

Maschinenfundamente

Steife (starre) Stützkonstruktionen für Maschinen mit periodischer Erregung

DIN
4024
Teil 2

Machine foundations; rigid supporting constructions for machines with periodic excitation
Fondations de machines; constructions de soutènement rigides pour machines avec excitation périodique

Inhalt

	Seite		Seite
1 Anwendungsbereich und Zweck	1	5 Entwurf und Berechnung	3
2 Begriffe	1	5.1 Ziele	3
2.1 Blockfundament	1	5.2 Entwurf	3
2.2 Kastenfundament	2	5.3 Statische Berechnung	3
2.3 Fundamentfederung	2	5.4 Dynamische Berechnung	3
3 Baustoffe, Baugrund	2	5.4.1 Allgemeines	3
3.1 Stahlbeton	2	5.4.2 Dynamische Vorberechnung	3
3.2 Stahl	2	5.4.3 Modellbildung, Eigenfrequenzen	4
3.3 Baugrund	2	5.4.4 Beurteilung des Schwingungsverhaltens	4
3.4 Federelemente	2	5.4.5 Ermittlung der Schwingungsgrößen	4
4 Lasten und Anforderungen	2	5.4.6 Berechnung bei überwiegend stochastischer Erregung	5
4.1 Maschinentechnischer Bereich	2	6 Bemessungshinweise	5
4.1.1 Allgemeines	2	7 Konstruktion und Ausführung	5
4.1.2 Statische Lasten	2	7.1 Allgemeines	
4.1.3 Dynamische Lasten	3	7.2 Stahlbetonfundamente	5
4.2 Bautechnischer Bereich	3	7.3 Stahlfundamente	5
		Zitierte Normen und andere Unterlagen	5

1 Anwendungsbereich und Zweck

Diese Norm gilt für Baukonstruktionen aus Stahlbeton oder Stahl, die als Block oder Hohlkörper (Kasten) zur Auflagerung, Verankerung und Gründung von Maschinen dienen. Ihre Biege- und Drillsteifigkeit ist so groß, daß sie als starr angesehen werden dürfen.

Die Norm gilt für Fundamente von Maschinen mit periodischer Erregung, wie z. B.

- a) Maschinen mit umlaufenden Massen wie Generatoren, Verdichter, Gebläse, Umformer, Pumpen, Rotationsmaschinen, Zentrifugen, Werkzeugmaschinen mit ihren Antrieben wie Elektromotoren und Gas- oder Dampfturbinen
- b) Maschinen mit oszillierenden Massen wie Kolbenverdichter und Dieselmotoren
- c) Brecher und Mühlen
Bei Brechern und Mühlen können stochastische Anregungen die periodische Erregung deutlich überwiegen; dann sind besondere Überlegungen erforderlich.

Die Norm gilt auch für Fundamente von Maschinen, die gegen Erregung von außen empfindlich sind, wie z. B. Schleifmaschinen, Drehmaschinen und andere Werkzeugmaschinen.

Ausgenommen sind die in DIN 4024 Teil 1 behandelten elastischen Stützkonstruktionen, Fundamente für Amboß-Hämmer (Schabotte-Hämmer) und andere stoßartig erregte Fundamente sowie Grundrahmenkonstruktionen von Dieselaggregaten und ähnlichen Maschinen.

In dieser Norm werden Anforderungen an die Fundamente festgelegt, um unzulässige Schwingungen und Schäden an den Maschinen und Fundamenten infolge der statischen und dynamischen Beanspruchungen zu verhüten und unerwünschte Erschütterungen in der Umgebung zu vermeiden.

Ferner werden Regeln für die Berechnung sowie Grundsätze für Entwurf, Konstruktion und Ausführung angegeben, die auf Erfahrungen mit bisher ausgeführten Fundamenten beruhen.

2 Begriffe

Begriffe siehe auch DIN 4024 Teil 1/04.88, Abschnitte 2.1 bis 2.6.

2.1. Blockfundament

Ein Blockfundament ist ein Maschinenfundament in Form eines massiven Blocks mit großer Biege- und Drillsteifigkeit.

Fortsetzung Seite 2 bis 5

Normenausschuß Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

Jede Art der Vervielfältigung, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, gestattet.

2.2 Kastenfundament

Ein Kastenfundament ist ein Maschinenfundament in Form eines Hohlkörpers mit großer Biege- und Drillsteifigkeit.

Anmerkung: In der Regel ist die Fundamentmasse größer als die auf ihr gelagerte Maschinenmasse.

2.3 Fundamentfederung

Fundamentfederung ist die im Rechenmodell zu erfassende Federung unterhalb des Maschinenfundamentes.

Sie kann bestehen aus:

- Baugrund
- Bodenersatz
- Pfahlgründung
- Federelementen
- sonstigen federnden Schichten

Bei Auflagerung eines Maschinenfundamentes auf einer elastischen Baukonstruktion gehören deren Federungseigenschaften ebenfalls zur Fundamentfederung.

3 Baustoffe, Baugrund

3.1 Stahlbeton

Für Stahlbeton (Normal oder Schwerbeton) gilt DIN 1045; es ist Beton mindestens der Festigkeitsklasse B 25 sowie nur solcher Betonstahl zu verwenden, der für nicht vorwiegend ruhende Beanspruchung zugelassen ist. Glatter Betonstahl ist als tragende Bewehrung nicht zulässig. Unbewehrter Beton darf in der Regel nicht verwendet werden.

Für die dynamische Berechnung darf der statische E -Modul (Elastizitätsmodul) des Betons nach DIN 1045 angesetzt werden.

3.2 Stahl

Es ist Stahl nach DIN 18 800 Teil 1 zu verwenden. Für die dynamische Berechnung darf der statische E -Modul des Stahls nach dieser Norm angesetzt werden.

3.3 Baugrund

Die Baugrund und Grundwasserverhältnisse unter dem Fundament sind nach DIN 1054 festzustellen. Es sollte eine sorgfältige Baugrunduntersuchung vorgenommen werden. In diese sollte auch die Umgebung einbezogen werden, um Anhaltswerte für die Erschütterungsübertragung zu erhalten. Böden zeigen unter der Einwirkung von Schwingungen häufig Verdichtungserscheinungen. Insbesondere locker und mitteldicht gelagerte Sande erfahren bei dynamischer Belastung Volumenvermindernungen, die zu Setzungen führen. Grundwasser in der Nähe einer Erschütterungsquelle ist ein Übertragungsmedium, das die Ausbreitungsvorgänge für die Schwingungen maßgebend beeinflusst.

Baugrundfederung und -dämpfung sind nur durch geeignete Feld und/oder Laborversuche zuverlässig zu bestimmen. Da diese Werte im allgemeinen stark streuen, ist die dynamische Berechnung mit den Grenzwerten dieser Größen durchzuführen.

Anhaltswerte dieser Größen können der einschlägigen Literatur [1] bis [3] entnommen werden.

Für die Baugrunddämpfung genügt die Berücksichtigung der Abstrahldämpfung, die sich beim Einmassenschwinger durch die Dämpfungskenngröße d_V abschätzen läßt.

$$d_V = A \sqrt{E_{S,dyn} \cdot \rho} \quad (1)$$

Hierin bedeuten:

- A Fundamentfläche
 $E_{S,dyn}$ Dynamischer Steifemodul
 ρ Dichte des Baugrundes

Als Berechnungsgröße wird häufig der Dämpfungsgrad D benutzt;

$$D = \frac{d_V}{2 \sqrt{c \cdot m}} \quad (2)$$

mit

d_V nach Gleichung (1)

c Federkonstante

m Masse

Der Wert D ist auf 25 % zu begrenzen.

3.4 Federelemente

Werden als Fundamentfederung Federelemente oder andere elastische Materialien verwendet, sind vom Hersteller folgende Angaben zu machen:

- a) Belastungsmöglichkeit, mit oberer und gegebenenfalls unterer Belastungsgrenze,
- b) vertikale und horizontale Federkonstanten oder Federkennlinien (statisch und dynamisch),
- c) Dämpfungsvermögen,
- d) gegebenenfalls Abhängigkeit von Zeit, Temperatur oder sonstigen Einflüssen.

4 Lasten und Anforderungen

4.1 Maschinentechnischer Bereich

4.1.1 Allgemeines

Bei den Lasten sind statische und dynamische Lasten zu unterscheiden und stets getrennt auszuweisen. Sie sind vom Maschinenhersteller nach Größe, Richtung und Angriffsort anzugeben. Gegebenenfalls sind Grenzwerte für Verformungen und Neigungen des Fundamentes zu nennen.

Sollen im Normalbetrieb die Schwingwege an den Lagerstellen der Maschine begrenzt werden, so sind in der Regel die Grenzwerte nach VDI 2056 oder VDI 2063 anzustreben, sofern Betreiber oder Maschinenhersteller nicht abweichende Anforderungen stellen.

Bei Feinbearbeitungsmaschinen ist von deren Hersteller auch anzugeben, welche Schwingungsgrößen an der Maschine durch eine zu erwartende Fremderregung von außerhalb als Grenzwerte einzuhalten sind.

4.1.2 Statische Lasten

Statische Lasten aus dem Normalbetrieb sind:

- Gewichtsbelastung durch die Maschinenteile einschließlich der Grundrahmen und deren Verguß, gegebenenfalls für verschiedene Laststellungen;
- An- und Abtriebsmomente der Maschine, die sich über die Gehäuse gegen das Fundament abstützen (vertikale Kräftepaare);
- Reibungsbelastung an den Auflagerflächen, die durch Wärmedehnungen von Gehäusen verursacht wird (vorwiegend horizontal);
- Temperatureinwirkung aus Maschine und Rohrleitungen.

Montagelasten sind im wesentlichen Gewichtsbelastungen aus vorübergehenden Montagezuständen, die nicht während des Betriebes auftreten. Dazu gehören auch Lasten aus Hilfsgeräten und Hebezeugen.

4.1.3 Dynamische Lasten

Dynamische Lasten sind mit Größe, Frequenz und Zeitverlauf, Angriffspunkt oder Angriffsfläche und mit Richtung oder Wirkungsebene anzugeben.

Dynamische Lasten aus dem Normalbetrieb sind:

- umlauffrequente Lagerkräfte (z. B. Unwuchten), vertikal und horizontal,
- freie Massenkräfte und/oder Massenmomente erster und höherer Ordnung bei Kolbenmaschinen,
- pulsierende Gaskräfte bei Kolbenmaschinen höherer Ordnung,
- Kräfte und Momente aus An- und Abschaltvorgängen oder anderen transienten Vorgängen in der Anlage.

Dynamische Lasten aus Störfällen sind im wesentlichen:

- Erhöhung der periodischen Lagerlasten durch außergewöhnliche Unwuchtvergrößerungen (z. B. Schauffelbruch),
- Klemmenkurzschluß oder Fehlsynchronisierung bei Generatoren oder Elektromotoren,
- Stoßkräfte aus Rohrleitungen und Armaturen bei Schnellschluß,
- Zylinderausfall bei Kolbenmaschinen.

Die auf das Fundament wirkenden Kräfte und Momente sind ohne dynamische Vergrößerungsfaktoren anzugeben.

Bei zeitlich begrenzten Vorgängen sollte die vorgesehene Betriebsdauer oder die Häufigkeit der dynamischen Einwirkungen angegeben werden.

4.2 Bautechnischer Bereich

Es gilt DIN 4024 Teil 1/04.88, Abschnitt 4.2.

5 Entwurf und Berechnung

5.1 Ziele

Maschinenfundamente haben die Aufgabe, die statischen und dynamischen Lasten der Maschine aufzunehmen.

Sie sollen außerdem so ausgelegt sein, daß das Laufverhalten der Maschine bei Normalbetrieb den betrieblichen Mindestanforderungen entspricht und unerwünschte Erschütterungen in der Umgebung vermieden werden. Umgekehrt sind gegebenenfalls Schwingungserregungen aus der Umgebung zu berücksichtigen. Wichtige Beurteilungsgrundlagen sind die Schwingungsgrößen an maßgebenden Stellen des Fundamentes.

Bei Störfällen dürfen keine Schäden am Fundament verursacht werden, die den weiteren Normalbetrieb der Anlagen beeinträchtigen.

Zur Erreichung dieser Ziele sollen eine statische und eine dynamische Berechnung aufgestellt werden.

5.2 Entwurf

Für die Ausbildung des Fundamentes besteht sowohl hinsichtlich seiner Form wie auch hinsichtlich seiner Abmessungen ein Gestaltungsspielraum.

Als Randbedingungen sind die Baugrundeigenschaften, die räumlichen Gegebenheiten, die Größe und Art der Maschine, ihre schwingungserregenden Eigenschaften und die Erschütterungsempfindlichkeit der Umgebung und gegebenenfalls die der Maschine zu beachten.

Diese Einflüsse bestimmen Form und Abmessungen des Fundamentes, die Wahl des Baustoffes und der Fundamentfederung.

Wenn diese Einflüsse zu Gegenläufigkeiten beim Entwurf führen, müssen Prioritäten bei der Berücksichtigung der Randbedingungen gesetzt werden, die sich überwiegend aus den unter Abschnitt 5.1. genannten Zielen ergeben.

5.3 Statische Berechnung

Die statische Berechnung des Maschinenfundamentes d.h. die Berechnung der Schnittgrößen des Systems unter statischen Lasten — ist für die Lasten aus dem maschinentechnischen und aus dem bautechnischen Bereich lastfallweise durchzuführen. Hierbei sind gegebenenfalls auch solche dynamischen Lasten mit ihren Höchstwerten zu berücksichtigen, die nicht zu einer Schwingungsanregung des Gesamtsystems führen (z.B. Anteile von Maschinenauflagerkräften, die untereinander im Gleichgewicht sind). Da sich diese Berechnungen von denen ähnlicher Tragwerke nicht unterscheiden, wird in dieser Norm nicht weiter darauf eingegangen.

Wegen der großen Biegesteifigkeit der Fundamente dürfen die Auflagerreaktionen wie für einen Starrkörper berechnet werden. Die Einhaltung etwaiger vom Maschinenhersteller vorgegebener Grenzverschiebungen und Verformungen unter definierten Lasten ist nachzuweisen. Gegebenenfalls ist dafür die Elastizität des Fundamentes zu berücksichtigen.

Für Temperaturlastfälle darf bei Stahlbetonfundamenten mit gerissener Zugzone (vermindertes Flächenmoment 2. Grades: 0,3 I) gerechnet werden.

5.4 Dynamische Berechnung

5.4.1 Allgemeines

In einer dynamischen Vorberechnung ist zunächst zu prüfen, ob das Maschinenfundament den Fundamenten im Sinne dieser Norm zuzurechnen ist.

Trifft dies zu, so sind die 6 Eigenfrequenzen des in sich als starr angesehenen elastisch gelagerten Gesamtsystems Maschine — Fundament zu ermitteln. Werden vom Maschinenhersteller Erregerkräfte angegeben, können Schwingwege berechnet und gegebenenfalls mit Grenzwerten verglichen werden.

Auf die dynamische Berechnung eines Maschinenfundamentes darf in der Regel verzichtet werden

- bei Maschinen mit ausschließlicher Unwuchterregung, wenn die rotierenden Massen kleiner sind als 1/100 der Masse des Gesamtsystems Maschine — Fundament,
- bei Maschinen mit einer definierten Erregerkraft, wenn der Höchstwert dieser Erregerkraft kleiner ist als 1/1000 der Gewichtskraft des Gesamtsystems Maschine — Fundament,
- bei Maschinen mit einem definierten Erregermoment, wenn der Höchstwert der Auflagerkräfte, die als Folge der Momentenbelastung über die Maschinenfüße auf das Fundament einwirken, kleiner ist als 1/1000 der Gewichtskraft des Gesamtsystems Maschine — Fundament.

Bei Anlagen mit mehreren Erregerfrequenzen darf jede einer bestimmten Frequenz zugeordnete Erregergröße vernachlässigt werden, deren Höchstwert die genannten Kriterien erfüllt.

5.4.2 Dynamische Vorberechnung

Im Rahmen der dynamischen Vorberechnung ist nachzuweisen, daß sowohl die niedrigste Biege als auch die niedrigste Torsionseigenfrequenz eines vereinfachten Systems aus Fundament und Maschine mindestens das 1,5fache der maßgebenden Erregerfrequenz beträgt.