

Diese Arbeitsanweisung legt die Grenzwerte für die Lagerschwingungen von Maschinen im Prüffeld und die Alarm- und Abschaltwerte im Betrieb in Anlehnung an ISO 14694, BV-3 bzw. BV-4 fest. Für die Grenzwerte im Betrieb werden generell die schärferen Grenzwerte für starre Aufstellung zugrunde gelegt statt der nach Norm zulässigen Werte für elastische Aufstellung.

Bei **drehzahlgeregelten** Ventilatoren gelten im Regelbereich außerhalb der ausgelegten Betriebspunkte die Grenzwerte der nächstniedrigeren Kategorie.

1. Standardwerte

Grundlage sind die Tabellen 4 der ISO 14694 für **elastische** Aufstellung bei Prüfungen im Herstellerwerk (bei Aufstellung auf Schwingungsdämpfern: Originaldämpfer, Prüfplatte (Schwingfundament)) und Tabelle 5 der ISO 14694 für **starre** Aufstellung bei Prüfungen vor Ort (unabhängig von der Elastizität der Aufstellung).

Anmerkung: In Abweichung zu ISO 14694, die für Messungen beim Hersteller nur die Einhaltung der Grenzwerte für die drehzahlelektiven Schwingwerte verlangt, werden im Werk Moringen weiterhin Summenwerte zugrunde gelegt.

Tabelle 1: Grenzwerte für die Lagerschwingungen

Anwendung	Kategorie	Wuchtgüte G	Schwingungsgrenzwerte ($\sum v_{\text{eff}}$ in mm/s)			
			Prüffeld	Betrieb		
				Inbetriebnahme	Alarm	Abschaltung
Industrie- prozesse ⁵	BV-3	6,3 (2,5) ¹	3,5	4,5	7,1	9,0
Petrochemie ATEX (P>37kW) ²	BV-4	2,5	2,8	3,5	4,5	7,1
Regelbereich (außerhalb der Auslegungs- punkte)	BV-3	6,3 (2,5) ¹	5,6	5,6		
	BV-4	2,5	3,5	4,5		
Ventilatoren mit Riementrieb (P<160kW)	BV-2	6,3	5,6	5,6	9,0	11
VAPOFAN (PG 71)	BV-3	2,5	4,5 ³ (15) ⁴	5,6 ³	7,1 ³	9,0 ³

Anmerkungen:

- Ventilatoren gemäß der Kategorie BV-3 können gemäß hausinterner Festlegung auch entsprechend der Wuchtgüte G 2,5 gewuchtet werden. Dies hat jedoch keinen Einfluss auf die zulässigen Schwingungsgrenzwerte, wie in Tabelle 1 angegeben.
- Ventilatoren der Anwendungsart „Petrochemie“ und einer Leistung <37KW werden entsprechend der Kategorie BV3 für die Anwendung „Industrieprozesse“ bewertet.
- Die angegebenen Schwingungsgrenzwerte beziehen sich auf den freigegebenen, nutzbaren Drehzahlbereich gemäß den Motordatenblättern. Die Schwingungsüberwachung ist nur im freigegebenen Drehzahlbereich aktiv, siehe Verriegelungsschema.
- Der in Klammern angegebene Schwingungsgrenzwert gilt ausschließlich für den nicht freigegebenen Drehzahlbereich, siehe hierzu **Dokument 59.6.384.0420**. Bei der Inbetriebnahme/Abnahme im Prüffeld ist die Einhaltung dieses Grenzwertes grundsätzlich nachzuweisen.
- Schließt riementriebene Ventilatoren des Typs 52570 RXGAEQ 80200 mit einer maximalen Drehzahl von 12500 1/min mit ein.

Im Vertriebsauftrag ist die vertraglich vereinbarte Kategorie nach ISO 14694 und RL 59.9.384.3010 anzugeben!

Rev.	Datum	Beschreibung	vorbereitet	geprüft	anerkannt
19	15.11.2019	Fußnote 5 in Tabelle 1 ergänzt	Köylü	Ring	Lakemann
20	08.03.2022	Kap. 3: Einschränkung für Motoren ab Baugröße 400 entfernt	Ring	Kellner	Lakemann

Erläuterung zu 1. „Standardwert“:

Für die Festlegungen der Standardwerte ist folgendes zu beachten ist:

1. Elastische Aufstellung
Die untere Grenze des Regelbereiches muss 20 % über den Eigenfrequenzen des (starrten) Gesamtsystems von Maschine und Unterbau liegen, ggf. ist dieses System tief abzustimmen (z.B. durch Federdämpfer von GERB).
2. Böcke und Grundrahmen müssen stabil und im Regelbereich (mit Anbauteilen) resonanzfrei sein. Im Zweifelsfall ist dies durch die Entwicklung mit einer Finiten-Elemente-Berechnung nachzuweisen. Siehe auch Richtlinie [59.9.384.2600](#) – Konstruktion von Böcken.

2. Sonderfälle

2.1 Große Maschinen mit Drehzahlen < 1000 min⁻¹ bei starrer Aufstellung

(tiefste Eigenfrequenz des Gesamtsystems aus Maschine und Unterbau mind. 25 % über der Drehfrequenz):

	Kategorie	Schwingungsgrenzwerte $\sum v_{\text{eff}}$ [mm/s]			
		Prüffeld	Betrieb	Alarm	Abschaltung
Standard:	BV-3	6,3	2,8	4,5	7,1
	BV-4	2,5	1,8	4,5	7,1

2.2 Bei Maschinen mit Überwachung der Wellenschwingung gelten zusätzlich

Wuchtgüte: **G2,5**

Quetschdämpfer zulässige Summen- werte $\sum [\mu\text{m}]_{\text{p-p}}$	Run-out	Prüffeld	Schwingungsüberwachung	
			Alarm	Abschaltung
	<20	40	50	70

Die angegebenen zulässigen Summenwerte, gemessen in $[\mu\text{m}]_{\text{p-p}}$ (peak to peak), sind im gesamten Drehzahlbereich von 0 bis zur maximalen Betriebsdrehzahl einzuhalten. Die maximal zulässige Betriebsdrehzahl ist der Auftragsbestätigung zu entnehmen. Der Nachweis ist durch die Aufzeichnung des Summenwertes als Ortskurve (Summenwert=f(Phasenwinkel)) mit aussagefähiger Angabe der Drehzahl zu erbringen.

Gleitlager (DIN ISO 7919-3)

$\sum [\mu\text{m}]_{\text{p-p}}$, Drehzahl n [min ⁻¹]	$<1200/\sqrt{n}$	$4800/\sqrt{n}$	$9000/\sqrt{n}$	$13200/\sqrt{n}$
---	------------------	-----------------	-----------------	------------------

Tabelle 2: Grenzwerte der maximalen Wellenschwingung $[\mu\text{m}]_{\text{p-p}}$ und der maximalen Störschwingungen („run-out“) bei **Gleitlagern** großer Motoren (> 1000 kW) nach DIN EN 60034-14

Schwingstufe	Drehzahlbereich	Maximaler relativer Wellenschwingweg	Maximale Summe aus elektrischen und mechanischen Störschwingungen („run-out“)
			$\mu\text{m}_{\text{p-p}}$
A	>1800	65	16
	≤1800	90	23
B	>1800	50	12,5
	≤1800	65	16

ANMERKUNG 1 Maschinen der Schwinggrößenstärkestufe „B“ sind häufig für schnelllaufende Antriebe mit kritischen Montagebedingungen bestimmt.

ANMERKUNG 2 Die Grenzwerte für den maximalen relativen Wellenschwingweg enthalten den „run-out“. Zur Definition des „run-out“ siehe ISO 7919-1

Betriebswuchtung erfolgt bei Überschreitung der Grenzwerte für Lager- u. Motorschwingungen bzw. bei höheren drehfrequenten Schwingungen (mehr als **50 %** des Summenschwingungsgrenzwerts). Betriebswuchtung ist zu dokumentieren.

Die genannten Grenzwerte gelten für geprüfte Maschinen im Prüffeld und bei Inbetriebnahme vertragliche Grundlagen sind die VA-Texte (Eingabe über Textbausteine).
Die Richtlinie 59.9.384.3011 entfällt.

Im Vertriebsauftrag ist die vertraglich vereinbarte Kategorie nach ISO 14694 und RL 59.9.384.3010 anzugeben!

2.3 Sondermaschinen mit Wuchtgüte G1,0

Rotoren von Ventilatoren mit kontrolliert montierten Kegelpressverbindungen können bei Wuchtdrehzahl und mit der Originalwelle auf die Wuchtgüte G 1,0 gewuchtet werden. Außerhalb der Wuchtdrehzahl gilt die Wuchtgüte G 2,5. Für die Lagerschwingungen gelten die Grenzwerte nach Tabelle 1 Kategorie BV-4.

3. YYMotoren

YYMotoren, deren maximale Betriebsdrehzahlen oberhalb 3600 min^{-1} liegen, erfordern eine besondere Behandlung hinsichtlich der Prüfung und der zulässigen Schwingwerte. Die Kenntnis hierzu resultiert aus Betriebserfahrungen, gestützt durch eigene Berechnungen und Diskussionen mit den Herstellern (Fa. ABB, Fa. Siemens Loher).

Diese Motoren, sog. „high-speed“ Motoren, sind vielfach konstruktiv ertüchtigte Standardmotoren (50/60 Hz), die hinsichtlich des Rotors und der Lager den Drehzahlenanforderungen angepasst wurden. Die Motorgehäuse blieben jedoch vielfach unverändert (Gusskonstruktionen). Dies führt dazu, dass sich der Abstand der Eigenfrequenzen zur maximalen Betriebsdrehzahl verringert. In extremen Fällen können Eigenfrequenzen im Drehzahlbereich des Motors liegen.

Die Lage der Eigenfrequenzen wird durch die Steifigkeit des Motorgehäuses und des Untergrundes bestimmt, auf dem der Motor montiert ist. Die Prüfung des Motors in starrer Aufspannung geht von einem steifen Fundament oder einer tiefabgestimmten Prüfplatte aus, so dass die Eigenfrequenzen des Motors nicht durch zusätzliche Elastizitäten beeinflusst werden. Wird dagegen der Motor auf einer Ventilator konstruktion montiert, dann werden die Eigenfrequenzen durch die Elastizität der Konstruktion abgesenkt. Dies führt dazu, dass die nach DIN EN 60034-14, Schwingstufe A, geforderten Grenzwerte bei der Prüfung des Gesamtsystem Ventilator mit Motor in vielen Fällen nicht eingehalten werden können. Eine Einhaltung der Werte kann nur durch erhöhte Anforderungen bezüglich der zulässigen Schwingwerte erreicht werden, die im Rahmen der Prüfung in „starrer Aufspannung“ nachzuweisen sind.

3.1 YYAnforderungen an Motoren mit maximalen Betriebsdrehzahlen $> 3600 \text{ min}^{-1}$

Die Anforderungen an die technische Ausführung sind:

- Die tiefste Eigenfrequenz (Kippschwingung senkrecht zur Drehachse) des Motors, montiert bzw. festgespannt auf einem steifen Fundament bzw. einer tiefabgestimmten Prüfplatte muss mindestens 25% oberhalb der maximalen Betriebsdrehzahl des Motors liegen, siehe hierzu DIN EN 10816-3. Die erste Biege-Eigenfrequenz des Motors muss mindestens 35% oberhalb der maximalen Betriebsdrehzahl des Motors liegen, siehe hierzu DIN EN 10816-3
- Die Eigenfrequenzen sind durch den Lieferanten im Angebot/Auftragsbestätigung anzugeben.
- Der Motor ist auf beiden Lagerebenen mit von außen zugänglichen Wuchtscheiben auszurüsten, die ein Nachwuchten des Motorrotors ohne Demontage ermöglichen

Die Anforderungen an die Typprüfung im Herstellerwerk, wenn die vorgenannten Anforderungen an die technische Ausführung eingehalten werden:

- Im Herstellerwerk ist ein Prüflauf (Hoch- oder Auslauf) ohne Belastung (Leerlauf) von 0 bis 100% der maximalen Betriebsdrehzahl durchzuführen, wobei der Motor auf einem steifen Fundament oder einer tief abgestimmten Prüfplatte über die Befestigungspunkte mit den dafür vorgesehenen Schrauben fest aufgespannt wird.
- Während dieses Prüflaufs sind die effektiven Lagerschwingungen v_{eff} (mm/s) an beiden Lagerebenen in horizontaler und vertikaler Richtung zu messen und aufzuzeichnen. Die effektiven Lagerschwingungen müssen die Schwingstufe A entsprechend DIN EN 60034-14, 2019 im Drehzahlbereich von 0 – 100% einhalten, siehe Tabelle 3.

- Werden die effektiven Lagerschwingungen nicht eingehalten, dann ist die Wuchtgüte des Motorrotors zu korrigieren. Eine Korrektur der Wuchtgüte an den von außen zugänglichen Wuchtscheiben ist hier für den Lieferanten nicht zulässig.
- Die Schwingungsaufzeichnungen sind Bestandteil der Motordokumentation.

Die Anforderungen an die Typprüfung im Herstellerwerk, wenn die vorgenannten Anforderungen an die technische Ausführung in Bezug auf die tiefste Eigenfrequenz des Motors nicht eingehalten werden:

- Im Herstellerwerk ist ein Prüflauf (Hoch- oder Auslauf) ohne Belastung (Leerlauf) von 0 bis 100% der maximalen Betriebsdrehzahl durchzuführen, wobei der Motor auf einem steifen Fundament oder einer tief abgestimmten Prüfplatte über die Befestigungspunkte mit den dafür vorgesehenen Schrauben fest aufgespannt wird.
- Während dieses Prüflaufs sind die effektiven Lagerschwingungen v_{eff} (mm/s) an beiden Lagerebenen in horizontaler und vertikaler Richtung zu messen und aufzuzeichnen. Die effektiven Lagerschwingungen müssen die Schwingstufe A entsprechend DIN EN 60034-14, 2019 im Drehzahlbereich von 0 – 100% und die Schwingstufe B entsprechend DIN EN 60034-14, 2019 im Drehzahlbereich von 70 – 100% einhalten, siehe Tabelle 3.
- Werden die effektiven Lagerschwingungen nicht eingehalten, dann ist die Wuchtgüte des Motorrotors zu korrigieren. Eine Korrektur der Wuchtgüte an den von außen zugänglichen Wuchtscheiben ist für den Lieferanten nicht zulässig.
- Die Schwingungsaufzeichnungen sind Bestandteil der Motordokumentation.

Tabelle 3: Grenzwerte (Summen-Effektivwert) der max. Schwingungsgröße für Schwingweg (s), Schwinggeschwindigkeit (v) und Schwingbeschleunigung (a) für die Achshöhe H

Schwingung-größenstufe	Achshöhe H mm	56 ≤ H ≤ 132		H > 132	
		S _{eff} µm	V _{eff} mm/s	S _{eff} µm	V _{eff} mm/s
	Maschinen-aufstellung				
A	starre Aufspannung	-	-	37	2,3
B	starre Aufspannung	-	-	24	1,5

Abweichungen von diesen Grenzwerten bedürfen der Freigabe durch das Qualitätswesen der Piller Blowers & Compressors GmbH. Die Ergebnisse dieser Typenprüfungen sind dem Hause Piller Blowers & Compressors GmbH per PDF-Dokument vor einer Lieferung, zur Einsicht und Freigabe, an gm@piller.de zu übersenden.

In dem Bestelltext ist für den jeweiligen Motor folgender Hinweis zu geben:

Bestellung gemäß Richtlinie 59.9.384.3010, Lagerschwingungen – Grenzwerte. Die Prüfdokumentation ist Piller Blowers & Compressors GmbH per pdf-Dokument vor einer Lieferung zur Einsicht und Freigabe an gm@piller.de zuzusenden. Eine Lieferung ohne vorliegende Freigabe durch das Qualitätswesen der Piller Blowers & Compressors GmbH ist nicht zulässig.

3.2 Wareneingangsprüfung für Motoren

Grundsätzlich muss die Ergebnisdokumentation nach 3.1 zur Lieferfreigabe dem Qualitätswesen der Piller Blowers & Compressors vorgelegt werden. Wurde für einen gelieferten Motor keine Lieferfreigabe erteilt, dann kann dieser Motor einer erweiterten Wareneingangskontrolle im hauseigenen Prüffeld unterzogen werden.

Im Zuge dieser Wareneingangsprüfung wird der Motor auf einer tief abgestimmten Prüfplatte festgespannt und einer Überprüfung wie unter 3.1 beschrieben, unterzogen. Die Aufzeichnungen zu dieser Eingangskontrolle werden im Ordner „Prüffeld“ der Dokumentenlenkung in einem neu zu erstellenden Ordner „WE-Motor“ abgelegt. Die Kennzeichnung der Dokumente erfolgt entsprechend der Vorgaben in der RL 59.9.384.0040.

Werden die vorgegebenen Grenzwerte überschritten, dann ist entsprechend 59.9.702.8002 ein „SV“ zu erstellen, der die frühzeitige Fehlerbeseitigung (Nacharbeit durch Lieferant) veranlasst, damit der Motor zum Zeitpunkt der Montage in einem gebrauchsfähigen Zustand verfügbar ist.

Die Kosten für die erweiterte Wareneingangskontrolle trägt der Lieferant.

Darüber hinaus obliegt es dem QW, per Vorgabe einer Stichprobenprüfung, die vom Lieferanten vorliegenden Prüfergebnisse, einer Überprüfung durch eine gegenprüfende Eingangskontrolle zu unterziehen. Werden hierbei

die zugesicherten Eigenschaften nicht erreicht, so trägt der Lieferant die Kosten für die Nachbesserung (Zwei-Eben-Wuchtung) des Motors.

3.3 Prüfung der Motoren im Prüffeld der Piller Blowers & Compressors GmbH

Nach erfolgreicher Wareneingangsprüfung werden die Motoren zur internen weiteren Verwendung freigegeben und i. A zur Prüfung des Ventilators auf dem Ventilator montiert.

Im Rahmen der Ventilatorprüfung werden an beiden Lagerebenen, in horizontaler und vertikaler Richtung die Effektivwerte der selektiven und der Summen-Schwinggeschwindigkeit im Drehzahlbereich von 0-100 % der maximalen Betriebsdrehzahl n_{Bmax} aufgenommen und dokumentiert.

Sollte es hier zu einer Überschreitung der zulässigen Werte in Tabelle 1, Grenzwerte für Lagerschwingungen, kommen, dann kann das Schwingungsverhalten des Motors, durch eine Betriebswuchtung an den äußerlich zugänglichen Wuchtscheiben verbessert werden. Sollte dies nicht erfolgreich sein, dann wird der Motor mit einem Servicevorgang (SV) reklamiert. **Die Kosten hierzu trägt der Lieferant.**

3.4 Kundenbeistellungen und Gewährleistung

Der Kunde ist angehalten, die hier getroffenen Vorgaben nach 3.1 als Grundlage für die Beschaffung des Motors an seinen Lieferanten weiterzugeben.

Motoren die kundenseitig beigestellt werden und die Vorgaben nach 3.1 nicht einhalten, können ohne Einschränkung der Gewährleistung eingesetzt werden, sofern der kritische Drehzahlbereich, in dem die zulässigen Schwingwerte überschritten werden, für den Dauerbetrieb des Ventilators anlagentechnisch sicher ausgeblendet wird.

Hierzu ist ein Nachweis erforderlich, **der durch den Service der Piller Blowers & Compressors durchgeführt wird und beauftragt werden muss.**

Für Motoren die kundenseitig beigestellt werden und die Vorgaben nach 3.1 nicht einhalten und dennoch uneingeschränkt eingesetzt werden, **behält sich Piller Blowers & Compressors vor, die Gewährleistung des Ventilators, bezogen auf Schäden aus nicht zulässigen, induzierten Motorschwingungen am Ventilator einzuschränken oder ggf. abzulehnen.** Hierzu zählen Beschädigungen an der Kupplung, der Ventilator Lagerung, dem Laufrad und Ermüdungsschäden an der Unterkonstruktion (Ventilator-Bock) und dem Ventilator Gehäuse. Grundlage hierfür bildet die Risikobeurteilung der Maschine. Der Ausschluss bzw. die Einschränkung der Gewährleistung oder aber die Lieferung einer unvollständigen Maschine ist explizit im Einzelfall mit dem Kunden zu klären und bedarf immer der Schriftform.

4. Getriebe

Hinweise für Getriebe:

Grenzwerte für Getriebe im Leerlauf bei fester Aufspannung nach DIN ISO 10816-1, Class III, Kategorie „A“: 2,8 mm/s. Wuchtgüte G 2,5.

5. Anhang

Hierzu das Dokument 59.9.384.3020 „Motoren ABB-M3BC Drehzahlen“ im Normarchiv verfügbar.

Achtung, dieses ist ein internes Dokument, dient somit nur zu Informationszwecken innerhalb des Unternehmens und darf nicht nach außen gegeben werden!