

Kalibrierschein / Calibration Certificate

erstellt durch das Kalibrierlaboratorium / issued by the calibration laboratory



SPEKTRA Schwingungstechnik und Akustik GmbH Dresden

Akkreditiert nach / accredited according to
DIN EN ISO/IEC 17025:2018

Mitglied im / member of the
Deutschen Kalibrierdienst **DKD**

Kalibrierzeichen
Calibration mark

0 2 9 0 0
D-K- 15183-01-00
2023-03

Gegenstand
Object **Inertial Navigation System**

Hersteller
Manufacturer

Typ
Type

Fabrikat/Serien-Nr.
Serial number

Auftraggeber
Customer

Auftragsnummer
Order No.

Anzahl der Seiten des Kalibrierscheines **9**
Number of pages of the certificate

Datum der Kalibrierung **13.03.2023**
Date of calibration

Dieser Kalibrierschein dokumentiert die metrologische Rückführbarkeit auf nationale Normale zur Darstellung der Einheiten in Übereinstimmung mit dem Internationalen Einheitensystem (SI).

Die DAkkS ist Unterzeichner der multi-lateralen Übereinkommen der European co-operation for Accreditation (EA) und der International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) zur gegenseitigen Anerkennung der Kalibrierscheine. Für die Einhaltung einer angemessenen Frist zur Wiederholung der Kalibrierung ist der Benutzer verantwortlich.

This calibration certificate documents the metrological traceability to national standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI).

The DAkkS is signatory to the multilateral agreements of the European co-operation for Accreditation (EA) and of the International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) for the mutual recognition of calibration certificates.

The user is obliged to have the object recalibrated at appropriate intervals.

Dieser Kalibrierschein darf nur vollständig und unverändert weiterverbreitet werden. Auszüge oder Änderungen bedürfen der Genehmigung des ausstellenden Kalibrierlaboratoriums. Kalibrierscheine sind bei Nennung des für die Freigabe Verantwortlichen in Klarschrift auch ohne Unterschrift gültig. Die ermittelten Kalibrierergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die kalibrierten Prüflinge.

This calibration certificate may not be reproduced other than in full except with the permission of the issuing laboratory. Calibration certificates with the full name of the approval responsible person are valid without signature. The presented calibration results relate only to the items calibrated.

Datum
Date

Leiter des Kalibrierlaboratoriums
Head of the calibration laboratory

Bearbeiter
Person in charge

15.03.2023

Philipp Begoff

Mario Gutbier



0 2 9 0 0
D-K- 15183-01-00
2023-03

1. Kalibriergegenstand

Gegenstand: **Inertial Navigation System**
Hersteller:
Typ:
Serien-Nr:

2. Kalibrierverfahren

Die Kalibrierung erfolgte nach dem Primärverfahren entsprechend der Norm: ISO 16063-11:1999-12. Das Messgerät wurde mit einer sinusförmigen Beschleunigung auf einem elektrodynamischen Schwingerreger angeregt. Die Kalibrierung erfolgte durch Vergleich der Messdaten der zu kalibrierenden Messkette mit denen der Normalmesseinrichtung. Die Messdaten der zu kalibrierenden Messkette wurden aus den im Gerät mittels Software exportiert und der Spitzenwert der Beschleunigung aus den aufgezeichneten Zeitsignalen durch Sinusapproximation ermittelt.

Die Kalibrierung der Anzeigeabweichung der Messgröße Winkelgeschwindigkeit erfolgte nach dem Vergleichsverfahren in Anlehnung an die ISO-Norm: 16063-21:2003-08 "Vibration calibration by comparison to a reference transducer" sowie in Anlehnung an die ISO-Norm 16063-15:2006-08 "Primary angular vibration calibration by laser interferometry". Der Aufnehmer wurde mit einer sinusförmigen Winkelgeschwindigkeit auf einem elektrodynamischen Dreherreger angeregt. Die Kalibrierung erfolgte durch Vergleich der Messdaten der zu kalibrierenden Messkette mit denen der Normalmesseinrichtung. Die Messdaten der zu kalibrierenden Messkette wurden aus den im Gerät mittels Software exportiert und der Spitzenwert der Beschleunigung aus den aufgezeichneten Zeitsignalen durch Sinusapproximation ermittelt.

3. Umgebungsbedingungen

Umgebungstemperatur des Prüflings: **(24,4 ± 1) °C**
Relative Luftfeuchte: **(38 ± 5) %**
Ort der Kalibrierung: **Permanentes Kalibrierlabor der Firma SPEKTRA
Heidelberger Straße 12, DE-01189 Dresden**

4. Messbedingungen

Lage der angeregten Achse(n) im Erdschwerefeld: **vertikal**
Temperatur des Prüflings: **(24,4 ± 2) °C**
Befestigung des Prüflings auf dem Schwingerreger: **geklemmt**
Einstellungen an Software
NAVdisplay **Aufzeichnung**
NAVgraph **CSV Export**
Anregungsdaten:
Ermittlung der Anzeigeabweichung
Frequenzbereich: **0,5 Hz bis 16 Hz**
Beschleunigung: **siehe Tabelle**
Anzahl der Frequenzpunkte: **14**



0 2 9 0 0
D-K- 15183-01-00
2023-03

5. Messunsicherheit

Die relativen Gesamtmessunsicherheiten für die bereitgestellten Schwingungsgrößen (Beschleunigung) betragen:

- bei Ermittlung der Anzeigeabweichung bei 1 Hz (vertikal / horizontal)	0,7%
- bei Ermittlung der Anzeigeabweichung im Frequenzbereich (vertikal / horizontal)	1,0%
0,2 Hz bis < 1 Hz	0,7%
1 Hz bis 10Hz	1,5%
> 10 Hz bis 16Hz	

Die relativen Gesamtmessunsicherheiten für die bereitgestellten Schwingungsgrößen (Winkelgeschwindigkeit) betragen:

- bei Ermittlung der Anzeigeabweichung bei 1 Hz	1,0%
- bei Ermittlung der Anzeigeabweichung im Frequenzbereich	1,0%
0,5 Hz bis < 1 Hz	1,0%
1 Hz bis 16Hz	1,0%

Angegeben ist die erweiterte Messunsicherheit, die sich aus der Standardmessunsicherheit durch Multiplikation mit dem Erweiterungsfaktor $k = 2$ ergibt. Sie wurde gemäß EA-4/02M:2013 ermittelt. Der Wert der Messgröße liegt mit einer Wahrscheinlichkeit von annähernd 95 % im zugeordneten Werteintervall.

6. Bestandteile der Normalmesseinrichtung

	Hersteller	Typ	Serien-Nr.
Schwingerreger	SPEKT RA	SE-13	003
Laser Vibrometer	Polytec	CLV-2534-4	0173364
Kalibriersystem	SPEKT RA	CS18 DKD 5	200604
Schwingerreger	APS	APS-129	1294
Laser Vibrometer	Polytec	CLV-2534-4	0173364
Kalibriersystem	SPEKT RA	CS18 DKD 5	200604
Dreherreger	Acutronic	AC1120S	70220
Vergleichsnorm	DTS	ARS PRO-300	ARS13936
Kalibriersystem	SPEKT RA	CS18 Service 2	200718

7. Ergebnisse

7.1 Anzeigeabweichung bei 1 Hz

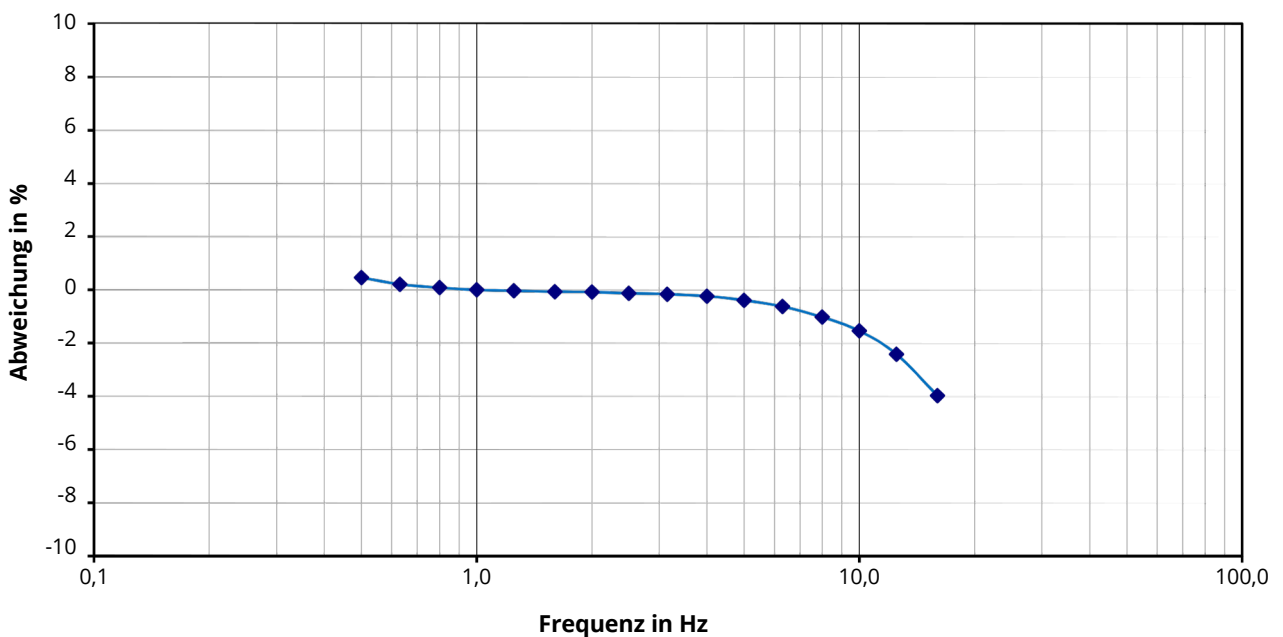
Frequenz: 1,0 Hz

Anzeigeabweichung Beschleunigung X-Achse:	0,0000 m/s ²	relativ	0,00 %
Anzeigeabweichung Beschleunigung Y-Achse:	0,0005 m/s ²	:	0,05 %
Anzeigeabweichung Beschleunigung Z-Achse:	0,0008 m/s ²	relativ	0,21 %
		:	
Anzeigeabw. Winkelgeschwindigkeit X-Achse:	0,0771 °/s	relativ:	0,77 %
Anzeigeabw. Winkelgeschwindigkeit Y-Achse:	0,0861 °/s	relativ:	0,86 %
Anzeigeabw. Winkelgeschwindigkeit Z-Achse:	0,0952 °/s	relativ:	0,95 %

**7.2 Beschleunigung - Anzeigeabweichung X-Achse
 (Absolut und Amplitudenfrequenzgang bezogen auf 1 Hz)**

Frequenz in Hz	Anregung in m/s ² peak	Anzeige in m/s ² peak	Anzeigeabweichung zur Anregung		Abweichung (bez. auf 1 Hz) in %
			in m/s ²	in %	
0,5	0,24875	0,24991	0,0012	0,47	0,5
0,63	0,3946	0,3954	0,0009	0,22	0,2
0,8	0,6359	0,6364	0,0006	0,09	0,1
1	0,9943	0,9943	0,0000	0,00	REF
1,25	1,569	1,568	0,000	-0,03	0,0
1,6	2,580	2,579	-0,002	-0,06	-0,1
2	4,036	4,033	-0,003	-0,08	-0,1
2,5	5,097	5,090	-0,006	-0,12	-0,1
3,15	5,108	5,100	-0,008	-0,16	-0,2
4	5,117	5,105	-0,012	-0,23	-0,2
5	5,130	5,110	-0,020	-0,39	-0,4
6,3	5,106	5,074	-0,032	-0,62	-0,6
8	5,130	5,077	-0,052	-1,02	-1,0
10	5,087	5,008	-0,078	-1,54	-1,5
12,5	5,021	4,900	-0,121	-2,41	-2,4
16	5,020	4,821	-0,199	-3,97	-4,0

Beschleunigung - Anzeigeabweichung der Achse X (bezogen auf 1 Hz):

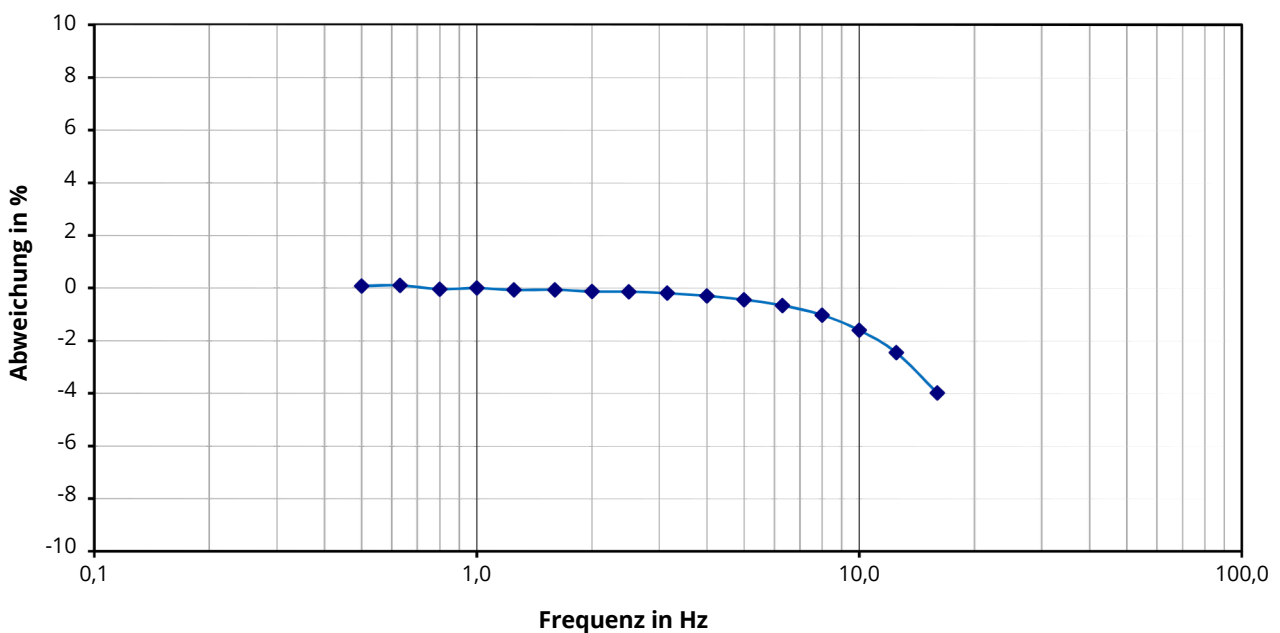


DK23-02900/9

**7.3 Beschleunigung - Anzeigeabweichung Y-Achse
 (Absolut und Amplitudenfrequenzgang bezogen auf 1 Hz)**

Frequenz in Hz	Anregung in m/s ² peak	Anzeige in m/s ² peak	Anzeigeabweichung zur Anregung		Abweichung (bez. auf 1 Hz) in %
			in m/s ²	in %	
0,5	0,24898	0,24930	0,0003	0,13	0,1
0,63	0,3948	0,3954	0,0006	0,15	0,1
0,8	0,6366	0,6366	0,0001	0,01	0,0
1	0,9948	0,9952	0,0005	0,05	REF
1,25	1,568	1,568	0,000	-0,02	-0,1
1,6	2,581	2,580	0,000	-0,02	-0,1
2	4,034	4,031	-0,003	-0,08	-0,1
2,5	5,095	5,090	-0,005	-0,09	-0,1
3,15	5,107	5,099	-0,008	-0,15	-0,2
4	5,118	5,105	-0,013	-0,25	-0,3
5	5,127	5,106	-0,020	-0,40	-0,4
6,3	5,103	5,071	-0,031	-0,61	-0,7
8	5,124	5,073	-0,050	-0,98	-1,0
10	5,088	5,008	-0,079	-1,55	-1,6
12,5	5,022	4,901	-0,121	-2,41	-2,5
16	5,021	4,823	-0,198	-3,94	-4,0

Beschleunigung - Anzeigeabweichung der Achse Y (bezogen auf 1 Hz):

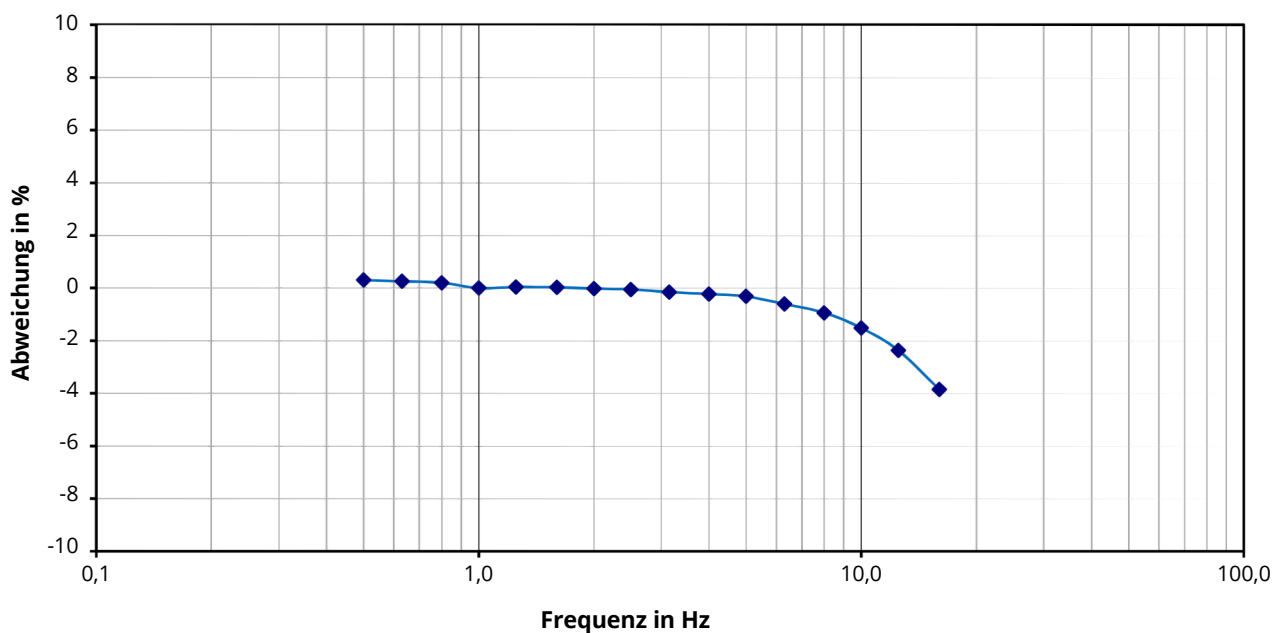


DK23-02900/9

**7.4 Beschleunigung - Anzeigeabweichung Z-Achse
 (Absolut und Amplitudenfrequenzgang bezogen auf 1 Hz)**

Frequenz in Hz	Anregung in m/s ² peak	Anzeige in m/s ² peak	Anzeigeabweichung zur Anregung		Abweichung (bez. auf 1 Hz) in %
			in m/s ²	in %	
0,5	0,09910	0,09961	0,0005	0,51	0,3
0,63	0,1575	0,1582	0,0007	0,47	0,3
0,8	0,2540	0,2550	0,0010	0,41	0,2
1	0,3973	0,3981	0,0008	0,21	REF
1,25	0,630	0,631	0,002	0,25	0,0
1,6	1,035	1,038	0,002	0,23	0,0
2	1,617	1,620	0,003	0,19	0,0
2,5	2,516	2,520	0,004	0,15	-0,1
3,15	4,001	4,003	0,002	0,05	-0,2
4	5,104	5,103	-0,001	-0,02	-0,2
5	5,129	5,123	-0,006	-0,11	-0,3
6,3	5,139	5,119	-0,021	-0,40	-0,6
8	5,178	5,140	-0,038	-0,73	-0,9
10	5,160	5,092	-0,067	-1,31	-1,5
12,5	5,091	4,981	-0,110	-2,16	-2,4
16	5,117	4,930	-0,187	-3,65	-3,9

Beschleunigung - Anzeigeabweichung der Achse Z (bezogen auf 1 Hz):

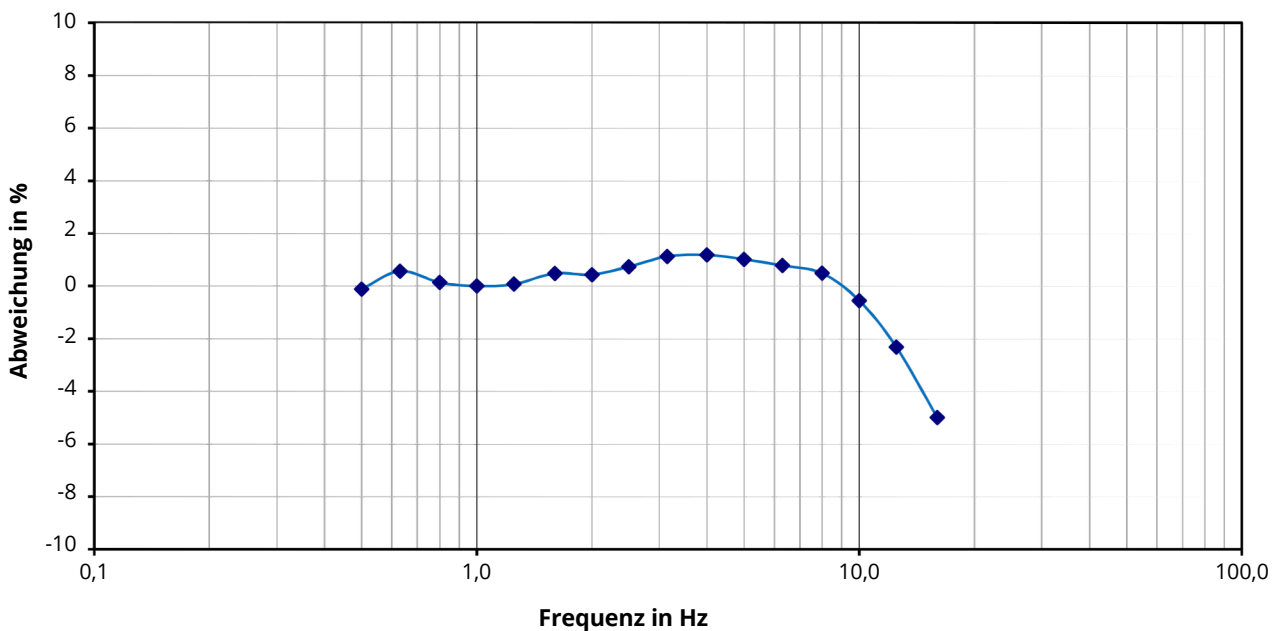


DK23-02900/9

**7.5 Winkelgeschwindigkeit - Anzeigeabweichung X-Achse
 (Absolut und Amplitudenfrequenzgang bezogen auf 1 Hz)**

Frequenz in Hz	Anregung in °/s peak	Anzeige in °/s peak	Anzeigeabweichung zur Anregung		Abweichung (bez. auf 1 Hz) in %
			in °/s	in %	
0,5	10,00	10,06	0,07	0,65	-0,1
0,63	10,07	10,20	0,13	1,34	0,6
0,8	9,94	10,03	0,09	0,91	0,1
1	9,97	10,05	0,08	0,77	REF
1,25	10,09	10,18	0,09	0,85	0,1
1,6	10,15	10,28	0,13	1,26	0,5
2	10,07	10,19	0,12	1,21	0,4
2,5	10,05	10,20	0,15	1,51	0,7
3,15	10,12	10,31	0,19	1,90	1,1
4	10,07	10,27	0,20	1,95	1,2
5	10,06	10,24	0,18	1,79	1,0
6,3	10,11	10,27	0,16	1,55	0,8
8	10,09	10,22	0,13	1,26	0,5
10	10,07	10,09	0,02	0,22	-0,6
12,5	10,00	9,85	-0,15	-1,54	-2,3
16	9,99	9,56	-0,42	-4,22	-5,0

Winkelgeschwindigkeit - Anzeigeabweichung der Achse X (bezogen auf 1 Hz):

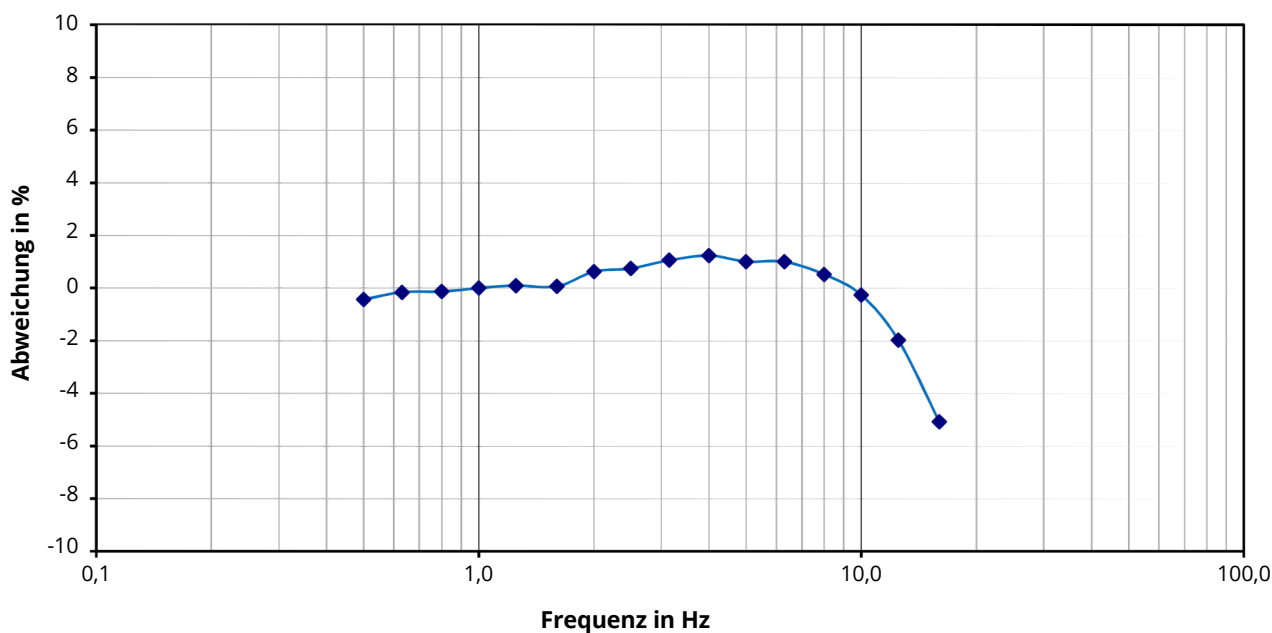


DK23-02900/9

**7.6 Winkelgeschwindigkeit - Anzeigeabweichung Y-Achse
 (Absolut und Amplitudenfrequenzgang bezogen auf 1 Hz)**

Frequenz in Hz	Anregung in °/s peak	Anzeige in °/s peak	Anzeigeabweichung zur Anregung		Abweichung (bez. auf 1 Hz) in %
			in °/s	in %	
0,5	9,99	10,03	0,04	0,43	-0,4
0,63	10,04	10,11	0,07	0,70	-0,2
0,8	10,04	10,12	0,07	0,73	-0,1
1	10,00	10,09	0,09	0,86	REF
1,25	10,16	10,26	0,10	0,96	0,1
1,6	10,09	10,18	0,09	0,92	0,1
2	10,13	10,28	0,15	1,49	0,6
2,5	10,10	10,26	0,16	1,61	0,7
3,15	10,08	10,28	0,19	1,92	1,1
4	10,08	10,30	0,21	2,10	1,2
5	10,10	10,29	0,19	1,87	1,0
6,3	10,09	10,28	0,19	1,86	1,0
8	10,13	10,27	0,14	1,38	0,5
10	10,18	10,24	0,06	0,59	-0,3
12,5	10,07	9,96	-0,11	-1,12	-2,0
16	9,93	9,51	-0,42	-4,22	-5,1

Winkelgeschwindigkeit - Anzeigeabweichung der Achse Y (bezogen auf 1 Hz):

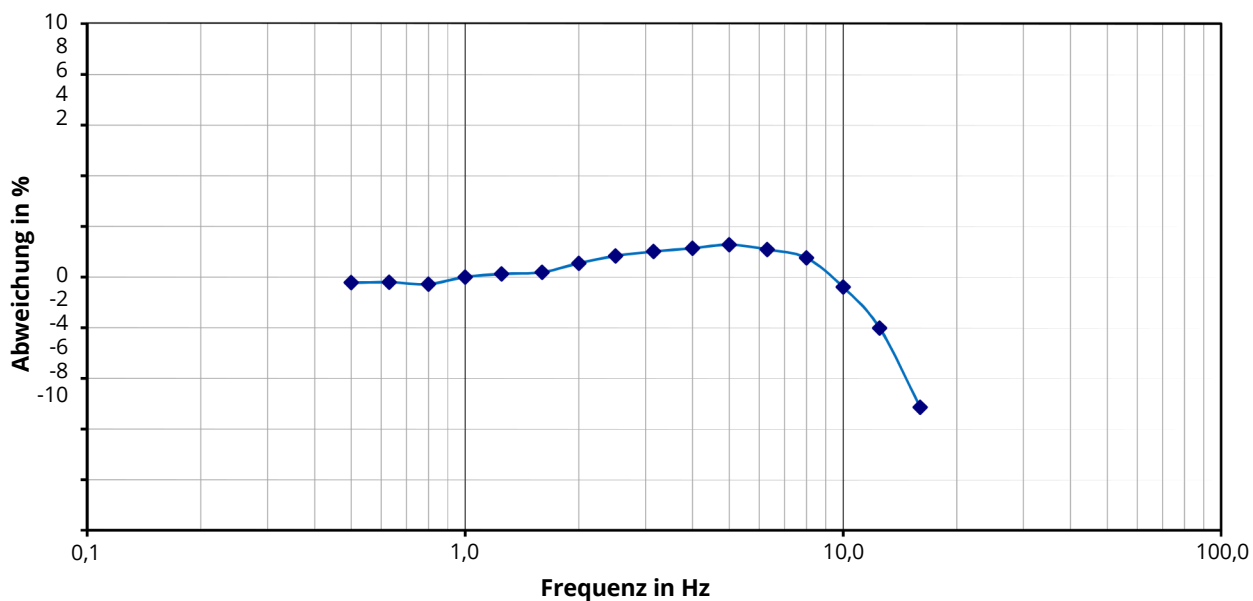


DK23-02900/9

**7.7 Winkelgeschwindigkeit - Anzeigeabweichung Z-Achse
 (Absolut und Amplitudenfrequenzgang bezogen auf 1 Hz)**

Frequenz in Hz	Anregung in °/s peak	Anzeige in °/s peak	Anzeigeabweichung zur Anregung		Abweichung (bez. auf 1 Hz) in %
			in °/s	in %	
0,5	9,998	10,070	0,07	0,73	-0,2
0,63	10,019	10,094	0,07	0,74	-0,2
0,8	9,988	10,055	0,07	0,67	-0,3
1	10,021	10,116	0,10	0,95	REF
1,25	10,122	10,230	0,11	1,07	0,1
1,6	10,119	10,234	0,12	1,14	0,2
2	10,108	10,259	0,15	1,49	0,5
2,5	10,096	10,275	0,18	1,78	0,8
3,15	10,089	10,286	0,20	1,95	1,0
4	10,127	10,338	0,21	2,09	1,1
5	10,092	10,316	0,22	2,22	1,3
6,3	10,074	10,279	0,21	2,04	1,1
8,0	10,104	10,276	0,17	1,70	0,8
10	10,114	10,170	0,06	0,55	-0,4
12,5	10,021	9,914	-0,11	-1,06	-2,0
16	10,020	9,600	-0,42	-4,19	-5,1

Winkelgeschwindigkeit - Anzeigeabweichung der Achse Z (bezogen auf 1 Hz):



Ende des Kalibrierscheins / End of the calibration certificate