



## MAURER MSM<sup>®</sup> Gleitlager mit geringem Langzeitverschleiß und deshalb ...

- mit geringen Reibbeiwerten,
- besonders geeignet für hohe Bewegungsgeschwindigkeiten,
- für lange Gleitwege,
- für hohe Pressungen
- und für Niedrigtemperaturbereiche

### 1. Einführung

Wie aus der Spezifikation für die Fahrweglager der deutschen Magnetschnellbahn "Transrapid" ersichtlich, müssen Lager fallweise zusätzlichen Anforderungen entsprechen, die nicht für gewöhnliche Brücken gelten. In konventionellen Brücken unterliegen die Lager geringen Bewegungen aus veränderlichen Lasten, im Gegensatz zu z. B. Hochgeschwindigkeitszügen, wo der Fahrweg mit bis zu 500 km/h befahren wird.

Bei der Fahrweggestaltung für die deutsche Magnetschnellbahn Transrapid war Grundanforderung für das Gleitmaterial der Lager die Fähigkeit, sich mit 15 mm/s zu bewegen und zudem eine Lebensdauer von bis zu 80 Jahren zu gewährleisten.

Maurer Söhne nahm diese Herausforderung an und entwickelte das Gleitmaterial MSM<sup>®</sup> (d. h. MAURER Sliding Material), das sogar die Anforderungen des Transrapid-Konsortiums übertraf. Das neue Gleitmaterial besitzt eine mindestens 40fache Lebensdauer<sup>1</sup>, verglichen mit dem



konventionell verwendeten Gleitmaterial PTFE (TEFLON<sup>®</sup>), und weist zudem einen geringeren Reibbeiwert bei niedrigeren Temperaturen auf.

Somit ist einerseits das neu entwickelte Gleitmaterial bestens geeignet für die Anwendung bei Hochgeschwindigkeitsstrecken, andererseits ist es genauso gut verwendbar bei Hängebrücken und anderen großen Stahlbrücken, bei denen relativ große Bewegungen in relativ kurzer Zeit durch Verkehrslast einwirken, was zu einer hohen Bewegungsgeschwindigkeit führt und sich im Zeitverlauf zu einem relativ langen Gleitweg aufaddiert.

Ein weiterer Vorteil sind die Bemessungspressungen, die im Vergleich zu PTFE doppelt so hoch sind. Neben den reduzierten Bauteilabmessungen, die sich vorteilhaft auf die Konstruktion auswirken, führt dies auch zu geringeren Produktionskosten.

Die zur Erteilung der Allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung erforderlichen Tests wurden erfolgreich abgeschlossen. Da die Leistungsgrenzen von MSM<sup>®</sup> hierbei noch nicht erreicht wurden, sollen im Rahmen eines geförderten Industrie-Forschungsprojekts weitere Tests durchgeführt werden, um die tatsächlichen Materialkennwerte zu ermitteln und MSM<sup>®</sup> weiter zu entwickeln.

Ziel dieser Produktinformation ist, einem interessierten Personenkreis einen Eindruck der Leistungseigenschaften des neu entwickelten Materials zu vermitteln.

<sup>1</sup> Eine 40fache Lebensdauer besteht, wenn ein lineares Verhalten zwischen Abrieb und Testparametern angenommen werden kann:  
Pressung 60 N/mm<sup>2</sup> ./.. 30 N/mm<sup>2</sup> (PTFE) ergibt Faktor 2;  
Testgeschwindigkeit 15 mm/s ./.. 2 mm/s (PTFE) ergibt Faktor 7,5;  
Gesamt-Gleitweg 50km ./.. 20 km (PTFE) ergibt Faktor 2,5.  
Diese 3 Faktoren multipliziert ergeben einen Gesamtfaktor von nahezu 40.





**MAURER MSM® Gleitlager**

**... mit geringem Langzeitverschleiß und deshalb ...  
mit geringen Reibbeiwerten, besonders geeignet für hohe Bewegungsgeschwindigkeiten, für lange Gleitwege,  
für hohe Pressungen und für Niedrigtemperaturbereiche**

**2. Vergleich von neu entwickeltem MSM® zu konventionellem PTFE**

Die Tests für das neue MSM® Material wurden gemäß den Vorgaben der EN 1337-2 durchgeführt, welche die Gleitelemente für Lager im Bauwesen spezifiziert.

Sämtliche Ergebnisse zeigen eine deutliche Überlegenheit des MSM® Materials gegenüber PTFE.

**2.1 Druckversuche**

Abb. 1 zeigt Ergebnisse aus den Druckversuchen für MSM® und vergleicht diese mit einem früheren Druckversuch von PTFE.

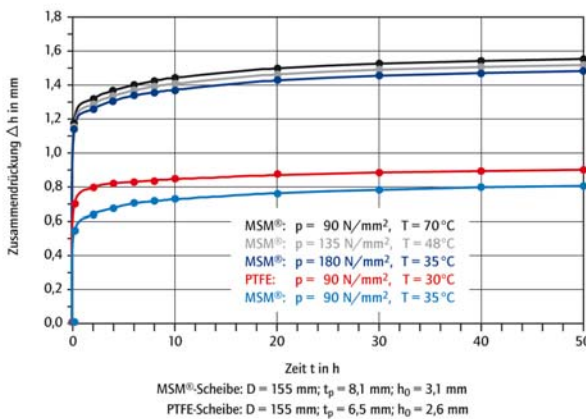


Abb. 1 Statische Druckversuche mit MSM® und PTFE

Die Ergebnisse des Druckversuchs zeigen, dass MSM® bis zu einer Pressung von 180 N/mm² nur zeitlich begrenzte Kriecheigenschaften zeigt. PTFE weist bei der nach EN 1337-2 festgelegten charakteristischen Pressung f<sub>k</sub> = 90 N/mm² ein deutlicheres Langzeitkriechen auf.

Die Dickenverringerng von MSM® ist bei gleichem Druck etwas kleiner als bei PTFE. Da für MSM® höhere Werte erreicht werden können, ist die Dickenverringerng im Grenzzustand der Tragfähigkeit größer als die von PTFE, was leicht durch die Verwendung von dickeren Scheiben kompensiert werden kann, um sicherzustellen, dass die Spalthöhe immer ihren geringsten Bemessungswert überschreitet. Gleichermaßen erreicht wird eine plastische Anpassung an die setzungsbedingten Lagerplattenverformungen.

Als mögliche Konsequenz aufgrund der höheren Druckfestigkeit von MSM® kann das Gleitelement, besonders dasjenige von Kalottenlagern, kleiner bemessen werden.

**2.2 Langzeitgleittest für Hauptgleitflächen**

Für MSM® mit Schmieraschen als Hauptgleitfläche wurde ein Langzeitgleittest gemäß den Bestimmungen der EN 1337-2 durchgeführt.

Jedoch wurden im Unterschied zu PTFE einige Parameter verändert, was zu wesentlich härteren Testbedingungen für MSM® führte.

Aus Tab. 1 sind diejenigen Parameter ersichtlich, die für die Testphase von MSM® geändert wurden.

Abb. 2 zeigt die Ergebnisse des Langzeitgleitversuchs bei einer Pressung von 30 N/mm². Vergleichsweise sind die nach EN 1337-2 geforderten Sollwerte, siehe auch Tabelle 2, für PTFE eingetragen. Abb. 2 zeigt auch die in engeren Abschnitten gemessenen Reibbeiwerte von MSM® bei 60 N/mm². Hieraus geht hervor, dass nach einer anfänglichen Zunahme die Werte über den Gleitweg nahezu konstant bleiben. Vergleichsweise sind auch hier PTFE-Kurven eingetragen.

**MAURER MSM® Gleitlager**

**... mit geringem Langzeitverschleiß und deshalb ...  
mit geringen Reibbeiwerten, besonders geeignet für hohe Bewegungsgeschwindigkeiten, für lange Gleitwege,  
für hohe Pressungen und für Niedrigtemperaturbereiche**

	PTFE mit Schmieraschen	MSM®
Kontaktpressung [N/mm <sup>2</sup> ] (0,33 f.)	30	60
Durchschnittliche Gleitgeschwindigkeit [mm/sec] und Zyklus	2 sinusförmig	15 konstant
Gesamtgleitweg der Phasen 2, 4, 6 [m]	10.000 (20.000) <sup>1)</sup>	30.000 (50.000) <sup>2)</sup>
Gleitweg pro Phase 2, 4, 6 [m]	1.000	1.000 bis 11.000

Tab. 1 Typ B Testbedingungen (EN1337-2 Tab. D.3) für Phasen 2,4,6... (Langzeitversuche)

- 1) Die Standardtests für PTFE beziehen sich auf einen Gesamtgleitweg von 10.000 m, einzelne Anfangstests sind auch für 20.000 m verfügbar.
- 2) Der Langzeitversuch von MSM® wurde später wegen der unerwartet guten Ergebnisse von 30.000 m auf 50.000m erhöht.

	PTFE ↔ Edelstahl (ebene Gleitflächen)	PTFE ↔ Edelstahl / Hartchrom (gekrümmte Gleitflächen)	PTFE ↔ Aluminium (gekrümmte Gleitflächen)	CM1 / CM2 ↔ Edelstahl (in Führungen)
	Gesamtgleitweg [m]			
	10.242	2.066		
Temp.	Statische Gleitreibungszahlen $\mu_s$ [-]			
-35 °C	0,050	0,030	0,045	0,200
-20 °C	0,040	0,025	0,038	0,150
0 °C	0,025	0,020	0,030	0,100
+21 °C	0,020	0,015	0,022	0,075

Tab. 2 Maximal zulässige Gleitreibungszahlen im Langzeitversuch nach EN 1337-2

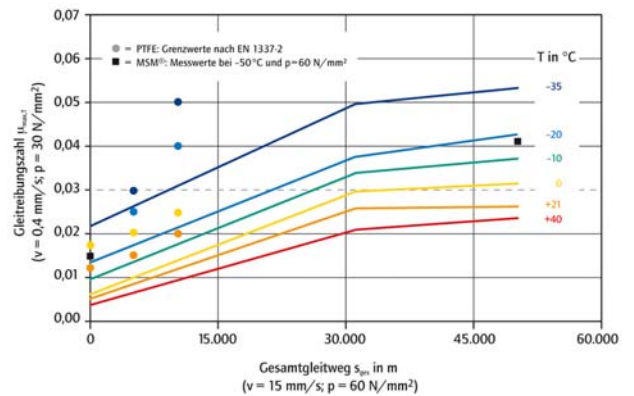


Abb. 2 Langzeitversuch von MSM® im Vergleich zu PTFE

Es muss betont werden, dass sich der Vergleich von MSM® und PTFE auf verschiedene Testbedingungen bezieht, wobei diese für MSM® ungünstiger sind.

Die Überlegenheit von MSM® wird noch deutlicher, wenn man beachtet, dass im Langzeitversuch für PTFE bei einer mittleren Pressung von 45 N/mm<sup>2</sup> und einer Gleitgeschwindigkeit von 5 mm/sec das PTFE bereits nach 2.000 m Gleitweg völlig versagte.

Ein direkter Leistungsvergleich kann aufgrund Abb. 2 somit nicht getroffen werden, aber dennoch erhält der Leser eine Vorstellung von der unterschiedlichen Leistungsfähigkeit der beiden Materialien.

Aufgrund der unerwartet hervorragenden Leistung von MSM® – es konnte kein Abrieb nach 30.000 m Gleitweg festgestellt werden – wurde der Test auf 50.000 m erhöht, um die Lebensdauer von MSM® festzustellen. Nach dieser Testfortführung wurde deutlich, dass das Verhalten von MSM® weiterhin hervorragend bleibt. Selbst nach einem Gleitweg von 50.000m konnte kein Abrieb festgestellt werden, so dass wir zu diesem Zeitpunkt keine Lebensdauer für MSM® hinsichtlich des maximalen Gleitwegs festlegen können.



**MAURER MSM® Gleitlager**

**... mit geringem Langzeitverschleiß und deshalb ...  
mit geringen Reibbeiwerten, besonders geeignet für hohe Bewegungsgeschwindigkeiten, für lange Gleitwege,  
für hohe Pressungen und für Niedrigtemperaturbereiche**

Abb. 3 stellt den Zustand von MSM® nach einem Gleitweg von 50.000 m dar, nachdem der Versuchskörper geöffnet wurde. Der überschüssige Schmierstoff hat sich außerhalb der Gleitfläche abgelagert. Der Gleitwerkstoff MSM® selbst zeigt keine Verschleißerscheinungen, die durch Verunreinigungen des Fetts erkennbar wären.

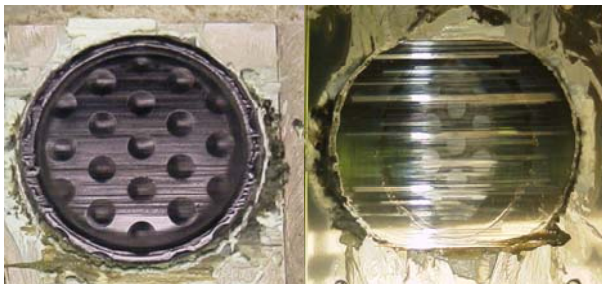


Abb. 3 Zustand von MSM® nach 50.000 m Gleitweg

Abb. 4 zeigt den Zustand von PTFE am Ende des Langzeitversuchs nach EN 1337-2. Die trotz geringerer Pressung und Geschwindigkeit erheblich höhere Verschleißrate zeigt sich in Form abgearbeiteter PTFE-Partikel, die sich im abgesonderten Schmierstoff ansammeln. Die Verschleißrate von ca. 25 µm je km Gleitweg führt dazu, dass nach ca. 60 km der Gleitspalt aufgebracht ist und das Lager seine Funktionstauglichkeit verliert. Dabei wird vorausgesetzt, dass trotz des Verschleißvorgangs die Schmierwirkung beibehalten wird. Ungeschmier-tes PTFE zeigt bei einem p\*v-Wert von 60 N/mm<sup>2</sup> \* mm/s eine Verschleißrate von bis zu 750 µm/km. Praktisch ist davon auszugehen, dass nach einsetzendem Verschleiß das PTFE nach wenigen km aufgebraucht ist. Bei den für MSM® zu Grunde gelegten Bedingungen ist eine Verschleißrate von 400 µm/km zu erwarten, mit entsprechend erhöhten

Reibbeiwerten. Spätestens nach ca. 4 km Gleitweg hat das Gleitelement seine Funktionsfähigkeit verloren.

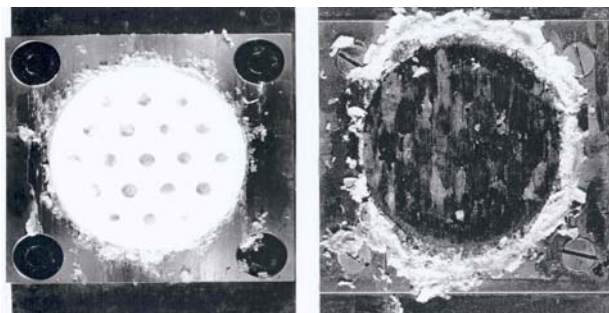


Abb. 4: Zustand von PTFE nach 10.000 m Gleitweg

Das sichtlich unterschiedliche Verschleißverhalten geht auch aus Abb. 5 hervor. Dargestellt wird hier die Abnahme der Gleitspalthöhe über den aufaddierten Gleitweg. Während sich bei PTFE eine nahezu konstante Dickenabnahme einstellt, bleibt bei MSM® die Gleitspalthöhe nach der Anfangssetzung trotz der weit ungünstigeren Beanspruchung nahezu konstant. Ein weiteres Indiz dafür, dass der Verschleiß am Ende der Versuche noch nicht eingesetzt hat und die tatsächlichen Leistungsgrenzen für MSM® noch nicht erreicht sind.

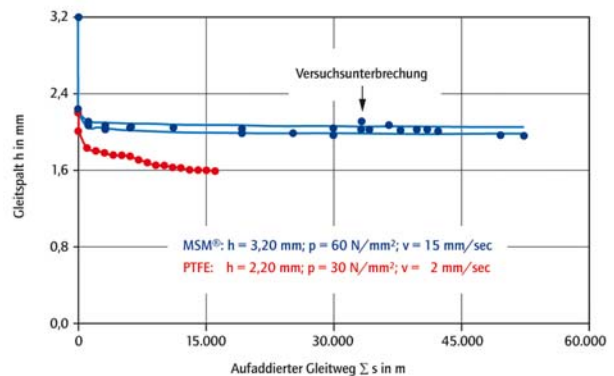


Abb. 5 Verschleißraten von MSM® und PTFE



**MAURER MSM® Gleitlager**

**... mit geringem Langzeitverschleiß und deshalb ... mit geringen Reibbeiwerten, besonders geeignet für hohe Bewegungsgeschwindigkeiten, für lange Gleitwege, für hohe Pressungen und für Niedrigtemperaturbereiche**

**2.3 Reibbeiwert gemäß EN 1337 – Teil 2 für das Gleitmaterial MSM® in Hauptgleitflächen**

Der Reibbeiwert wurde während des Langzeitgleittests (Abb. 2) geprüft. Trotz der extremen Beanspruchungen (7,5fache Geschwindigkeit, doppelte Pressung) wurden bei gleichen aufaddierten Gleitwegen, wie für PTFE nach EN 1337 – 2 vorgesehen, deutlich niedrigere Reibbeiwerte festgestellt. Erst bei ca. 5fachen Gleitwegen werden in etwa gleiche Werte erreicht.

Die Europäische Norm für Gleitelemente EN 1337 – 2 definiert nicht die geforderten Leistungsmerkmale eines beliebigen Gleitwerkstoffs (Performance-Konzept), sondern beschreibt die zur Identifizierung des vorgeschriebenen Produkts notwendigen Prüfmethode und daraus resultierenden Eigenschaften. Es lassen sich deshalb aus den Versuchsergebnissen nicht unmittelbar Rückschlüsse auf die Bemessungswerte eines alternativen Werkstoffes ziehen. Es sind zusätzliche, vergleichende Betrachtungen erforderlich. Die folgenden Überlegungen dienen der Festlegung von Reibbeiwerten für MSM® bei verschiedenen Einsatzbedingungen. Dabei wird folgendes vorausgesetzt:

- EN 1337 – Teil 2 gibt für PTFE innerhalb des Gültigkeitsbereiches und unabhängig von den Rahmenbedingungen (Temperatur, Gleitweg, Geschwindigkeiten) Reibbeiwerte zur Bemessung des Lagers nach folgender Beziehung vor:

$$0,08 \geq \mu = \frac{1,2}{10 + p[N/mm^2]} \geq 0,03$$

Oberhalb der mittleren Pressung  $p = 30 \text{ N/mm}^2$ , welche der bisherigen maximalen charakteristischen Pressung aus ständigen Lasten gleichkommt, beträgt also  $\mu = 0,03$ .

- Die Reibbeiwerte für MSM® nach 50.000 m aufaddiertem Gleitweg (ermittelt bei  $p = 30 \text{ N/mm}^2$  und  $v = 0,4 \text{ mm/sec}$ ) entsprechen in etwa denen von PTFE nach 10.000 m, obwohl die Langzeitversuche sich in folgenden Parametern unterscheiden:

	PTFE	MSM®
Druck [N/mm <sup>2</sup> ]	30	60
Geschwindigkeit [mm/sec]	2	15
Geschwindigkeitszyklus	sinusförmig	konstant

Tab. 3: Versuchsparameter

Die Versuche ergaben sowohl für PTFE als auch MSM® für  $T = -35^\circ\text{C}$  und  $p = 30 \text{ N/mm}^2$  einen Reibbeiwert von ca. 5 %. Bei ca.  $-10^\circ\text{C}$  und  $p = 30 \text{ N/mm}^2$  wird in etwa 3 % erreicht.  $T_1 = -10^\circ\text{C}$  kann entsprechend EN 1990 als „häufiger Wert der Tieftemperatur“ bezeichnet werden. Der „häufige Wert  $T_1$ “ wird gemäß Norm während 5 % des Einsatzzeitraums überschritten, während der „charakteristische Wert  $T_k$ “ einmal während 50 Jahre erreicht wird. Alternativ kann nach ähnlichem Ansatz der „häufige Wert der Reibung“  $\mu_1 = 3\%$  aus der Beziehung  $\mu_1 = \Psi_1 \cdot \mu_k$  ermittelt werden, wobei  $\Psi_1 = 0,6$  der Kombinationsbeiwert und  $\mu_k = 5\%$  der charakteristische Reibbeiwert bei der charakteristischen Temperatur  $T_k = -35^\circ\text{C}$  sind.

- Bei gleichen Gleitwegen ergeben sich für MSM® trotz der verschärften Prüfbedingungen wesentlich günstigere Reibbeiwerte als für PTFE ( $\mu_{\text{MSM}} < 0,70 \mu_{\text{PTFE}}$ )

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse ergeben sich die folgenden Ansätze:

1. Ansatz

Die pressungsabhängige Reibung wird analog zu PTFE für die häufige Tieftemperatur  $T_{\text{int}} = -10^\circ\text{C}$  anhand der Versuchsergebnisse bei maximalem Gleitweg (für MSM® 50 km) festgelegt und auf den Wert bei der in dem Langzeitversuch aufgetragenen Pressung (für MSM®  $60 \text{ N/mm}^2$ ) begrenzt. Es ergibt sich die folgende Beziehung, siehe auch Abb. 6:

$$0,08 \geq \mu = \frac{1,6}{15 + p[N/mm^2]} \geq 0,02$$





**MAURER MSM® Gleitlager**

**... mit geringem Langzeitverschleiß und deshalb ...  
mit geringen Reibbeiwerten, besonders geeignet für hohe Bewegungsgeschwindigkeiten, für lange Gleitwege,  
für hohe Pressungen und für Niedrigtemperaturbereiche**

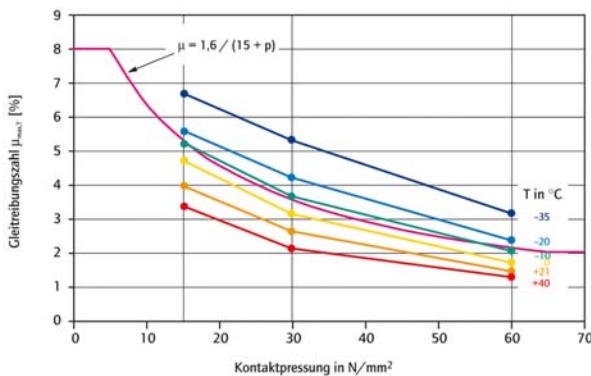


Abb.6 *Pressungsabhängige Reibungszahlen von MSM®*

2. Ansatz

Es wird auch der Gleitweg betrachtet. Auf der sicheren Seite liegend ( $p = 15$  statt  $2$  mm/sec; Rechteckverlauf statt Sinus) wird die Reibung im Verhältnis der Reibbeiwerte bei  $10.000$  m reduziert, solange es sich um Standardfälle handelt, bei denen auch PTFE eingesetzt werden kann:

$$\frac{\mu_{MSM}}{\mu_{PTFE}} [T_{hT} = -10^{\circ}C, s = 10.000m] = \frac{0,175}{0,250} = \frac{7}{10}$$

$$\rightarrow 0,055 \geq \mu_{MSM} = \frac{1,1}{15 + p[N/mm^2]} \geq 0,015$$

3. Ansatz

Es wird die Bemessungstemperatur (z. B. der häufige Wert der Tieftemperatur  $T_1$  nach EN 1990) mit betrachtet und berücksichtigt, dass bei  $-35^{\circ}C$  der Reibbeiwert ca.  $5/3$  des Wertes bei  $-10^{\circ}C$  beträgt:

$$\mu_T = \frac{1,1}{15 + p[N/mm^2]} \times \left( \frac{210}{220 + T_1[^{\circ}C]} \right)^4$$

Aus dieser Beziehung folgt, dass bei Einsatz von MSM® statt PTFE und ansonsten gleichen Bedingungen in Gegenden mit einem häufigen Wert der Tieftemperatur von  $T_1 = -35^{\circ}C$  und charakteristischen Extremtemperaturen von bis zu  $T_k = -60^{\circ}C$  der Reibbeiwert mit

$$0,092 \geq \mu = \frac{1,83}{15 + p[N/mm^2]} \geq 0,025$$

angesetzt werden kann.

Trotz der tieferen Temperaturen wird somit der Reibbeiwert von PTFE (3 %) bei Verwendung von MSM® (2,5 %) in Folge des höheren Bemessungswertes der Pressung ( $60$  statt  $30$  N/mm<sup>2</sup>) unterschritten.

Die Festlegung in EN 1337-2, dass bei Tieftemperaturen  $T_k > -5^{\circ}C$  die Reibbeiwerte auf  $2/3$  reduziert werden können, würde in der vorgenannten Beziehung ein  $T_1$  von ca.  $10^{\circ}C$  voraussetzen.

Abschließend kann gesagt werden, dass beim Einsatz von MSM® im Gegensatz zu PTFE sicher gestellt ist, dass auch bei Tieftemperaturen ein Reibbeiwert von maximal 3% gewährleistet ist. Und dies auch bei großen Gleitwegen und Geschwindigkeiten. Bei für PTFE üblichen Bedingungen wird der Wert wesentlich unterschritten.

**2.4 MSM® in Führungen**

Analog zu den Hauptgleitflächen wurden Langzeit-Gleitreibungversuche nach EN 1337-2 an MSM®-Streifen mit Initialschmierung durchgeführt. Die Gleitgeschwindigkeit betrug wiederum konstant  $15$  mm/sec statt der sinusförmigen  $2$  mm/sec für PTFE. Der aufaddierte Gleitweg betrug wiederum das 5fache, d. h.  $10$  km statt  $2$  km und die Pressung wiederum  $60$  statt  $30$  N/mm<sup>2</sup>.

**MAURER MSM® Gleitlager**

**... mit geringem Langzeitverschleiß und deshalb ...  
mit geringen Reibbeiwerten, besonders geeignet für hohe Bewegungsgeschwindigkeiten, für lange Gleitwege,  
für hohe Pressungen und für Niedrigtemperaturbereiche**

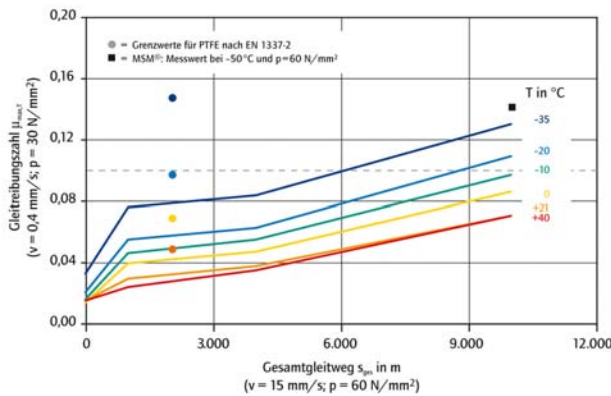


Abb. 7 Langzeitversuch von MSM®-Streifen

Es bestätigen sich die hervorragenden Eigenschaften von MSM®. Abb. 7 gibt analog zu Abb. 2 die Versuchsergebnisse sowie die für PTFE geforderten Werte wieder. Den Zustand der MSM®-Streifen nach dem Versuch zeigt Abb. 8. Am Ende des Langzeitversuchs stellten sich bei der häufigen Tieftemperatur  $T_{HT} = -10\text{ °C}$  und einer Pressung von  $30\text{ N/mm}^2$  ein Reibbeiwert von ca.  $\mu = 0,096$  ein. Bei dem für PTFE geltenden Gleitweg von 2 km liegt der Reibbeiwert bei  $\mu = 0,047$ . Für PTFE wird in Anlehnung an EN 1337 – 2 ein Wert  $\mu = 0,08$  erreicht, dieser Wert wird für die Bemessung unabhängig von der aufgetragenen Pressung angesetzt.

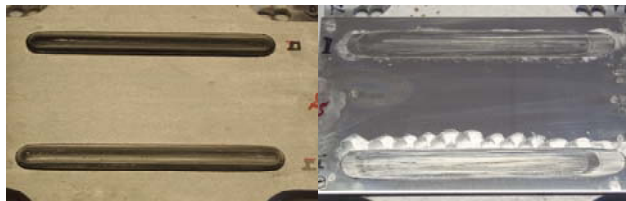


Abb. 8 MSM®-Streifen nach 10.000 m Gleitweg

Werden die selben Überlegungen wie für die Hauptgleitfläche angestellt, ergeben sich folgende Bemessungsansätze für MSM®-Streifen in Führungen.

1.  $T_{HT} = -10\text{ °C}$ ,  $\Sigma s = 10.000\text{ m}$   
 $\mu_d = 0,10$
2.  $T_{HT} = -10\text{ °C}$ ,  $\Sigma s = 2.000\text{ m}$   
 $\mu_d = 0,05$  (Vergleichswert zu  $\mu_d = 0,08$  für PTFE)
3.  $T_{HT} = -35\text{ °C}$ ,  $\Sigma s = 2.000\text{ m}$   
 $\mu_d = 0,077 \approx 0,08$

**2.5 Weitere Versuche**

Ebenfalls durchgeführt wurden

- Kurzzeitdruckversuche zur Bestimmung der Grenzpressung
- Kurzzeitdruckversuche zur Bestimmung der Verformung
- Kurzzeitdruckversuche zur Bestimmung des Verhaltens unter exzentrischen Lasten
- Eine Langzeitbelastungsprüfung zur Bestimmung der Grenzpressungen unter Langzeitbedingungen
- Ein Kurzzeitversuch zur Bestimmung des Reibbeiwerts als Funktion aus Lasten und zusätzlichem Gleitweg

Alle diese Versuche, die gemäß den Bestimmungen der EN1337-2 durchgeführt wurden, belegten die außerordentliche Leistungsfähigkeit von MSM®.

**3. Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-16.4-436**

Wie bereits in Abschnitt 2 erläutert, regelt die europäische Norm EN 1337-2 lediglich Gleitelemente unter Verwendung von PTFE. Zur Verwendung von MSM® im bauaufsichtlichen Bereich ist somit die Ergänzung der vorgenannten Norm oder die Erteilung einer bauaufsichtlichen Zulassung Grundvoraussetzung. Für den ungehinderten Einsatz in Europa wurde deshalb über das Deutsche Institut für Bautechnik bei der EOTA (European Organization for Technical Approvals) eine europäische Zulassung, die sogenannten ETA (European Technical Approval) erwirkt.



**MAURER MSM® Gleitlager**

**... mit geringem Langzeitverschleiß und deshalb ...  
mit geringen Reibbeiwerten, besonders geeignet für hohe Bewegungsgeschwindigkeiten, für lange Gleitwege,  
für hohe Pressungen und für Niedrigtemperaturbereiche**

Wegen der damaligen mehrjährigen Bearbeitungsdauer wurde vorab eine deutsche Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für MAURER MSM®-Kalottenlager beantragt und vom Deutschen Institut für Bautechnik unter der Zulassungsnummer Z-16.4-436 erteilt.

Da nach geltenden Regelwerken der Einsatz von PTFE nicht in Abhängigkeit von den Einwirkungen eingeschränkt wird, regelt die Zulassung den Zusammenhang zwischen den im Versuch nachgewiesenen, aufnehmbaren Geschwindigkeiten und Gleitwegen sowie den Bauwerkserfordernissen nicht quantitativ. Qualitativ wird jedoch folgendes hervorgehoben:

*„1 Zulassungsgegenstand und Anwendungsbereich*

*... MAURER MSM®-Kalottenlager eignen sich insbesondere für weiche Bauwerke mit großen und häufigen Verformungen aus Verkehr, für Bauwerke mit schnell auftretenden Gleitbewegungen des Lagers wie z. B. Brücken für Hochgeschwindigkeitseisenbahnen, sowie für Regionen mit langandauernden tiefen Temperaturen....“*

*„2.1.1.1 MSM®*

*... Bezüglich der Dauerhaftigkeit wurde in Langzeit-Gleitreibungsvorversuchen (vgl. DIN EN 1337-2:2001, Abschnitt D 6.2) bei einem aufaddierten Gleitweg von 50 000 m, einer Gleitgeschwindigkeit von 15 mm/s und einer Pressung von 60 N/mm² sowie in Langzeit-Belastungsvorversuchen bei Pressungen bis zu 200 N/mm² festgestellt, dass kein nennenswerter Verschleiß und Anstieg des Reibungswiderstandes auftrat und der Kriechprozess nach 48 h weitestgehend abgeschlossen war.“*

Speziell geregelt wird hingegen der charakteristische Wert für die aufnehmbare Pressung  $f_k$  sowie die pressungsabhängige Reibungszahl  $\mu$ :

$$0,08 \geq \mu = \frac{1,6}{15 + p \left[ \frac{N}{mm^2} \right]} \geq 0,02$$

Daraus ergibt sich, dass MSM®-Elemente auch nach Zulassung und trotz der erhöhten Einwirkungsbedingungen im Vergleich zu PTFE in der Regel auf doppelt so hohe Pressungen bemessen werden können und dass bei deutschen Klima-

bedingungen Reibbeiwerte von 2 statt 3 % zu Grunde gelegt werden können.

Tab. 4 Charakteristische Werte der aufnehmbaren Pressungen von Gleitflächen

		MSM®	PTFE	GMT
Charakt. aufnehmbare Pressung $f_k$ in N/mm²	Hauptgleitfläche ständige und veränderliche Einwirkungen	180	90	
	Einhängen	Veränderliche Einwirkungen		200
		Einwirkungen aus Temperatur, Kriechen und Schwinden	60	
		Ständige Einwirkungen	10	
Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_n = 1,4$				

Auch die geometrischen Grenzbedingungen wurden zu Gunsten der Langlebigkeit des Brückenlagers angehoben. Gleitspalthöhen  $h$  von mehr als 1 mm belegen den regulären Zustand eines Gleitlagers. Naturgemäß wird durch Anheben des Bemessungswertes für  $h$  die Absicherung gegen den Grenzzustand  $h=0$  angehoben. Andererseits wird durch eine tiefere Kammerung das Fließverhalten reduziert. Tab. 5 gibt die Grenzwerte für MSM® und PTFE wieder.

	MSM®	PTFE
Gleitspalthöhe $h$ [mm]	$h = 2,50 + \frac{L}{3000}$	$h = 1,75 + \frac{L}{1200}$ $h_{\min} = 2,2mm$
Plattendicke $t_p$ [mm]	$2,65h \leq t_p \leq 10mm$	$2,20h \leq t_p \leq 8mm$
L ... Plattendurchmesser [mm]		

Tab. 5 Gleitspalthöhen und Plattendicken

**MAURER MSM® Gleitlager**

**... mit geringem Langzeitverschleiß und deshalb ...  
mit geringen Reibbeiwerten, besonders geeignet für hohe Bewegungsgeschwindigkeiten, für lange Gleitwege,  
für hohe Pressungen und für Niedrigtemperaturbereiche**

Während für PTFE die Plattendicken je nach Durchmesser L zwischen 5 und 7 mm schwanken, betragen sie für MSM • praktisch stets 8 mm. Für z. B. L = 600 mm beträgt die Gleitpalthehöhe h bei MSM® 2,7 mm, bei PTFE 2,25 mm. Die Kammerungstiefe wiederum beträgt bei MSM® das 1,65fache der Gleitpalthehöhe statt des 1,2fachen bei PTFE.

Wie für PTFE-Gleitlager ist der Anwendungsbereich auf L=1500 mm begrenzt. Wegen der hohen aufnehmbaren Pressungen können für die Grundkombination der Einwirkungen nach EN 1990 im Grenzzustand der Tragfähigkeit Bemessungslasten von bis zu ca. 200 MN durch die Zulassung abgedeckt werden (ca. 150 MN nach dem bisherigen, globalen Sicherheitskonzept). Dies erfasst auch die größten bisher gebauten Gleitlager, für welche bisher Zustimmungen im Einzelfall erforderlich waren. Hervorzuheben ist zusätzlich, dass MSM® ungestoßen bis zu Durchmessern von 2000 mm hergestellt werden können (Bemessungslast ca. 365 MN), PTFE-Platten sind nur bis Durchmesser von ca. 1300 mm (Bemessungslast ca. 77 MN) erhältlich.

Bauaufsichtlich zugelassene MAURER-MSM®-Kalottenlager sind durch die MPA Stuttgart fremdüberwacht. Während das nach EN 1337-2, Annex ZA festgelegte System 1 zur Konformitätsbescheinigung (CE-Zeichen) nur die Überprüfung der Eigenüberwachung vorsieht, wird national auch eine Fremdüberwachung des Produkts gefordert (Ü-Zeichen).

Auch das Österreichische Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten hat einer Verwendung von MAURER-MSM®-Kalottenlagern nach der deutschen bauaufsichtlichen Zulassung bis zur Erteilung der ETA zugestimmt. Nationale Zulassungen auch in anderen Ländern sind ebenfalls beantragt.

**4. Klassifizierung von Bauwerken**

Infolge Einwirkungen aus Verkehr entstehen an den Auflagepunkten hauptsächlich Verdrehungen  $\alpha_i$  durch die Durchbiegung des Tragwerks. Folge ist bei Kalottenlagern eine Gleitbewegung  $w_\alpha$  in der mit dem Radius  $R_k$  gekrümmten

Gleitfläche. Nach EN 1337-2 wird ein, im Laborversuch aufgebracht, aufaddierter Gleitweg von maximal 2.000 m als Eignungsnachweis gefordert.

$$w_\alpha = R_k \times \alpha_i$$

Die Verdrehung  $\alpha_i$  bewirkt je nach Schwerpunktsabstand  $h_s$  auch eine Verschiebung  $w_i$ . Dabei ist die Verschiebung  $w_F$  des Gesamttragwerks in Abhängigkeit von Art und Lage des Festpunkts sowie dem Tragsystem ebenfalls zu berücksichtigen.

$$w_i = h_s \times \alpha_i + w_F$$

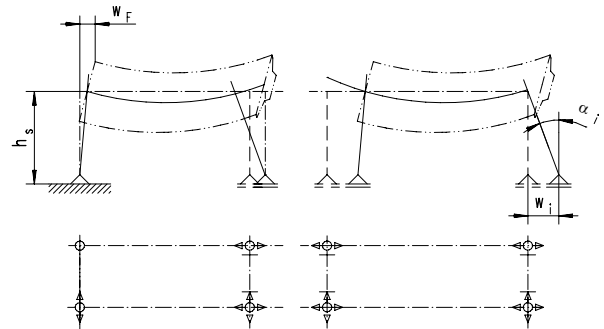


Abb. 9 Auflagerverformungen aus Verkehr

Bei jeder Fahrzeugüberfahrt ergibt sich ein Rotationswinkel  $\Delta\alpha_i$  und in Abhängigkeit von der Fahrzeuggeschwindigkeit eine Bewegungszeitspanne  $t_i$  sowie eine mittlere Geschwindigkeit  $v_i$ ..

$$\Delta\alpha_i = 2 \times [\alpha_i(+)+\alpha_i(-)]; \quad v_i = \frac{2 \times [w_i(+)+w_i(-)]}{t_i}$$

Je nach Verkehrslastkollektiv ergibt sich über die Nutzungsdauer ein aufaddierter Gleitweg  $\Sigma w_i$ . Tab. 6 gibt diese Parameter für ausgewählte Sonderfälle im Vergleich zu den Vorgaben der EN 1337 wieder.



**MAURER MSM® Gleitlager**

**... mit geringem Langzeitverschleiß und deshalb ...  
mit geringen Reibbeiwerten, besonders geeignet für hohe Bewegungsgeschwindigkeiten, für lange Gleitwege,  
für hohe Pressungen und für Niedrigtemperaturbereiche**

Bauwerk	Gleitweg $\sum w_i$ [m/Jahr]	mittl. Geschw. $v_{im}$ [mm/sec]	Amplitude $w_i$ [mm]
Transrapid <sup>1)</sup>	625	15	7
Tejo Brücke 25. April / Lissabon <sup>2)</sup>	10.000	15 bis 20	150
Wuppertaler Schwebe- bahn <sup>3)</sup>	7.000	30	45

<sup>1)</sup> Vorgabewerte für die Transrapidstrecke Hamburg-Berlin (für den 12° geneigten Kurventräger)  
Auslegungswerte: 14,4 Mio. Passagiere pro Jahr bzw. 80 Zugfahrten pro Tag, 450 km/h  
Maximalgeschwindigkeit

<sup>2)</sup> Kombinierte Straßen-/Eisenbahn-Hängebrücke mit Feldweiten 483 m – 1013 m – 483 m  
Eine Zugüberfahrt je 7,5 Minuten, 140 Züge am Tag

<sup>3)</sup> ca. 175.000 Überfahrten pro Jahr

Tab. 6 Auslegungsparameter für Gleitlager besonderer Bauwerke

Maßgeblich für das Langzeitverhalten ist nicht die Größe der Einzelbewegung, sondern die Summe der Gleit- und Kippbewegungen im Rahmen der zu erwartenden Lebensdauer des Brückenlagers. Hierbei spielen die Bewegungen des Bauwerks aus Temperatur, Kriechen und Schwinden nur eine untergeordnete Rolle. Entscheidend sind die Verformungen und deren Geschwindigkeit aus den Verkehrsbelastungen. Zur Ermittlung des gesamten aufaddierten Bemessungsgleitwegs  $S_d$  der Gleitflächen an Rotationselementen können die Verkehrslastmodelle von EN 1991 herangezogen werden. Es gilt:

$$S_d = \sum n_v \times \Delta\alpha_i \times \frac{D}{2} \leq c \times S_T$$

$n_v$  ist die Anzahl der je Laststufe auftretenden Verdrehungsdifferenzen aus Verkehr  $\Delta\alpha_i$ ,  $S_T$  der im Versuch nachgewiesene, aufnehmbare Gleitweg. Der Umrechnungsfaktor  $c$  dient zur Berücksichtigung der in der Praxis variablen Amplituden. Für Straßenbrücken wird ein Faktor  $c=5$ , für Bahnbrücken  $c=1$  als plausibel betrachtet.

Bezüglich der Eignung von Gleitlagern sind Bauwerke nach ihrer Nutzungsart (Straßenbrücke, Eisenbahnbrücke), dem verwendeten Werkstoff (Stahlbeton, Spannbeton, Stahl, Verbund) sowie dem Tragsystem (Ein- oder Mehrfeldträger, Stabbogen, Schrägseilbrücke, Hängebrücke) zu unterscheiden. Für jede der vorgenannten Kombinationsarten ergibt sich in Abhängigkeit von der Spannweite und dem Verkehrslastkollektiv ein aufaddierter Gleitweg und Kippwinkel, der zur Beurteilung herangezogen werden kann. Beispielhaft wurden in den Abb. 10 und 11 für eine Mehrzahl von Bauwerken kleinerer und mittlerer Spannweite, unterschiedlicher Nutzungsart und Bauweise die maximalen, rechnerischen Verdrehungsdifferenzen  $\Delta\alpha_i$  sowie der Gleitweg je Überfahrt in Abhängigkeit von Bauart und Spannweite aufgetragen. Hierbei wurde als Einwirkung für Bahnbrücken der Bemessungslastzug UIC 71 und für Straßenbrücken 60% des SLW 60 nach DIN 1072 angesetzt (dies entspricht in etwa dem Ermüdungslastmodell 3 nach EN 1991-2), in beiden Fällen also eine für die Ermüdungsbemessung heranzuziehende Einwirkungsgröße.

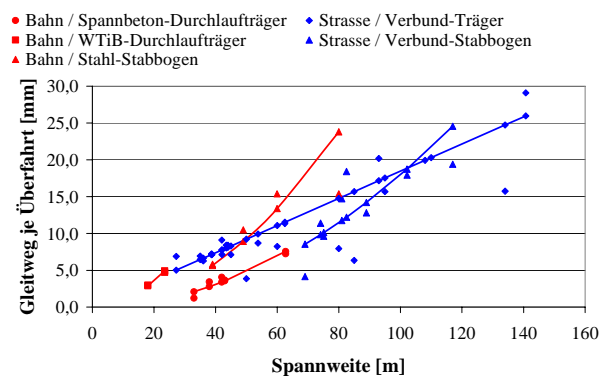


Abb. 10 Auflagerverschiebungen aus Verkehr



**MAURER MSM® Gleitlager**

**... mit geringem Langzeitverschleiß und deshalb ...  
mit geringen Reibbeiwerten, besonders geeignet für hohe Bewegungsgeschwindigkeiten, für lange Gleitwege,  
für hohe Pressungen und für Niedrigtemperaturbereiche**

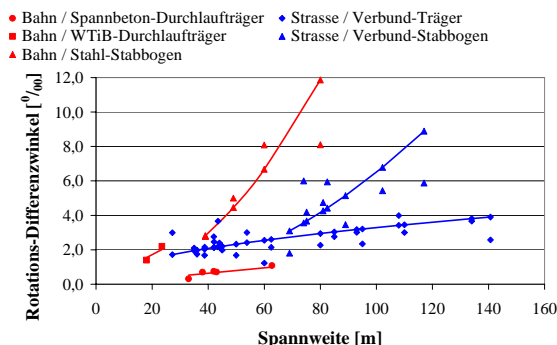


Abb. 11 Auflagerverdrehungen aus Verkehr

Ein Bauwerk mit 100 m Spannweite erfährt somit infolge Gebrauchslasten aus Verkehr eine Gesamtverschiebung je Überfahrt von ca. 20 mm. Bei Straßenbrücken und 5\*10<sup>5</sup> Überfahrten pro Jahr (Verkehrskategorie 2 nach EN 1991-2) entspricht dies ohne Berücksichtigung zusätzlicher Einflüsse aus anderen Fahrspuren einem aufaddiertem Gleitweg von 10 km/Jahr. Setzt man zugehörig 5 ‰ Verdrehungsdifferenz an, ergibt sich z. B. bei einem Kalottenradius R von 500 mm ein aus Verdrehung resultierender Gleitweg von 2,5 km.

Bei Bahnbrücken und 7,5\*10<sup>4</sup> Überfahrten pro Jahr (Standardmischverkehr nach EN 1991-2) entspricht dies bei einer Spannweite von 75 m und einer Verschiebung von 25 mm je Überfahrt einem aufaddiertem Gleitweg von ca. 2,0 km. Setzt man zugehörig 10 ‰ Verdrehungsdifferenz an, ergibt sich z. B. bei einem Kalottenradius R von 500 mm ein aus Verdrehung resultierender Gleitweg von ca. 0,5 km.

EN 1337-2 regelt ausschließlich den Einsatz von PTFE. Eine Festlegung der Leistungsmerkmale erfolgt bisher nicht. Die aufgezeigten Ausführungsbeispiele und Untersuchungen geben einen ersten Überblick über die Möglichkeit der Klassifizierung von Bauwerken nach Nutzung, Werkstoff, Bauart und Spannweite. Eine systematische und wissenschaftliche Ausarbeitung des Themas und dessen Einarbeitung in die Vorschriften ist erforderlich.

**5. Bauteilabmessungen**

Wegen der hohen aufnehmbaren Pressungen von MSM® wird die Abmessung des Brückenlagers hauptsächlich durch die Tragfähigkeit der anschließenden Bauteile bestimmt. Vorausgesetzt, die in der Anschlussfuge aufnehmbare Pressung überschreitet nicht diejenige von MSM® nach Tab. 4, was bestenfalls bei extrem ausgesteiften Stahlkonstruktionen der Fall sein kann. Beim Anschluss an Betonbauteilen erfolgt die Bestimmung über den Nachweis der Teilflächenpressung für die Grundkombination der Einwirkungen nach EN 1990, siehe Abb. 12.

$$V_d = A_{c0} \times f_{cd} \times \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} \leq 3,0 \times A_{c0} \times f_{cd}$$

$$f_{cd} = \alpha \times \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 0,85 \times \frac{f_{ck}}{1,5}$$





**MAURER MSM® Gleitlager**

... mit geringem Langzeitverschleiß und deshalb ...  
mit geringen Reibbeiwerten, besonders geeignet für hohe Bewegungsgeschwindigkeiten, für lange Gleitwege,  
für hohe Pressungen und für Niedrigtemperaturbereiche

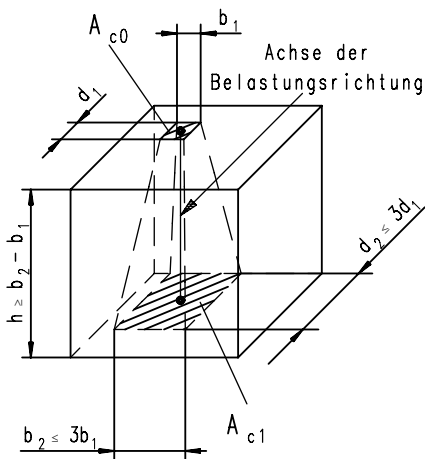


Abb. 12 Nachweis der Teilflächenpressung

Z. B.: die in Deutschland mindestens geforderte Festigkeitsklasse C 35/45 beträgt  $f_{cd} = 19,8 \text{ N/mm}^2$  und  $V_{d,max} [\text{N}] = 59,5 \cdot A_{c0} [\text{mm}]$ . Die Hauptabmessung eines MAURER MSM®-Kalottenlagers vom Typ KGa nach Abb. 13 kann somit bei Annahme eines 10%-Zuschlages zur Berücksichtigung der Exzentrizität infolge Reibung und Verdrehung über die folgende Beziehung einfach ermittelt werden:

$$L_u = B_u [\text{mm}] = c \times \sqrt{V_d [\text{MN}]}$$

C35/45...c = 135

C40/45...c = 125

Die Gleitplattenabmessungen ergeben sich in Abhängigkeit von der Verschiebung  $e_x$  (+/-):

$$B_{GL} = B_u + 40\text{mm}; \quad L_{GL} = L_u + 2 \times e_x + 80\text{mm}$$

Die Lagerhöhe bei Ausführung ohne Ankerplatten kann wie folgt abgeschätzt werden:

$$H = 3 \times V_d [\text{MN}] + 100\text{mm}$$

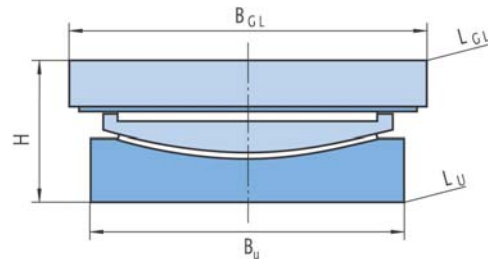
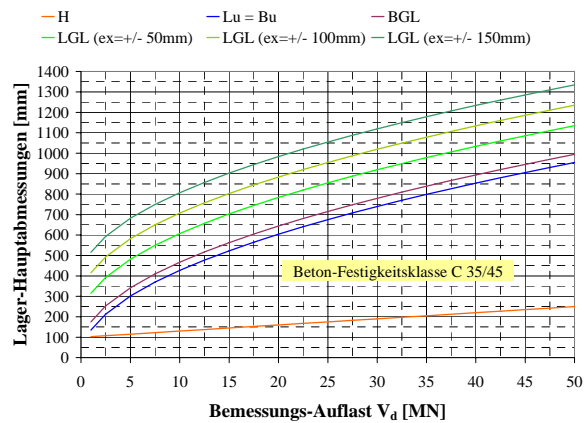


Abb. 13 Hauptabmessungen (unverbindlich) von MAURER MSM®-Kalottenlagern vom Typ KGa

## 6. Zusammenfassung

Umfassende Versuche belegen, dass MSM® doppelte Pressungen (Faktor = 2), höhere Bewegungsgeschwindigkeiten (Faktor = 7,5) und größere Gleitwege (Faktor > 2,5) bei einem geringeren Reibbeiwert zulässt.

MSM® ist erste Wahl bei Anwendungsfällen, in denen konventionelles PTFE nicht den Anforderungen entspricht, wie z. B. bei sehr niedrigen Temperaturen.

Selbst bei konventioneller Verwendung (z. B. bei Kalottenlagern) würde die Verwendung von MSM® die Größe des Lagers reduzieren, falls machbar (d. h. falls der Unterbau die höheren Pressungen, die aus dem höheren Bemessungsdruck von MSM® resultieren, ableiten kann).