anderer Maschinenhersteller mehr für Hilfsleistungen erforderlich.



Ein komplettes lüftergekühltes vertikales Lager inklusive PTFE-Kippsegmenten

### Instrumentierung

Unsere Temperaturfühler sind in metallischen Einsätzen untergebracht, die durch die PTFE-Kupferschichten dringen und eine genaue Anzeige der Ölfilmtemperatur ohne nachteilige Auswirkungen auf die hydrodynamische Film- oder Segmentfestigkeit liefern. Wir verbauen die Temperaturfühler so, da Widerstandstemperaturdetektoren (RTDs) bei herkömmlicher Positionierung auf der Rückseite des Segments einen falschen Messwert registrieren würden, da PTFE ein thermischer Isolator ist.

### Hydrostatische Hochdrucköleinspritzung (Hub)



Ein PTFE-beschichtetes Kippsegment mit zwei RTDs und HP-Hub

PTFE-beschichtete Kippsegmente können ohne hydrostatische Hochdruckeinspritzsysteme sicher funktionieren. Es kann jedoch unter Umständen wünschenswert sein, dass ein hydrostatischer Hub verfügbar ist. Dies kann beispielsweise dazu führen, dass extrem hohe Anlaufdrehmomente erreicht werden, oder die kontinuierliche Drehung der Welle bei niedriger Drehzahl (Sperre) für die Wartung erforderlich ist.

Im Rahmen unseres Entwicklungsprogramms wurden unsere PTFE-beschichteten Segmente mit der HP-Öleinspritzung ausgiebig auf einem großen Prüfstand getestet und für viele Projektanwendungen geliefert. Die Integration der Hubfunktion hängt von den Kundenanforderungen ab.





# Unser umfassendes Kundendienstmodell

Das Kundendienstmodell von Michell Bearings sorgt dafür, dass Sie während der gesamten Lebensdauer der von uns entwickelten Lagerlösungen beruhigt sein können.

Wir wissen, dass Lagerausfälle gravierend und Ausfallzeiten teuer sind und daher eine anspruchsvolle Instandhaltung und Wartung von entscheidender Bedeutung ist. Im schlimmsten Fall ist eine schnelle Reaktion entscheidend um die Reparatur vorhandener Teile oder die Verfügbarkeit von Ersatzteilen sicherzustellen.

Unser globales Netzwerk und unsere 24-Stunden-Fertigungskapazität gewährleisten, dass Michell Bearings schnell und effizient auf die Anforderungen unserer Kunden reagieren kann. Wir verfügen über das interne technische Know-how, um praktisch jede Reparatur von Weißmetallagern durchzuführen, sei es an einem Originalprodukt von Michell Bearings oder einem Produkt eines anderen Herstellers.

Der Service ist jedoch der Schlüssel zur Vermeidung von Lagerausfällen. Unser engagiertes Serviceteam, allesamt hochqualifizierte Ingenieure, reist um die ganze Welt um sowohl Installations- als auch routinemäßige Servicearbeiten im Marine- und Industriesektor durchzuführen.

Michell Bearings bietet maßgeschneiderte, strukturierte Wartungsprogramme an, um die Zuverlässigkeit der Lager zu gewährleisten. Ob geplant oder ungeplant unsere Diagnose- und Korrekturwartung ist für einen reibungslosen Betrieb und die Zufriedenheit unserer Kunden von entscheidender Bedeutung.



**Michell Bearings**  
Waldridge Way  
Simonside East Industrial Park  
South Shields  
Tyne and Wear  
NE34 9PZ

+44 (0) 191 273 0291

**Michell Bearings (India) LLP**  
8D Attibele Industrial Area  
Hosur Road  
Bangalore  
562107

+91 80 278 20202

**Michell Bearings Inc**  
500 Office Center Drive  
Suite 204  
Fort Washington  
PA 19034

+1 215 283 6015

[sales@michellbearings.com](mailto:sales@michellbearings.com)  
[www.michellbearings.de](http://www.michellbearings.de)

