

KOMPETENTE BERATUNG SEIT 1919

# LESCH HORN

NORM INDUSTRIE MESSTECHNIK

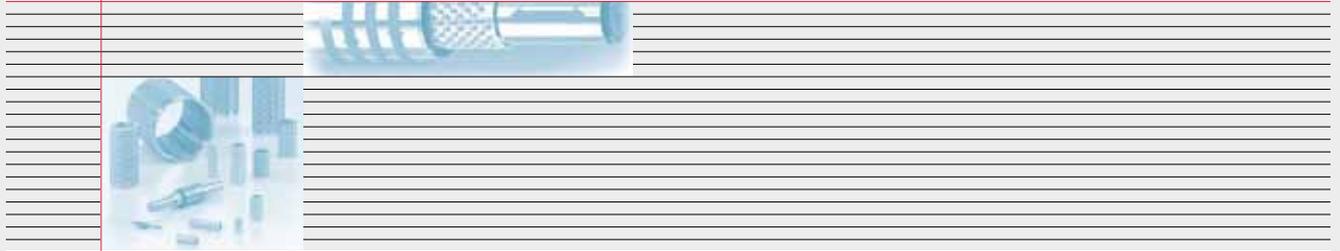


POSITIONSSYSTEME





## MARMOTION | HOCHGENAU KUGELFÜHRUNGEN



|  
- 0 +



EXACTLY



Mahr

AUTOMOBIL



LUFT- & RAUMFAHRT



MEDIZIN

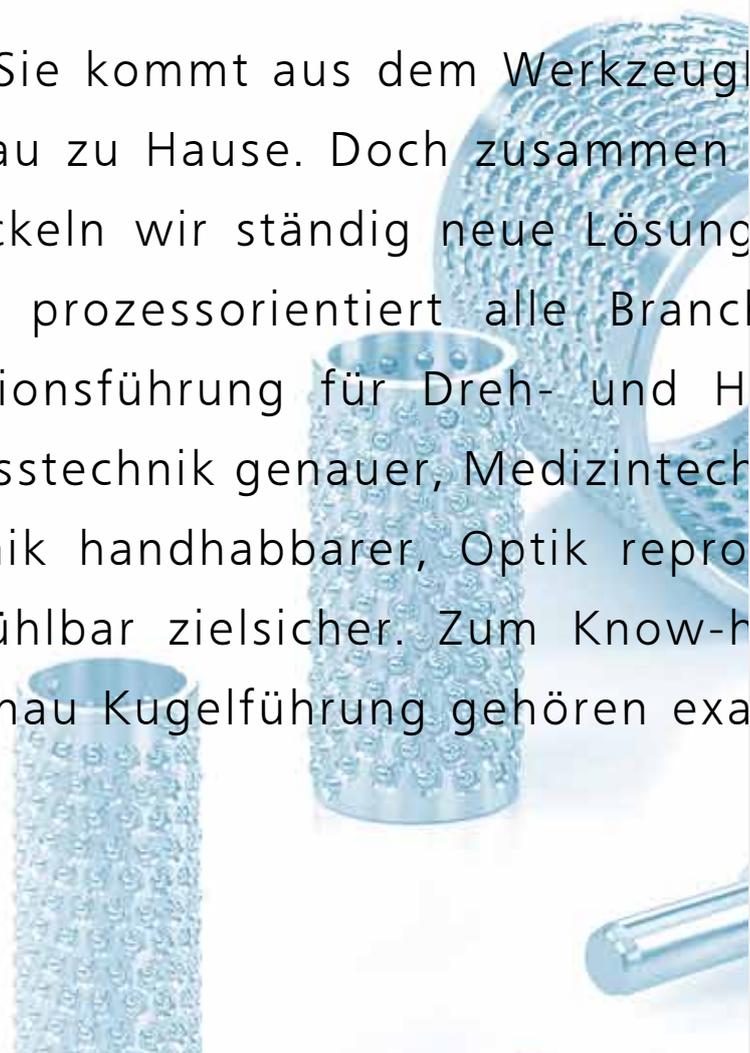


ELEKTROTECHNIK



## ► | MarMotion Hochgenau Kugelführungen.

Branchenübergreifend. Sie kommt aus dem Werkzeug und ist im Maschinenbau zu Hause. Doch zusammen mit unseren Kunden entwickeln wir ständig neue Lösungen, die anwendungs- und prozessorientiert alle Branchen umspannen. Die Präzisionsführung für Dreh- und Hubbewegungen macht Messtechnik genauer, Medizintechnik sicherer, Feinwerktechnik handhabbarer, Optik reproduzierbarer, Bewegung fühlbar zielsicher. Zum Know-how der MarMotion Hochgenau Kugelführung gehören exa



MASCHINENBAU



KUNSTSTOFF



OPTIK



FEINWERKTECHNIK



Berechnungsgrundlagen ebenso wie individuelle Beratung zu Konstruktion und Montage. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse helfen dem Konstrukteur, eine Kugelführung für eine spezielle Anwendung zu optimieren. Das Ergebnis zeichnet sich aus durch Führungsgenauigkeit, Funktionssicherheit und Lebensdauer.

Die Berechnungsgrundlagen finden Sie in diesem Katalog, auf der CD-ROM oder im Internet, die Beratung fordern Sie an. Zertifizierte Fertigung und Auftragsabwicklung gehören zum Standard von Mahr.

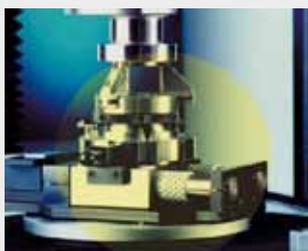
Mahr

## MarMotion. Anwendungsbeispiele DIE OPTIMIERTE BEWEGUNG

► | Hochgenau Kugelführungen sind Konstruktionselemente. Sie sind berechenbar, unterliegen einer gewissen Normung und sind ohne Qualitätsverlust austauschbar. Das gilt für Standard-Kugelführungen ebenso wie für Sonderausführungen. Hochgenau Kugelführungen werden branchenübergreifend eingesetzt; überall dort, wo Hub- oder Drehbewegung, oder beides gleichzeitig präzise ausgeführt werden muss. Hier einige Beispiele:

### Messtechnik

Dass Mahr zu den Marktführern der industriellen Fertigungsmesstechnik gehört, ist bekannt. Dass Mahr zur Erhöhung der Messgenauigkeit und Messsicherheit seiner Produkte aus Normalien-Führungen die MarMotion Hochgenauführung entwickelt hat, ist weniger bekannt, ist aber so. In der Fertigungsmesstechnik werden Hochgenau Kugelführungen in Messtastern und Feinzeigern eingesetzt, in Positioniereinheiten, in Kipp- und Zentriertischen und in weiteren das Messergebnis beeinflussenden Baugruppen. Die Forderungen an diese Hochgenau Kugelführungen sind Spielfreiheit, Leichtgängigkeit, Stick-Slip-Freiheit, Reproduzierbarkeit, Verschleißfreiheit.



## Maschinenbau



Werksfoto Wendt

Weiteste Verbreitung findet die Hochgenau Kugelführung im Maschinenbau. Sie wird im Werkzeugbau in Stanz- und Formwerkzeugen, und in Werkzeugmaschinen z.B. als Pinolenlagerung eingesetzt. Für Verpackungsmaschinen vieler Branchen, für Montageautomaten, Textilmaschinen und Sondermaschinen mit hohen Anforderungen ist sie ein unverzichtbares Bauelement. Diese Führungen sind gekennzeichnet durch hohe Steifigkeit, große Tragfähigkeit, Stick-Slip-Freiheit.

## Medizintechnik



Werksfoto Schick

Geräte der Medizintechnik unterliegen besonderen Anforderungen. In der Dentaltechnik werden deshalb Kugelführungen in Freihand-Fräsgeräten zum Bearbeiten weicher Werkstoffe (Wachs, Gips) eingesetzt. Noch höher sind die Anforderungen an Apparate, die am Patienten eingesetzt werden. Bei optalmologischen Geräten unterstützt die stick-slip-frei laufende Kugelführung das Fingerspitzengefühl des Augenarztes.

## Feinwerktechnik, Gerätebau



Werksfoto Dienes

Die Miniaturisierung in diesen Branchen erfordert kleine Baugrößen. Kugelführungen der MINI-Reihe erfüllen diese Forderung. Kleine Kugeldurchmesser reduzieren den Bauraum. Spielfrei gepaart sind die „Minis“ für ein weites Anwendungsfeld unentbehrlich. Kleine Stellelemente für Bestückköpfe, für die Laserschweißtechnik gehören dazu, ebenso wie Messerhalter oder Betriebsmittel. Anforderungen sind Stick-Slip-Freiheit, Leichtgängigkeit, Wartungsfreiheit.

## Elektronik, Optik

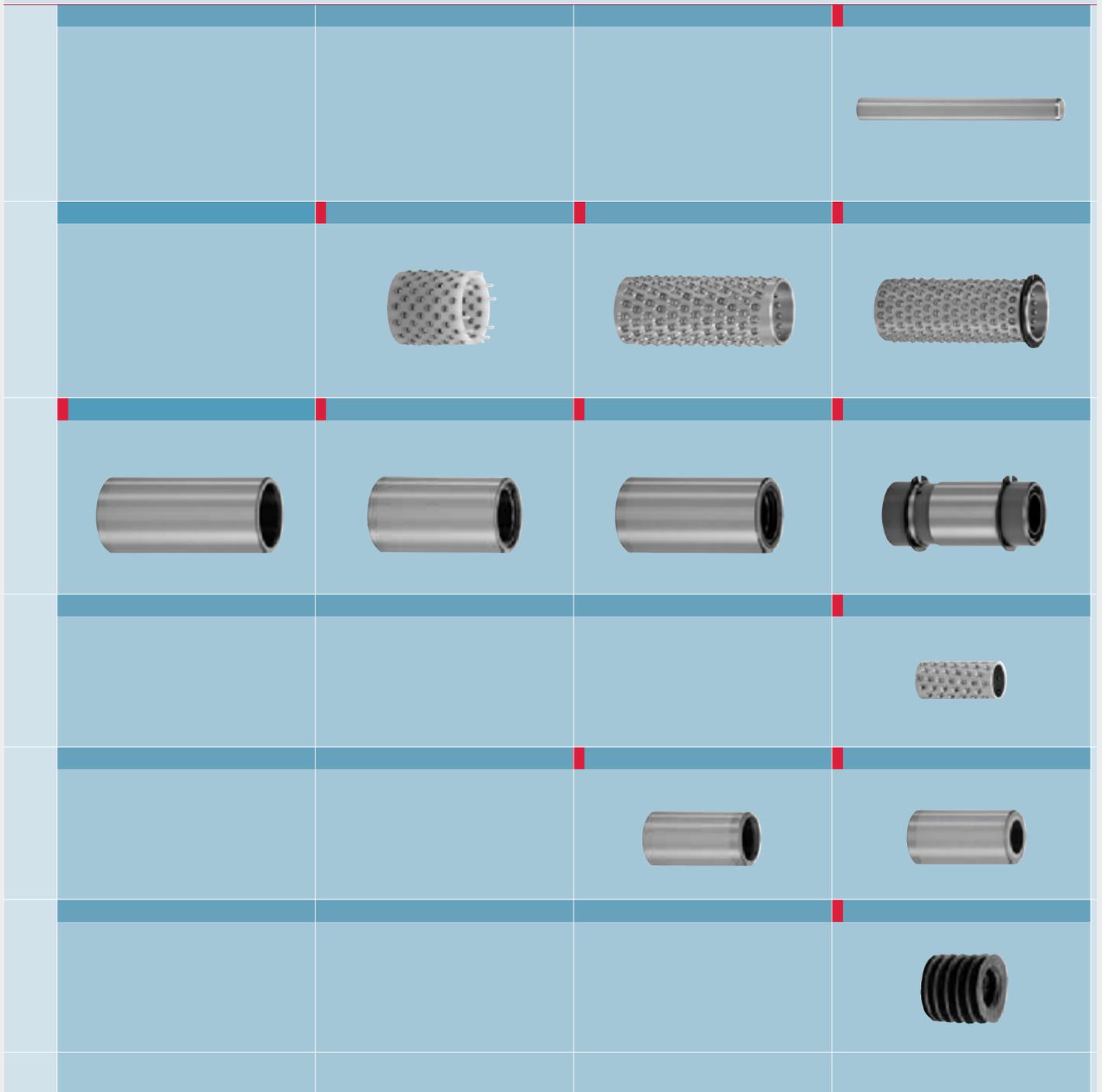


Werksfoto Zeiss

Die Herstellung von elektronischen Bauelementen erfordert Maschinen, die mit hoher Taktzahl präzise unterschiedliche Positionen punktgenau anfahren. In der Leiterplattenfertigung oder bei der lithographischen Bearbeitung von Wafern ist die Hochgenau Kugelführung das bestimmende Bauelement. Ebenso in der optischen Messtechnik, der Mikroskopie, der Spektrographie oder bei Objektivführungen unterschiedlicher Anwendungsbereiche. Forderungen sind stick-slip-freie Bewegung, höchste Reinheit (Reinraum-Fertigung).



## MARMOTION. HOCHGENAU KUGELFÜHRUNGEN



## ► I Inhaltsverzeichnis

### Führungswellen 08

**N400** nach DIN 9825

**N421** mit Innengewinde einpresseseitig

**N423** mit Innengewinde führungsseitig

**N425** mit Innengewinde beidseitig

### Kugelkäfige

**N500** aus Kunststoff 10

**N501** aus Messing 12

**N511** aus Messing mit Sicherungsring 14

### Führungsbuchsen

**N550** offen 16

**N552** geschlossen mit Anlaufscheiben 18

**N553** geschlossen mit Dichtringen 20

**N570** geschlossen mit Abstreifern 22

### Kugelkäfige Mini-Reihe

**N502** aus Messing 24

### Führungsbuchsen Mini-Reihe

**N550** offen 26

**N552** geschlossen mit Anlaufscheiben 28

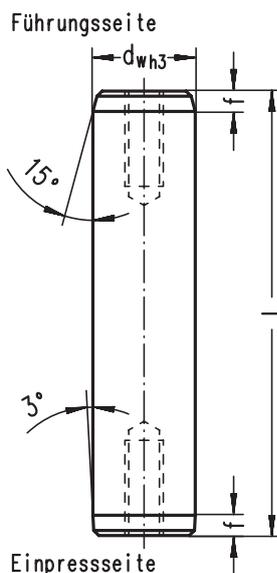
### Faltenbalg

**N820** aus Chromleder 30

### Technische Beschreibung 33

## Führungswelle

### N 400 / N 421 / N 423 / N 425



#### Typen

- N 400** Führungswelle nach DIN 9825
- N 421** Führungswelle mit Innengewinde einpressseitig
- N 423** Führungswelle mit Innengewinde führungsseitig
- N 425** Führungswelle mit Innengewinde beidseitig

#### Eignung

- Gehärtete Führungswelle mit feinstgeschliffener Oberfläche.
- Geeignet für hochgenaue Kugelführungen.
- Bei Verwendung mit MarMotion Führungsbuchsen und Kugelfägen ist Vorspannung sichergestellt.

#### Merkmale

- Führungsdurchmesser  $d_w$  feinstgeschliffen und geläppt auf ISO-h3,  $R_z < 1 \mu\text{m}$ .
- Rundheit innerhalb 1/3 ISO-IT3.
- Geradheit kleiner  $5 \mu\text{m}/100 \text{mm}$ .
- Enden mit Fase bzw. mit Voreinführung.
- Hinweise zu Einbau und Wartung siehe Seite 37-41.

#### Werkstoff

- Durchmesser  $d_w = 2,5 - 6$  Werkstoff X155 CrVMo 12 1 (1.2379)
- Durchmesser  $d_w = 8 - 40$  Werkstoff 100 Cr 6 (1.3505) bzw. 16 MnCr 5 (1.7131) oder vergleichbare Wälzlagerstähle
- Sorgfältig wärmebehandelt, Härte HRC 60–64/HV 720–815
- Je nach Durchmesser Mindesthärte tiefe 0,8–1,5 mm (bis Durchmesser  $d_w = 10$  durchgehärtet)

#### Sonderanfertigungen

- Weitere Abmessungen oder Ausführungen sind nach Werkstück-Zeichnung lieferbar, auch aus nichtrostendem Stahl (1.4112).

#### Bestell-Text

Führungswelle N 4 . . / $d_w$ /l  
Best.-Nr. 5010 . . .

			N 400
$d_w$	l	f	Best.-Nr.
2,5	30	1	5010000
	40		5010001
	50		5010238
	60		5010002
3	30	1,5	5010003
	40		5010229
	60		5010218
	80		5010219
4	30	1,5	5010220
	40		5010230
	60		5010004
	80		5010005
5	30	1,5	5010006
	40		5010231
	60		5010221
	80		5010222
6	30	2	5010223
	40		5010232
	60		5010007
	80		5010008
8	30	2	5010009
	40		5010207
	60		5010208
	80		5010010
10	30	3	5010011
	40		5010233
	60		5010012
	80		5010013
15	30	3	5010014
	40		5010209
	60		5010210
	80		5010015
20	30	3	5010016
	40		5010235
	60		5010017
	80		5010018
25	30	3	5010019
	40		5010236
	60		5010020
	80		5010211
30	30	3	5010021
	40		5010237
	60		5010022
	80		5010023



Führungswelle							N 400 / N 421 / N 423 / N 425						
d <sub>w</sub>	l	f	d <sub>w</sub> = 12 - 20: M6x15				d <sub>w</sub>	l	f	d <sub>w</sub> = 25 - 40: M8x20			
			Best.-Nr.	Best.-Nr.	Best.-Nr.	Best.-Nr.				Best.-Nr.	Best.-Nr.	Best.-Nr.	Best.-Nr.
12	80	3	5010236	5010432	5010632	5010832	25	140	4	5010099	5010478	5010678	5010878
	100		5010022	5010433	5010633	5010833		150		5010100	5010479	5010679	5010879
	125		5010023	5010434	5010634	5010834		160		5010101	5010480	5010680	5010880
	140		5010024	5010435	5010635	5010835		180		5010103	5010481	5010681	5010881
	160		5010025	5010436	5010636	5010836		200		5010105	5010482	5010682	5010882
	180		5010026	5010437	5010637	5010837		220		5010106	5010483	5010683	5010883
	200		5010212	5010438	5010638	5010838		250		5010107	5010484	5010684	5010884
	250		5010213	5010439	5010639	5010839		300		5010108	5010485	5010685	5010885
	300		5010027	5010440	5010640	5010840		350		5010110	5010486	5010686	5010886
14	100	3	5010028	5010441	5010641	5010841	32	160	4	5010129	5010489	5010689	5010889
	125		5010029	5010442	5010642	5010842		180		5010131	5010490	5010690	5010890
	140		5010030	5010443	5010643	5010843		200		5010133	5010491	5010691	5010891
	160		5010031	5010444	5010644	5010844		300		5010139	5010492	5010692	5010892
	180		5010032	5010445	5010645	5010845		350		5010140	5010493	5010693	5010893
15	125	3	5010036	5010447	5010647	5010847	400	5010141	5010494	5010694	5010894		
	160		5010038	5010448	5010648	5010848	500	5010142	5010495	5010695	5010895		
	180		5010039	5010449	5010649	5010849	600	5010143	5010496	5010696	5010896		
	200		5010040	5010450	5010650	5010850	40	180	5	5010146	5010497	5010697	5010897
16	100	3	5010043	5010451	5010651	5010851		200		5010148	5010498	5010698	5010898
	125		5010044	5010452	5010652	5010852		220		5010149	5010499	5010699	5010899
	140		5010045	5010453	5010653	5010853		240		5010150	5010500	5010700	5010900
	160		5010046	5010454	5010654	5010854		260		5010152	5010501	5010701	5010901
	180		5010047	5010455	5010655	5010855		300		5010154	5010502	5010702	5010902
	200		5010048	5010456	5010656	5010856		350		5010155	5010503	5010703	5010903
	220		5010049	5010457	5010657	5010857		450		5010227	5010504	5010704	5010904
	250		5010214	5010458	5010658	5010858							
	300		5010215	5010459	5010659	5010859							
350	5010050	5010460	5010660	5010860									
18	100	3	5010051	5010461	5010661	5010861							
	140		5010053	5010462	5010662	5010862							
	160		5010054	5010463	5010663	5010863							
	180		5010056	5010464	5010664	5010864							
	200		5010058	5010465	5010665	5010865							
	250		5010060	5010466	5010666	5010866							
20	110	3	5010061	5010467	5010667	5010867							
	125		5010237	5010468	5010668	5010868							
	140		5010074	5010469	5010669	5010869							
	160		5010075	5010470	5010670	5010870							
	180		5010076	5010471	5010671	5010871							
	200		5010078	5010472	5010672	5010872							
	250		5010080	5010473	5010673	5010873							
	300		5010082	5010474	5010674	5010874							
	350		5010083	5010475	5010675	5010875							
	400		5010216	5010476	5010676	5010876							



Mahr

## Kugelkäfig aus Kunststoff

**N 500**



### Eignung

- Kugelkäfig aus Polyacetalharz mit Stahlkugeln.
- Die geringe Masse des Kunststoffs ermöglicht hohe Beschleunigungen.
  - Hervorragende Trockenlaufeigenschaften.
  - Größtmögliche Laufruhe.

### Merkmale

- Hergestellt im Spritzgussverfahren.
- Die Kugeln werden unverlierbar aber leicht beweglich gehalten.
- In Achsrichtung versetzt angeordnete Kugeln erhöhen die Lebensdauer der Kugelführung.
- Die mit Zapfen und Zapfenlöchern ausgestatteten Käfige können zu beliebigen Längen zusammengesteckt werden.
- Hinweise zu Einbau und Wartung siehe Seite 37-41.

### Werkstoff

- Käfig:
- Polyacetalharz, gespritzt
  - Dichte 1,42 kg/dm<sup>3</sup>
  - Wärmebeständigkeit 100°C, Dauergebrauchstemperatur max. 80°C
- Kugeln:
- Wälzlagerstahl gehärtet 100 Cr 6 (1.2067)
  - DIN 5401 bzw. ISO 3290 Grade 5 Sorte P0

### Belastbarkeit

In der Spalte C sind die Tragzahlen der Kugelkäfige bei gleichmäßiger Radialbelastung angegeben. Bei Einwirkung von Momenten ist eine Tragfähigkeitsberechnung vorzunehmen.

### Sonderanfertigungen

Die Kugelkäfige können mit Kugeln aus nichtrostendem Stahl oder Keramik bestückt werden. Weitere Abmessungen nach Werkstück-Zeichnung sind als Einzelfertigung oder bei Losgrößen ab ca. 10.000 Stück als Spritzgussteil lieferbar. Die steckbaren Kugelkäfige sind auch ohne Kugeln beziehbar (kugelfreie Distanzstücke).



### Bestell-Text

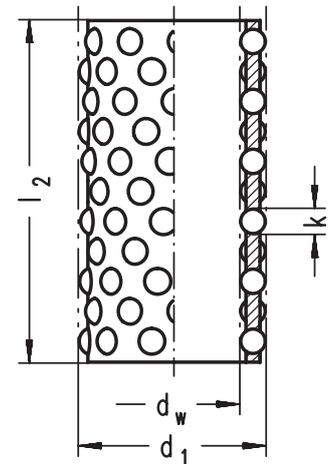
Kugelkäfig N 500/d<sub>w</sub>/d<sub>1</sub>/l<sub>2</sub>      **Best.-Nr. 50000 . .**



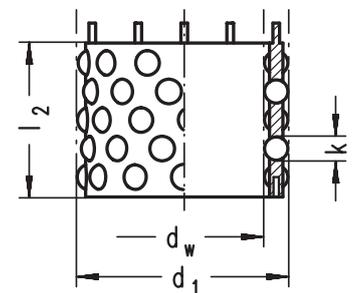
## Kugelkäfig aus Kunststoff

**N 500**

$d_w$	$d_1$	$l_2$	$k$	Kugeln [Stück]	C [N]	Best.-Nr.
10	15	21	2,5	36	270	5000050
		42		72	540	5000051
		27		45	360	5000052
		54		90	720	5000053
12	16	21	2	54	270	5000054
		42		108	540	5000055

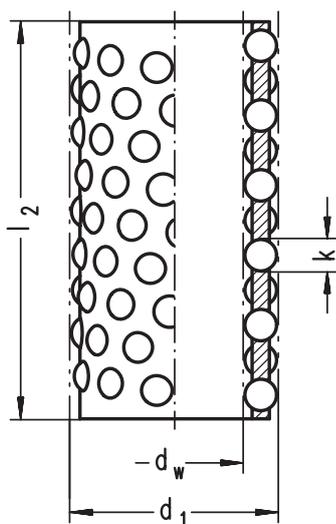


$d_w$	$d_1$	$l_2$	$k$	Kugeln [Stück]	C [N]	Best.-Nr.
12	17	21	2,5	36	290	5000021
18	24	23	3	66	740	5000001
		30		88	960	5000002
19	25	23	3	66	740	5000003
		30		88	960	5000004
20	26	23	3	66	740	5000017
		30		88	960	5000018
24	30	23	3	84	1060	5000005
		30		112	1320	5000006
25	31	23	3	84	1060	5000007
		30		112	1320	5000008
30	38	25	4	75	1400	5000009
		30		90	1680	5000010
32	40	25	4	75	1400	5000011
		30		90	1680	5000012
38	46	25	4	90	1625	5000019
		30		108	1950	5000020
40	48	25	4	90	1625	5000013
		30		108	1950	5000014
42	50	25	4	90	1625	5000015
		30		108	1950	5000016



## Kugelkäfig aus Messing

**N 501**



### Eignung

Kugelkäfig aus Messing mit Stahlkugeln angeordnet auf einer Schraubenlinie.

- Universell einsetzbar.
- Kombiniert leichten Lauf und lange Lebensdauer.
- Die Anordnung der Kugeln auf einer Schraubenlinie ist optimal für Hubbewegungen und Drehbewegungen.

### Merkmale

- Die Kugelkammern sind mechanisch so verstemmt, dass die Kugeln unverlierbar, aber leicht beweglich gehalten werden.
- Die Kugeln sind in optimaler Dichte so angeordnet, dass bei Hub- und bei Drehbewegungen jede Kugel auf einer eigenen Bahn läuft.
- Die Kugelanordnung gewährleistet einen ruhigen Lauf und verlängert die Lebensdauer der Kugelführung erheblich.
- Messing bietet hohe mechanische Festigkeit, beste Gleiteigenschaften, hohe Abriebfestigkeit und Warmfestigkeit.
- Hinweise zu Einbau und Wartung siehe Seite 37-41.

### Werkstoff

Käfig:

- Messing
- Dauergebrauchstemperatur max. 150°C  
(Bei höheren Temperaturen bitten wir um Rückfrage)

Kugeln:

- Wälzlagerstahl gehärtet 100 Cr 6 (1.2067)
- DIN 5401 bzw. ISO 3290 Grade 5 Sorte P0

### Belastbarkeit

In der Spalte C sind die Tragzahlen der Kugelkäfige bei gleichmäßiger Radialbelastung angegeben. Bei Einwirkung von Momenten ist eine Tragfähigkeitsberechnung vorzunehmen.

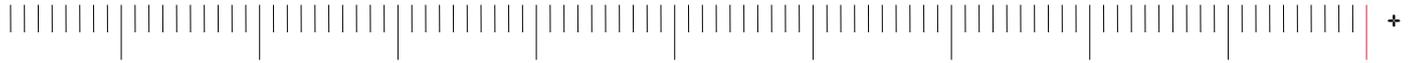
### Sonderanfertigungen

Die Kugelkäfige können mit Kugeln aus nichtrostendem Stahl oder Keramik bestückt werden. Weitere Abmessungen oder Ausführungen sind nach Werkstück-Zeichnung lieferbar, auch in anderen Käfigwerkstoffen.

### Bestell-Text

Kugelkäfig N 501/ $d_w/d_1/l_2$

**Best.-Nr. 50010 . .**



Kugelhöfug aus Messing							N 501						
d <sub>w</sub>	d <sub>1</sub>	l <sub>2</sub>	k	Kugeln [Stück]	C [N]	Best.-Nr.	d <sub>w</sub>	d <sub>1</sub>	l <sub>2</sub>	k	Kugeln [Stück]	C [N]	Best.-Nr.
4	7	12	1,5	18	30	5001003	30	38	54	4	138	2800	5001049
		20		34	50	212					4050	5001050	
		30		54	75	258					4850	5001051	
6	10	16	2	26	72	5001006	32	40	54	4	138	3030	5001052
		25		42	110	180					3800	5001053	
		40		72	180	212					4350	5001054	
8	13	20	2,5	30	150	5001009	40	48	62	4	176	4030	5001057
		25		36	190	196					4420	5001058	
		30		46	225	258					5650	5001059	
		40		64	300	308					6650	5001060	
10	15	20	2,5	30	220	5001013	40	48	62	4	176	4030	5001057
		28		46	310	196					4420	5001058	
		40		70	440	258					5650	5001059	
		50		90	550	308					6650	5001060	
12	17	20	2,5	34	260	5001017	40	48	62	4	176	4030	5001057
		28		50	365	196					4420	5001058	
		40		78	520	258					5650	5001059	
		50		100	650	308					6650	5001060	
14	20	34	3	60	580	5001021	42	50	62	4	176	4030	5001064
		48		90	910	196					4420	5001065	
		60		120	1200	258					5650	5001066	
15	21	34	3	60	645	5001023	42	50	62	4	176	4030	5001064
		48		90	910	196					4420	5001065	
		60		120	1200	258					5650	5001066	
16	22	25	3	40	525	5001025	50	60	77	5	218	6150	5001069
		34		60	715	262					7200	5001070	
		48		90	1025	328					8800	5001071	
		63		124	1325	428					11200	5001072	
18	24	40	3	88	1000	5001029	50	60	77	5	218	6150	5001069
		56		130	1400	262					7200	5001070	
		68		162	1700	328					8800	5001071	
		88		220	2200	428					11200	5001072	
19	25	40	3	88	1080	5001032	52	62	77	5	218	6150	5001074
		56		130	1510	262					7200	5001075	
		68		162	1840	328					8800	5001076	
20	26	28	3	56	870	5001093	52	62	77	5	218	6150	5001074
		40		88	1160	262					7200	5001075	
		48		108	1390	328					8800	5001076	
		56		130	1620	428					11200	5001077	
		68		162	1970	256					8800	5001078	
		80		194	2320	322					10800	5001079	
24	30	51	3	146	1730	5001040	52	62	77	5	218	6150	5001074
		68		202	2310	262					7200	5001075	
		80		242	2720	328					8800	5001076	
		108		308	3600	428					11200	5001077	
		130		390	4650	256					8800	5001078	
		162		495	5925	322					10800	5001079	
25	31	40	3	108	1440	5001043	52	62	77	5	218	6150	5001074
		51		146	1840	262					7200	5001075	
		58		168	2100	328					8800	5001076	
		68		202	2450	428					11200	5001077	
		80		242	2880	256					8800	5001078	
		100		308	3600	322					10800	5001079	
		130		390	4650	428					11200	5001080	
		162		495	5925	256					8800	5001081	
30	38	54	4	138	2800	5001049	52	62	77	5	218	6150	5001074
		78		212	4050	262					7200	5001075	
		93		258	4850	328					8800	5001076	
		138		3030	5001052	428					11200	5001077	
		180		3800	5001053	256					8800	5001078	
		212		4350	5001054	322					10800	5001079	
		258		5200	5001055	428					11200	5001080	
		310		6150	5001056	256					8800	5001081	
		380		7200	5001057	322					10800	5001082	
		4030		9750	5001058	428					11200	5001083	
32	40	54	4	138	3030	5001052	52	62	77	5	218	6150	5001074
		68		180	3800	262					7200	5001075	
		78		212	4350	328					8800	5001076	
		93		258	5200	428					11200	5001077	
		110		310	6150	256					8800	5001078	
		138		3030	5001052	322					10800	5001079	
40	48	62	4	176	4030	5001057	52	62	77	5	218	6150	5001074
		68		196	4420	262					7200	5001075	
		87		258	5650	328					8800	5001076	
		102		308	6650	428					11200	5001077	
		110		336	7150	256					8800	5001078	
		125		386	8130	322					10800	5001079	
		150		468	9750	428					11200	5001080	
		176		4030	5001057	256					8800	5001081	
		196		4420	5001058	322					10800	5001082	
		258		5650	5001059	428					11200	5001083	
50	60	77	5	218	6150	5001069	52	62	77	5	218	6150	5001074
		90		262	7200	262					7200	5001075	
		110		328	8800	328					8800	5001076	
		140		428	11200	428					11200	5001077	
		180		562	14400	256					8800	5001078	
		218		6150	5001069	322					10800	5001079	
		262		7200	5001070	428					11200	5001080	
		328		8800	5001071	256					8800	5001081	
		428		11200	5001072	322					10800	5001082	
		562		14400	5001073	428					11200	5001083	
63	73	88	5	256	8800	5001078	52	62	77	5	218	6150	5001074
		108		322	10800	262					7200	5001075	
		140		428	14000	328					8800	5001076	
		185		578	18500	428					11200	5001077	
		220		696	22000	256					8800	5001078	
		256		800	25600	322					10800	5001079	
80	92	95	6	268	13300	5001083	52	62	77	5	218	6150	5001074
		110		318	15400	262					7200	5001075	
		135		402	18900	328					8800	5001076	
		160		486	22400	428					11200	5001077	
		215		668	30100	256					8800	5001078	
		256		800	25600	322					10800	5001079	
100	112	110	6	382	22000	5001088	52	62	77	5	218	6150	5001074
		165		602	33000	262					7200	5001075	
		180		662	36000	328					8800	5001076	
		245		922	49000	428					11200	5001077	
		256		800	25600	256					8800	5001078	
		322		10800	5001079	428					11200	5001080	



Mahr

## Kugelkäfig aus Messing mit Sicherungsring

**N 511**



### Eignung

- Kugelkäfig aus Messing mit Stahlkugeln und Sicherungsring zur Wegbegrenzung.
- Kombiniert leichten Lauf und lange Lebensdauer.
  - Hohe Belastbarkeit durch große Kugelanzahl.
  - Besonders geeignet für Hubbewegungen in Werkzeugen und Maschinen mit hohen Genauigkeitsanforderungen.
  - Zuverlässige Wegbegrenzung des Kugelkäfigs durch Sicherungsring.

### Merkmale

- Die Kugelkammern sind mechanisch so verstemmt, dass die Kugeln unverlierbar, aber leicht beweglich gehalten werden.
- Große Anzahl von Kugeln für hohe Belastbarkeit.
- Messing bietet hohe mechanische Festigkeit, beste Gleiteigenschaften, hohe Abriebfestigkeit und Warmfestigkeit.
- Hinweise zu Einbau und Wartung siehe Seite 37-41.

### Werkstoff

Käfig:

- Messing
- Dauergebrauchstemperatur max. 150°C  
(Bei höheren Temperaturen bitten wir um Rückfrage)

Kugeln:

- Wälzlagerstahl gehärtet 100 Cr 6 (1.2067)
- DIN 5401 bzw. ISO 3290 Grade 5 Sorte P0

### Belastbarkeit

In der Spalte C sind die Tragzahlen der Kugelkäfige bei gleichmäßiger Radialbelastung angegeben. Bei Einwirkung von Momenten ist eine Tragfähigkeitsberechnung vorzunehmen.

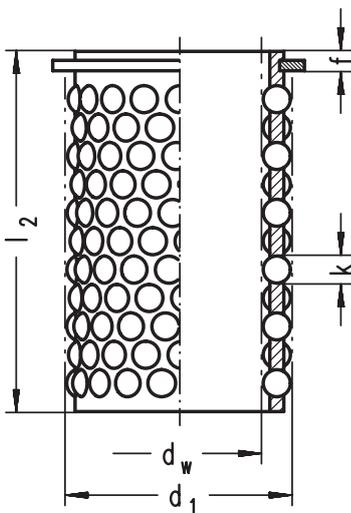
### Sonderanfertigungen

Die Kugelkäfige können mit Kugeln aus nichtrostendem Stahl oder Keramik bestückt werden. Weitere Abmessungen oder Ausführungen sind nach Werkstück-Zeichnung lieferbar, auch in anderen Käfigwerkstoffen.

### Bestell-Text

Kugelkäfig N 511/ $d_w/d_1/l_2$

**Best.-Nr. 50011 . .**





## Kugelkäfig aus Messing mit Sicherungsring

**N 511**

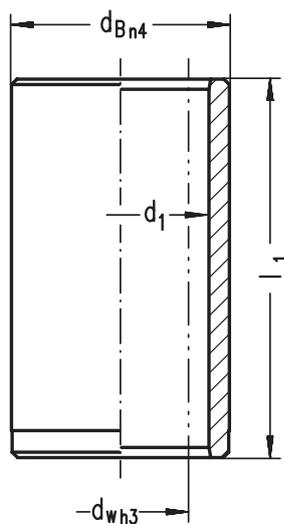
$d_w$	$d_1$	$l_2$	f	k	Kugeln [Stück]	C [N]	Best.-Nr.
12	16	40	2,5	2	132	670	5001110
		56			192	970	5001111
12	17	36	2,5	2,5	80	580	5001115
		48			110	790	5001116
		60			140	1010	5001117
16	22	34	2,8	3	70	750	5001120
		48			110	1180	5001121
		63			150	1610	5001122
18	24	48	2,8	3	120	1290	5001126
		56			144	1550	5001127
		60			156	1680	5001128
		71			192	2070	5001129
		76			204	2200	5001130
20	26	48	2,8	3	120	1390	5001135
		56			144	1670	5001136
		71			192	2220	5001137
		76			204	2360	5001138
24	30	52	2,8	3	198	2360	5001140
		70			270	3210	5001141
		84			342	4070	5001142
25	31	52	2,8	3	198	2360	5001145
		70			270	3210	5001146
		84			342	4070	5001147
30	38	56	4,8	4	162	3040	5001150
		70			216	4050	5001151
		75			234	4390	5001152
		90			288	5400	5001153
		95			306	5740	5001154
110	360	6750	5001155				
32	40	56	4,8	4	162	3040	5001160
		75			234	4390	5001161
		95			306	5740	5001162
		110			360	6750	5001163



Mahr

## Führungsbuchse offen

**N 550**



### Eignung

- Offene Führungsbuchse beidseitig mit schlanken Innenfasen.
- Universell einsetzbar.
  - In Kombination mit Wellendurchmesser  $d_w$  ISO-h3 ist Vorspannung der Kugelführung gewährleistet.
  - Der Kugelkäfig kann aus der Führungsbuchse nach beiden Seiten herausragen, wodurch mit kurzen Führungsbuchsen in Kombination mit langen Kugelkäfigen größere Hubwege möglich werden (Mindesteingriffsstrecke beachten).

### Merkmale

- Führungsdurchmesser  $d_1$  feinstgehont auf ISO-Toleranz IT 3,  $R_z$  0,5 – 1,5  $\mu\text{m}$  durchmesserabhängig.
- Rundheit innerhalb 1/3 ISO-IT 3.
- Zylindrizität innerhalb IT 1.
- Rundlauf einer unter Vorspannung geführten Welle innerhalb 0,0005 mm.
- Beidseitig schlanke Innenfasen für stoßfreien Lauf.
- Außendurchmesser  $d_B$  n4 mit Rundlaufgenauigkeit innerhalb IT 4 zum Führungsdurchmesser  $d_1$  geschliffen, einseitig mit Voreinführung.
- Hinweise zu Einbau und Wartung siehe Seite 37-41.

### Werkstoff

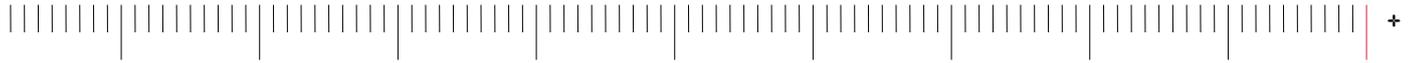
- Wälzlagerstahl 100 Cr 6 (1.2067 bzw. 1.3505)
- sorgfältig wärmebehandelt, Härte HRC 60–64/HV 720–815

### Sonderanfertigungen

Weitere Abmessungen oder Ausführungen sind nach Werkstück-Zeichnung lieferbar, auch aus nichtrostendem Stahl (1.4112).

### Bestell-Text

Kugelführung bestehend aus:  
 Führungsbuchse N 550/ $d_w$ / $d_1$ / $l_1$       **Best.-Nr. 5002 . . .**  
 Kugelkäfig N 501/ $d_w$ / $d_1$ / $l_2$       **Best.-Nr. 50010 . . .**  
 oder  
 Kugelkäfig N 500/ $d_w$ / $d_1$ / $l_2$       **Best.-Nr. 50000 . . .**  
 oder  
 Kugelkäfig N 511/ $d_w$ / $d_1$ / $l_2$       **Best.-Nr. 50011 . . .**



Führungsbuchse offen					N 550				
d <sub>w</sub>	d <sub>1</sub>	d <sub>B</sub>	l <sub>1</sub>	Best.-Nr.	d <sub>w</sub>	d <sub>1</sub>	d <sub>B</sub>	l <sub>1</sub>	Best.-Nr.
4	7	10	12	5002002	24	30	38	45	5002030
			20	5002003				63	5002031
			30	5002068				70	5002032
6	10	14	16	5002004	25	31	38	79	5002033
			25	5002005				45	5002034
			40	5002071				63	5002035
8	13	18	60	5002072	30	38	48	70	5002036
			20	5002006				79	5002037
			30	5002007				132	5002089
10	15	20	40	5002073	32	40	48	50	5002038
			65	5002074				75	5002039
			25	5002008				90	5002040
12	17	22	36	5002009	40	48	60	50	5002041
			50	5002075				63	5002042
			70	5002076				75	5002043
14	20	25	90	5002044	50	60	72	90	5002045
			25	5002010				145	5002090
			36	5002011				63	5002046
16	22	28	50	5002077	52	62	72	80	5002047
			75	5002078				96	5002048
			33	5002012				120	5002049
18	24	30	45	5002013	63	73	90	172	5002091
			33	5002014				80	5002051
			45	5002015				96	5002053
18	24	32	60	5002018	80	92	120	80	5002054
			92	5002081				100	5002055
			42	5002082				80	5002057
19	25	32	56	5002083	100	112	140	100	5002058
			33	5002020				125	5002060
			56	5002021				140	5002062
20	26	32	64	5002022	100	112	140	160	5002063
			33	5002023					
			56	5002024					
20	26	32	64	5002025					
			33	5002026					
			42	5002027					
			56	5002028					
			64	5002029					
			112	5002088					



Mahr

## Führungsbuchse geschlossen mit Anlaufscheiben

**N 552**



### Eignung

- Ausführung wie N 550, mit beidseitig fest eingesetzten Anlaufscheiben.
- In Kombination mit Wellendurchmesser  $d_w$  ISO-h3 ist Vorspannung der Kugelführung gewährleistet.
  - Die Anlaufscheiben bilden eine funktionssichere Käfigbegrenzung für Hub- und Drehbewegungen.
  - Die Leichtgängigkeit der Kugelführung wird durch die Anlaufscheiben nicht beeinträchtigt.

### Merkmale

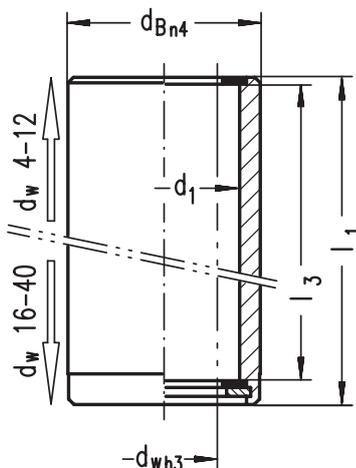
- Beidseitig fest eingesetzte Anlaufscheiben.
- Die geschlossene Führungsbuchse bildet zusammen mit dem werkseitig eingebauten Kugelkäfig ein Bauteil.
- Führungsdurchmesser  $d_1$  feinstgehont auf ISO-Toleranz IT 3,  $R_z$  0,5 – 1,5  $\mu\text{m}$  durchmesserabhängig.
- Rundheit innerhalb 1/3 ISO-IT 3.
- Zylindrizität innerhalb IT 1.
- Rundlauf einer unter Vorspannung geführten Welle innerhalb 0,0005 mm.
- Außendurchmesser  $d_B$  n4 mit Rundlaufgenauigkeit innerhalb IT 4 zum Führungsdurchmesser  $d_1$  geschliffen, einseitig mit Voreinführung.
- Der maximale Hubweg  $H_{\text{max}}$  wird durch die Längen der Führungsbuchse  $l_3$  und des Kugelkäfigs  $l_2$  bestimmt:  $H_{\text{max}} = 2 (l_3 - l_2)$ .
- Hinweise zu Einbau und Wartung siehe Seite 37-41.

### Werkstoff

- Wälzlagerstahl 100 Cr 6 (1.2067 bzw. 1.3505)
- sorgfältig wärmebehandelt, Härte HRC 60–64/HV 720–815
- Anlaufscheiben aus Stahl

### Sonderanfertigungen

Weitere Abmessungen oder Ausführungen sind nach Werkstück-Zeichnung lieferbar, auch aus nichtrostendem Stahl (1.4112).



### Bestell-Text

Kugelführung bestehend aus:  
 Führungsbuchse N 552/ $d_w$ / $d_1$ / $l_1$  **Best.-Nr. 5003 . . .**  
 Kugelkäfig N 501/ $d_w$ / $d_1$ / $l_2$  **Best.-Nr. 50010 . .**  
 oder  
 Kugelkäfig N 500/ $d_w$ / $d_1$ / $l_2$  **Best.-Nr. 50000 . .**



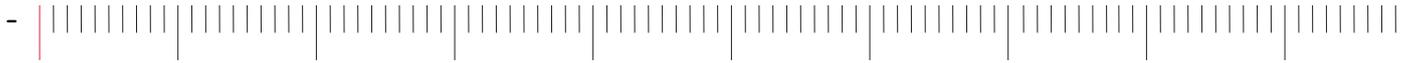
## Führungsbuchse geschlossen mit Anlaufscheiben

**N 552**

$d_w$	$d_1$	$d_B$	$l_1$	$l_3$	Best.-Nr.	Käfiglänge $l_2$ /Hub $H_{max}$ (Auswahlreihe)					
4	7	10	20	18	5003027	12/12					
			30	28	5003028	20/16	12/32				
6	10	14	25	23	5003035	16/14					
			40	38	5003036	25/26	16/44				
			60	58	5003037	40/36	25/66	16/84			
8	13	18	30	28	5003043	25/6	20/16				
			40	38	5003044	30/16	25/26	20/36			
			65	63	5003045	40/46	30/66	25/76	20/86		
10	15	20	25	22	5003050	20/4					
			36	33	5003051	28/10	20/26				
			50	47	5003052	40/14	28/38	20/54			
			70	67	5003053	50/34	40/54	28/78	20/94		
12	17	22	25	22	5003058	20/4					
			36	33	5003059	28/10	20/26				
			50	47	5003060	40/14	28/38	20/54			
			75	72	5003061	50/44	40/64	28/88	20/104		
16	22	28	33	27	5003071	25/4					
			45	39	5003072	34/10	25/28				
			60	54	5003073	48/12	34/40	25/58			
			92	86	5003074	63/46	48/76	34/104	25/122		
20	26	32	42	36	5003083	28/16					
			56	50	5003084	48/4	40/20	28/44			
			64	58	5003085	56/4	48/20	40/36	28/60		
			112	106	5003086	80/52	68/76	56/100	48/116	40/132	28/156
25	31	38	45	38	5003093	30/16	23/30				
			63	56	5003094	51/10	40/32	30/52	23/66		
			79	72	5003095	68/8	58/28	51/42	40/46	30/84	23/98
			132	125	5003096	100/50	80/90	68/114	58/134	51/148	40/170
32	40	48	63	55	5003099	54/2	30/50	25/60			
			75	67	5003100	54/26	30/74	25/84			
			90	82	5003101	78/8	68/28	54/56	30/104	25/114	
			145	137	5003102	110/54	93/88	78/118	68/138	54/166	30/214
40	48	60	80	70	5003104	68/4	62/16	55/30	30/80	25/90	
			96	86	5003105	68/36	62/48	55/62	30/112	25/122	
			120	110	5003106	110/0	102/16	87/46	68/84	62/96	55/110
			172	162	5003107	150/24	125/74	110/104	102/120	87/150	68/188

### Hub H

Abhängig von der Länge  $l_2$   
des eingebauten Kugelkäfigs.  
 $H_{max} = 2(l_3 - l_2)$



Mahr

## Führungsbuchse geschlossen mit Dichtringen

**N 553**



### Eignung

- Ausführung wie N 550, mit beidseitig fest eingesetzten Anlaufscheiben und Dichtringen.
- In Kombination mit Wellendurchmesser  $d_w$  ISO-h3 ist Vorspannung der Kugelführung gewährleistet.
- Die Führungsbuchse N 553 ist für Einsatzfälle vorgesehen, bei denen mit Verschmutzung gerechnet werden muss.
- Dichtringe verhindern das Eindringen von Fremdstoffen. (Die Leichtgängigkeit der Kugelführung wird durch die Reibung der Dichtringe auf der Welle geringfügig vermindert.)
- Sichere Wegbegrenzung für den Kugelkäfig.

### Merkmale

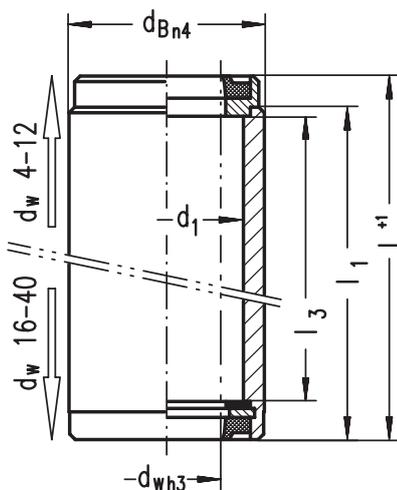
- Beidseitig fest eingesetzte Anlaufscheiben und Dichtringe.
- Die geschlossene Führungsbuchse bildet zusammen mit dem werkseitig eingesetzten Kugelkäfig ein Bauteil.
- Führungsdurchmesser  $d_1$  feinstgehont auf ISO-Toleranz IT 3,  $R_z$  0,5 – 1,5  $\mu$ m durchmesserabhängig.
- Rundheit innerhalb 1/3 ISO-IT 3.
- Zylindrizität innerhalb IT 1.
- Rundlauf einer unter Vorspannung geführten Welle innerhalb 0,0005 mm.
- Außendurchmesser  $d_B$  n4 mit Rundlaufgenauigkeit innerhalb IT 4 zum Führungsdurchmesser  $d_1$  geschliffen, einseitig mit Voreinführung.
- Der maximale Hubweg  $H_{max}$  der Kugelführung wird durch die Längen der Führungsbuchse  $l_3$  und des Kugelkäfigs  $l_2$  bestimmt:  $H_{max} = 2(l_3 - l_2)$ .
- Hinweise zu Einbau und Wartung siehe Seite 37-41.

### Werkstoff

- Wälzlagerstahl 100 Cr 6 (1.2067 bzw. 1.3505)
- sorgfältig wärmebehandelt, Härte HRC 60–64/HV 720–815
- Anlaufscheiben aus Stahl
- Dichtringe NBR-Kautschuk in Stahlhülse
- Dauergebrauchstemperatur max. 100°C

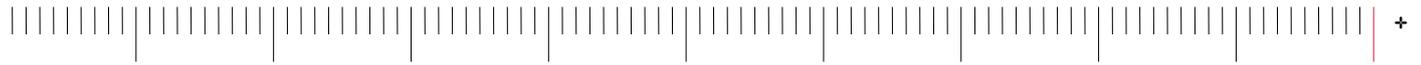
### Sonderanfertigungen

Weitere Abmessungen oder Ausführungen sind nach Werkstück-Zeichnung lieferbar, auch aus nichtrostendem Stahl (1.4112).



### Bestell-Text

Kugelführung bestehend aus:  
 Führungsbuchse N 553/ $d_w$ / $d_1$ / $l_1$  **Best.-Nr. 5009 . . .**  
 Kugelkäfig N 501/ $d_w$ / $d_1$ / $l_2$  **Best.-Nr. 50010 . .**  
 oder  
 Kugelkäfig N 500/ $d_w$ / $d_1$ / $l_2$  **Best.-Nr. 50000 . .**



## Führungsbuchse geschlossen mit Dichtringen

**N 553**

$d_w$	$d_1$	$d_B$	L	$l_1$	$l_3$	Best.-Nr.	Käfiglänge $l_2$ /Hub $H_{max}$ (Auswahlreihe)					
4	7	10	26	20	18	5009039	12/12					
			36	30	28	5009040	20/16	12/32				
6	10	14	31	25	23	5009047	16/14					
			46	40	38	5009048	25/26	16/44				
			66	60	58	5009049	40/36	25/66	16/84			
8	13	18	38	30	28	5009055	25/6	20/16				
			48	40	38	5009056	30/16	25/26	20/36			
			73	65	63	5009057	40/46	30/66	25/76	20/86		
10	15	20	33	25	22	5009062	20/4					
			44	36	33	5009063	28/10	20/26				
			58	50	47	5009064	40/14	28/38	20/54			
			78	70	67	5009065	50/34	40/54	28/78	20/94		
12	17	22	33	25	22	5009070	20/4					
			44	36	33	5009071	28/10	20/26				
			58	50	47	5009072	40/14	28/38	20/54			
			83	75	72	5009073	50/44	40/64	28/88	20/104		
16	22	28	38	38	27	5009083	25/4					
			50	50	39	5009084	34/10	25/28				
			65	65	54	5009085	48/12	34/40	25/58			
			97	97	86	5009086	63/46	48/76	34/104	25/122		
20	26	32	49	49	36	5009095	28/16					
			63	63	50	5009096	48/4	40/20	28/44			
			71	71	58	5009097	56/4	48/20	40/36	28/60		
			119	119	106	5009098	80/52	68/76	56/100	48/116	40/132	28/156
25	31	38	70	70	56	5009106	51/10	40/33	30/52	23/64		
			86	86	72	5009107	68/8	58/28	51/42	40/64	30/84	23/98
			139	139	125	5009108	100/50	80/90	68/114	58/134	51/148	40/170
32	40	48	57	57	42	5009110	30/24	25/34				
			82	82	67	5009112	54/26	30/74	25/84			
			97	97	82	5009113	78/8	68/28	54/56	30/104	25/114	
			152	152	137	5009114	110/54	93/88	78/118	68/138	54/166	30/214
40	48	60	86	86	70	5009116	68/4	62/16	55/30	30/80	25/90	
			126	126	110	5009118	102/16	87/46	68/84	62/96	55/110	
			178	178	162	5009119	150/24	125/74	110/104	102/120	87/150	68/188

### Hub H

Abhängig von der Länge  $l_2$   
des eingebauten Kugelkäfigs.

$$H_{max} = 2 (l_3 - l_2)$$

## Führungsbuchse geschlossen mit Abstreifern

**N 570**



### Eignung

- Führungsbuchse in besonders dickwandiger und robuster Ausführung mit Abstreifern.
- In Kombination mit Welledurchmesser  $d_w$  ISO-h3 ist Vorspannung der Kugelführung gewährleistet.
  - Einsatz vorwiegend im Maschinenbau, bzw. dort, wo die Umfeldbedingungen Abstreifringe erfordern.
  - Abstreifer verhindern das Eindringen von Fremdkörpern auch bei schwerster Verschmutzung. (Die Leichtgängigkeit der Kugelführung wird durch die Reibung der Abstreifer auf der Welle vermindert.)
  - Durch drei radial nach innen geführte Bohrungen ist die Zuführung von Schmieröl während des Betriebes möglich.
  - Die Sicherungsringe DIN 471 am Außendurchmesser  $d_b$  ermöglichen eine einfache Montage in der Aufnahmebohrung.
  - Sichere Wegbegrenzung des Kugelkäfigs durch mit Sprengringen gehaltene Anlaufscheiben.

### Merkmale

- Beidseitig fest eingesetzte Anlaufscheiben und Abstreifer.
- Die geschlossene Führungsbuchse bildet zusammen mit dem werkseitig eingesetzten Kugelkäfig ein Bauteil.
- Führungsdurchmesser  $d_1$  feinstgehont auf ISO-Toleranz IT 3,  $R_z$  0,5 – 1,5  $\mu\text{m}$  durchmesserabhängig.
- Rundheit innerhalb 1/3 ISO-IT 3.
- Zylindrizität innerhalb IT 1.
- Rundlauf einer unter Vorspannung geführten Welle innerhalb 0,0005 mm.
- Außendurchmesser  $d_b$  h6 mit Rundlaufgenauigkeit innerhalb IT 4 zum Führungsdurchmesser  $d_1$  geschliffen.
- Außendurchmesser mit Sicherungsringen DIN 471 zur Montage der Führungsbuchse in die Aufnahmebohrung.
- Der maximale Hubweg  $H_{\text{max}}$  der Kugelführung wird durch die Längen  $l_3$  der Führungsbuchse und  $l_2$  des Kugelkäfigs bestimmt:  $H_{\text{max}} = 2(l_3 - l_2)$ .
- Hinweise zu Einbau und Wartung siehe Seite 37-41.

### Werkstoff

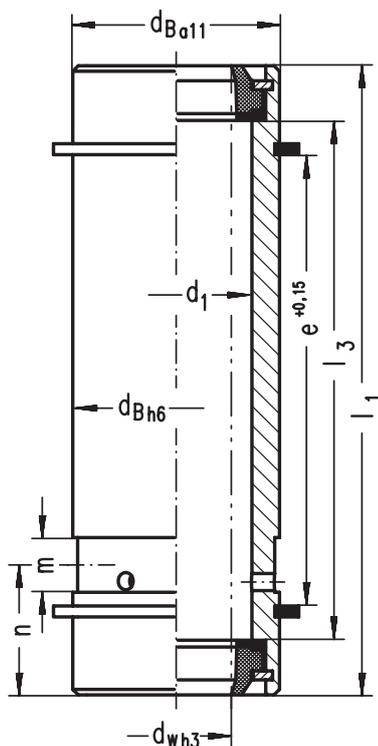
- Wälzlagerstahl 100 Cr 6 (1.2067 bzw. 1.3505)
- sorgfältig wärmebehandelt, Härte HRC 60–64/HV 720–815
- Anlaufscheiben aus Stahl
- Abstreifer NBR-Kautschuk in Stahlhülse
- Sicherungsringe DIN 471 Stahl
- Dauergebrauchstemperatur max. 100°C

### Sonderanfertigungen

Weitere Abmessungen oder Ausführungen sind nach Werkstück-Zeichnung lieferbar, auch aus nichtrostendem Stahl (1.4112).

### Bestell-Text

Kugelführung bestehend aus:  
 Führungsbuchse N 570/ $d_w$ / $d_1$ / $l_1$  **Best.-Nr. 5009 . . .**  
 Kugelkäfig N 501/ $d_w$ / $d_1$ / $l_2$  **Best.-Nr. 50010 . .**  
 oder  
 Kugelkäfig N 500/ $d_w$ / $d_1$ / $l_2$  **Best.-Nr. 50000 . .**





## Führungsbuchse geschlossen mit Abstreifern

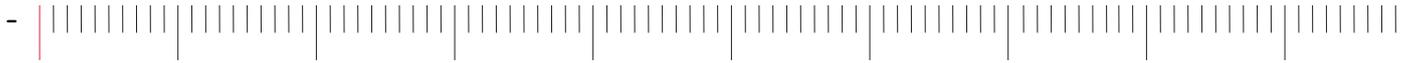
**N 570**

d <sub>w</sub>	d <sub>1</sub>	d <sub>B</sub>	l <sub>1</sub>	l <sub>3</sub>	e	m	n	Best.-Nr.	Käfiglänge l <sub>2</sub> /Hub H <sub>max</sub> (Auswahlreihe)					
10	15	22	70	51	50	6	15	5009006	50/2	40/22	28/46	20/62		
12	17	26	75	59	53	6	16	5009008	50/18	40/38	28/62	20/78		
14	20	30	92	74	66	8	19	5009009	48/52	34/80				
15	21	30	92	74	66	8	19	5009010	48/52	34/80				
16	22	30	92	79	66	8	19	5009012	63/32	48/62	34/90	25/108		
20	26	35	80	64	51	8	22	5009015	56/16	48/32	40/48	28/72		
			112	96	83	8	22	5009016	80/32	68/56	56/80	48/96	40/112	28/136
25	31	42	90	66	56	10	25	5009018	58/16	51/30	40/52			
			132	108	98	10	25	5009019	100/16	80/56	68/80	58/100	51/114	40/136
30	38	55	145	124	115	10	25	5009020	93/62	78/92	54/140			
32	40	55	145	125	115	10	25	5009022	110/30	93/64	78/94	68/114	54/142	30/190
40	48	65	172	147	135	12	28	5009024	125/44	110/74	102/90	87/120	68/158	62/170
50	60	77	150	123	110	12	31	5009026	110/26	90/66	77/92			
			210	183	170	12	31	5009027	180/6	140/86	110/146	90/186	77/212	
63	73	90	180	150	138	15	34	5009028	140/20	108/84	88/124			
			260	230	218	15	34	5009029	185/90	140/180	108/224	88/284		
80	92	120	220	178	180	15	34	5009030	160/36	135/86	110/136	95/166		
			315	273	275	15	34	5009031	215/116	160/226	135/276	110/326	95/356	
100	112	140	355	320	310	15	36	5009033	245/150	180/280	165/310	110/420		

### Hub H

Abhängig von der Länge l<sub>2</sub>  
des eingebauten Kugelkäfigs.

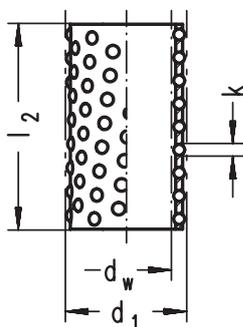
$$H_{\max} = 2 (l_3 - l_2)$$



Mahr

## Kugelkäfing aus Messing

### N 502 Mini-Reihe



#### Eignung

Kugelkäfing aus Messing mit Stahlkugeln angeordnet auf einer Schraubenlinie zur Verwendung mit Führungsbuchsen der Mini-Reihe.

- »Mini-Reihe« speziell für die Feinwerktechnik- und Optik-Industrie entwickelt.
- Verwendung von kleineren Kugeln im Vergleich zu Typ N 501.
- Verringerter Einbauraum durch Verwendung in Kombination mit Führungsbuchsen der Mini-Reihe.
- Die Anordnung der Kugeln auf einer Schraubenlinie ist optimal für Hubbewegungen und Drehbewegungen.

#### Merkmale

- Die Kugelkammern sind mechanisch so verstemmt, dass die Kugeln unverlierbar, aber leicht beweglich gehalten werden.
- Die Kugeln sind in optimaler Dichte so angeordnet, dass bei Hub- und bei Drehbewegungen jede Kugel auf einer eigenen Bahn läuft.
- Die Kugelanordnung gewährleistet einen ruhigen Lauf und verlängert die Lebensdauer der Kugelführung erheblich.
- Messing bietet hohe mechanische Festigkeit, beste Gleiteigenschaften, hohe Abriebfestigkeit und Warmfestigkeit.
- Hinweise zu Einbau und Wartung siehe Seite 37-41.

#### Werkstoff

Käfing:

- Messing
- Dauergebrauchstemperatur max. 150°C  
(Bei höheren Temperaturen bitten wir um Rückfrage.)

Kugeln:

- Niro-Wälzlagerstahl gehärtet X90 CrMoV 18 (1.4112)
- DIN 5401 bzw. ISO 3290 Grade 5 Sorte P0

#### Belastbarkeit

In der Spalte C sind die Tragzahlen der Kugelkäfinge bei gleichmäßiger Radialbelastung angegeben. Bei Einwirkung von Momenten ist eine Tragfähigkeitsberechnung vorzunehmen.

#### Sonderanfertigungen

Die Kugelkäfinge können mit Kugeln aus Keramik bestückt werden. Weitere Abmessungen oder andere Ausführungen sind nach Werkstück-Zeichnung lieferbar, auch in anderen Käfigwerkstoffen.

#### Bestell-Text

Kugelkäfing N 502/ $d_w/d_1/l_2$

Best.-Nr. 50002 . .



Kugelkäfig aus Messing							N 502 Mini-Reihe
d <sub>w</sub>	d <sub>1</sub>	l <sub>2</sub>	k	Kugeln [Stück]	C [N]	Best.-Nr.	
2,5	4,1	10	0,8	24	7	5000236	
		12,5		30	9	5000237	
		15		38	11	5000238	
3	5	10	1	22	14	5000240	
		12,5		28	19	5000241	
		15		36	24	5000242	
		20		50	34	5000243	
4	6	10	1	22	15	5000244	
		15		36	26	5000245	
		20		50	35	5000246	
		25		64	48	5000247	
5	7	10	1	30	23	5000248	
		15		50	40	5000249	
		20		70	56	5000250	
		30		110	89	5000251	
6	8	10	1	30	29	5000252	
		15		50	50	5000253	
		20		70	60	5000254	
		25		90	78	5000255	
		35		130	112	5000256	
8	10	15	1	50	50	5000257	
		20		70	60	5000258	
		25		90	78	5000259	
		30		110	95	5000260	
		40		150	130	5000261	
10	13	20	1,5	56	122	5000262	
		30		76	146	5000263	
		40		104	202	5000264	
		50		134	258	5000265	
12	15	20	1,5	66	128	5000266	
		30		88	170	5000267	
		40		122	235	5000268	
		50		154	300	5000269	
14	17	20	1,5	66	128	5000270	
		30		88	170	5000271	
		40		122	235	5000272	
16	20	30	2	84	290	5000273	
		40		102	350	5000274	
		50		130	450	5000275	
18	22	30	2	84	295	5000276	
		40		118	415	5000277	
		50		152	530	5000278	
20	24	30	2	84	300	5000279	
		40		118	420	5000280	
		50		152	520	5000281	
		60		184	660	5000282	
22	26	40	2	118	425	5000283	
		50		152	550	5000284	
		60		184	670	5000285	



Mahr

## Führungsbuchse offen

### N 550 Mini-Reihe



#### Eignung

- Offene Führungsbuchse beidseitig mit schlanken Innenfasen zur Verwendung mit Kugelkäfig der Mini-Reihe N 502.
- Minimaler Einbauraum bei Verwendung mit Kugelkäfigen der Mini-Reihe N 502.
  - Universell einsetzbar.
  - In Kombination mit Wellendurchmesser  $d_w$  ISO-h3 ist Vorspannung der Kugelführung gewährleistet.
  - Der Kugelkäfig kann aus der Führungsbuchse nach beiden Seiten herausfahren um größere Hubwege zu ermöglichen (Mindesteingriffsstrecke beachten).

#### Merkmale

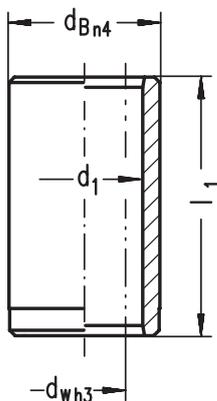
- Führungsdurchmesser  $d_1$  feinstgehonnt auf ISO-Toleranz IT 3,  $R_z$  0,5 – 1,5  $\mu\text{m}$  durchmesserabhängig.
- Rundheit innerhalb 1/3 ISO-IT 3.
- Zylindrizität innerhalb IT 1.
- Rundlauf einer unter Vorspannung geführten Welle innerhalb 0,0005 mm.
- Beidseitig schlanke Innenfasen für stoßfreien Lauf.
- Außendurchmesser  $d_b$  n4 mit Rundlaufgenauigkeit innerhalb IT 4 zum Führungsdurchmesser  $d_1$  geschliffen, einseitig mit Voreinführung.
- Hinweise zu Einbau und Wartung siehe Seite 37-41.

#### Werkstoff

- Wälzlagerstahl 100 Cr 6 (1.2067 bzw. 1.3505)
- sorgfältig wärmebehandelt, Härte HRC 60–64/HV 720–815

#### Sonderanfertigungen

Weitere Abmessungen oder Ausführungen sind nach Werkstück-Zeichnung lieferbar, auch aus nichtrostendem Stahl (1.4112).



#### Bestell-Text

Kugelführung bestehend aus:  
 Führungsbuchse N 550/ $d_w$ / $d_1$ / $l_1$  **Best.-Nr. 5002 . . .**  
 Kugelkäfig N 502/ $d_w$ / $d_1$ / $l_2$  **Best.-Nr. 50002 . .**



## Führungsbuchse offen

### N 550 Mini-Reihe

$d_w$	$d_1$	$d_B$	$l_1$	Best.-Nr.
2,5	4,1	6	10	5002092
			12,5	5002093
			15	5002094
3	5	7	12,5	5002064
			15	5002079
			20	5002065
4	6	8	15	5002066
			25	5002067
5	7	10	12	5002002
			20	5002003
			30	5002068
6	8	11	12	5002080
			20	5002069
			35	5002070
8	10	14	16	5002004
			25	5002005
			40	5002071
			60	5002072
10	13	18	20	5002006
			30	5002007
			40	5002073
			65	5002074
12	15	20	25	5002008
			36	5002009
			50	5002075
			70	5002076
14	17	22	25	5002010
			36	5002011
			50	5002077
			75	5002078
16	20	25	33	5002012
			45	5002013
18	22	28	25	5002016
			33	5002017
			45	5002018
			60	5002019
			92	5002081
20	24	30	42	5002082
			56	5002083
22	26	32	33	5002026
			42	5002027
			56	5002028
			64	5002029
			112	5002088



Mahr

## Führungsbuchse geschlossen mit Anlaufscheiben

### N 552 Mini-Reihe



#### Eignung

- Ausführung wie N 550, mit beidseitig fest eingesetzten Anlaufscheiben zur Verwendung mit Kugelkäfig der Mini-Reihe N 502.
- Minimaler Einbauraum bei Verwendung mit Kugelkäfigen der Mini-Reihe N 502.
  - In Kombination mit Wellendurchmesser  $d_w$  ISO-h3 ist Vorspannung der Kugelführung gewährleistet.
  - Die Anlaufscheiben bilden eine funktionssichere Käfigbegrenzung für Hub- und Drehbewegungen.
  - Die Leichtgängigkeit der Kugelführung wird durch die Anlaufscheiben nicht beeinträchtigt.

#### Merkmale

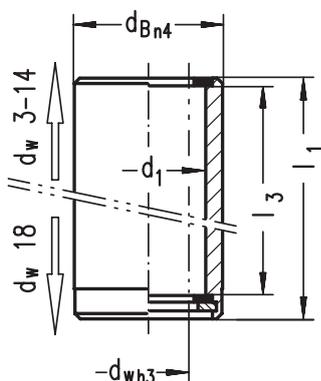
- Beidseitig fest eingesetzte Anlaufscheiben.
- Die geschlossene Führungsbuchse bildet zusammen mit dem werkseitig eingebauten Kugelkäfig ein Bauteil.
- Führungsdurchmesser  $d_1$  feinstgehont auf ISO-Toleranz IT 3,  $R_z$  0,5 – 1,5  $\mu$ m durchmesserabhängig.
- Rundheit innerhalb 1/3 ISO-IT 3.
- Zylindrizität innerhalb IT 1.
- Rundlauf einer unter Vorspannung geführten Welle innerhalb 0,0005 mm.
- Außendurchmesser  $d_B$  n4 mit Rundlaufgenauigkeit innerhalb IT 4 zum Führungsdurchmesser  $d_1$  geschliffen, einseitig mit Voreinführung.
- Der maximale Hubweg  $H_{max}$  wird durch die Längen der Führungsbuchse  $l_3$  und des Kugelkäfigs  $l_2$  bestimmt:  $H_{max} = 2 (l_3 - l_2)$ .
- Hinweise zu Einbau und Wartung siehe Seite 37-41.

#### Werkstoff

- Wälzagerstahl 100 Cr 6 (1.2067 bzw. 1.3505)
- sorgfältig wärmebehandelt, Härte HRC 60–64/HV 720–815
- Anlaufscheiben aus Stahl

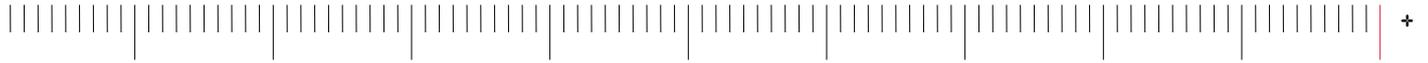
#### Sonderanfertigungen

Weitere Abmessungen oder Ausführungen sind nach Werkstück-Zeichnung lieferbar, auch aus nichtrostendem Stahl (1.4112).



#### Bestell-Text

Kugelführung bestehend aus:  
 Führungsbuchse N 552/ $d_w$ / $d_1$ / $l_1$  **Best.-Nr. 5003** . . .  
 Kugelkäfig N 502/ $d_w$ / $d_1$ / $l_2$  **Best.-Nr. 50002** . .



## Führungsbuchse geschlossen mit Anlaufscheiben

### N 552 Mini-Reihe

d <sub>w</sub>	d <sub>1</sub>	d <sub>B</sub>	l <sub>1</sub>	l <sub>3</sub>	Best.-Nr.	Käfiglänge l <sub>2</sub> /Hub H <sub>max</sub> (Auswahlreihe)			
3	5	7	12,5	11	5003022	10/2			
			15	13	5003108	12,5/1	10/16		
			20	18	5003023	15/6	12,5/11	10/16	
4	6	8	15	13	5003024	10/6			
			25	23	5003025	20/6	15/16	10/26	
5	7	10	20	18	5003030	15/6	10/16		
			30	28	5003031	20/16	15/26	10/36	
6	8	11	20	18	5003032	15/6	10/16		
			35	33	5003033	25/16	20/26	15/36	10/46
8	10	14	25	23	5003039	20/6	15/16		
			40	38	5003040	30/16	25/26	20/36	15/46
			60	58	5003041	40/36	30/56	25/66	20/76
10	13	18	30	28	5003047	20/16			
			40	38	5003048	30/16	20/36		
			65	63	5003049	50/26	40/46	30/66	20/86
12	15	20	25	22	5003054	20/4			
			36	33	5003055	30/6	20/26		
			50	47	5003056	40/14	30/34	20/54	
			70	67	5003057	45/34	40/54	30/74	20/84
14	17	22	25	22	5003062	20/4			
			36	33	5003063	30/6	20/26		
			50	47	5003064	40/14	30/34	20/54	
			75	72	5003065	40/64	30/84	20/104	
18	22	28	45	39	5003076	30/18			
			60	54	5003077	50/8	40/28	30/48	
			92	86	5003078	50/72	40/92	30/112	

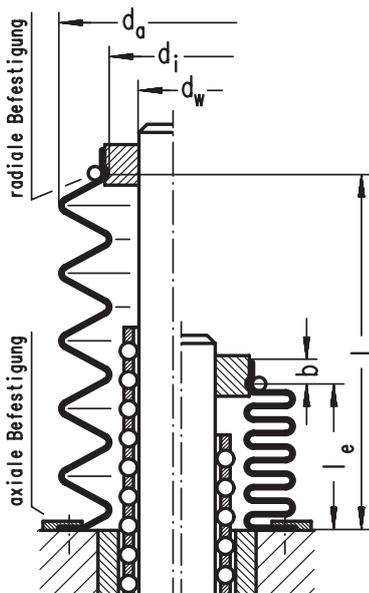
#### Hub H

Abhängig von der Länge l<sub>2</sub>  
des eingebauten Kugelkäfigs.

$$H_{\max} = 2 (l_3 - l_2)$$

## Faltenbalg aus Chromleder

**N 820**



### Eignung

Faltenbalg aus Leder zur Abdeckung offener Kugelführungen.

- Schutz offener Kugelführungen vor Verschmutzung.
- Keine Beeinträchtigung der Leichtgängigkeit der Führung.
- Individuell angepasst an die Einbausituation.

### Merkmale

- Das Verhältnis Innendurchmesser  $d_i$  zum Außendurchmesser  $d_a$  ist so gewählt, dass der Faltenbalg über eine gute Stabilität verfügt.
- Optimales Einzugsverhältnis ( $l/l_e$ ).
- Im Gegensatz zu Faltenbälgen aus Gummi oder Kunststoff wird die Leichtgängigkeit der Kugelführung nicht beeinflusst.
- Der natürliche Werkstoff ist gegen Umwelteinflüsse weitgehend resistent. (Vorsicht bei Verwendung von Kühlflüssigkeiten!)

### Werkstoff

- chromgegerbtes schwarzes Vollrindleder
- imprägniert, dadurch öl-, wasser- und witterungsbeständig

### Verfügbarkeit

Faltenbälge werden auftragsbezogen gefertigt. Siehe bevorzugte Abmessungen.

### Bestell-Text

N 820/ $d/d_a/l_e$  .../a für axiale Befestigung  
 .../r für radiale Befestigung  
 .../a, r für axiale und radiale Befestigung

$d_w$	$d_i$	$d_a$	q	$l_{max}$	b
12	22	40	0,25	500	6
14-16	27	45	0,25	500	6
		50	0,22		
18-20	31	50	0,25	500	6
		58	0,22		
24-25	36	55	0,25	1000	6
		60	0,20		
30-32	42	65	0,25	1500	8
	46	70	0,25	1500	8
		75	0,20		
40-42	56	80	0,25	1500	8
		85	0,18		
50-52	68	100	0,20	1500	8
		110	0,15		
63	80	110	0,20	1500	10
		120	0,15		
80	100	140	0,12	1500	10
100	120	160	0,12	1500	10

$$l_e = l \cdot q$$

q = Faktor für Einzugslänge  $l_e$



**FAX-Anfrage: Leschhorn Kugelführungen von Mahr**  
**Fax Nr: +49(0)69 419238**

Absender: \_\_\_\_\_  
 Firma: \_\_\_\_\_  
 Anschrift: \_\_\_\_\_  
 Anfrage-Zeichen: \_\_\_\_\_  
 Bearbeiter techn.: \_\_\_\_\_ Abt.: \_\_\_\_\_ Tel.-Nr.: \_\_\_\_\_ Fax-Nr.: \_\_\_\_\_  
 Bearbeiter kaufm.: \_\_\_\_\_ Abt.: \_\_\_\_\_ Tel.-Nr.: \_\_\_\_\_ Fax-Nr.: \_\_\_\_\_

**Forderungen an die Kugelführungen:**

- Branche:     Maschinenbau     Werkzeugbau     Betriebsmittelbau     Werkzeugmaschine  
                   Verpackung     Montage     Sondermaschine     Zubehör  
                   Feinwerk. / Optik     Medizintechnik     \_\_\_\_\_     Mikroskopie  
                   Messtechnik     \_\_\_\_\_     sonstige \_\_\_\_\_

- Umgebung:    Temperatur: \_\_\_\_\_     flüssige Stoffe: \_\_\_\_\_  
                   Schmutz / Staub: \_\_\_\_\_     aggressive Medien: \_\_\_\_\_  
                   Reinraumbedingung: \_\_\_\_\_     Vakuum: \_\_\_\_\_  
                   sonstiges: \_\_\_\_\_

- Belastung:     Hubbewegung    Hublänge \_\_\_\_\_ Hubzahl / min. \_\_\_\_\_  
                   Drehbewegung    Drehzahl / min. \_\_\_\_\_  
                   Hub-/Dreh-Bewegung  
                  Radiallast (N): \_\_\_\_\_ Momentlast (Nm): \_\_\_\_\_ (Skizze)

- Forderungen:     Führungsgenauigkeit über Hublänge: \_\_\_\_\_     Leichtgängigkeit

**Kugelführung bestehend aus:**

	Typ	Größe ( $d_W/d_1/l$ )	Best.-Nr.	Bedarf (Stück)	Wunschtermin
<b>Führungswelle</b>	<input type="radio"/> N 400				
	<input type="radio"/> N 421				
	<input type="radio"/> N 423				
	<input type="radio"/> N 425				
	<input type="radio"/> Ausführung nach Zeichnung				
<b>Kugelkäfig</b>	<input type="radio"/> N 500				
	<input type="radio"/> N 501				
	<input type="radio"/> N 511				
	<input type="radio"/> N 502 Mini				
	<input type="radio"/> Ausführung nach Zeichnung				
<b>Führungsbuchse</b>	<input type="radio"/> N 550				
	<input type="radio"/> N 552				
	<input type="radio"/> N 553				
	<input type="radio"/> N 570				
	<input type="radio"/> Ausführung nach Zeichnung				

**Anlage:** \_\_\_\_\_

Mahr

## HOCHGENAU KUGELFÜHRUNGEN MARMOTION VON MAHR



- 0 +

Mahr

EXACTLY

- Höchste Führungsgenauigkeit
- Spielfreie Führung
- Dreh- und Hubbewegung
- Leichter Lauf
- Hohe Belastbarkeit und Führungssteifigkeit
- Lange Lebensdauer

## ► I Technische Beschreibung

### 1. Allgemeine Beschreibung 34

### 2. Aufbau, Funktion, Eigenschaften 35

- 2.1 Aufbau und Funktion
- 2.2 Vorspannung
- 2.3 Zuordnung von Wellen- und Kugeldurchmesser
- 2.4 Reibbeiwert  $\mu$

### 3. Hinweise zu Konstruktion und Einbau 37

- 3.1 Wichtige Hinweise zur Konstruktion
- 3.2 Befestigung der Führungsbuchse
- 3.3 Befestigung der Führungswelle
- 3.4 Einbau des Kugelkäfigs
- 3.5 Sonderausführungen

### 4. Wartung und Lebensdauer 41

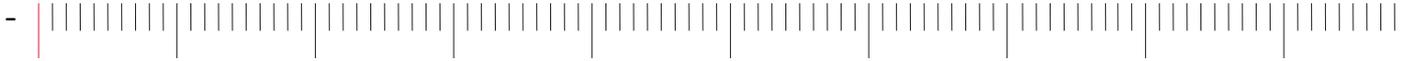
- 4.1 Schmierung
- 4.2 Trockenlauf
- 4.3 Verschleiß
- 4.4 Wartungsintervalle
- 4.5 Angaben zur Lebensdauer

### 5. Berechnung der Kugelführung 42

- 5.1 Hubweg und Eingriffsstrecken
- 5.2 Tragfähigkeit bei Radialbelastung
- 5.3 Spezifische Tragzahl  $C_{10}$
- 5.4 Zulässige Beschleunigungen bei Hubbewegung
- 5.5 Zulässige Drehzahlen für den Kugelkäfig

### 6. Anhang 49

- 6.1 Formelzeichen
- 6.2 Internationale Maßeinheiten und Werkstoffbezeichnungen



Mahr

## 1. Allgemeine Beschreibung

Die MarMotion Hochgenau Kugelführung von Mahr hat sich in den letzten Jahrzehnten über ihren ursprünglichen Anwendungsbereich in der Stanztechnik hinaus im allgemeinen Maschinen- und Vorrichtungsbau, in der Feinwerktechnik und Optik, sowie auf vielen Sondergebieten als Präzisionsführung für Dreh- und Hubbewegungen bewährt.

Im Laufe dieser Entwicklung entstanden bei Mahr Berechnungsgrundlagen, die sich auf langjährige Erfahrung stützen und durch die Zusammenarbeit mit verschiedenen Technischen Hochschulen belegt sind. Diese Erkenntnisse dienen heute dem Konstrukteur dazu, die Kugelführung für eine Anwendung zu optimieren. Das Ergebnis zeichnet sich aus durch eine sehr gute Führungsgenauigkeit, hohe Funktionssicherheit und lange Lebensdauer.

Die mit Präzision von Mahr gefertigten Kugelführungen sichern für den Anwender die Austauschbarkeit der Komponenten. Die MarMotion Hochgenau Kugelführung kann somit den Maschinen- und Konstruktionselementen hinzugerechnet werden.

## Merkmale

MarMotion Hochgenau Kugelführungen zeichnen sich im Wesentlichen durch folgende Merkmale aus:

### Höchste Führungsgenauigkeit

Die MarMotion Hochgenau Kugelführung bietet eine sehr hohe Führungsgenauigkeit sowohl für Hubbewegungen, als auch für Drehbewegungen. Dies wird erreicht durch feinstbearbeitete Laufflächen von Welle und Buchse, deren Formgenauigkeit bezogen auf Rundheit und Zylindrizität innerhalb 1/3 der ISO-Toleranzklasse IT 3 liegt, sowie durch die ausschließliche Verwendung von Stahlkugeln der Güteklasse Grade 5, Sorte P0, nach DIN 5401 bzw. ISO 3290.

### Spielfreie Führung

Die unter Vorspannung von einigen  $\mu\text{m}$  zwischen Welle und Buchse abrollenden Kugeln sichern die Spielfreiheit der Führung. Die optimale Vorspannung ist bereits werkseitig eingestellt durch Paarung von Welle, Kugelförmig und Buchse. Dadurch vereinfacht sich die Montage der Führung.

### Leichter Lauf

Die MarMotion Hochgenau Kugelführung ermöglicht höchste Führungsgenauigkeit in Verbindung mit extrem geringer Reibung. Eine reine Abwälzbewegung der Kugeln auf feinstbearbeiteten Oberflächen führt zu Reibwerten zwischen 0,001 und 0,008 und gewährleistet leichtesten, ruckfreien Lauf.

### Hohe Belastbarkeit und Führungssteifigkeit

Durch die dichte Kugelanordnung und die hohe Form- und Maßgenauigkeit von Kugeln und Laufflächen der MarMotion Hochgenau Kugelführung ist eine große Anzahl von Tragpunkten und damit eine gleichmäßige Kraftverteilung in der Führung gegeben. Der Konstrukteur kann den vorhandenen Bauraum optimal nutzen. Die Funktionssicherheit der Führung wird deutlich erhöht.

### Schnelle Bewegungen, hohe Beschleunigungen

Durch den kraftschlüssigen Abwälzvorgang bei niedrigsten Reibwerten in der MarMotion Hochgenau Kugelführung sind schnelle Bewegungen mit hohen Beschleunigungen möglich. Kunststoffkäfige sind aufgrund ihrer geringen Massenkräfte für hochfrequente Dreh- und Hubbewegungen besonders geeignet.

### Lange Lebensdauer

Durch sorgfältige Auswahl und Wärmebehandlung der Werkstoffe sowie durch die in höchster Güte hergestellten Laufflächen kann die MarMotion Hochgenau Kugelführung als nahezu verschleißfrei bezeichnet werden.

### Geringe Wartung

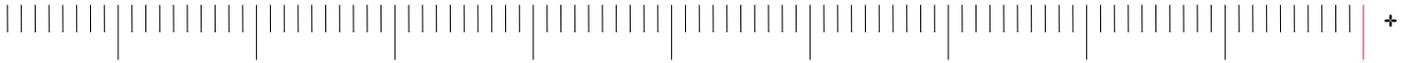
Ein dünner Schmierfilm aus Wälzlagerfett genügt in den meisten Fällen für monatelangen Dauerbetrieb. Der Aufwand für die Wartung im Betrieb ist minimal.

### Austauschbarkeit

Bei allen Einzelteilen ist durch die hochgenaue Fertigung von Welle und Buchse, die ausschließliche Verwendung von Kugeln der Sortierung P0 und eine kontinuierliche Qualitätssicherung die Austauschbarkeit gewährleistet. Ein dauerhafter problemloser Betrieb ist sichergestellt.

### Sonderausführung

Das sehr umfangreiche Katalogprogramm der MarMotion Hochgenau Kugelführung bietet passende Lösungen für den Einsatz in vielen unterschiedlichen Anwendungsbereichen. Darüber hinaus können für spezielle Anwendungen bzw. besondere Anforderungen Sonderausführungen nach Werkstück-Zeichnung angefertigt werden. Weitere Möglichkeiten ergeben sich durch die Verwendung alternativer Werkstoffe.



## 2. Aufbau, Funktion, Eigenschaften

### 2.1 Aufbau und Funktion

MarMotion Hochgenau Kugelführungen bestehen aus den zylindrischen Führungselementen Buchse und Welle, sowie Stahlkugeln als Wälzkörper, die in einem Messing- oder Kunststoffrohr unverlierbar aber leicht beweglich gehalten werden.

Führungswelle, Kugeln und Führungsbuche sind gehärtet und feinstbearbeitet. Das Gefüge ist durch sorgfältige Wärmebehandlung stabilisiert.

Die Kugeln rollen unter Vorspannung aber mit großer Leichtgängigkeit kraftschlüssig zwischen Buchse und Welle. Hubbewegungen, Drehbewegungen und überlagerte Hub-Drehbewegungen sind möglich. Durch Kraftschluss der Kugeln erfolgt die Bewegung des Käfigs zwangsläufig nach den Gesetzen der Kinematik.

### 2.2 Vorspannung

Die exakt eingestellte Vorspannung ist Voraussetzung für eine bestandungsfreie Funktion. Sie wird durch die Fertigungs-Toleranzen gezielt hergestellt und definiert. Die Vorspannung  $v$  ist die Differenz zwischen dem Maß über zwei gegenüberliegende, die Welle berührende Kugeln und dem Innendurchmesser der Führungsbuche  $d_1$ .

#### Größe der Vorspannung

Für die meisten Anwendungsfälle empfehlen wir die Vorspannungen der folgenden Tabelle. Die Werte beruhen auf theoretischen Erkenntnissen und auf praktischen Erfahrungen.

#### Vorspannungswerte

$d_w$ [mm]	$v$ [ $\mu$ m]	$d_w$ [mm]	$v$ [ $\mu$ m]
2,5/ 3	0,5 - 2	14/ 25	4 - 7
4/ 5	1 - 3	30/ 42	4 - 8
6/ 8	2 - 4	50/ 63	6 - 10
10/12	3 - 5	80/100	8 - 12

Mit diesen Vorspannungswerten erzielt die Kugelführung eine große Steifigkeit kombiniert mit hoher Leichtgängigkeit. Bei Bestellung von kompletten Kugelführungen bestehend aus Führungswelle, Kugelkäfig und Führungsbuche werden die Komponenten bereits werkseitig gepaart. Dadurch ist eine gleichmäßige, optimale Vorspannung sichergestellt.

Bedingt durch die Streubreite der Fertigungstoleranzen (IT 3) können sich durch wahlloses Zuordnen von Wellen, Kugelkäfigen und Buchsen ungünstige, von der Tabelle abweichende Vorspannungen ergeben. Kugelführungen der Mini-Reihe sollten grundsätzlich gepaart bestellt werden.

#### Bedeutung der Vorspannung

Die Vorspannung gewährleistet die absolute Spielfreiheit der MarMotion Hochgenau Kugelführung. Für Anwendungen, die besonderen Bedingungen unterliegen, kann die gewünschte Vorspannung bei der Bestellung angegeben werden.

Eine kleine Vorspannung ermöglicht eine sehr leichtgängige Kugelführung, die Steifigkeit ist jedoch begrenzt. Mit einer höheren Vorspannung nimmt die Belastbarkeit und die Steifigkeit zu. Eine sehr hohe Vorspannung führt zur Abnahme der Leichtgängigkeit.

Durch eine zu hohe Vorspannung wird der Lauf rau und schwergängig. Die Kugelführung kann durch eine zu große Flächenpressung in sich selbst überlastet werden. Dies wird durch die engen Fertigungstoleranzen der Kugelführung vermieden. Deshalb muss darauf geachtet werden, dass die Führungsbuche bei der Montage nicht verformt wird. Die Führungsbuche sollte daher nicht in die Aufnahmebohrung eingepresst oder durch Druckschrauben gesichert werden.

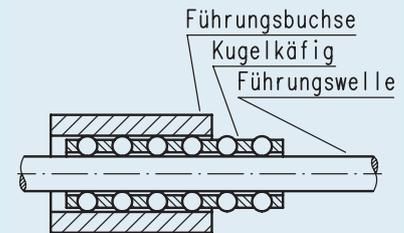
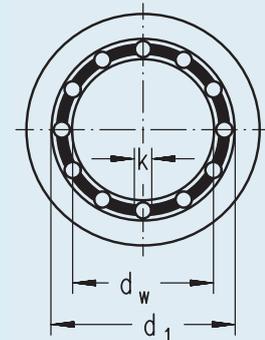


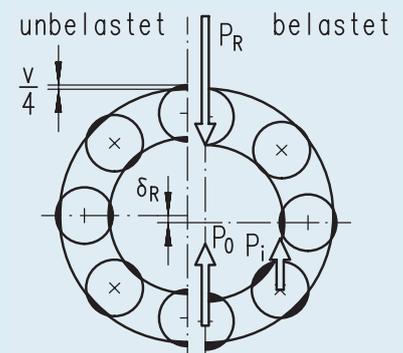
Abb. 1



$$v = d_w + 2 \cdot k - d_1 \text{ [mm]}$$

$$d_1 = d_w + 2 \cdot k - v \text{ [mm]}$$

Abb. 2



Führungsbuche, feststehend  
 $P_R$  = Radialkraft, auf Welle wirkend  
 $P_0$  = Kraft an der Scheitelkugel  
 $P_i$  = Kraft auf eine Kugel außerhalb des Lastscheitels  
 $\delta_R$  = Radialversatz zwischen der Achse der Buchse und der Welle  
 $v$  = Vorspannung

Abb. 3

## 2. Aufbau, Funktion, Eigenschaften

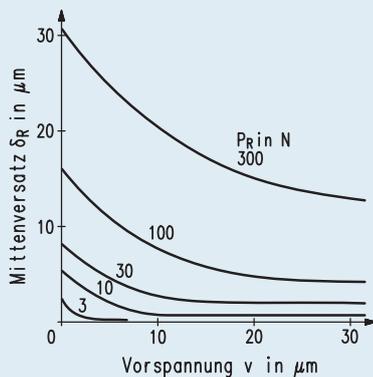


Abb. 4

### Optimale Vorspannung

Wird die Kugelführung radial mit einer Kraft  $P_R$  belastet, dann tritt eine Verlagerung um den Betrag  $\delta_R$  der Achsen von Führungsbuchse und Welle ein. Der zulässige Betrag  $\delta_R$  ist von der vorhandenen Vorspannung  $v$  abhängig, deren optimale Bemessung unter Berücksichtigung von Lebensdauer, Laufverhalten und Führungssteifigkeit erfolgen sollte.

Das Diagramm zeigt den radialen Mittenversatz einer Kugelführung in Abhängigkeit von der Vorspannung und der radialen Last. Bei einer gegebenen Radialkraft ist der Mittenversatz mit einer kleinen Vorspannung relativ groß: die Führung ist weich. Im Bereich großer Vorspannungen ist der Mittenversatz bei gleicher Radialkraft deutlich kleiner: die Führung ist hart.

Unter Berücksichtigung der Hertz'schen Pressung, der Fertigungstoleranzen und Verformungen der Bauteile beim Einbau und im Betrieb der Kugelführung, sowie unter Berücksichtigung des günstigsten Federungsverhältnisses der Kugelführung wurde den Berechnungsgrundlagen der Wert

$$\delta_R = 0,5 \cdot v$$

zugrunde gelegt. Damit wird dem Anspruch »Hochgenau« Rechnung getragen. Für die angegebenen »spezifischen Tragzahlen«  $C_{10}$  ist diese Bedingung erfüllt.

### 2.3 Zuordnung von Wellen- und Kugeldurchmesser

Aus den Gesetzen der rollenden Reibung ist bekannt, dass der Kugeldurchmesser  $k$  die Größe der Reibung beeinflusst; eine größere Kugel rollt leichter als eine kleinere.

Eine große Anzahl kleinerer Kugeln ergibt andererseits eine bessere Dämpfungsfähigkeit gegenüber Schwingungen als wenige große Kugeln.

Deshalb, und wegen des häufig begrenzten Einbauraums, wird oft der kleineren Kugel der Vorzug gegeben. Hinzu kommt, dass bei geringer Rauheit und hoher geometrischer Formgenauigkeit der Wälzelemente der Kugeldurchmesser für die Laufeigenschaften verhältnismäßig belanglos wird.

Für die MarMotion Hochgenau Kugelführungen wurde die Zuordnung von Wellen- und Kugeldurchmesser und die Kugelanzahl aufgrund eingehender Untersuchungen nach optimalen Maßstäben festgelegt.

### 2.4 Reibbeiwert $\mu$

Die Reibbeiwerte  $\mu$  gelten für Anlauf und Bewegung.

Einflussgrößen:

- Oberflächenbeschaffenheit der Wälzelemente
- Höhe von Vorspannung und Belastung
- Kugelanzahl
- Käfigreibung

MarMotion Hochgenau Kugelführungen laufen stick-slip-frei. Bei radialer Belastung gelten folgende Reibbeiwerte:

hoch  $\mu = 0,001-0,002$

mittel  $\mu = 0,003-0,004$

gering  $\mu = 0,005-0,008$

Der Rollwiderstand einer Kugelführung entsteht aus innerer Belastung durch Vorspannung und Einwirkung äußerer Radialkräfte. Bei geringer radialer Belastung überwiegt der Anteil aus Vorspannung und Käfigreibung. Deshalb steigt der Reibbeiwert  $\mu$  bei Verringerung der radialen Belastung an. Bei kleiner Radiallast und Forderung nach extremer Leichtgängigkeit muss daher mit geringer Vorspannung gearbeitet werden.

## 3. Hinweise zu Konstruktion und Einbau

### 3.1 Wichtige Hinweise zur Konstruktion

Wie bereits beschrieben ist die Vorspannung  $v$  ein wichtiges Kriterium für die Funktion der MarMotion Hochgenau Kugelführung. Von ihr ist die Belastbarkeit abhängig, die Leichtgängigkeit und, bei Überschreiten der empfohlenen Werte, die Lebensdauer.

Für den Einbau sollten folgende Hinweise beachtet werden:

- Kugelführung mehr durch Radialkraft als durch Moment belasten, um örtliche Überlastung von Kugeln zu vermeiden.
- Bei hohen Momenten zwei Führungszonen mit Zwischenraum hintereinander anordnen.
- Gegebenenfalls gemeinsames Tragrohr mit Anschraub-Flansch vorsehen.
- Angriffspunkte der Antriebskraft möglichst in die Führungsebene legen (siehe auch Kapitel 5.2).
- Stoßbelastungen vermeiden. Stöße können selbst auf gehärteten Laufflächen Kugelabdrücke hinterlassen.

### 3.2 Befestigung der Führungsbuchse

#### Einpressen vermeiden!

Durch Einpressen wird der mit sehr hoher Genauigkeit gefertigte Führungsdurchmesser  $d_1$  verformt. Die Buchse passt sich der Aufnahmebohrung an. Formfehler und erhöhte Vorspannung sind die Folge. Die Funktion der Kugelführung wird auf jeden Fall negativ beeinflusst. Aus den selben Gründen sind auch Klemmverschraubungen und Druckschrauben ungeeignet.

Die Toleranz des Außendurchmessers  $d_b$  der MarMotion Führungsbuchsen entspricht ISO-n4 (bzw. ISO-h6 für Typ N 570). Die Toleranz der Aufnahmebohrung sollte so gewählt werden, dass ein Einpressen vermieden wird.

Wir empfehlen:

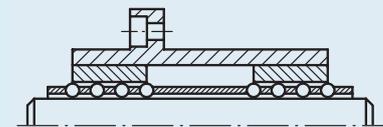
- Mechanisches Befestigen mittels Flansch, Haltestücken, Sicherungsringen, o.ä.
- Einkleben mit handelsüblichen Ein- oder Zweikomponentenklebern. Dabei sind die Klebevorschriften des Herstellers betreffend Klebespalt, Aushärtezeit usw. unbedingt zu beachten. Die Erfahrung hat gezeigt, dass ein langsam aushärtender Kleber vorteilhaft ist.
- Buchsenwandstärke nicht zu dünn ausführen. Dünnwandige Buchsen sind schwer herzustellen und verformen sich leicht bei der Montage. Richtwert für Wandstärke: Innendurchmesser  $d_1 \cdot 0,1$
- Die erforderliche Wandstärke wird von der Befestigungsart mitbestimmt.

#### Einbau mit Abdichtung

Einbau mit Abdichtung ist dann erforderlich, wenn starke Verschmutzungen, insbesondere in Form von abrasiven Stoffen, nicht auszuschließen sind oder wenn besonders hohe Anforderungen an Leichtgängigkeit, ruhigen Lauf und Lebensdauer gestellt werden.

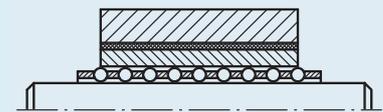
Möglichkeiten der Abdichtung:

- Dichtringe (siehe Typ N 553)
- Abstreifer (siehe Typ N 570)
- Faltenbälge (siehe Typ N 820)



getrennte Kugelzonen

Abb. 5



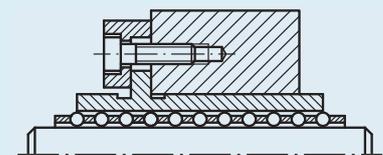
Klebespalt

Abb. 6



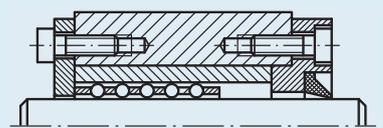
Sicherungsringe

Abb. 7



Flansch mit Haltestück

Abb. 8



Verschlussdeckel    Dichtringe, Abstreifer

Abb. 9

## 3. Hinweise zu Konstruktion und Einbau

### 3.3 Befestigung der Führungswelle

Die Führungswelle kann im Gegensatz zur Führungsbuchse geklemmt oder eingepresst werden.

Eine radial belastete Kugelführung erfährt elastische Verformungen an den Wälzflächen und zusätzlich an der Führungswelle. Die Steifigkeit der Führungswelle wird wesentlich von der Art ihrer Einspannung bestimmt.

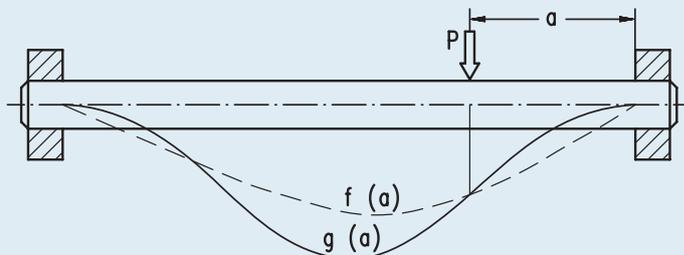
Bei relativ hoher Belastung, großer Wellenlänge und Forderung nach hoher Führungsgenauigkeit über den gesamten Hubweg sollte mindestens eine der beiden Halterungen mit einer Einspannlänge

$$s \geq 1,5 \cdot d_w$$

ausgeführt werden.

Bei einseitiger Einspannung (Kragträger) den Lastschwerpunkt möglichst nahe an die Einspannseite legen.

Träger »auf zwei Stützen« (lose Lagerung)  
f(a) Durchbiegung beim Kraftangriffspunkt A  
g(a) Biegelinie



eingespannter Träger

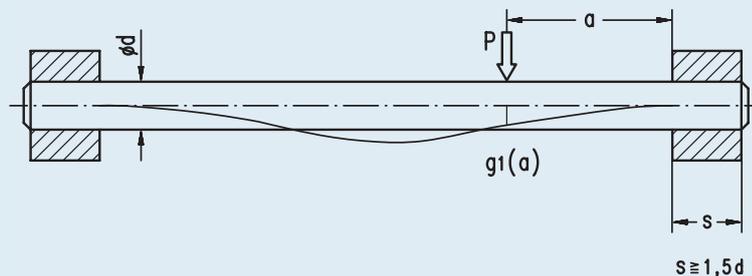


Abb. 10

#### Einpressen

Aufnahmebohrung z.B. ISO-R6 mit genau fluchtender Achslage herstellen. Die Abweichung der Parallelität zweier paarig angeordneter Wellen sollte nicht größer als der Betrag der Vorspannung sein.

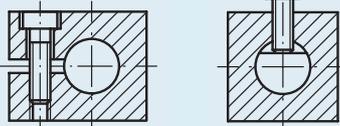
**Klemmen in Aufnahmebohrung** z.B. ISO-H6

- Indirekt mittels Schlitz und Zugschraube.
- Direkt mittels Druckschraube. Dazu Wellenende etwas anflachen, anbohren oder eindrehen zur Sicherung in Längsrichtung.

**Klemmen im Prisma**

- mittels Klemmstück
- mittels Zugschraube

#### Klemmen in Aufnahmebohrung



#### Klemmen im Prisma

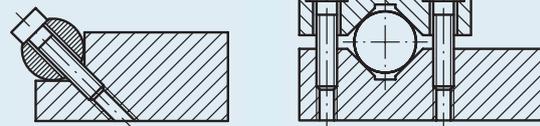


Abb. 11

#### Kleben

Um Verspannungen für Welle und Kugelführung bei schlecht fluchtenden Aufnahmebohrungen zu vermeiden, können die Aufnahmebohrungen für die Welle mit Passungsspiel hergestellt werden, z.B. ISO F7-H7. Die Welle in der Endmontage gemeinsam mit der Kugelführung einkleben und ausgerichtet aushärten lassen. Die Klebevorschriften des Herstellers betreffend Klebspalt, Aushärtezeit usw. sind zu beachten.

## 3. Hinweise zu Konstruktion und Einbau

### 3.4 Einbau des Kugelkäfigs

Werden Kugelkäfige in Verbindung mit offenen Führungsbuchsen eingesetzt, sollte der Kugelkäfig zusammen mit der Führungswelle in die Buchse einlaufen. Da Untermaß (Vorspannung) besteht, ist dieses Verfahren das einzige, welches ein Gleiten der Kugeln zwischen Buchse und Welle vermeidet.

Bei Kugelführungen mit geschlossenen Führungsbuchsen muss die Führungswelle gegen den Druck der Vorspannung eingeschoben werden. Um Abplattungen der Kugeln zu vermeiden, ist Fettschmierung dienlich.

Insbesondere bei Kugelkäfigen größerer Durchmesser ist darauf zu achten, dass der Käfig in der Führungsbuchse bei der Montage ausreichend zentriert wird.

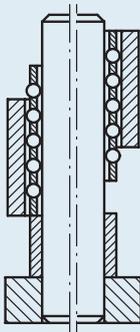
#### Wegbegrenzungen für den Kugelkäfig

Trotz kraftschlüssiger Führung kann der Kugelkäfig seine Lage in Längsrichtung verändern („Käfigwandern“).

In Kugelführungen mit offener Führungsbuchse muss der Käfigweg so begrenzt werden, dass der Kugelkäfig nicht über ein bestimmtes Maß aus der Führung herauswandern kann. Dies ist durch feste oder federnde Anschläge möglich.

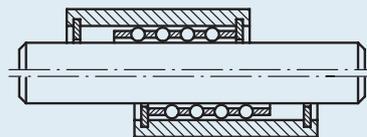
- Anschlagbuchse, die lose über die Welle geschoben wird und den Käfig in den Hub-Umkehrpunkten gegenüber dem Aufnahmekörper der Welle abstützt.
- Klemmbuchse, die an beliebiger Stelle der Welle fixiert werden kann.
- Sicherungsringe, die einen definierten Weg begrenzen.
- Schrauben-Druckfedern

#### Festanschläge



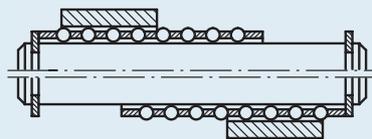
Anschlagbuchse

Abb. 12



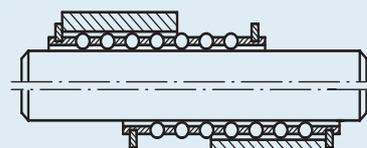
Sicherungsringe in der Buchse

Abb. 14



Sicherungsringe auf der Welle

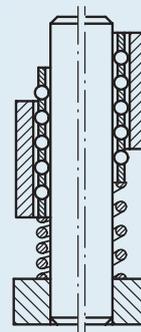
Abb. 13



Sicherungsringe auf dem Kugelkäfig

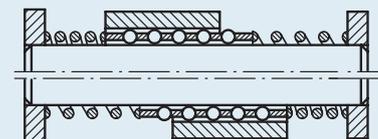
Abb. 15

#### Federnde Anschläge



einseitig Schrauben-Druckfeder

Abb. 16



beidseitig Schrauben-Druckfedern

Abb. 17

## 3. Hinweise zu Konstruktion und Einbau

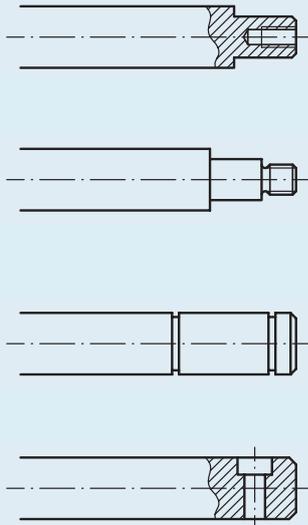


Abb. 18

### 3.5 Sonderausführungen

Abweichend von Standardgrößen und Katalogabmessungen können alle Führungselemente den Anforderungen angepasst und nach Werkstück-Zeichnung ausgeführt werden.

#### Beispiele Führungswelle:

- Führungswellen in Sonderlänge
- Innengewinde
- Ansatz mit Innen- oder Außengewinde
- Einstiche für Sicherungsringe
- Bund zur Klemmung von oben
- Querbohrung zum Anschrauben im Prisma
- Führungswellen aus nichtrostendem Wälzlagerstahl 1.4112

#### Beispiele Führungsbuchse:

- mit von den Standardgrößen abweichenden Maßen  $d_1$ ,  $d_B$ ,  $l_1$
- mit Einstichen zur Befestigung mit Sicherungsringen
- mit Flansch zur einseitigen axialen Befestigung
- aus nichtrostendem Wälzlagerstahl 1.4112

#### Beispiele Kugelkäfige:

- Kugelkäfige mit von den Standardreihen abweichenden Maßen  $d_{ww}$ ,  $l_2$ ,  $k$
- Kugelkäfige mit erhöhter Kugelzahl für besonders hohe Belastung
- Kugelkäfige mit Kugeln aus nichtrostendem Wälzlagerstahl (1.4112) oder anderen Werkstoffen



## 4. Wartung und Lebensdauer

MarMotion Hochgenau Kugelführungen sind praktisch wartungsfrei. Sie werden mit Korrosionsschutz versehen ausgeliefert. Dieser ist mit einem vorzugsweise ölhaltigen Reinigungsmittel abzuwaschen. Damit ist die Kugelführung einsatzfähig.

### 4.1 Schmierung

Im Prinzip gelten hier die gleichen Vorschriften wie bei Kugellagern: Ein dünner Schmierstofffilm genügt, je nach Belastung, für einen langen Dauerbetrieb. Die heute handelsüblichen Wälzlagerschmierstoffe – nur solche dürfen verwendet werden – weisen alle Eigenschaften auf, die einen störungsfreien Betrieb einer Kugelführung gewährleisten.

Wälzlagerschmierstoffe besitzen eine gute Konsistenz, sind chemisch neutral, nicht harzend und sind frei von schmirgelnden Stoffen. Schmierstoff-Additive sind nach den Einsatzbedingungen (Temperatur, Druck, Drehzahl, Korrosionsverhalten u.a.) auszuwählen. Fette und Öle sind im Prinzip gleichwertig. Zu beachten ist, dass Fette nur äußerst sparsam angewendet werden dürfen, um Temperaturentwicklung aus Walkarbeit zu vermeiden.

Bevorzugt werden Fette für Lebensdauerschmierung verwendet. Eventuell vorhandene Zentralschmieranlagen können selbstverständlich auch Kugelführungen versorgen.

Festschmierstoffe sind für Kugelführungen ungeeignet.

### 4.2 Trockenlauf

Es sind Anwendungsfälle bekannt, bei denen Schmierung unzulässig ist, z.B. in der Lebensmittel- und Textilindustrie oder bei Einsatz im Hochvakuum. Geringe Belastung vorausgesetzt, ist die MarMotion Hochgenau Kugelführung aufgrund der hohen Fertigungsqualität auch für Trockenlauf geeignet.

Ausführungen aus nichtrostendem Wälzlagerstahl 1.4112 (Sonderausführung) haben hier Vorteile.

### 4.3 Verschleiß

Der Verschleiß von Kugelführungen ist bei Beachtung der Wartungshinweise so gering, dass er vernachlässigt werden kann.

Treten trotzdem Verschleißerscheinungen z.B. in Form von deutlich sichtbaren Laufspuren an den Wälzflächen auf, können folgende Ursachen gegeben sein:

- Die Führung ist mit schmirgelnden bzw. abrasiven Stoffen verschmutzt.
- Durch Kondenswasser bildet sich an den Kontaktstellen zwischen Kugel, Welle und Buchse Korrosion.
- Starke Momentkräfte führten zu einer teilweisen Überlastung.

Bei hohen Hub- oder Drehzahlen können die oben genannten Gründe zu einer schnellen Zerstörung der Wälzflächen führen. In allen Fällen muss für eine konsequente Abstimmung des Störeinflusses gesorgt werden.

### 4.4 Wartungsintervalle

Bei offenen oder nur teilweise geschützten Kugelführungen ist eine regelmäßige Reinigung mit nachfolgendem Einfetten im Rahmen von allgemeinen Wartungsarbeiten von Vorteil. Es verbessert Eigenschaften und Gebrauchsdauer der Kugelführung.

### 4.5 Angaben zur Lebensdauer

MarMotion Hochgenau Kugelführungen sind vorgespannte Wälzlager, daher unterliegen sie im wesentlichen den gleichen Gesetzen, wie sie bei Kugellagern gegeben sind.

#### Lebensdauer von Wälzlagern

Die rechnerische Lebensdauer eines Wälzlagers ist die Anzahl Laufstunden, die 90% einer größeren Reihe gleicher Lager unter gleichen Betriebsverhältnissen mindestens erreichen, zum Teil aber auch wesentlich überschreiten, während 10% vorher unbrauchbar werden können. Die Lebensdauer ist demnach ein Wahrscheinlichkeitswert.

#### Lebensdauer von MarMotion Hochgenau Kugelführungen

Die in diesem Katalog genannten Tragzahlen  $C_{10}$  wurden nach dem Gesichtspunkt einer hochgenauen Führung festgelegt und stellen nicht die Grenzen der Belastbarkeit dar. Unter der Voraussetzung, dass die Kugelführung absolut frei von Verschmutzungen bleibt und eine geeignete Schmierung sichergestellt ist, kann mit einer nahezu unbegrenzten Lebensdauer gerechnet werden. Dabei darf die am höchsten belastete Kugelzone mit nicht mehr als  $P_{10} \leq C_{10}$  belastet werden.

Die Sicherheit steigt in dem Maße, wie die Tragzahl  $C_{10}$  größer ist als die mit  $P_{10}$  am höchsten belastete Kugelzone.

Mahr

## 5. Berechnung der Kugelführung

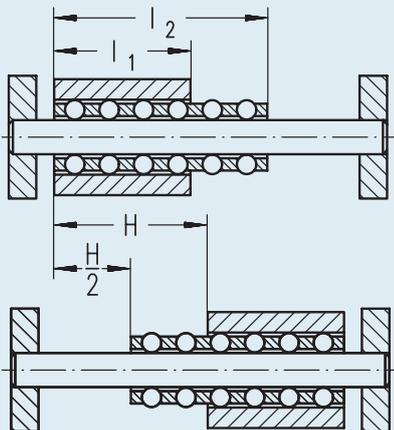


Abb. 19

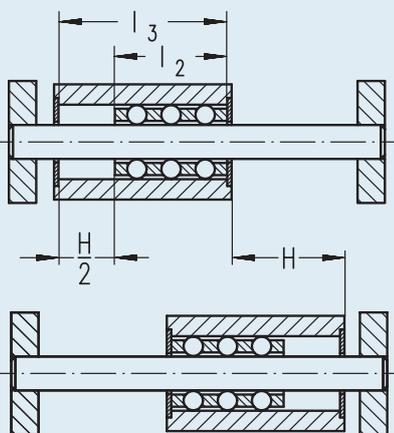


Abb. 20

d <sub>w</sub> [mm]	E [mm]		
	N 500	N 501	N 502
3	-	-	5
4 - 5	-	10	8
6 - 8	-	12	10
10 - 12	12	15	12
14 - 16	-	18	15
18 - 20	12	18	15
25	12	20	-
32 - 40	15	22	-
50 - 63	-	30	-
80 - 100	-	45	-

Abb. 21

Die vorliegenden Berechnungsunterlagen ermöglichen es dem Konstrukteur, für eine gegebene Konstruktionsaufgabe die geeignete Kugelführung zu bestimmen.

Die Berechnung der Kugelführungen geht grundsätzlich von den für Kugellager geltenden Gesetzen aus. Sie unterscheidet sich jedoch wesentlich in der Form, dass bei Kugelführungen die Bewegung mit zwei Freiheitsgraden verlaufen kann, und somit zusätzlich die Längsabmessungen und Beschleunigungen zu berücksichtigen sind. Hinzu kommt, dass die inneren Schmiegungsverhältnisse wesentlich anders sind als bei den meisten Kugellagern.

Bei der Aufgabe, eine geeignete Kugelführung zu bestimmen, stehen folgende Merkmale und Eigenschaften im Vordergrund:

- Spielfreiheit
- Führungsgenauigkeit
- Leichtgängigkeit
- Tragfähigkeit
- Hub- und Drehfrequenz
- Lebensdauer
- Hauptabmessungen

Zu bestimmende Größen sind:

- Wellendurchmesser d<sub>w</sub>
- Buchsenlänge l<sub>1</sub>, l<sub>3</sub>
- Käfiglänge l<sub>2</sub>

Aus der Nenngroße d<sub>w</sub> und dem Käfigtyp ergibt sich die spezifische Tragzahl C<sub>10</sub>. Die Längen der Führungsbuchse und des Kugelkäfigs bestimmen die Eingriffsstrecke der Kugelführung. Aus diesen Werten ergibt sich die Tragfähigkeit der Kugelführung im Betrieb.

### 5.1 Hubweg und Eingriffsstrecken

Die Kugeleingriffsstrecken werden von der gegenseitigen Lage von Führungsbuchse, Kugelkäfig und Führungswelle in der Hubendstellung bestimmt. Das Zusammenspiel der Baulängen l<sub>1</sub> und l<sub>2</sub> während der Bewegungsabläufe über den Hub bedingt unterschiedliche Betriebsarten.

**Offene Kugelführung** (siehe Abb. 19)

Käfiglänge l<sub>2</sub> gleich oder größer als die Buchsenlänge l<sub>1</sub>.

Hub:  $H = 2(l_2 - l_1)$

**Geschlossene Kugelführung** (siehe Abb. 20)

Buchsenlänge l<sub>3</sub> größer als Käfiglänge l<sub>2</sub>, der Kugelkäfig bleibt innerhalb der Buchse.

Hub:  $H = 2(l_3 - l_2)$

Für beide Betriebsarten ist eine über den gesamten Hub (in jeder Hubstellung) gleichbleibende Eingriffsstrecke E anzustreben. Bei geschlossenen Kugelführungen ist das zwangsläufig der Fall, bei offenen Kugelführungen sollte in den Hubendstellungen die Buchse mit dem Käfig abschließen. Wenn die Buchse über das Käfigende hinaus läuft, verkürzt sich die Eingriffsstrecke und damit die Tragfähigkeit der Kugelführung in dieser Hubstellung.

Die kleinste zulässige Kugeleingriffsstrecke E muss durch Berechnung der Tragfähigkeit ermittelt werden. Als Richtwerte können dabei die Tragzahlen der Kugelkäfige angenommen werden.

#### Bezugsstrecke e

Zur Berechnung einer Kugelführung ist stets die Ermittlung der Bezugsstrecke

e = Kugeleingriffsstrecke bei ungünstiger Lastverteilung erforderlich.

(siehe Abb. 23 und 24)

#### Bei geringer Belastung

Für Kugelführungen zur genauen Führung ohne wesentliche Belastung werden in Abhängigkeit von d<sub>w</sub> folgende Werte E empfohlen: siehe Tabelle in Abb. 21

## 5. Berechnung der Kugelführung

### 5.2 Tragfähigkeit bei Radialbelastung

Die Radialbelastung einer Kugelführung wird durch die Lage des Angriffspunktes der Radialkraft  $P_R$  in Bezug auf die Mitte der Kugeleingriffsstrecke  $e$  bestimmt.

Die Radialkraft  $P_R$  kann auch als Resultierende mehrerer Kräfte angesehen werden. Je nach Lage des Kraftangriffspunktes ergeben sich die in der Übersicht dargestellten Formen der Radialbelastung.

Die in der Übersicht gegebene Darstellung berücksichtigt die Auslenkung der Kugelführung unter Belastung, welche durch die elastische Verformung der Kugeln und der Wälzflächen der Führungsbuchse und der Führungswelle bedingt ist. Die Achsen von Führungsbuchse und Führungswelle werden als starr angenommen; die Durchbiegung der Welle ist daher ggf. noch einzurechnen.

#### Belastung der Kugelführung darstellbar durch

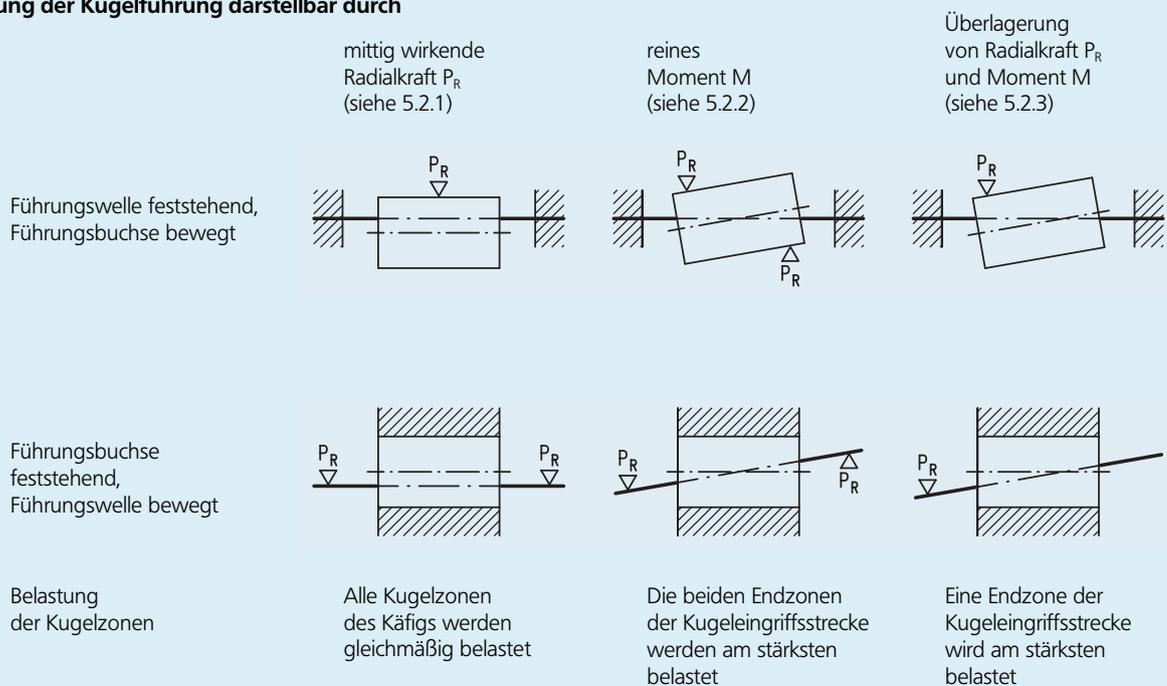


Abb. 22

Die statische Radialbelastung kann in verschiedenen Formen auftreten:

1. Die Radialbelastung ist konstant und gleichmäßig verteilt und entspricht einer mittig wirkenden Radialkraft  $P_R$ .
2. Die Radialbelastung ist über die Länge ungleichmäßig verteilt. Im Sonderfall besteht sie aus einem reinen Moment  $M$ .

Bei den verschiedenen Formen der Radialbelastung werden die einzelnen Kugelzonen unterschiedlich beansprucht. Die Berechnung der Tragfähigkeit basiert auf der Ermittlung des höchsten radialen Kraftanteils  $P_{10}$  einer 10 mm langen Kugelzone. Im Folgenden werden für die verschiedenen Formen der statischen Radialbelastung die Beziehungen zwischen der äußeren Belastung  $P_R$  bzw.  $M$  und dieser spezifischen Radialkraft  $P_{10}$  angegeben.

Die elastische Verformung der Kugelzonen bewirkt eine Auslenkung der Kugelführungsachse. Entsprechend der Belastung ist auch die elastische Verformung der einzelnen Kugelzonen unterschiedlich. Bei einer spezifischen Radialkraft  $P_{10}$  wird die radiale Auslenkung der Achse der am höchsten belasteten 10-mm-Kugelzone als spezifische Auslenkung  $A_{10}$  definiert. Mit ihrer Hilfe lässt sich die zu erwartende Auslenkung der Welle am Kraftangriffspunkt  $A$  berechnen.

#### 5.2.1 Gleichmäßige konstante Radialbelastung

Der radiale Kraftanteil jeder 10 mm langen Kugelzone beträgt

$$P_{10} = \frac{P_R}{e} \cdot 10 \text{ [N]}$$

$P_R$  in N, Kugeleingriffsstrecke  $e$  in mm

Die zu erwartende parallele Verlagerung der Welle beträgt:

$$A_{10} = P_{10} \cdot R_{10} \text{ [\mu m]}$$

$P_{10}$  in N,  $R_{10}$  in  $\mu\text{m}/\text{N}$  aus Tabelle Abb. 27 bzw. 28

## 5. Berechnung der Kugelführung

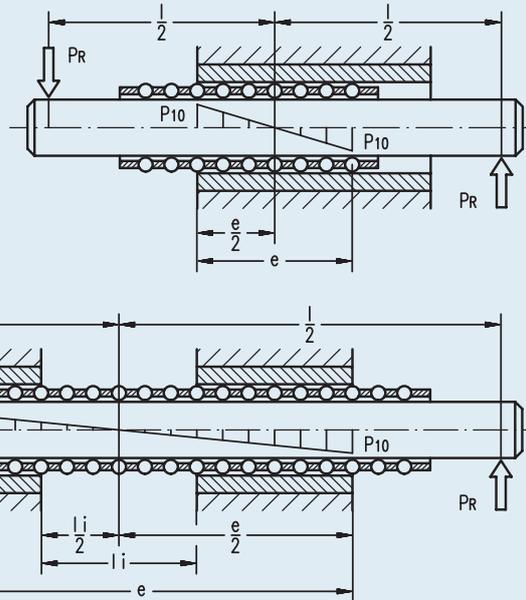


Abb. 23

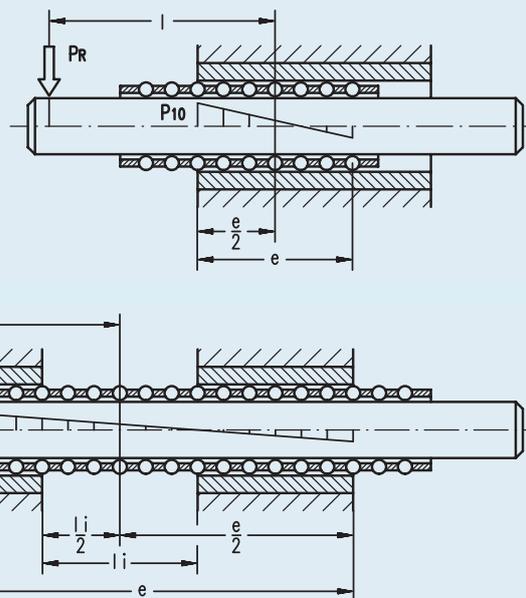


Abb. 24

### 5.2.2 Radialbelastung als reines Moment

Die Endzonen der Kugeleingriffsstrecke  $e$  werden sowohl bei einteiligen als auch bei zweiteiligen Kugelführungen am stärksten belastet.

$$\text{Moment } M = P_R \cdot l \text{ [Nm]}$$

$P_R$  in N,  $l$  in m

Spezifische Radialkraft

$$P_{10} = g \cdot M \text{ [N]}$$

$g$  in  $\text{m}^{-1}$

Der Faktor  $g$  wird aus dem Diagramm in Abb. 25 entnommen. Bei einteiliger Kugeleingriffsstrecke ist  $l_i = 0$ .

Zu erwartende Auslenkung am Angriffspunkt der Radialkraft  $P_R$ :

$$\text{Auslenkung } A = \frac{l}{e} \cdot P_{10} \cdot R_{10} \text{ [\mu m]}$$

$R_{10}$  in  $\mu\text{m}/\text{N}$  aus Tabelle Abb. 27

Die Durchbiegung der Welle wird nicht berücksichtigt.

### 5.2.3 Ungleichmäßige Radialbelastung

Die Kugelzone an der Seite des Radialkraftangriffs ist am stärksten belastet.

Die spezifische Radialkraft  $P_{10}$  setzt sich zusammen aus Anteilen des Moments  $M$  und der Radialkraft  $P_R$ .

Spezifische Radialkraft

$$P_{10} = g \cdot M + h \cdot P_R \text{ [N]}$$

$g$  in  $\text{m}^{-1}$ ,  $h$  dimensionslos,  
 $M$  in Nm,  $P_R$  in N

Die Faktoren  $g$  und  $h$  werden entsprechend dem Abstand  $l_i$  aus den Diagrammen Abb. 25 und Abb. 26 entnommen. Bei einteiliger Kugeleingriffsstrecke ist  $l_i = 0$ .



## 5. Berechnung der Kugelführung

Nach der Berechnung von  $P_{10}$  zeigt der Vergleich mit der spezifischen Tragzahl  $C_{10}$  (Tabellen Abb. 27 und Abb. 28), ob die Kugelführung richtig dimensioniert ist.

**Forderung:**  $P_{10} \leq C_{10}$

Die Auslenkung  $A$  wird wie unter Abschnitt 5.2.2 berechnet.

**Rechenbeispiel:**

gesucht: Belastung der am stärksten belasteten Kugelzone

gegeben: einseitig wirkende Radialkraft

$$P_R = 1000 \text{ N}$$

$$l = 300 \text{ mm}$$

$$\text{Eingriffsstrecke } e = 200 \text{ mm}$$

$$\text{Abstand zwischen den Kugelzonen } l_i = 100 \text{ mm}$$

Lösung:  $P_{10} = g \cdot M + h \cdot P_R$

$$M = P_R \cdot l$$

$$= 1000 \text{ N} \cdot 0,3 \text{ m} = 300 \text{ Nm}$$

$$g = 2 \text{ m}^{-1} \text{ (aus Diagramm Abb.25)}$$

$$h = 0,11 \text{ (aus Diagramm Abb. 26)}$$

$$P_{10} = 2 \text{ m}^{-1} \cdot 300 \text{ Nm} + 0,11 \cdot 1000 \text{ N}$$

$$P_{10} = 710 \text{ N}$$

### 5.3 Spezifische Tragzahl $C_{10}$

#### Definition

Die **spezifische Tragzahl  $C_{10}$**  ist die radiale Belastbarkeit einer 10 mm langen Kugelzone **einer MarMotion Hochgenau Kugelführung** unter Berücksichtigung des Nenndurchmessers  $d_w$ , der Vorspannung  $v$  und des Käfigtyps N 500, N 501, N 511 oder N 502.

Im Abschnitt 5.2 wurde ausgehend von der Belastung der Kugelführung die spezifische Radialkraft  $P_{10}$  ermittelt.

Es muss stets gelten:

$$P_{10} \leq C_{10}$$

$C_{10}$  ist abhängig von:

Nenndurchmesser  $d_w$ , Kugeldurchmesser  $k$  und Kugelanzahl, Vorspannung  $v$  und den Kriterien Flächenpressung an den Berührungstellen zwischen den Wälzkörpern und Wälzflächen von Welle und Buchse (Hertz'sche Pressung), sowie der elastischen Auslenkung der Wellenachse aus der 0-Lage, zu errechnen über den Wert  $R_{10}$ -Federung einer 10 mm langen Kugelzone.

**Die Festlegung der spezifischen Tragzahlen  $C_{10}$  der Mahr-Kugelkäfige N 500 und N 501 in den Tabellen Abb. 27 und Abb. 28 erfolgte unter Wahrung des Anspruchs der Hochgenau Kugelführung.**

**Die elastische Auslenkung sollte unter Belastung  $P_{10} = C_{10}$  nicht größer sein als der halbe Wert der Vorspannung  $v$ .**

$$\delta_{R,max} = 0,5 v \text{ [}\mu\text{m]}$$

Die Tabellen-Werte  $C_{10}$  und  $R_{10}$  sind in Abhängigkeit von der Vorspannung  $v$  so angegeben, dass diese Bedingung eingehalten wird.

Die **Federung  $R_{10}$**  [ $\mu\text{m}/\text{N}$ ] ist die Auslenkung der Achse einer 10 mm langen Kugelzone unter radialer Belastung von 1 N.

Die Auslenkung einer 10 mm langen Kugelzone errechnet sich aus:

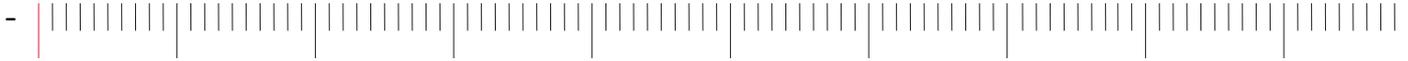
$$A_{10} = P_{10} \cdot R_{10} \text{ [}\mu\text{m]}$$

#### Berechnungsweg I

Nach Ermittlung der spezifischen Radialkraft  $P_{10}$  wird aus einer der Tabellen der erforderliche Nenndurchmesser  $d_w$  entnommen, für den ein gleich hoher oder höherer Wert  $C_{10}$  gilt.

#### Berechnungsweg II

Durch den gegebenen Nenndurchmesser  $d_w$  wird aus einer der Tabellen  $C_{10}$  entnommen und für die weitere Berechnung als **zulässige** spezifische Radialkraft  $P_{10}$  eingesetzt.



Mahr

## 5. Berechnung der Kugelführung

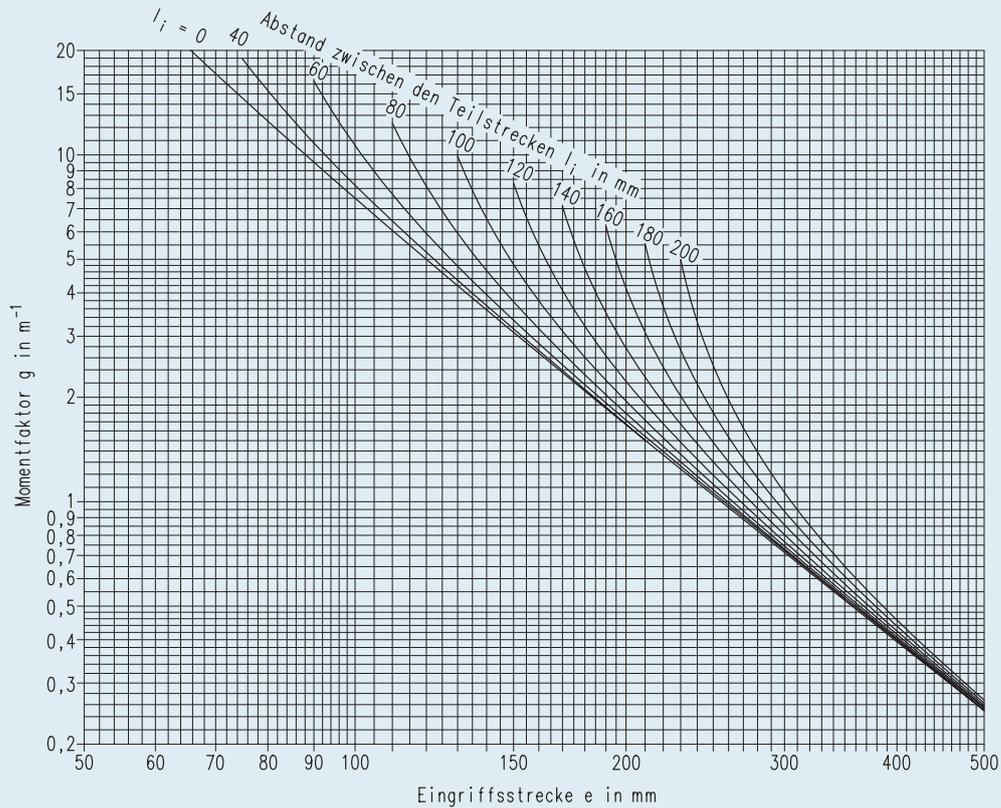


Abb. 25

**Hinweis:** Bei einer Eingriffsstrecke  $e < 60$  mm ist die Berechnungsformel für  $P_{10}$  (Abschnitt 5.2.2) nicht mehr anwendbar, da der **Momentfaktor  $g$**  aufgrund der empirischen Ermittlung eine zu große Unschärfe aufweist.

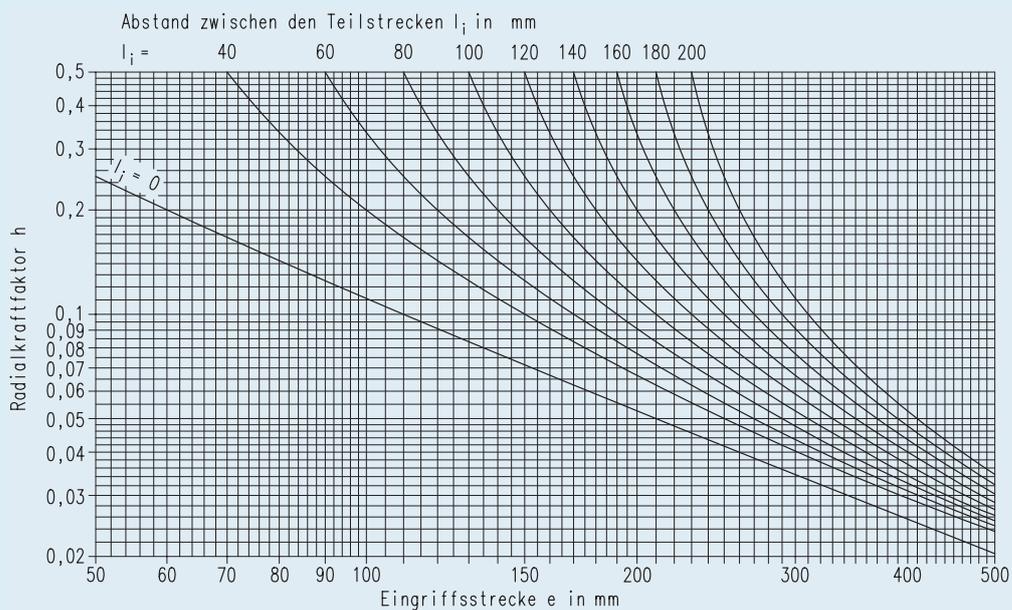


Abb. 26



## 5. Berechnung der Kugelführung

### Kugelkäfig Typ N 501: Spezifische Tragzahl $C_{10}$ und Federung $R_{10}$

Nenngröße $d_w$ [mm]	$C_{10}$ [N] $R_{10}$ [ $\mu\text{m}/\text{N}$ ]	Vorspannung $v$ [ $\mu\text{m}$ ]														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20
4	$C_{10}$	12	25	42												
	$R_{10}$	0,0075	0,055	0,042												
6	$C_{10}$	-	25	45	70											
	$R_{10}$	-	0,042	0,035	0,030											
8	$C_{10}$	-	-	50	75	101										
	$R_{10}$	-	-	0,033	0,03	0,027										
10	$C_{10}$	-	-	-	78	110	144									
	$R_{10}$	-	-	-	0,027	0,025	0,023									
12	$C_{10}$	-	-	-	92	130	170									
	$R_{10}$	-	-	-	0,023	0,021	0,019									
14-16	$C_{10}$	-	-	-	-	141	185	233	285							
	$R_{10}$	-	-	-	-	0,02	0,018	0,017	0,015							
18-20	$C_{10}$	-	-	-	-	163	215	270	331							
	$R_{10}$	-	-	-	-	0,017	0,015	0,014	0,013							
24-25	$C_{10}$	-	-	-	-	-	276	350	424	500						
	$R_{10}$	-	-	-	-	-	0,012	0,011	0,011	0,01						
30-32	$C_{10}$	-	-	-	-	-	-	380	462	560	650					
	$R_{10}$	-	-	-	-	-	-	0,01	0,01	0,009	0,009					
40-42	$C_{10}$	-	-	-	-	-	-	410	495	590	690	910				
	$R_{10}$	-	-	-	-	-	-	0,009	0,009	0,009	0,008	0,007				
50-52	$C_{10}$	-	-	-	-	-	-	-	552	658	770	1030				
	$R_{10}$	-	-	-	-	-	-	-	0,008	0,008	0,007	0,006				
63	$C_{10}$	-	-	-	-	-	-	-	-	670	780	1050	1370			
	$R_{10}$	-	-	-	-	-	-	-	-	0,008	0,007	0,006	0,006			
80	$C_{10}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	846	1110	1430	1720		
	$R_{10}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,007	0,006	0,006	0,005		
100	$C_{10}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1230	1560	1880	2280	2660
	$R_{10}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,005	0,005	0,005	0,004	0,004

Die Werte  $C_{10}$  und  $R_{10}$  sind jeweils für die zulässigen Vorspannungen angegeben.

Abb. 27

### Kugelkäfig Typ N 500: Spezifische Tragzahl $C_{10}$ und Federung $R_{10}$

Nenngröße $d_w$ [mm]	$C_{10}$ [N] $R_{10}$ [ $\mu\text{m}/\text{N}$ ]	Vorspannung $v$ [ $\mu\text{m}$ ]						
		5	6	7	8	9	10	12
18-20	$C_{10}$	188	248	312	382			
	$R_{10}$	0,014	0,013	0,012	0,011			
24-25	$C_{10}$	-	300	370	460	550		
	$R_{10}$	-	0,01	0,009	0,009	0,009		
30-32	$C_{10}$	-	-	380	470	560	660	
	$R_{10}$	-	-	0,01	0,009	0,009	0,008	
38-42	$C_{10}$	-	-	443	540	645	750	1000
	$R_{10}$	-	-	0,009	0,008	0,008	0,007	0,007

Die Werte  $C_{10}$  und  $R_{10}$  sind jeweils für die zulässigen Vorspannungen angegeben.

Abb. 28

## 5. Berechnung der Kugelführung

### 5.4 Zulässige Beschleunigungen bei Hubbewegung

Einbau				
horizontal		vertikal		
$d_w$ [mm]	$q$ [s <sup>2</sup> /m]	$b_{max}$ [m/s <sup>2</sup> ]	$q$ [s <sup>2</sup> /m]	$b_{max}$ [m/s <sup>2</sup> ]
<b>Kugelkäfig aus Kunststoff N 500</b>				
18 - 19	0,5	200	1,35	75
24 - 25	0,5	200	1,4	71
30 - 32	1,1	91	3,1	32
40 - 42	1,1	91	3,2	31
<b>Kugelkäfig aus Messing N 501</b>				
4	0,7	150	0,9	110
6	1	100	1,4	70
8 - 12	1,5	67	2	50
14 - 16	1,75	57	2,3	43
18 - 20	2	50	2,6	38
24 - 25	2,5	40	3,3	30
30 - 32	3,3	30	4,4	23
40 - 42	4	25	5,3	19
50 - 52	5	20	6,7	15
63	6,6	15	8,6	11
80	10	10	13	7,6
100	10	10	14	7

Abb. 29

Bei schnellen Hubbewegungen können große Massenkräfte am Kugelkäfig auftreten. Bei sinus-ähnlichem Bewegungsablauf sind die Massenkräfte in den Hub-Endstellungen am größten.

Die Höhe der Massenkräfte wird durch folgende Faktoren beeinflusst:

- Käfigwerkstoff Messing oder Kunststoff
- Längsbeschleunigung  $b$
- Käfiglänge  $l_2$
- Einbaulage waagrecht oder senkrecht

Die erforderliche Kugeleingriffsstrecke  $E$  errechnet sich unter Zuhilfenahme des Quotienten  $q$  aus der Beziehung:

$$E = q \cdot \frac{b \cdot l_2}{100} \text{ [mm]}$$

$b$  [m/s<sup>2</sup>];  $l_2$  [mm];  $q$  [s<sup>2</sup>/m]

Beschleunigung  $b$  bei sinusförmiger Bewegung:

$$b = \left(\frac{\pi \cdot f}{30}\right)^2 \cdot \frac{H}{2000} \text{ [m/s}^2\text{]}$$

$H$  [mm];  $f$  [min<sup>-1</sup>]

Der Quotient  $q$  kann den folgenden Tabellen entnommen werden.

Der errechnete Wert für  $E$  [mm] ist mit den Empfehlungen der Tabelle in Abb. 21 zu vergleichen. Der größere der beiden Werte wird für die weitere Berechnung verwendet.

Die Tabellen enthalten Richtwerte für die zulässige Längsbeschleunigung bei vollem Kugeleingriff des Kugelkäfigs. Diese Werte stellen Durchschnittswerte dar, die z.B. durch Erhöhung der Vorspannung  $v$  überschritten werden können.

### 5.5 Zulässige Drehzahlen für den Kugelkäfig

#### Drehzahlberechnung

Bei Drehbewegung errechnet sich die Käfigdrehzahl  $n_k$  - bezogen auf das jeweils stillstehende Lagerteil - wie folgt:

Welle umlaufend

$$n_k = \left(1 - \frac{k}{k + d_w}\right) \cdot \frac{n_w}{2} \text{ [min}^{-1}\text{]}$$

Buchse umlaufend

$$n_k = \left(1 + \frac{k}{k + d_w}\right) \cdot \frac{n_B}{2} \text{ [min}^{-1}\text{]}$$

es sind:

- $d_w$  [mm] = Wellendurchmesser
- $k$  [mm] = Kugeldurchmesser
- $n_w$  [min<sup>-1</sup>] = Drehzahl der Welle
- $n_B$  [min<sup>-1</sup>] = Drehzahl der Buchse

#### Richtwerte für zulässige Drehzahlen

Die größte zulässige Drehzahl einer Kugelführung hängt von der Vorspannung  $v$ , der Belastung, der Schmierung und der Wärmeableitung ab.

Die angegebenen Werte sind als Richtwerte für reine Drehbewegungen anzusehen. Kommt eine überlagerte Hubbewegung hinzu, werden die Verhältnisse je nach Hublänge und Hubfrequenz ungünstiger, so dass mit wesentlich geringeren zulässigen Drehzahlen gerechnet werden muss.

Bei schnellen Hub-Drehbewegungen ist es besser, die Bewegungsarten zu trennen.

Käfigdrehzahlen	
$d_w$ [mm]	$n_{k \text{ max}}$ [min <sup>-1</sup> ]
4 - 8	15000
10 - 12	14000
14 - 16	12000
18 - 20	10000
25	8000
32	6000
40	4000
50	2500
63	2000
80	1500
100	1000

Abb. 30



## 6. Anhang

### 6.1 Formelzeichen

	Einheit	Erklärung
A	μm	Auslenkung der Achse am Kraftangriffspunkt
A <sub>10</sub>	μm	Auslenkung der Achse einer 10-mm-Kugelzone
C	N	Tragzahl bei gleichmäßiger Radialbelastung
C <sub>10</sub>	N	spezifische Tragzahl, bezogen auf eine 10 mm lange Kugelzone
δ <sub>R</sub>	μm	Radialversatz zwischen der Achse, der Buchse und der Welle
d <sub>w</sub>	mm	Nenngröße der Kugelführung = Wellendurchmesser
e	mm	momentane Kugeleingriffsstrecke, Bezugsstrecke
E	mm	erforderliche Kugeleingriffsstrecke
g	m <sup>-1</sup>	Momentfaktor, bei Belastung mit Moment
h	-	Radialfaktor, bei unsymmetrischer Belastung
H	mm	Hub der Kugelführung
k	mm	Kugeldurchmesser
l	mm	Hebelarm bei Momentbelastung
l <sub>i</sub>	mm	Abstand zwischen den Eingriffsstrecken
l <sub>1</sub>	mm	Länge der Führungsbuchse
l <sub>2</sub>	mm	Länge des Kugelkäfigs
l <sub>3</sub>	mm	Abstand zwischen den Anlaufscheiben einer geschlossenen Führungsbuchse
M	Nm	Moment, welches die Kugelführung belastet
P <sub>R</sub>	N	Radialkraft, welche die Kugelführung belastet
P <sub>10</sub>	N	spezifische Radialkraft, bezogen auf die am höchsten belastete 10-mm-Kugelzone
R <sub>10</sub>	μm/N	Federung einer 10-mm-Kugelzone
v	μm	Vorspannung

### 6.2 Internationale Maßeinheiten und Werkstoffbezeichnungen

#### Länge:

1 in = 25,4 mm	1 mm = 0,03937 in
1 in = 25400 μm	1 μm = 0,00003937 in

#### Temperatur:

5/9 x (°F - 32) = °C	(9/5 x °C) + 32 = °F
----------------------	----------------------

#### Kraft:

1 ozf = 0,2781 N	1 N = 3,5957 ozf
1 lbf = 4,4497 N	1 N = 0,2247 lbf

#### Moment:

1 ozf in = 0,007064 Nm	1 Nm = 141,5612 ozf in
1 lbf in = 0,1130 Nm	1 Nm = 8,8478 lbf in

#### Internationale Werkstoffbezeichnungen:

100 Cr 6 (1.2067 / 1.3505)	entspricht	AISI L3 / AISI E 52100
X155 CrVMo 12 1 (1.2379)	entspricht	AISI Type D2 Tool Steel
X90 CrMoV 18 (1.4112)	entspricht	AISI 440B

Alle Angaben in diesem Katalog entsprechen dem neuesten Stand bei Herausgabe.

Änderungen durch Weiterentwicklungen, Produktneueinführungen oder wegen Irrtum behalten wir uns vor. Eventuelle Ungenauigkeiten oder Tippfehler bitten wir zu entschuldigen.

Dieses Produkt unterliegt dem Urheberrecht. Vollständiger oder auszugsweiser Nachdruck nur mit schriftlicher Genehmigung der Leschhorn GmbH & Co. KG.

Haben Sie Fragen, Kritik oder Anregungen zu diesem Katalog?

**Ihre Meinung interessiert uns.**

Bitte zögern Sie nicht – sprechen Sie uns an und lassen Sie es uns wissen!

**Leschhorn GmbH & Co. KG**  
Technische Komponenten für  
Industrie und Handwerk

Schlitzerstraße 6  
60386 Frankfurt  
Telefon: 069 - 420 97 60  
Fax: 069 - 41 92 38  
info@leschhorn.de  
www.leschhorn.de



