

156. Bei gleichförmiger oder gleichförmig angenommener Gegen-
drehkraft hat man einfach eine Horizontale in der mittleren Diagramm-
höhe zu ziehen. Die Diagrammfläche wurde gefunden = 9350 qmm.
Die Länge des Diagramms betrug 471,2 mm, die mittlere Höhe ist
demgemäß 19,8 mm. Nach Eintragung der Gegenkraftlinie in dieser
Höhe mißt man die über- und unterschließenden Arbeitsflächen aus
und findet die in Fig. 64 in Quadratcentimetern eingeschriebenen
Flächengrößen.

Man übersieht sofort, daß die Unterschubfläche von 15,3 qcm
die maßgebende ist. Da jedoch bei Mehrzylindermaschinen sich
meist nicht sofort übersehen läßt, wo das höchste Maximum und
niedrigste Minimum liegt, soll nach einem allgemein anwendbaren
Verfahren vorgegangen werden: Man bezeichne die Schnittpunkte
des Drehkraftdiagramms mit der Gegenkraftlinie mit Ziffern, und
zwar etwa derart, daß die Schnittpunkte am Ende der positiven
Flächen gerade Zahlen erhalten; dann bestehen an den Punkten 2,
4, 6 . . . Geschwindigkeitsmaxima, an den Punkten 1, 2, 3 . . . Gesch-
windigkeitsminima; denn es findet so lange eine Beschleunigung
statt, wie die treibenden Drehkräfte größer sind als die Gegendreh-
kräfte, und umgekehrt.

Man gehe dann (um negative Werte zu vermeiden) von einer
beliebigen Anfangsfläche, z. B. 10 qcm an einem Minimum aus und
addiere und subtrahiere die Überschuß- und Unterschubflächen der
Reihe nach in einer Tabelle von nebenstehender Form. Man suche
dann den höchsten Wert in den geraden Reihen (hier
Reihe 2) und den niedrigsten in den ungeraden Reihen
(hier Reihe 3) auf. Der Unterschied beider, hier 24,7—9,4
= 15,3, ist der für die Berechnung des Ungleichförmig-
keitsgrades eines gegebenen Schwungrades oder für die
Berechnung des Schwungrades aus einem gegebenen
Ungleichförmigkeitsgrad maßgebende. Die maßgeben-
den Punkte folgen nicht immer unmittelbar aufeinander.

1	10,0 14,7
2	24,7 15,3
3	9,4 11,5
4	20,9 10,9
1	10,0

Maßstab der Überschuß- und Unterschubflächen.

157. Für Maßstabermittlungen möge an Stelle des Gleichheits-
zeichens das Zeichen \neq eingeführt werden, welches bedeutet „stellt
dar“ oder „stellen dar“ oder „wird dargestellt durch“. Der Maßstab
für die durch die Flächen dargestellte Arbeit wird gefunden durch
Multiplikation des Kräftemaßstabes mit dem Wegmaßstabe.

Kräftemaßstab:
 12 mm \neq 1 kg/qcm oder F kg,
 mit F = 1363 qcm;
 12 mm \neq 1363 kg;
 1 mm \neq $\frac{1363}{12} = 113,6$ kg.

Wegmaßstab:
 471,2 mm \neq $0,6 \cdot \pi = 1,885$ m;
 1 mm \neq $\frac{1,885}{471,2} = 0,00400$ m.

Arbeitsmaßstab: 1 qmm \neq $113,6 \cdot 0,00400 = 0,4544$ kgm;
 15,3 qcm = 1530 qmm \neq $1530 \cdot 0,4544 = 695$ kgm.

158. Wenn die Drehkräfte mehrerer Triebwerke zusammenzusetzen sind, muß natürlich der Maßstab der Einzelkräfte der gleiche sein, und man hat daher schon die Drehkräfte oder auch schon die Triebkraft- und Indikatordiagramme auf eine bestimmte Kolbenfläche (bei verschieden großem Hub allgemeiner auf ein bestimmtes Hubvolumen) zu reduzieren.

Beispiel. Verbundmaschine, Kolbenfläche des HDZ = 832 qcm, des NDZ = 2210 qcm. Hub = 0,5 m. Zu untersuchen sei der Ungleichförmigkeitsgrad nach aufgenommenen Indikatordiagrammen mit folgenden Federmaßstäben: HDZ: 1 kg/qcm \neq 4,07 mm; NDZ: 1 kg/qcm \neq 10,02 mm. Das Hochdruckdiagramm möge im Höhenmaßstab unverändert für die Auftragung der Drehkräfte benutzt werden.

Kräftemaßstab:
 Indikator- und Drehkraft-
 diagramm
 4,07 mm \neq 1 kg/qcm = 832 kg,
 1 mm \neq $\frac{832}{4,07} = 204$ kg.

Wegmaßstab:
 Länge des Indikatordiagramms
 gleichgültig; gewählte Länge
 des Drehkraftdiagramms
 200 mm für 360°,
 200 mm \neq $0,5 \pi$ m,
 1 mm \neq $\frac{0,5 \pi}{200} = 0,00785$ m.

Arbeitsmaßstab: 1 qmm \neq $204 \cdot 0,00785 = 1,60$ kgm.

Die Reduktion des Niederdruckdiagramms auf gleichen Maßstab der Kolbenkräfte wird wie folgt gefunden:

Im Originaldiagramm werden 2210 kg dargestellt durch 10,02 mm, die Darstellungsgröße dieser Kraft muß aber, damit sie mit der des als Grundlage gewählten HDZ-Diagramms übereinstimmt, sein $= \frac{2210}{204} = 10,84$, also ist das NDZ-Diagramm in der Höhe im Verhältnis $\frac{10,84}{10,02}$ zu vergrößern.

Der Atmosphärenmaßstab entworfenen Verbunddiagramme wird für den HDZ und NDZ in der Regel gleich groß gewählt. Wenn

man dann auch das HDZ-Diagramm direkt benutzt, ist das NDZ-Diagramm in der Höhe einfach im Verhältnis der Hubräume (bei gleich großem Hub der Kolbenflächen) zu vergrößern. Die Längenreduktion findet durch die Annahme gleicher Längen für 360° statt.

Das vorstehend über die Vereinheitlichung des Kraft- und Arbeitsmaßstabes Gesagte gilt auch, wenn die Kolbenkräfte oder Drehkräfte von Arbeitszylindern (Pumpenzylindern, Gebläsezylindern) mit denen von Dampfzylindern zusammengesetzt sind.

159. Die im Art. 157 gefundene Arbeit von 695 kgm muß vom Schwungrad, welches im Punkte 2 seine höchste Geschwindigkeit erreicht hat, hergegeben werden, wobei es seine Geschwindigkeit verlangsamt, bis es seine kleinste Geschwindigkeit im Punkte 3 erreicht hat. Die Geschwindigkeitsabnahme hängt von der Größe des Schwungrades oder allgemeiner von der mittleren lebendigen Kraft ab. Die bekannte Beziehung zwischen Ungleichförmigkeitsgrad mittlerer lebendiger Kraft und Überschuß- oder Unterschubarbeit des Drehkraftdiagramms (welche mit ΔA bezeichnet werden möge) werde hier noch einmal kurz entwickelt.

Die größte Winkelgeschwindigkeit des Schwungrades werde mit ω_2 , die kleinste mit ω_1 bezeichnet (Indices ohne Rücksicht auf die Punktbezeichnung in Fig. 64).

Die größte Wucht (lebendige Kraft) E_2 hat das Schwungrad bei der Geschwindigkeit v_{\max} oder der Winkelgeschwindigkeit ω_2 , die kleinste E_1 bei der Geschwindigkeit v_{\min} (vgl. Fig. 64) oder der Winkelgeschwindigkeit ω_1 , nämlich

$$E_2 = J \frac{\omega_2^2}{2} \text{ und } E_1 = J \frac{\omega_1^2}{2},$$

worin J das Trägheitsmoment des Schwungrades ist. Der Unterschied $E_2 - E_1$ muß gleich der von den überschießenden oder unterschießenden Drehkräften geleisteten oder verbrauchten Arbeit sein, also

$$\Delta A = E_2 - E_1 = J \frac{\omega_2^2 - \omega_1^2}{2}.$$

Der Ungleichförmigkeitsgrad wird definiert durch die Gleichung

$$\delta \equiv \frac{\omega_2 - \omega_1}{\omega_m},$$

worin ω_m der „Grenzmittelwert“ $= \frac{\omega_2 + \omega_1}{2}$ ist. Die Benennung mittlere Winkelgeschwindigkeit, ohne diese Definition, genügt nicht und hat schon zu Verwechslungen mit anderen Mittelwerten, z. B. dem Zeitmittelwert, geführt.

$$\begin{aligned}\Delta A &= J \frac{\omega_2^2 - \omega_1^2}{2} = J \frac{1}{2} (\omega_2 + \omega_1) (\omega_2 - \omega_1) = J \frac{1}{2} \frac{\omega_2 + \omega_1}{2} 2 (\omega_2 - \omega_1) \\ &= J \frac{1}{2} \omega_m 2 (\omega_2 - \omega_1) = J \frac{1}{2} \omega_m^2 2 \frac{\omega_2 - \omega_1}{\omega_m} = J \frac{1}{2} \omega_m^2 2 \delta.\end{aligned}$$

$J \frac{\omega_m^2}{2}$ ist aber die Wucht des Schwungrades bei der mittleren Geschwindigkeit. Sie werde mit E_m bezeichnet; dann ist

$$\Delta A = E_m 2 \delta \text{ oder } E_m = \frac{1}{2} \Delta A \frac{1}{\delta}. \quad (7)$$

160. Die erforderliche mittlere Wucht E_m ergibt sich also aus ΔA und dem zugelassenen Ungleichförmigkeitsgrad. Wird dieser im vorliegenden Falle $\delta = 1/120$ gesetzt, $1/\delta$ also $= 120$, so wird

$$E_m = \frac{1}{2} 695 \frac{1}{\delta} = \frac{1}{2} 695 \cdot 120 = 41700 \text{ kgm.}$$

Die Berechnung auf äußere, unregelmäßige Belastungsstöße hatte (Art. 144) mit der Forderung $x \geq 8$ eine Wucht $E \geq 34000$ kgm ergeben. In diesem Falle ergibt also die Forderung des Gleichförmigkeitsgrades mit $\delta = 1/120$ eine größere Wucht und ist maßgebend. Bei einer Zweikurbelmaschine mit 90° Kurbelversatz hätten jedoch bei gleichen Anforderungen nach beiden Richtungen leicht die Außenschwankungen mit 34000 kgm erforderlicher Schwungradwucht maßgebend werden können, weil die Überschuß- oder Unterschubarbeit ΔA bei solchen Maschinen kleiner wird wie bei Einkurbelmaschinen oder Zweikurbelmaschinen mit 180° Kurbelversatz.

Überschlägliche Berechnung von ΔA .

161. Wenn auch auf die überschießende oder unterschießende Arbeit sehr viele Größen einwirken, so ist doch das Verhältnis derselben zur Arbeit einer halben Umdrehung bei ein und derselben Maschinengattung auch für verschiedene Bedingungen kein allzu ungleiches, so daß es möglich ist, ein mittleres Verhältnis anzugeben, mit welchem die Arbeit einer halben Umdrehung multipliziert werden kann, um ΔA zu erhalten (vgl. den Wert a im Führer S. 814, ferner K. Mayer, Ztschr. d. V. d. Ing. 1889, S. 113, und Tolle, Regelung der Kraftmaschinen 2. Aufl. S. 87 bis 90). Bei Einkurbelmaschinen und Verbundmaschinen mit gegenläufigen Kolben kann man das Verhältnis $a = 0,26$ bis $0,33$ setzen.

Die Arbeit einer halben Umdrehung ist im vorliegenden Falle

$$= F s p_1 = 1363 \cdot 0,6 \cdot 2,6 = 2126 \text{ kgm;}$$

mit $a = 0,3$ als Mittelwert ergibt sich $\Delta A = 0,3 \cdot 2126 = 637,8$ kgm statt 695. Die Genauigkeit reicht vollkommen aus, um in Zweifelsfällen, in denen die äußeren Belastungsstöße vielleicht überwiegende