

Geschwindigkeit des ausströmenden Dampfes.

(§. 509.)

349. Nimmt man nach Regnault's Versuchen das specifische Gewicht des gesättigten Wasserdampfes mit $\cdot 6219$ des specifischen Gewichtes der atmosphärischen Luft bei gleicher Spannung und Temperatur in Rechnung, so hat man für die theoretische Ausflussgeschwindigkeit des Dampfes aus einer Oeffnung des Dampfkessels nach Formel (8) in Nr. **320** mit Rücksicht auf die darauf bezügliche Bemerkung in Nr. **321** sofort:

$$c = 2410 \sqrt{(1 + \alpha t) \log v. \left(1 + \frac{mh}{b}\right)},$$

wobei für ein Quecksilbermanometer $m = 1$ und $1 + \frac{h}{b} = \frac{b+h}{b} = \frac{P}{p}$ ist, wo P die absolute Dampfspannung im Kessel und p jene der äussern Luft bezeichnet, wenn nämlich, wie fast immer, der Dampf in die freie Atmosphäre ausströmt.

Bringt man, wie es üblich, die effective Dampfspannung in Atmosphären ausgedrückt in die Rechnung und setzt diese $= n$, so ist $p = 1$ und $P = n + 1$, folglich die Ausflussgeschwindigkeit des Dampfes per Secunde in Wiener Fuss:

$$c = 2410 \sqrt{(1 + \alpha t) \log v. (n + 1)} \dots (1),$$

dabei ist die Temperatur t in Centigraden und der Ausdehnungscoefficient, bis auf Weiteres, $\alpha = \cdot 00366$ zu setzen.

So wäre z. B. für Dampf von $\frac{1}{4}$ und 6 Atmosphären Ueber- oder effectiven Druck, beziehungsweise $n + 1 = 1\frac{1}{4}$, $t = 106\cdot 5$ und $n + 1 = 7$, $t = 165\cdot 3$ (Tafel in Nr. **361**), folglich die theoretische Ausflussgeschwindigkeit des Dampfes in die freie Luft in diesen beiden Fällen:

$c = 884\cdot 5$ und $c = 2806\cdot 7$ Fuss per Secunde.

Nach den bisher angenommenen Formeln fallen diese Geschwindigkeiten nicht unbedeutend kleiner aus.

Grösse der Sicherheitsventile bei Dampfkesseln.

(§. 528.)

350. Um die Grösse der Oeffnung zu bestimmen, welche bei einem Dampfkessel angebracht werden muss, um von einer gewissen Spannung angefangen allen Dampf in dem Masse, als

er im Kessel erzeugt wird, auch gleichzeitig wieder durch diese Oeffnung entweichen zu lassen, sei a die Grösse dieser Oeffnung, so wie n die Anzahl der Atmosphären der effectiven Spannung, welche der Dampf im Kessel erreichen, aber nicht übersteigen soll. Ist ferner c die Geschwindigkeit, mit welcher der Dampf von dieser Spannung in die freie Atmosphäre ausströmt und μ der der betreffenden Oeffnung entsprechende Ausflusscoefficient, so ist dem Volumen nach die per Secunde aus dieser Oeffnung ausströmende Dampfmenge $M = \mu a c$.

Ist ferner Q das Gewicht dieses Volumens M , so hat man, da 1 Kubikfuss Dampf bei t° Temperatur und b Fuss Quecksilbersäule Spannung (und dem specifischen Gewicht von $\cdot 6219$) $\cdot 018866 \frac{b}{1 + \alpha t}$ Pfunde wiegt, sofort:

$$Q = \cdot 018866 \mu a \frac{b}{1 + \alpha t} c,$$

oder wenn man für die Geschwindigkeit c den Werth (1) aus der vorigen Nummer setzt, in Pfunden:

$$Q = 45 \cdot 467 \mu a b \sqrt{\frac{1}{1 + \alpha t} \log v. (n + 1) \dots (2)}.$$

Dieselbe Relation hätte man auch unmittelbar aus der Formel (17) in Nr. **323** mit der dort bemerkten Umänderung des Coefficienten $57 \cdot 64$ in $45 \cdot 46$ erhalten.

Setzt man für kreisrunde Oeffnungen, wie solche bei den Ventilsitzen der Dampfkessel vorkommen, bis auf nähere Bestimmungen $\mu = \cdot 85$, so erhält man für die wirkliche per Secunde aus einer solchen Oeffnung ausströmende Dampfmenge dem Gewichte nach:

$$Q = 38 \cdot 65 a b \sqrt{\frac{1}{1 + \alpha t} \log v. (n + 1) \dots (3)}.$$

Will man in diese Formel den mittleren Barometerstand einführen, oder, wie es in der Regel immer geschieht, den mittlern Luftdruck voraussetzen, so wird noch einfacher, wegen $b = 2 \cdot 4043$ Fuss:

$$Q = 92 \cdot 93 a \sqrt{\frac{1}{1 + \alpha t} \log v. (n + 1) \dots (4)},$$

wobei man wieder $\alpha = \cdot 00366$ setzen kann.

351. Ist nun A die dämpferzeugende oder die sogenannte Heizfläche des Dampfkessels und nimmt man an, dass jede

Flächeneinheit, hier also speciell jeder Quadratfuss dieser Heizfläche, bei einem normalen Betrieb per Secunde m Pfund Dampf erzeugt, so muss nach der obigen Bedingung $m A = Q$ sein. Setzt man in diese Relation für Q den Werth aus der vorigen Gleichung (4) und bestimmt dann die Ausströmungsöffnung a , so erhält man:

$$a = \frac{m A}{92 \cdot 93} \frac{\sqrt{1 + \alpha t}}{\sqrt{\log v \cdot (n + 1)}} \dots (5).$$

Der Erfahrung zufolge geben die gewöhnlichen Dampfkessel per 1 Quadratfuss Heizfläche und per Stunde 5 bis 6, die Schiffskessel von 5·5 bis 6·5 und die Locomotivkessel während der Fahrt und einer Geschwindigkeit von mindestens 4 Meilen per Stunde von 4 bis 10 Pfund (beim Stillstehen kaum 2 Pfd.) Dampf von den betreffenden Spannungen. Nimmt man daher beispielsweise für einen Locomotivkessel die stündliche Dampferzeugung zu 9 Pfund für jeden Quadratfuss seiner Heizfläche (directe wie indirecte), setzt nämlich $m = \frac{9}{3000} = \frac{1}{300}$, so folgt aus der vorigen Relation (5) für die Grösse der nöthigen Ventilöffnung:

$$a = \frac{A \sqrt{1 + \alpha t}}{37172 \sqrt{\log v \cdot (n + 1)}}.$$

Soll ferner, wie jetzt gewöhnlich, der Dampf im Kessel eine effective Spannung von 7 (also eine absolute von 8) Atmosphären erhalten, so muss man in dieser letztern Relation $n = 7$ und $t = 172 \cdot 1$ (nach Regnault nur 170·8) setzen; dadurch erhält man, $\alpha = \cdot 00366$ gesetzt:

$$a = \frac{A}{37172} \sqrt{\frac{1 \cdot 6299}{\cdot 90309}} = \frac{1 \cdot 3434 A}{37172} = \frac{A}{27670}.$$

Es ist daher für dieses Beispiel das Verhältniss zwischen den beiden Flächen a und A :

$$\frac{a}{A} = \frac{1}{27670},$$

d. h. die Ventilöffnung ist zur Erfüllung der gestellten Bedingung schon gross genug, wenn sie den 27670sten Theil der Heizfläche des Kessels beträgt. Insoferne nun nach der frühern preussischen Verordnung bei jedem Dampfkessel die Ventilöffnung wenigstens $\frac{1}{3000}$ der Heizfläche betragen muss, wäre in dem vorliegenden Beispiele eine $\frac{27670}{3000} = 9 \cdot 2$ fache, oder bei zwei Ventilen sogar (scheinbar) eine 18½fache Sicherheit vorhanden.

Nach der neuern Verordnung (31. August 1861) müssen die Sicherheitsventile (deren auf den Schiffs-, Locomotiv- und Locomobil-Dampfkesseln wenigstens zwei vorhanden sein sollen) nach Abzug der Stiele und etwa vorhandenen Stege für jeden Quadratfuss der gesammten, vom Feuer berührten Kesselfläche im Ganzen mindestens die nachstehend bestimmte freie, zur Abführung des Dampfes dienende Oeffnung haben, nämlich bei einem Ueberdruck (effectiven Druck) von mehr als:

0	$\frac{1}{2}$	1	$1\frac{1}{2}$	2	$2\frac{1}{2}$	3	$3\frac{1}{2}$	4	$4\frac{1}{2}$	5	$5\frac{1}{2}$	}	Atmosphäre		
bis	bis	bis	bis	bis	bis	bis	bis	bis	bis	bis	bis				
$\frac{1}{2}$	1	$1\frac{1}{2}$	2	$2\frac{1}{2}$	3	$3\frac{1}{2}$	4	$4\frac{1}{2}$	5	$5\frac{1}{2}$	6				

10·0 7·0 5·3 4·3 3·6 3·2 2·8 2·5 2·3 2·0 1·85 1·7 □ Linien freie Oeffnung.

Nimmt man nach dieser Scala für den effectiven Druck von 7 Atmosphären 1·4 Quadratlinien Ventilöffnung auf 1 Quadratfuss Heizfläche, so hat man für das vorliegende Beispiel:

$$a = \frac{1\cdot4A}{144 \times 144} \text{ d. i. } \frac{a}{A} = \frac{1}{14812}$$

Nach der in Oesterreich bestehenden Anordnung muss jeder Dampfkessel mit zwei Sicherheitsventilen versehen sein, deren lichter Durchmesser aus der Formel:

$$d = 312 \sqrt{\frac{A}{n + 588}} \dots (\alpha)$$

in W. Zollen gefunden wird, in welcher, wie oben, A die Heizfläche des Kessels in Quadratfuss und n die effective Dampfspannung in Atmosphären bezeichnet. Für das vorliegende Beispiel wäre die kreisförmige Ventilöffnung in Quadratfuss $a = \frac{1}{4} \left(\frac{d}{12}\right)^2 \pi = \frac{A}{14292}$, also bei zwei Ven-

tilen eine $\frac{2 \times 27670}{14292} = 3\cdot872$ fache Sicherheit vorhanden.

Ist z. B. in dem hier angenommenen Locomotivkessel die totale Heizfläche $A = 1200$ Quadratfuss, so genügte eine kreisförmige Ventilöffnung von 2·82 Zoll Durchmesser, während das Gesetz nach der Formel (α) einen Durchmesser von 3·92 Zoll verlangt, wodurch wieder bei dem Vorhandensein von 2 Ventilen die bereits erwähnte 3·872fache Sicherheit entsteht.

Allein alle diese über den Sicherheitsgrad gemachten Berechnungen setzen voraus, dass die Ventilöffnung vollkommen frei sei, oder dass sich wenigstens das die Oeffnung überdeckende Sicherheitsventil um den 4ten Theil des Durchmessers der Ventilöffnung hebe, damit die ringförmige Ausströmungsöffnung der kreisförmigen gleich werde. Da sich nun aber die Ventile nach den von uns zahlreich angestellten und in der k. Akademie der Wissenschaften erörterten Versuchen kaum um 1 Linie, häufig nur um einen kleinen Bruchtheil dieser Grösse heben, so sind in der That in dieser Beziehung alle bisher angenommenen und berechneten Sicherheitsgrade, und zwar ohne Ausnahme, nach allen in den verschiedenen Ländern erlassenen Verordnungen illusorisch.

So erfordert in dem vorigen Beispiele die eingangs gestellte Bedingung eine Ventilöffnung von 6·246 Quadrat Zoll, oder einen Durchmesser von 2·82 Zoll. Nimmt man nun aber wirklich, wie es das Gesetz vorschreibt, 2 Ventile, jedes von 3·92 Zoll Durchmesser oder von 12·069 Quadrat Zoll Fläche, und hebt sich beim Abblasen desselben das Ventil im besten Falle um 1 Linie oder $\frac{1}{12}$ Zoll, so bieten beide Ventile zusammen dem ausströmenden Dampf bloß eine ringförmige Oeffnung von $2 \times 12\cdot31 \times \frac{1}{12} = 2\cdot052$

Quadratzoll dar, welche also $\frac{6.246}{2.052} = 3$ Mal zu klein (und nicht, wie oben gerechnet, 3.87 Mal zu gross) ist; ja diese Zahl steigert sich sogar auf das Doppelte, da sich die Ventile in der That nicht über $\frac{1}{2}$ Linie heben.

Hieraus folgt also, dass man entweder auf die oben gestellte Bedingung verzichten, oder die Ventile bei Weitem grösser als nach allen bisher gegebenen Vorschriften machen müsse. Da nun aber das Letztere in der Praxis seine Schwierigkeiten hat, so thut man wenigstens gut, sich stets gegenwärtig zu halten, dass die Sicherheitsventile allein, ohne gehörige Vorsicht von Seite der Heizer oder Maschinisten, keineswegs, wie so gerne angenommen wird, gegen Kesselexplosionen ohne Weiteres schützen können, indem unserer Ansicht nach diese Ventile nichts mehr und nichts weniger als Regulatoren sind, mittelst welchen es dem Heizer wenigstens viel leichter wird, jede Ueberspannung und Gefährdung des Kessels hintanzuhalten, als es ihm ohne diese Ventile mit blosser Beobachtung eines verlässlichen Manometers möglich wäre.

Wanddicke der cylinderischen Dampfkessel.

(§. 529.)

352. Bezeichnet D den Durchmesser des Dampfkessels, d die Wand- oder Blechdicke, p den Dampfdruck im Innern des Kessels auf die Flächeneinheit, so wie m den Modul der Trag- (Nr. 54) oder (nach Relaux) der stabilen Festigkeit des betreffenden Materiales; so ist nach Relation (1) in Nr. 116, wenn man m statt der absoluten Festigkeit F_a setzt und gleich die sogenannte additionelle Stärke hinzufügt (§. 160 und 161):

$$d = \frac{pD}{2m} + \cdot 114,$$

wenn man nämlich den Wr. Zoll zur Einheit nimmt.

Beträgt die effective Dampfspannung, welche der Kessel aushalten soll, n , mithin die absolute Spannung $n + 1$ Atmosphären, und rechnet man den Druck einer Atmosphäre auf 1 Quadratzoll mit 12.8 Pfund, so ist in der vorigen Relation $p = 12.8n$ zu setzen, wodurch auch

$$d = 6.4n \cdot \frac{D}{m} + \cdot 114$$

wird.

Nimmt man nun für Eisenblech in runder Zahl die stabile Festigkeit (§. 129) $m = 20000$, so wird, d und D in Zollen ausgedrückt:

$$d = \cdot 00032nD + \cdot 114 \dots (\alpha).$$