

MINISTERIALBLATT

FÜR DAS LAND NORDRHEIN-WESTFALEN

Ausgabe A

8. Jahrgang	Ausgegeben zu Düsseldorf am 3. September 1955	Nummer 111
-------------	---	------------

Inhalt

(Schriftliche Mitteilung der veröffentlichten RdErl. erfolgt nicht.)

A. Landesregierung.

B. Ministerpräsident — Staatskanzlei —.

C. Innenminister.

D. Finanzminister.

E. Minister für Wirtschaft und Verkehr.

F. Minister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten.

G. Arbeits- und Sozialminister.

H. Kultusminister.

J. Minister für Wiederaufbau.

II A. Bauaufsicht: RdErl. 16. 8. 1955, Einführung von Normblättern als einheitliche technische Baubestimmungen (ETB); hier: DIN 4024 — Stützkonstruktionen für rotierende Maschinen. S. 1649.

K. Justizminister.

J. Minister für Wiederaufbau

II A. Bauaufsicht

Einführung von Normblättern als einheitliche technische Baubestimmungen (ETB); hier: DIN 4024 — Stützkonstruktionen für rotierende Maschinen

RdErl. d. Ministers für Wiederaufbau v. 16. 8. 1955 —
II A 4 — 2.783 Nr. 2000/55

- 1 Vom Ausschuß für einheitliche technische Baubestimmungen im Fachnormenausschuß Bauwesen ist das Normblatt DIN 4024 (Ausgabe Januar 1955) — Stützkonstruktionen für rotierende Maschinen (vorzugsweise Tisch-Fundamente für Dampfturbinen) — aufgestellt worden. Das Normblatt enthält sowohl Richtlinien für den Bauingenieur als auch Richtlinien für den Maschineningenieur und außerdem eine Vorbe-merkung über die erforderliche Zusammenarbeit zwischen beiden Fachingenieuren. In Abschnitt 2 — Richtlinien für den Bauingenieur — stellen die Abschnitte 2.2, 2.3 und 2.4 maßgebende Konstruktionsvorschriften dar, während die Kenntnis der übrigen Abschnitte des Normblattes geeignet ist, die Prüfung der Bauanträge sowie die Überwachung und Abnahme der Bauten zu erleichtern.

2 Das Normblatt

DIN 4024 (Ausgabe Januar 1955) —

Stützkonstruktionen für rotierende Maschinen
(vorzugsweise Tisch-Fundamente für Dampfturbinen)

— Anl. — und zwar die Abschnitte 2.2, 2.3 und 2.4

werden unter Hinweis auf Nr. 1.4 meines RdErl. v. 20. 6. 1952 — II A 4.01 Nr. 300/52 — (MBl. NW. S. 801) mit sofortiger Wirkung für das Land Nordrhein-Westfalen bauaufsichtlich eingeführt und hiermit auf Grund der Polizeiverordnung über die Feuersicherheit und

Standsicherheit baulicher Anlagen v. 27. Februar 1942 (Gesetzssaml. S. 15) in Verbindung mit Nr. 1.3 meines vorgenannten RdErl. bekanntgemacht.

Auf die übrigen Abschnitte des Normblattes DIN 4024 (Ausgabe Januar 1955) werden die Bauaufsichtsbehörden unter Bezugnahme auf Nr. 1.5 meines vorgenannten RdErl. hingewiesen.

- 3 Stützkonstruktionen für rotierende Maschinen gelten als schwierige Bauten im Sinne der Ziff. 10 der Durchführungsbestimmungen vom 7. 9. 1942 (RABl. I S. 392) zur Verordnung über die statische Prüfung genehmigungspflichtiger Bauvorhaben v. 22. August 1942 (RGBl. I S. 546; RABl. I S. 391). Die Standsicherheitsberechnungen für Stützkonstruktionen, die nach § 1 A der auf Grund der Einheitsbauordnungen erlassenen Baupolizeiverordnungen oder nach §§ 16, 22 a und 24 der Gewerbeordnung einer Genehmigung bedürfen, sind daher tunlichst dem Landesprüfamt für Baustatik in Düsseldorf zur statischen Prüfung vorzulegen. Kommunale Prüfämter für Baustatik und Prüfindenieure für Baustatik können ebenfalls zur Prüfung herangezogen werden, wenn sie nachweislich hinreichende Erfahrung auf dem Gebiet der Schwingungstechnik besitzen.
- 4 Bauausführungen von Stützkonstruktionen rotierender Maschinen bedürfen einer besonders sorgfältigen Überwachung. Soweit für die Überwachung den Bauaufsichtsbehörden geeignete Fachkräfte nicht zur Verfügung stehen, haben sie nach Ziff. 8 der o. g. Durchführungsbestimmungen zu verfahren.
- 5 DIN 4024 (Ausgabe Januar 1955) ist in die Nachweisung A, Anlage 20 zum RdErl. v. 20. 6. 1952 — II A 4.01 Nr. 300/52 — (MBl. NW. S. 801) in Abschn. VII unter der neuen Nr. 13 aufzunehmen.
- 6 Die Regierungspräsidenten werden gebeten, auf diesen RdErl. in den Regierungsamtsblättern hinzuweisen.

Stützkonstruktionen für rotierende Maschinen (vorzugsweise Tisch-Fundamente für Dampfturbinen)

DIN 4024

Vorbemerkung

Diese Norm gilt für Tisch-Fundamente, Rahmen- und andere Stützkonstruktionen in Stahl, Stahlbeton und ähnlichen Bauarten zur Aufnahme von Turbo-Generatoren, Turbo-Kompressoren und von anderen Maschinen hoher Drehzahl (etwa 1000/min und mehr).

Beim Entwurf von Stützkonstruktionen dieser Art müssen Maschineningenieur und Bauingenieur rechtzeitig zusammenarbeiten. Der Maschineningenieur gibt die grundsätzliche Gestaltung der Konstruktion an und schlägt die Hauptabmessungen vor, die für die Maschinen vorgesehen sind. Der Bauingenieur prüft den Entwurf auf schwingungstechnische und statische Bedingungen und schlägt die wegen der Resonanzfreiheit und der Standsicherheit notwendigen Änderungen vor. Die Einigung beider ist spätestens während der Planung der Rohrleitungen herbeizuführen, so daß Änderungen noch berücksichtigt werden können.

Stützkonstruktionen für schnell umlaufende Maschinen sind auch bei kleinen Abmessungen wegen des Wertes und der Bedeutung der von ihnen getragenen Maschinenanlagen als wichtige Ingenieurbauwerke anzusehen. Deshalb sind die besonderen Anweisungen der maßgebenden DIN-Normen über Unternehmerauswahl, Baustoffgüte usw. zu beachten. Ebenso dürfen auch nur solche Ingenieure mit dem Entwurf beauftragt werden, die über die erforderlichen Sonderkenntnisse¹⁾ verfügen.

A Richtlinien für Berechnung, Konstruktion und Ausführung

1 Richtlinien für den Maschineningenieur

1.1 Für die einzelnen Tragglieder muß der Maschineningenieur ausreichende Abmessungen zugestehen, um die Aufnahme der statischen und dynamischen Kräfte zu ermöglichen und die Konstruktion auch in schwingungstechnischer Hinsicht befriedigend gestalten zu können. Einschnürungen oder Einkerbungen an den Stützen und Trägern sollen vermieden und besser durch allseitig umschlossene Öffnungen ersetzt werden.

1.2 Eine übliche Bauform ist das „Stützenfundament“, bei dem eine Tischplatte auf freistehenden Stützen ruht. Das Tragwerk der Tischplatte besteht hierbei aus Längs- und Querbalken. Die Stützen sollen möglichst mittig unter den Balken angeordnet sein, damit ein klar erkennbarer Kraftverlauf entsteht. Schlanke Kragplatten, größere Blechflächen u. ä. können leicht selbständig in Schwingung geraten, sie sind deshalb zu vermeiden oder so auszubilden, daß ein etwaiger Resonanzzustand beseitigt werden kann.

1.3 Die Tischplatte ist durch einen Luftspalt von der Umgebung zu trennen; eine Abdeckung des Spaltes muß waagerechten und lotrechten Verschiebungen folgen können. Auch die Sohlplatte soll von den umgebenden Bauteilen, vor allem vom Betonfußboden, durch eine Fuge getrennt werden. Benachbarte Decken sollten möglichst nicht auf die Stützkonstruktion gelagert werden. Ist das nicht zu vermeiden, so empfiehlt sich eine sachgemäß durchgebildete Auflagerung.

1.4 Für den Bauingenieur sind von der Maschinenfabrik folgende Angaben zusammenzustellen:

1.41 Ein ausführliches Belastungsbild, wobei das Kurzschlußmoment ohne Zuschlag und der Vakuumzug getrennt anzugeben sind. Das Belastungsbild muß sorgfältig nach der wirklichen Massenverteilung in der Maschine und den für die Lastübertragung getroffenen besonderen Vorkehrungen ermittelt sein. Es sollen nicht nur die Lasten, sondern auch die Flächen, auf denen die Last übertragen wird, angegeben werden. Bei Einphasengeneratoren sind auch die schwingenden Momente auf der Generatorseite und ihre Schwingzahl zu nennen. Auch etwaige Zusatzlasten in waagerechter oder schräger Richtung, die zum Beispiel an Dampfleitungsfestpunkten auf die Stützkonstruktion übertragen werden, sind in das Belastungsbild aufzunehmen. Es ist ferner anzugeben, ob der Kondensator mit dem Abdampfstützen der Turbine fest verflanscht oder durch Federwelle oder Stopfbuchse verbunden ist.

¹⁾ Vgl. „Rausch: Maschinenfundamente und andere dynamische Bauaufgaben“, im Vertrieb VDI-Verlag Berlin, und das darin angegebene weitere Schrifttum.

1.42 Angabe der Läufergewichte, bei Getriebeturbinen auch der umlaufenden Getriebeteile.

1.43 Angabe der Maschinenleistung.

1.44 Betriebsdrehzahlen (evtl. Schnellschlußdrehzahlen) der Turbomaschinen.

1.45 Die kritischen Drehzahlen der Wellen in der Verbindung und mit der Lagerung, wie sie im Betrieb vorhanden sind.

1.5 Um die Wärmewirkung in der Konstruktion berücksichtigen zu können, sind Anhaltspunkte über die in der Nähe der Bauteile auftretenden Temperaturen zu geben (auch erhöhte Temperaturen bei der Montage oder im Probetrieb, z. B. beim Generatortrocknen). Alle heißen Teile, vor allem Rohrleitungen, sind schon vor dem Probetrieb einwandfrei zu dämmen. Gegen Wärmestauung in der Konstruktion sind geeignete Maßnahmen zu treffen (z. B. Öffnungen zum Entweichen der Wärme, Belegen von Flächen mit Wärmedämmplatten).

2 Richtlinien für den Bauingenieur

2.1 Es ist eine Schwingungsberechnung durchzuführen mit dem Ziel,

a) Resonanz des Systems Maschine und Stützkonstruktion (evtl. unter Berücksichtigung der Elastizität des Baugrundes) mit einer der Betriebsdrehzahlen zu vermeiden,

b) an Stelle der dynamischen Kräfte statische Ersatzkräfte für die statische Berechnung der Konstruktion zu ermitteln. Die statische Ersatzkraft wird aus der dynamischen Kraftgröße gebildet durch Vervielfachung mit einem vom Baustoff abhängigen Ermüdungsbeiwert und einem der Abstimmung entsprechenden dynamischen Beiwert.

2.11 Abstimmung.

2.111 Begriffserläuterung.

Hohe Abstimmung liegt vor, wenn sich die Eigenschwingzahl der Grundschwingung der Konstruktion über der Betriebsdrehzahl befindet, tiefe Abstimmung, wenn die Grundschwingzahl unter der Betriebsdrehzahl, und diese somit zwischen der Grundschwingung und einer Oberschwingung liegt.

2.112 Die nach Abschnitt 3.1 bis 3.5 ermittelten Eigenschwingzahlen sollen einen Abstand von mindestens $\pm 20\%$ von der nächstliegenden Betriebsdrehzahl aufweisen. Dieser Abstand ist nötigenfalls durch konstruktive Änderungen während der Aufstellung des Entwurfs herbeizuführen. Nur wenn sich dabei besondere Schwierigkeiten ergeben, darf der Abstand ausnahmsweise verringert werden, vorausgesetzt, daß Vorkehrungen für eine nachträgliche Verstimmung nach Pkt. 2.44 vorgesehen sind.

2.2 Die statische Berechnung ist durchzuführen:

2.21 Für die ruhenden Belastungen (Eigengewicht der Konstruktion, Maschinenlasten einschl. Läufergewicht, Vakuumzug usw.). Diese Lasten sind mit einfachem Wert ohne Zuschlag einzuführen. Bauteile, die keine Maschinenlasten zu tragen haben, sind für Montagelasten zu berechnen.

2.22 Für das Kurzschlußmoment in Form eines von der Maschine übertragenen lotrechten Kräftepaars in beiden Drehrichtungen mit einem Zuschlag von 100% zu den zuschlagfreien Werten, die die Maschinenfabrik angegeben hat.

2.23 Für den dynamischen Einfluß einer Fliehkraft, die rechtwinklig zur Wellenachse nach allen Richtungen wirken kann. Hierfür wird im folgenden der Begriff einer statischen Ersatzkraft eingeführt. Die statische Ersatzkraft ist an denselben Stellen wie die Maschinenlasten anteilig, d. h. so anzusetzen, daß an jeder Maschinenlast ein dieser Last verhältnismäßiger Anteil der gesamten Ersatzkraft lotrecht oder waagrecht wirkt. Hierbei sind nur die am Rahmenwerk selbst angreifenden Maschinenlasten zu berücksichtigen. Diese Ersatzkraftanteile können je nach der zugehörigen Schwingungsform gleichsinnig oder gegensinnig wirken. Die waagerechten Ersatzkräfte dürfen zur Vereinfachung in Höhe der Riegelachsen angesetzt werden.

2.24 Nicht belastete Bauteile sollen zur Berücksichtigung ihres Mitschwingens für eine statische Ersatzkraft von 50% der Eigenlast lotrecht oder waagrecht berechnet werden, soweit die Montagelasten nach Abschnitt 2.21 nicht ungünstigere Beanspruchungen ergeben.

2.25 Bei Stahlbetonkonstruktionen sind die Temperatur- und Schwindwirkungen des Rahmenwerkes wie folgt zu berücksichtigen:

2.251 Für das Schwinden der Tischplatte gegenüber der Sohlplatte ein Temperaturabfall von 10°C; wird der aufgehende Teil erst mehr als 2 Monate nach Herstellung der Sohlplatte ausgeführt, ein solcher von 15°C.

2.252 Für gleichmäßige Erwärmung der Tischplatte gegenüber der Sohlplatte ist, wenn ein Wärmeschutz nach Abschnitt 1.5 vorgesehen wird, nähere Anhaltspunkte über Wärmegrade jedoch nicht angegeben werden können, bei Stahlbeton eine Temperaturerhöhung von 20°C anzunehmen, wobei jedoch das Schwindmaß abgezogen werden kann.

Schwinden und gleichmäßige Erwärmung sind deshalb durch die Annahme einer Temperaturänderung von — 10 bis — 15° oder + 10 bzw. + 5° zu berücksichtigen.

2.253 Auf der Turbinenseite ist ferner bei Wärmeschutz des Stahlbetons nach Abschnitt 1.5 und, wenn nähere Angaben nicht gemacht werden können, mit einem Temperaturunterschied innerhalb der Bauteile von $\pm 10^\circ$ (innen 20° wärmer als außen) zu rechnen. Bei dieser Berechnung kann mit dem halben Elastizitätsmaß und mit einem Querschnitt nach Stadium II gerechnet werden. Die hierdurch hervorgerufenen Biegemomente im liegenden geschlossenen Rahmen der Tischplatte bedingen eine äußere Ringbewehrung.

2.26 Für die Berechnung der Bodenpressungen genügt es, die Hälfte der angesetzten Ersatzkräfte zu berücksichtigen. Bei Tiefgründungen (z. B. Pfahlgründungen) können die Ersatzkräfte noch weiter verringert werden, wenn entsprechend tiefliegende Eigenschwingzahlen der Gründung nachgewiesen sind.

2.27 Die statische Berechnung ist für jeden Lastfall (ständige Lasten, statische Ersatzkräfte in lotrechter und waagerechter Richtung, doppeltes Kurzschlußmoment, Temperatur und Schwinden) getrennt durchzuführen. Für die Bemessung ist die ungünstigste Zusammensetzung der Lastfälle maßgebend, wobei jedoch wahlweise entweder die lotrechte Ersatzkraft, die waagerechte Ersatzkraft oder das doppelte Kurzschlußmoment anzusetzen ist.

2.28 Die Sohlplatte ist als freier Träger zu berechnen, auf den von oben die Stützenkräfte, von unten ein geradlinig verteilter Gegendruck wirken.

2.3 Weitere Gesichtspunkte für die statische Berechnung:

2.31 Für die statische Berechnung von Stützkonstruktionen in Stahlbeton gelten die einschlägigen Bestimmungen, insbesondere DIN 1045 (Bestimmungen für Ausführung von Bauwerken aus Stahlbeton) und DIN 1048 (Bestimmungen für Betonprüfungen bei Ausführung von Bauwerken aus Beton und Stahlbeton), jedoch ist für die Sohlplatte mindestens Beton B 160, für den aufgehenden Teil mindestens Beton B 225 zu verwenden; die Zugspannung des Betonstahls darf — bei allen Betonstahlgruppen — die für Betonstahl I zugelassene Grenze nicht überschreiten, Sonderbetonstähle (vgl. DIN 1045, Ausg. 1943xxx, § 5, Ziff. 6a) dürfen als statische Bewehrung nicht verwendet werden, diese Einschränkungen gelten jedoch nicht für Stahl-Spannglieder bei Anwendung von Spannbeton.

Für die Schwingungsberechnung ist bei B 225 das Elastizitätsmaß $E_b = 300\,000 \text{ kg/cm}^2$ einzusetzen. (Für höhere Betonfestigkeit sind die in DIN 4227*) angegebenen Elastizitätsmaße um 10% zu erhöhen.) Bei Ermittlung der Trägheitsmomente sind dann die Stahleinlagen mit ihrem (n-1)-fachen Wert zu berücksichtigen.

2.32 Bei Ausführung in Stahl gelten DIN 1050 (Berechnungsgrundlagen für Stahl im Hochbau**) und DIN 4100 (Vorschriften für geschweißte Stahlhochbauten). Auf die Vermeidung von Kerbwirkungen ist zu achten.

2.4 Außer den bereits in Abschnitt A 1 genannten Konstruktionsgrundsätzen sind die folgenden konstruktiven Gesichtspunkte zu beachten:

2.41 Die Maschine ist mit der Konstruktion kraftschlüssig zu verbinden.

2.42 Zur Vermeidung von Rissen soll bei Stahlbetonkonstruktionen die Bewehrung in jedem Bauglied, außer der Sohlplatte, mindestens 50 kg je m³ festen Beton (ohne Rücksicht auf die verwendete Stahlart) betragen und stets dreiaxsig (räumlich) angeordnet sein, auch wenn dies rechnerisch nicht erforderlich ist. Es ist ein Beton mit möglichst geringem Wasserzusatz zur Verringerung der Schwindneigung und zur Vergrößerung der Zugfestigkeit anzustreben.

2.43 Bei Stahlkonstruktion ist geschweißte Ausführung vorzuziehen.

2.44 Bei tiefer Abstimmung empfiehlt es sich, die Möglichkeit einer nachträglichen Verstimmung zu erwägen; Vorkehrungen hierzu sind bei Stahlbeton zweckmäßig.

2.45 Um eine unbeabsichtigte Verstimmung zu vermeiden, empfiehlt es sich, die Wände der Luftkanäle der Kreislaufkühler, Zwischenbühnen u. dgl. von der Stützkonstruktion getrennt zu halten.

2.46 Eine schwere und dicke Sohlplatte ist in schwingungstechnischer Hinsicht vorteilhaft, ihr Gewicht soll im allgemeinen einschließlich des etwa darüber vorhandenen Magerbetons nicht kleiner sein als das Gewicht der Maschinen, Tischplatte und Stützen zusammen; das Kondensatorgewicht bleibt hierbei außer Betracht. Die wirksame Dicke der Sohlplatte soll im allgemeinen nicht kleiner sein als $\frac{1}{10}$ der Länge.

2.47 Die Mittelkraft aus Konstruktionsgewicht und einfacher Maschinenlast (ohne Vakuumzug) soll durch den Schwerpunkt der Grundfläche (der Tiefgründung) gehen, um eine gleichmäßige Bodenpressung zu erzielen.

2.48 Die Baugrund- und Grundwasserverhältnisse unter der Sohlplatte sind stets nach DIN 1054, Abschnitt 3 festzustellen. Maßgebend für die Beurteilung des Baugrundes ist DIN 1054²⁾. Eine einwandfreie Bodenuntersuchung ist zweckmäßig, weil sich sandige Böden unter der Einwirkung von Vibrationen einrütteln, bindige Böden durch Austreiben des Wassergehaltes verdichten, und damit unerwünschte Setzungen entstehen können.

*) — Spannbeton, Richtlinien für Bemessung und Ausführung — Tafel III.

**) An Stelle der §§ 11, 12 und 13, Ziff. 5 DIN 1050 (Ausgabe Juli 1937) treten die Bestimmungen des Normblattes DIN 4114, Blatt 1 — Stahlbau, Stabilitätsfälle (Knickung, Kippung, Beulung), Berechnungsgrundlagen (eingeführt mit RdErl. v. 14. 11. 1952 — II A 2.260 Nr. 3000/52 — MBl. NW. S. 1715).

2) Vgl. auch: DIN 4021 Baugrund und Grundwasser. Grundsätze zur Erkundung; Bohrungen, Schürfe, Probenahme.

DIN 4022 Schichtenverzeichnis für Baugrunduntersuchungen. Anweisung für die Aufstellung und für das Benennen der Bodenarten.

In unsicheren Fällen ist es zweckmäßig, in die Sohlplatte Rohre in genügender Anzahl einzubetonieren, um Injektionen zum Füllen entstandener Hohlräume oder zum Heben der Sohlplatte vornehmen zu können.

Ist der Baugrund nicht einwandfrei, so ist eine Tiefgründung vorzusehen. Ebenso, wenn das Grundwasser dicht unter der Sohlplatte steht, da in diesem Falle das Grundwasser infolge seiner Nichtzusammendrückbarkeit besonders dazu neigt, Schwingungen in die Umgebung zu übertragen.

2.49 Taucht die Sohlplatte einer hoch abgestimmten Konstruktion in das Grundwasser, so ist es zweckmäßig, eine Schwingungsdämmschicht unter der Sohlplatte in einem gegen Grundwasser gedichteten Trog anzuordnen. Ähnliches gilt bei Aufstellung auf Fels.

B Hinweise für die Schwingungsrechnung

3 Für die Rechnung muß man das wirkliche System vereinfachen. Lotrechte und waagerechte Schwingungen wird man im allgemeinen getrennt beachten.

3.1 Die lotrechten Schwingungen kann man bei symmetrischer Konstruktion unterteilen in zur Maschinenlängsachse symmetrische und antisymmetrische (Drehungen um eine Längsachse). Auch bei unvollkommener Symmetrie des Aggregates zur Längsachse wird man in erster Näherung beide getrennt betrachten. Die Stützen sind im allgemeinen so zu wählen, daß alle Stützenpaare unter den Lastanteilen, die auf sie entfallen, dieselbe Schwingzahl haben. Bei der Bestimmung der Elastizität der Tischplatte ist neben der Biegung auch die Schubverformung und, wenn die Kraft ausmittig angreift, auch die Verdrillung zu berücksichtigen. Maschinengrundrahmen und -gehäuse beeinflussen die Eigenschwingzahlen, insbesondere die der Oberschwingungen. Der Vakuumzug des Kondensators geht als statische Kraft in die Schwingungsberechnung nicht ein. Wohl aber muß ein Teil des Kondensators als schwingende Masse berücksichtigt werden, wenn der Kondensator mit dem Abdampfstutzen fest verflanscht ist. Wie groß dieser Teil zu wählen ist, hängt ab von den elastischen Eigenschaften des Kondensators, der nicht als vollkommen starr angesehen werden kann. Wieweit die Betriebswasserfüllung mitschwingt, hängt ebenfalls ab von der Bauart des Kondensators und der Frequenz der Erregung; bei hohen Frequenzen wird das Wasser nicht mehr voll mitgenommen. — Die Massen weicher aufgelagerter Decken oder dgl. bleiben bei der Schwingungsrechnung unberücksichtigt.

3.2 Waagerechte Schwingungen können in Quer- und Längsrichtung auftreten. Die Querschwingungen sind wichtiger, immerhin sollte man auch die Möglichkeit einer Resonanz in Längsrichtung beachten.

Die Tischplatte hat verschiedene Möglichkeiten, waagerecht zu schwingen: als starres Gebilde auf den Stützen und in sich; bei den heute üblichen Bauarten lassen sich diese beiden Schwingungsarten getrennt berücksichtigen. Für den Einfluß der Maschinengrundrahmen und -gehäuse gilt das in Abschnitt 3.1 Gesagte in erhöhtem Maße. Die Eigenschwingzahlen der Oberschwingungen dürfen hier gegebenenfalls geschätzt werden.

Die Biege-Eigenschwingungen der Stützen können für sich untersucht werden.

3.3 Schwingungseinfluß der Sohlplatte. Bei der Ermittlung der Eigenschwingzahlen nach Abschnitt 3.1 und 3.2 wird man die Sohlplatte zunächst als feststehend annehmen. Jedoch können die Eigenschwingzahlen durch die Kopplungswirkung zwischen der Tischplatte und der auf dem Baugrund, auf einer Dämmschicht oder auf Pfählen federnd gelagerten Sohlplatte beeinflußt werden.

3.4 Schwingungen auf dem Baugrund: Bei Betriebsdrehzahlen von etwa 1000 bis 1500/min sind auch die Schwingungen des Gesamtfundamentes auf der federnden Unterlage (Baugrund, Dämmschicht, Pfähle) nachzuweisen. Hierbei dürfen nur dynamische Bettungsziffern³⁾ verwendet werden, weil die statischen Bettungsziffern zu niedrig sind.

³⁾ Die hierfür zur Zeit bekannten Werte (vgl. Fußnote 1) sind stark streuend. In wichtigen Fällen empfiehlt sich eine dynamische Bodenuntersuchung.

3.5 Weitere Einflüsse: In der Schwingungsberechnung ist auch die Möglichkeit zu berücksichtigen, daß die tatsächlichen Verhältnisse von den Annahmen der Rechnung ungünstig abweichen, z. B. hinsichtlich des Elastizitätsmaßes, der Trägheitsmomente, Stablängen, Einspannstellen usw., ferner weil die Lasten außer mittig gelagert sind, und die Maschinen federnd nachgeben.

Die rechnerischen Stablängen der Stützkonstruktionen sind wegen der starren Ecken entsprechend zu verringern. Die Einspannstelle der Stützen wird in der Regel unterhalb der Sohlplattenoberkante liegen, durch eine Verstärkung der Stützenfüße rückt sie andererseits höher hinauf.

3.6 Um die Unwucht-Beanspruchung der Konstruktion bestimmen zu können, muß man zunächst die Unwuchten selbst kennen. Hier ist man bei der heutigen Kenntnis auf sehr grobe Schätzungen angewiesen. Betriebsumfragen führten zu einer Erregerkraft K im Betriebszustand:

$$K = k \frac{L}{g} (e\omega_m)\omega_m \quad (1)$$

$$= \text{rd. } 0,5 L \frac{n_m}{3000}$$

Darin ist $\frac{L}{g}$ die Läufermasse, e die Unwucht des Läufers (Ausmittigkeit der Läufermasse), ω_m die Kreisfrequenz, n_m die minutliche Drehzahl der Maschine im Betrieb. Für $(e\omega_m)$, die „Wuchtgüte“, ist 0,15 cm/sec gesetzt. Der Beiwert $k \approx 10$ berücksichtigt den im Betrieb als obere Grenze etwa noch denkbaren schlechten Wuchtzustand. Das Herausheben der Verhältniszahl $\frac{n_m}{3000}$ ermöglicht die Ermittlung von K auch bei Betriebs-

drehzahlen, die von 3000/min abweichen. Obwohl die Fliehkraft bei gleichbleibender Unwucht mit dem Quadrat der Drehzahl wächst, ist die Abhängigkeit der Erregerkraft K linear genommen, da bei höherer Drehzahl besser ausgewuchtet wird ($e\omega = \text{const.}$). Um von dieser Erregerkraft auf die Beanspruchung der Konstruktion genau zu schließen, bedarf es der Schwingungsrechnung, die nicht nur die Resonanzstellen, sondern den Verlauf der erzeugten Schwingung bestimmt. Wegen der Unsicherheit der nach Art und Größe nur sehr ungefähr bekannten Erregerkraft genügt es, mit einer statischen Ersatzkraft näherungsweise wie folgt zu rechnen:

Ist die Konstruktion hoch abgestimmt⁴⁾, d. h. liegt ihre Eigenschwingzahl über der Betriebsdrehzahl, so kann sie als Schwinger mit einem Freiheitsgrad angesehen werden. Für einen solchen Schwinger hängt die statische Ersatzkraft von der Abstimmung $\zeta = n_e/n_m$ ab (n_e = Eigenschwingzahl, n_m = Maschinenbetriebsdrehzahl) und beträgt:

$$P = \mu \cdot v \cdot K = 3 \frac{\zeta^2}{\zeta^2 - 1} \cdot K \quad (2)$$

$$= 1,5 \frac{\zeta^2}{\zeta^2 - 1} \cdot L \frac{n_m}{3000} \text{ (Absolutwert),}$$

jedoch nicht mehr als

$$\max P = 15 L \frac{n_m}{3000} \quad (3)$$

Die Abhängigkeit der statischen Ersatzkraft P von der Abstimmung ζ zeigt die dünn ausgezogene Linie in Bild 1 für $n_m = 3000$. Bild 1 gilt auch für andere Betriebsdrehzahlen, wenn an Stelle des Läufergewichtes L der Ausdruck $L \cdot \frac{n_m}{3000}$ gesetzt wird. In Gleichung (2) bedeutet $\mu = 3$ den Ermüdungsbeiwert (Verhältniszahl zwischen statischer und Schwingungsfestigkeit). Bei genauer Kenntnis der Materialeigenschaften kann dieser Wert entsprechend geändert werden.

$v = \frac{\zeta^2}{\zeta^2 - 1}$ bedeutet den durch Aufschaukeln bedingten dynamischen Beiwert (Vervielfacher).

Ist die Konstruktion tief abgestimmt, d. h. wird ihre Grundfrequenz tiefer als die Betriebsdrehzahl gewählt, so liegt die Betriebsdrehzahl zwischen zwei Eigenschwingzahlen. Die oben ermittelte statische Ersatzkraft gilt näherungsweise auch hierfür, wenn zur Ermittlung der Abstimmung ζ die der Betriebsdrehzahl nächstgelegene Eigenschwingzahl verwendet wird.

⁴⁾ Eine hohe Abstimmung tritt praktisch nur in lotrechter Richtung auf.

Wegen der Unsicherheit in der Bestimmung der Eigenschwingzahlen (vor allem der Schwingzahlen höherer Ordnung) soll sowohl bei tiefer als auch bei hoher Abstimmung mit einer um

10% ungünstigeren Abstimmung ξ gerechnet werden. Die hier nach vergrößerten maßgebenden statischen Ersatzkräfte zeigt die dick ausgezogene Linie in Bild 1.

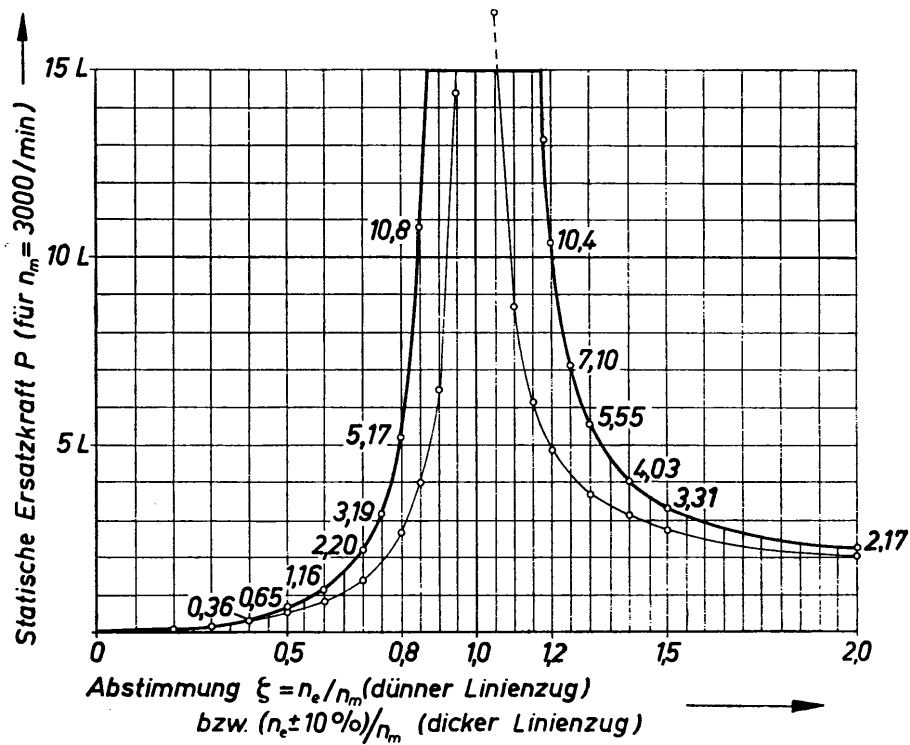


Bild 1

— MBl. NW. 1955 S. 1649.

Einzelpreis dieser Nummer 0,30 DM.

Einzellieferungen nur durch den Verlag gegen Voreinsendung des Betrages zuzgl. Versandkosten (pro Einzelheft 0,15 DM) auf das Postscheckkonto Köln 8516 August Bagel Verlag GmbH., Düsseldorf.
(Der Verlag bittet, keine Postwertzeichen einzusenden.)

Herausgegeben von der Landesregierung Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf, Elisabethstraße 5. Druck: A. Bagel, Düsseldorf;
Vertrieb: August Bagel Verlag GmbH., Düsseldorf. Bezug der Ausgabe A (zweiseitiger Druck) und B (einseitiger Druck) durch
die Post. Bezugspreis vierteljährlich Ausgabe A 4,50 DM, Ausgabe B 5,40 DM.

