W. FRÄNKEL, Das Princip der kleinsten Deformationsarbeit ...

ZEITSCHRIFT

DES

VEREINES DEUTSCHER INGENIEURE.

Redacteur:

Th. Peters,

Generalsekretär des Vereines.

Band XXVIII.

(Achtundzwanzigster Jahrgang.)

1884.

Mit 41 Tafeln, 4 Textblättern und Figuren im Texte.

Berlin.

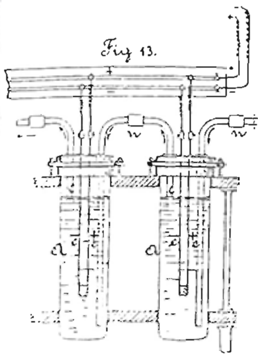
Selbstverlag des Vereines.

Commissions-Verlag und Expedition: Julius Springer,

Berlin N., Monbijou-Platz 3.

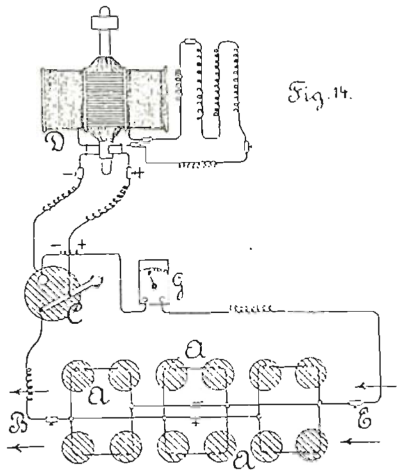
welchen später 5kg schwefelsaures Kupfer folgen. Der entwickelte Wasserstoff entweicht durch ein Rohr im Deckel zu einem Kühler. Eine solche Zinkfüllung soll für $1\frac{1}{2}$ Jahre ausreichen.

Der so behandelte Spiritus wird rectificirt oder zunächst noch der Einwirkung eines elektrischen Stromes ausgesetzt. Man lässt ihn durch eine Anzahl $0{,}6^{m}$ hoher Glasbehälter A (Fig. 13), welche durch Rohre $n\,c$ mit einander verbunden sind, in der Pfeilrichtung hindurchfliefsen. Die Kupferpole c sind mit einer Dynamomaschine D (Fig. 14) verbunden, welche in bekannter Weise mit Commutator C und Galvanometer G versehen ist. Zur stündlichen Verarbeitung von 12^{hl} Rohspiritus sind 2 Reihen von je 6 Behälter A nebst einer 4 pferdigen Siemens'schen Dynamomaschine erforderlich.



Das Verfahren wird in der Boulet'schen Spiritusfabrik in Bapeaume-les-Rouen mit günstigem Erfolg angewendet. Maisspiritus ergab früher 40 bis 50 pCt. reinschmeckenden Alkohol, nach der Behandlung mit Elektricität 75 bis 80 pCt. Spiritus aus Rüben und Topinambur, welcher auf andere Weise überhaupt nicht reinschmeckend zu erhalten war, giebt jetzt ebenfalls bis 80 pCt. reinen Spiritus. —

Die Begeisterung für das »elektrische Zeitalter« und für »Elektrotechnik«[1]) hat sich seit etwa einem Jahre bedeutend abgekühlt, da Accumulatoren, elektrische (mechanische) Kraftübertragung, ja selbst die elektrische Beleuchtung[1]), den gehegten Erwartungen keineswegs entsprochen haben. Die



Verwendung der Elektricität in der chemischen Industrie, an welche man zur Zeit der elektrischen Hochflut kaum gedacht hat, ist dagegen schon jetzt ungemein mannigfaltig und erfolgreich.

[1]) Von Telegraphie und Telephonie sehe ich hier als einem in sich geschlossenen Ganzen natürlich ab; der Begriff (oder richtiger das Conglomerat) »Elektrotechnik« wird überhaupt ebenso wenig aufrecht zu erhalten sein, wie etwa »Wärmetechnik«.

[1]) Vgl. Elektrotechn. Ztschr. 1884, S. 64.

Das neue städtische Wasserwerk in Stuttgart.

Von **H. Zobel**, Bau-Inspector, Stuttgart.

(Hierzu Tafel XXIII bis XXVII.)

Diese Nummer enthält die vierte Tafel XXVI dieser Anlage, deren Beschreibung in No. 29, S. 557 gegeben ist.

Die Sätze von der Formänderungsarbeit und ihre Bedeutung für die Festigkeitslehre.[1])

Von **Heinr. F. B. Müller-Breslau**, Docent an der techn. Hochschule zu Hannover.

In No. 16, S. 320 bis 323 des vorliegenden Jahrganges dieser Zeitschrift ist ein Aufsatz von Hrn. Prof. Krohn über das Princip der kleinsten Formänderungsarbeit enthalten, in welchem auf den (bereits bekannten) Zusammenhang dieses Princips mit dem von Mohr bei Berechnung statisch unbestimmter Fachwerke benutzten Satze von der virtuellen Arbeit hingewiesen wird. Ein Vergleich der Methode von Mohr mit dem Verfahren von Castigliano und Fränkel führt dann Hrn. Krohn zu dem Schlusse, es sei nicht zu empfehlen, das erstere durch das letztere zu ersetzen.

Da dieses Urteil manchen Leser abhalten könnte, sich Gesetze anzueignen, welche eine rasche und ungemein übersichtliche Lösung einer grofsen Reihe von Aufgaben der Festigkeitslehre ermöglichen, so sollen im folgenden die auf die Formänderungsarbeit Bezug habenden neuen Lehrsätze kurz zusammengestellt werden, mit Hinzufügung einiger die Anwendung derselben betreffenden Erläuterungen. Es dürfte dies um so erspriefslicher sein, als Hr. Krohn nur von dem verhältnismäfsig leicht zu berechnenden und wohl vorzugsweise für den Bauingenieur wichtigen Fachwerke gesprochen hat, während Castigliano und Fränkel in ihren bedeutsamen Arbeiten die Anwendung ihrer Gesetze auch auf homogene isotrope Körper (z. B. vollwandige Träger) gezeigt haben. Zwar könnte man einwenden, dass derartige Körper sich stets als Fachwerke mit unendlich nahen Knotenpunkten definiren lassen, und es bildet diese Definition thatsächlich ein wertvolles Argument für die Beweisführung; praktische Resultate aber sind durch eine solche Begriffsbestimmung noch nicht erzielt worden, während man umgekehrt aus den Gesetzen für den homogenen isotropen Körper durch Specialisirung mit einem Schlage eine Reihe einfacher Formeln für die in der Praxis so häufig zu behandelnden Beanspruchungen auf Biegungs-, Torsions- zusammengesetzte Festigkeit usw. ableiten kann und hierbei natürlich auch alle auf das Fachwerk sich beziehenden Sätze erhält.

Dies ist auch der Grund, welcher mich veranlasste, in der nachfolgenden Zusammenstellung von den Gesetzen für den homogenen Körper auszugehen und an die Mitteilung der Sätze von der Formänderungsarbeit die Aufstellung einer Beziehung zu schliefsen, welche zwischen der Verschiebung irgend eines Punktes eines elastischen Körpers und den bei irgend einem Temperatur- und Belastungszustande in demselben herrschenden Spannungen besteht. Diese Beziehung,

[1]) Inbezug auf den in No. 27 d. Z. veröffentlichten Aufsatz des Hrn. Dr. Fränkel bemerken wir, dass der vorliegende Aufsatz des Hrn. Müller-Breslau vor der Veröffentlichung jenes verfasst worden ist. Die Red.

welche alle bisher mittels des Satzes von der virtuellen Arbeit abgeleiteten Gesetze als specielle Fälle umfasst, zeigt, wie der zuerst von Lamé gehegte Gedanke, den genannten Satz auf die Formänderungen elastischer Körper anzuwenden, sich weiter ausbeuten lässt, als dies bis jetzt geschehen ist.

§ 1. Zusammenstellung einiger Formeln und der Bezeichnungen.

Wir werden die neuen Lehrsätze zuerst ganz allgemein aussprechen, um hierauf ihre Anwendung speciell auf die folgenden besonders wichtigen Fälle anzudeuten.

1) Zug- oder Druckfestigkeit. Ein Stab von der Länge s, gerade oder gekrümmt, sei in jedem Querschnitte durch eine Kraft N, senkrecht zum Querschnitte und im Schwerpunkte desselben angreifend, beansprucht. Es entsteht die Normalspannung $\sigma = \pm \frac{N}{F}$ und es wird die Formänderungsarbeit:

$$A = \int \frac{N^2 ds}{2 E F} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

E = Elasticitätsmodul. F = Querschnittsinhalt.

2) Für ein Fachwerk, dessen Stäbe durch die Spannkräfte S beansprucht werden, folgt, wenn f = Stabquerschnitt,

$$A = \Sigma \frac{S^2 s}{E f} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

3) Biegungsfestigkeit. Auf den Stabquerschnitt wirken Biegungsmomente M_x und M_y, welche um die Querschnittshauptachsen x und y drehen. J_x und J_y seien die Trägheitsmomente für die x- bezw. y-Achse. Für ein Querschnittselement an der Stelle xy ergiebt sich die Spannung

$$\sigma = \frac{M_x}{J_x} y + \frac{M_y}{J_y} x \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

und wird die Formänderungsarbeit:

$$A = \int \frac{M_x^2 ds}{2 E J_x} + \int \frac{M_y^2 ds}{2 E J_y} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

Am häufigsten hat man $M_y = 0$ oder $M_x = 0$. Dass man die Formeln 3 und 4 auch auf Bogenträger anwenden darf, da deren Querschnittshöhe im Vergleich zum Krümmungsradius stets gering ist, wird als bekannt vorausgesetzt.

4) Torsionsfestigkeit. Darf die Schubspannung τ in dem Elemente dF eines durch ein Torsionsmoment M_t beanspruchten Querschnittes $= \frac{M_t \varrho}{J_p}$ gesetzt werden, wobei ϱ = Abstand des Elementes vom Schwerpunkte des Querschnittes und J_p = polares Trägheitsmoment des Querschnittes, bezogen auf den Schwerpunkt, so ist:

$$A = \int \frac{M_t^2 ds}{2 G J_p} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

G = Gleitmodul. Die Formel 5 ist beispielsweise anwendbar auf runde Wellen und runddrähtige Torsionsfedern.

5) Beliebiger isotroper homogener Körper. Sind (mit den bekannten Grashof'schen Bezeichnungen) σ_x, σ_y, σ_z die Normalspannungen und τ_x, τ_y, τ_z die Schubspannungen im Punkte x, y, z eines auf rechtwinklige Coordinaten bezogenen elastischen Körpers, so ist:

$$A = \frac{1}{2E} \int \left[\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - \frac{2}{m} (\sigma_y \sigma_z - \sigma_z \sigma_x - \sigma_x \sigma_y) \right] dV + \frac{1}{2G} \int (\tau_x^2 + \tau_y^2 + \tau_z^2) \, dV \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

$\frac{1}{m}$ = Coëfficient der Querdehnung $\left(= \frac{1}{4} - \frac{1}{3}\right)$ und V = Volumen des Körpers.

Bezüglich aller der hier angeführten Formeln verweisen wir auf Grashof's Elasticitäts- und Festigkeitslehre, besonders auf Abschnitt V: Die Deformationsarbeit. Das Studium dieses Abschnittes überzeugt, dass die Lehre von der Formänderungsarbeit schon deshalb von hoher Bedeutung ist, weil sie die leichte Beurteilung vieler die Stofsfestigkeit betreffender Belastungsfälle ermöglicht.[1]) Dies aber muss man erwägen, wenn man über den Wert der durch Castigliano und Fränkel begründeten Methoden ein Urteil fällen will. Denn diese Methoden lehren, die durch die Belastung eines elastischen Körpers bedingten Verschiebungen der Punkte desselben sowie alle statisch nicht bestimmbaren Stützenwiderstände und die Resultirenden gewisser innerer Kräfte durch die Differentialquotienten der in der Elasticitätslehre bereits fix und fertig vorhandenen Ausdrücke für die Formänderungsarbeit darzustellen, d. h. also durch die Differentialquotienten von Gröfsen, welche ohnehin einem jeden, wegen ihrer Wichtigkeit für andere Aufgaben, geläufig sein sollen. Zudem sind diese Ausdrücke für A in allen für die Praxis wichtigen Fällen sehr einfach und lassen sich wegen ihres conformen Baues dem Gedächtnisse leicht einprägen.

§ 2. Der Satz von der Abgeleiteten der Formänderungsarbeit.

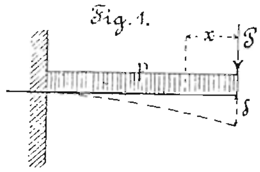
Dieser von Castigliano bewiesene Satz lautet:

Drückt man die Formänderungsarbeit eines elastischen, homogenen, isotropen Körpers als Function der äufseren Kräfte aus, so ist die Verschiebung δ des Angriffspunktes einer äufseren Kraft P im Sinne dieser Kraft gleich der nach P gebildeten partiellen Abgeleiteten der Formänderungsarbeit, d. h. es ist

$$\delta = \frac{dA}{dP} \text{ [1])} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

Der Satz ist giltig, wenn die Formänderungen so klein sind, dass sie gegen die endlichen Abmessungen des Körpers vernachlässigt werden können, und wenn derjenige Temperaturzustand besteht, für welchen der gewichtslos und unbelastet gedachte Körper spannungslos ist.

Die Anwendung dieses Satzes wird am besten durch zwei einfache Beispiele erläutert.



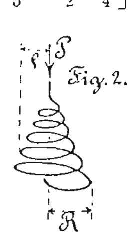
Beispiel 1. Gesucht die Durchbiegung eines Freiträgers, welcher am freien Ende durch P und aufserdem gleichförmig durch p für die Längeneinheit belastet wird. Für den Querschnitt bei x ist das Biegungsmoment

$$M = Px + \frac{px^2}{2}.$$

Es folgt nun:

$$\delta = \frac{dA}{dP}; \quad A = \int_0^l \frac{M^2 dx}{2EJ}; \quad \frac{dA}{dP} = \int_0^l \frac{M}{EJ} \cdot \frac{dM}{dP} dx$$

$$\frac{dM}{dP} = x; \quad \delta = \frac{1}{EJ} \int_0^l Mx \, dx = \frac{1}{EJ} \left[P \frac{l^3}{3} + \frac{p}{2} \cdot \frac{l^4}{4} \right].$$



Beispiel 2. Gesucht die Durchbiegung einer runddrähtigen Kegelfeder. Ist ϱ der Abstand der Last P vom Mittelpunkte eines beliebigen Querschnittes, so wird dieser beansprucht durch das Torsionsmoment $M_t = P\varrho$, und es folgt, wenn wie gewöhnlich $\varrho = \frac{R \varphi}{2 \pi n}$ ist, wobei n = Zahl der Windungen:

$$A = \int \frac{M_t^2 ds}{2 G J_p} = \frac{P^2}{2 G J_p} \int \varrho^3 d\varphi = \frac{P^2}{2 G J_p} \cdot \frac{2 \pi n}{R} \int_0^R \varrho^3 d\varrho$$

d. h. $A = \frac{P^2}{2 G J_p} \frac{\pi n R^3}{2}$ und $\delta = \frac{dA}{dP} = \frac{P}{G J_p} \frac{\pi n R^3}{2}$.

Ist d = Durchmesser des Drahtes, also $J_p = \frac{\pi d^4}{32}$, und setzt man die Länge des Drahtes $l = \pi n R$, so gelangt man zu der bekannten Formel

$$\delta = \frac{16 P R^2 l}{\pi d^4 G}.$$

---

[1]) Man vergleiche z. B. die Studie in No. 17, Jahrgang 1884 dieser Zeitschrift.

[1]) Ein diesem Lehrsatze reciprokes Gesetz: $P = \frac{dA}{d\delta}$ hat der bekannte englische Astronom Green nachgewiesen.

Ich füge zur Wertschätzung des Verfahrens von Castigliano hinzu, dass die Anwendung des durch die Gleichung 7 dargestellten Gesetzes im Vergleich zu den früheren in den gegenwärtigen Lehrbüchern der Elasticitäts- und Festigkeitslehre enthaltenen Methoden um so vorteilhafter wird, je schwieriger die zu lösende Aufgabe ist. Es ist für mich auch ganz zweifellos, dass sehr viele Praktiker dieses Verfahren lieber anwenden werden, als bei Lösung jeder einzelnen die Berechnung eines homogenen isotropen Körpers betreffenden Aufgabe auf den Satz von der virtuellen Arbeit zurückzugehen.

Von Interesse dürfte noch die Notiz sein, dass der Satz von der Abgeleiteten der Formänderungsarbeit von Castigliano bereits 1873 gelegentlich der Abfassung einer Dissertation bewiesen worden ist, während die erste Abhandlung Mohr's über die Berechnung statisch unbestimmter Fachwerke mit Hilfe des Satzes von der virtuellen Arbeit 1874 (in der Zeitschr. des Arch.- u. Ing.-Vereines zu Hannover) erschien, dass also Castigliano die Arbeiten Mohr's nicht kannte. Dass man im Stande ist, die Sätze Castigliano's mit Hilfe des Satzes von der virtuellen Arbeit schneller zu beweisen, ändert nichts an der hohen Bedeutung derselben.

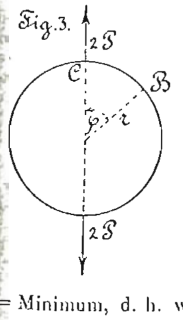
§ 3. Der Satz von der kleinsten Formänderungsarbeit.

Die Anwendung der Gleichung 7 auf die unverschieblichen Stützpunkte eines elastischen Körpers, deren Gegendrücke sich nicht mit Hilfe von Gleichgewichtsbedingungen angeben lassen, führt zu dem von Castigliano und Fränkel bewiesenen Satze: Es müssen diese unbekannten Auflagerkräfte die Formänderungsarbeit zu einem Minimum machen, und weiter lässt sich beweisen, dass auch die Resultanten statisch nicht bestimmbarer innerer Kräfte der Bedingung $A =$ Minimum zu genügen haben. Dieser Satz kann hiernach als ein specieller Fall des Satzes von der Abgeleiteten der Formänderungsarbeit aufgefasst werden.

Sind die Widerlager des zu untersuchenden elastischen Körpers nicht starr, so muss selbstverständlich das Integral A auch über die elastischen Teile der Stützen ausgedehnt werden. Da nun solche Rechnungen sich in der Regel praktisch nicht durchführen lassen, so begnügt man sich in derartigen Fällen mit der Feststellung derjenigen Inanspruchnahmen, welche durch ganz bestimmte, gemutmaßste oder an ähnlichen Bauwerken beobachtete Verschiebungen der Stützpunkte hervorgerufen werden. Man bedient sich dann entweder des Satzes von der Abgeleiteten, oder man ersetzt die Widerlager durch bezüglich der Verschiebungen jener Stützpunkte gleichwertige Constructionsteile und wendet hierauf den Satz von der kleinsten Arbeit an.

Zur Erläuterung zwei Beispiele.

Fig. 3.



Beispiel 1. Berechnung eines durch die beiden Kräfte $2P$ belasteten dünnen Ringes. Ist M_0 das Biegungsmoment für den Querschnitt C, so erhält man für den Querschnitt bei B:

$$M = Pr\sin\varphi + M_0$$

und die Achsialkraft

$$N = P\sin\varphi.$$

Die Beanspruchung lässt sich also berechnen, sobald M_0 gegeben ist. Man hat die Bedingung $A = \int\frac{M^2\,ds}{2EJ} + \int\frac{N^2\,ds}{2EJ}$ = Minimum, d. h. wegen $\frac{dM}{dM_0} = 1$ und $\frac{dN}{dM_0} = 0$,

$$\frac{dA}{dM_0} = \int\frac{M}{EJ}\frac{dM}{dM_0}\,ds = \frac{1}{EJ}\int M\,ds = 0.$$

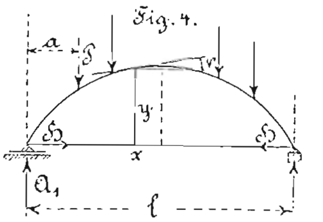
Es folgt:

$$Pr^2\int_0^{90°}\sin\varphi\,d\varphi + M_0\int_0^{\frac{1}{2}\pi}d\varphi = 0$$

und

$$M_0 = -\frac{2Pr^2}{\pi}.$$

Fig. 4.



Beispiel 2. Bogenträger mit 2 Gelenken und Zugstange. Auf der einen Seite liegt ein Gleitlager. Gesucht die Spannkraft H in der Zugstange. Querschnitt der Zugstange $= F_0$. Dem Bogenquerschnitt entsprechen die Werte J und F. Es seien J und F constant. Die Formänderungsarbeit ist

$$A = \int\frac{M^2\,ds}{2EJ} + \int\frac{N^2\,ds}{2EF} + \frac{H^2 l}{2EF_0}.$$

Das letzte Glied entspricht der Zugstange. Bedingung ist

$$A = \text{Minimum};\qquad \frac{dA}{dH} = 0$$

$$\int M\frac{dM}{dH}\,ds + \frac{J}{F}\int N\frac{dN}{dH}\,ds + \frac{J}{F_0}\cdot Hl = 0.$$

Nun folgt für den Querschnitt bei (xy):

Moment: $M = A_1 x - Hy - \sum_0^x P(x-a);\quad \frac{dM}{dH} = -y$

Verticalkraft: $V = A_1 - \sum_0^x P$

Normaldruck: $N = V\sin\varphi + H\cos\varphi;\quad \frac{dN}{dH} = \cos\varphi$

daher die Bedingung:

$$-\int_0^l My\,ds + \frac{J}{F}\int_0^l N\,dx + \frac{J}{F_0}Hl = 0.$$

Man setzt nun M und N ein, integrirt und berechnet H. Für das Moment M und den Druck N wird hierauf der Bogen auf zusammengesetzte Festigkeit berechnet.

Handelt es sich um einen Bogen zwischen festen Widerlagern, so setzt man $F_0 = \infty$.

Ist der Bogen zwischen zwei Widerlagern gespannt, die sich gegen einander um die beobachtete Strecke Δl verschieben, so setzt man die Verlängerung der Zugstange $= \Delta l$. Man schreibt $\Delta l = \frac{Hl}{EF_0}$, wählt hieraus $F_0 = \frac{Hl}{E\Delta l}$ und erhält zur Berechnung des Horizontalschubes H die Gleichung:

$$-\int_0^l My\,ds + \frac{J}{F}\int_0^l N\,dx + EJ\Delta l\cdot = 0.$$

Bei gegebenem H kann man Δl finden, wie denn überhaupt leicht einzusehen ist, dass es möglich ist, mit Hilfe des Satzes von der kleinsten Formänderungsarbeit jede geforderte Durchbiegung zu berechnen, ohne dass man nötig hätte, neue Begriffe einzuführen. Zweckmäfsiger ist es natürlich, solche Aufgaben mit Hilfe des Satzes von der Abgeleiteten direct zu lösen.

§ 4. Der Satz von der Abgeleiteten der ideellen Formänderungsarbeit.

Die Giltigkeit der angeführten Gesetze von Castigliano und Fränkel ist bis jetzt nur für den im § 2 definirten Temperaturzustand, welchen wir den Normalzustand nennen wollen, nachgewiesen. Im 3. Hefte der Zeitschrift des Arch.- und Ing.-Ver. zu Hannover, 1884, habe ich nun gezeigt:

Aendert sich die Temperatur des Normalzustandes im Punkte (x, y, z) des Körpers um t^0, so hat man in den Sätzen von Castigliano und Fränkel die Arbeit A zu ersetzen durch

$$A_t = A + \int(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)\,t\varepsilon\,dV\ .\ \ .\ \ .\ \ (8)$$

$\varepsilon =$ Dehnung für $t = 1^0$. Die übrigen Bezeichnungen sind im § 1 erklärt. Den Wert A_t habe ich die ideelle Formänderungsarbeit genannt.[1])

[1]) Hr. Krohn bezeichnet in seinem Aufsatze bald dies bald jenes als ideelle Formänderungsarbeit und nennt dann mit Recht den Begriff einen schwankenden.

Da nun der Ausdruck »ideelle Formänderungsarbeit« von mir

Der Satz

$$\delta = \frac{dA_i}{dP} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (9)$$

elcher für $t = 0$ in Gleichung 7 (§ 2) übergeht und die vor-n angeführten Sätze als specielle Fälle umfasst, kann zur Beantwortung der für den Bauingenieur wichtigen Frage nach der eanspruchung statisch unbestimmter Trägersysteme infolge on Temperaturänderungen benutzt werden. Die schwierigste ufgabe, welche hierbei zu behandeln ist, dürfte etwa fol-nde sein.

Es sind für einen beliebigen Temperaturzustand die lasticitätsgleichungen eines statisch unbestimmten Trägers ifzustellen, welcher teils vollwandig, teils als räumliches achwerk construirt ist, und dessen vollwandiger Teil in gend einem Querschnitte durch biegende Momente M_x und I_y und durch eine Normalkraft N beansprucht wird.

Dieser Fall liegt z. B. bei Berechnung einer Brücke mit ollwandigen Bogenträgern in geneigten Ebenen und mit fach-erkartiger Windverstrebung vor. Die Formänderungsarbeit ird (§ 1)

$$A = \int \frac{M_x^2\, ds}{2\,E J_x} + \int \frac{M_y^2\, ds}{2\,E J_y} + \int \frac{N^2\, ds}{2\,E F} + \Sigma\, \frac{S^2 s}{2\,E f} \text{ [1]} \quad (10)$$

·obei sich das letzte Glied auf den fachwerkartigen Teil ezieht, und die Formel 8 führt zu dem Resultate:

$$A_i = A + \int N \varepsilon t\, ds + \Sigma S \varepsilon t s \quad . \quad . \quad . \quad (11)$$

Dabei ist die übliche Annahme gemacht, dass die Temeratur t innerhalb ein und desselben Querschnittes F des ollwandigen Teiles und für alle Punkte eines und desselben 'achwerkstabes constant ist. Durch Anwendung der Gleichung 9 elangt man dann (vergl. a. a. O.) zu der folgenden (auch uf anderem Wege erhältlichen) einfachen Regel, welche für ie Lösung derartiger Aufgaben im Interesse einer laren, übersichtlichen Darstellung nur zu empfehen ist.

Man stelle, wenn es sich um einen beliebigen Temperaturustand handelt, zuerst die gewünschten Gleichungen für den Normalzustand her, verfahre also nach § 2 und § 3. Hierauf ergröfsere man in den fertigen Gleichungen die Normalkräfte

$$N \text{ um } \varepsilon t E F \text{ und}$$
$$S \text{ um } \varepsilon t E f,$$

vobei N und S als Zugkräfte positiv aufzufassen sind.

Beispiel. Aendert sich die Temperatur des in § 3, Beispiel 2, behandelten Bogens um den Betrag t, während lie Temperatur der Zugstange um t_0 zunimmt, so vergröfsere nan den Zug H in der Zugstange um $\varepsilon t_0 E F_0$ (F_0 = Querchnitt der Stange) und verkleinere den Druck N im Bogen um $\varepsilon t E F$ (F = Querschnitt des Bogens). Die früher ıbgeleitete Elasticitätsgleichung:

$$-\int_0^l M y\, ds + \frac{J}{F} \int_0^l N\, dx + \frac{J}{F_0} H l = 0$$

geht über in:

$$-\int_0^l M y\, ds + \frac{J}{F} \int (N - \varepsilon t E F)\, dx + \frac{J}{F_0}\, l\, (H + \varepsilon t_0 E F_0) = 0.$$

ıerrührt, so fühle ich mich zu der Erklärung veranlasst, dass ich ganz ausdrücklich mit diesem Namen einen bestimmten einleutigen mathematischen Ausdruck belegt habe, welcher für einen isotropen beliebigen Körper durch Gleichung 8 gegeben ist und für das Fachwerk die aus Gleichung 8 durch Specialisirung gewonnene Form $A_i = \Sigma \frac{S^2 s}{2 E f} + \Sigma S \varepsilon t s$ annimmt. Ueber die Zweckmäfsigkeit des Wortes ideelle Formänderungsarbeit lässt sich streiten, ebenso wie über die der Bezeichnungen: ideelle Hauptspannung (von Winkler) und ideelles biegendes oder ideelles verdrehendes Moment (von Reuleaux).

[1]) Will man die Arbeiten scheerender Kräfte T berücksichtigen, so treten noch Ausdrücke von der Form: Const. $\int \frac{T^2\, ds}{2\, G F}$ hinzu. Die Genauigkeit, welche durch die Berücksichtigung der Schubkräfte erzielt wird, ist insofern zweifelhaft, als die Theorie der Schubspannungen zur Zeit noch recht unsicher ist. Vergl. Castigliano a. a. O.

Sollen die durch eine Temperaturänderung erzeugten Beanspruchungen für sich allein berechnet werden, so ist $M = -Hy$ und $N = H \cos\varphi$ einzusetzen. Für ein constantes $t = t_0$ folgt $H = 0$.

Bezüglich eines weiteren Beispieles verweise ich auf die neueste Arbeit Winkler's über die Berechnung von Windverstrebungen im 4. Hefte des »Civilingenieurs 1884«; es werden dort mit Hilfe der Sätze von der Formänderungsarbeit die Elasticitätsgleichungen zunächst für den Normalzustand abgeleitet, und nachträglich erfolgt die Umformung derselben für einen beliebigen anderen Zustand. Dieser Rechnungsgang führt stets in der übersichtlichsten Weise zum Ziele [1]).

§ 5. Eine weitere allgemeine Beziehung zwischen der Verschiebung irgend eines Punktes eines elastischen Körpers und den in diesem Körper herrschenden Spannungen.

Aus dem von mir in der angegebenen Quelle für das durch Gleichung 9 dargestellte Gesetz beigebrachten Beweise lässt sich für den in § 4 vorausgesetzten Temperaturzustand folgern:

Wirken auf einen in beliebig vielen Punkten gestützten Körper äufsere Kräfte $P_1, P_2 \ldots P_m \ldots$, und werden die Stützenwiderstände mit Hilfe der Gleichgewichtsbedingungen soweit wie möglich durch die Kräfte P und die übrigbleibenden, statisch nicht bestimmbaren Widerstände als unabhängige Veränderliche ausgedrückt, so erscheinen die Spannungen $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_x, \tau_y, \tau_z$, als lineare Functionen der äufseren Kräfte, vorausgesetzt, dass die Formänderungen genügend klein sind, um gegen die endlichen Abmessungen des Körpers vernachlässigt zu werden. Die Spannungen werden:

$$\sigma_x = \sigma_x' + \sigma_x'' P_m \qquad \tau_x = \tau_x' + \tau_x'' P_m$$
$$\sigma_y = \sigma_y' + \sigma_y'' P_m \qquad \tau_y = \tau_y' + \tau_y'' P_m$$
$$\ldots \ldots \qquad \ldots \ldots$$

unter $\sigma_x', \sigma_y' \ldots \tau_x', \tau_y' \ldots$ diejenigen Werte verstanden, welche die Spannungen im Falle $P_m = 0$ annehmen, während $\sigma_x'', \sigma_y'' \ldots \tau_x'', \tau_y'' \ldots$ diejenigen Spannungen sind, welche in dem Körper entstehen, sobald auf denselben nur die Kraft $P_m = 1$ und die durch diese Kraft hervorgerufenen statisch bestimmten Stützenwiderstände wirken. Es folgt dann die Verschiebung δ_m des Angriffspunktes von P_m im Sinne von P_m:

$$\delta_m = \frac{1}{E} \int \Big\{ \sigma_x \sigma_x'' + \sigma_y \sigma_y'' + \sigma_z \sigma_z'' - \frac{1}{m} \big[\sigma_x'' (\sigma_y + \sigma_z) + \sigma_y'' (\sigma_z + \sigma_x)$$
$$+ \sigma_z'' (\sigma_x + \sigma_y) \big] \Big\}\, dV + \frac{1}{G} \int (\tau_x \tau_x'' + \tau_y \tau_y'' + \tau_z \tau_z'')\, dV$$
$$+ \int \varepsilon t\, dV (\sigma_x'' + \sigma_y'' + \sigma_z'') \text{ [2]} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (12)$$

---

[1]) Weitere Anwendungen finden sich in den Abhandlungen: Müller-Breslau, Beiträge zur Theorie der Versteifung labiler und flexibler Bogenträger, Zeitschrift für Bauwesen 1883. — Müller-Breslau, Zur Theorie der durch einen Balken versteiften Kette, Zeitschrift des Hannoverschen Architekten- und Ingenieurvereines 1883. — Man sehe auch die Aufsätze von Melan in der Wochenschrift des Oesterreichischen Architekten- und Ingenieurvereines 1883.

[2]) Der Beweis für diesen Satz ist (mit den Bezeichnungen Grashof's) folgender: Die von den Spannungen $\sigma_x'', \sigma_y'', \sigma_z'', \tau_x'', \tau_y'', \tau_z''$ abhängigen inneren Kräfte sind mit der im Punkte m angreifenden Kraft $P_m = 1$ und den durch diese Kraft hervorgerufenen statisch bestimmten Stützenwiderständen im Gleichgewicht. Die Stützenwiderstände leisten, durch feste Punkte gehend, keine Arbeit. Multiplicirt man also die dem Spannungszustande $\sigma_x'', \sigma_y'' \ldots \tau_x'', \tau_y'' \ldots$ entsprechenden inneren Kräfte mit den durch irgend einen Belastungszustand bedingten Wegen ihrer Angriffspunkte, so muss die erhaltene Arbeit $= 1 . \delta_m$ sein, wobei δ_m die bei jenem Belastungszustande erfolgende Verschiebung des Punktes m im Sinne von P_m bedeutet. Sind also $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z, \gamma_x, \gamma_y, \gamma_z$ die dem Spannungszustande $\sigma_x, \sigma_y \ldots \tau_x, \tau_y \ldots$ und dem Temperaturzustande t entsprechenden Dehnungen und Verschiebungen des Körperelementes $dx\, dy\, dz$, so folgt:

$$1 . \delta_m = \int (\varepsilon_x \sigma_x'' + \varepsilon_y \sigma_y'' + \varepsilon_z \sigma_z'' + \gamma_x \tau_x'' + \gamma_y \tau_y'' + \gamma_z \tau_z'')\, dV.$$

Hiernach kann man δ_m aus den gegebenen Dehnungen und Verschiebungen berechnen. Setzt man die bekannten Werte ein:

Aus diesem Gesetze ergiebt sich für einen Stab, welcher gleichzeitig durch Biegungsmomente M_x und M_y, durch Torsionsmomente M_t und durch achsiale Kräfte N (vergl. § 2) beansprucht wird, die Beziehung

$$\delta_m = \frac{1}{E}\left[\int \frac{M_x M_x'' ds}{J_x} + \int \frac{M_y M_y'' ds}{J_y} + \int \frac{N N'' ds}{F}\right] + \frac{1}{G}\int \frac{M_t M_t'' ds}{J_p}$$
$$+ \int \varepsilon t N'' ds \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (13),$$

welche die am häufigsten zu behandelnden Fälle umfasst und voraussetzt, dass innerhalb eines und desselben Querschnittes F die Temperaturänderung t constant erfolgt. Dabei bedeuten M_x'', M_y'', M_t'', N'' die Momente bezw. die Achsialkraft, welche hervorgerufen werden, sobald nur die Kraft $P_m = 1$ und die durch dieselben bedingten statisch bestimmten Stützenwiderstände auf den Körper wirken [1]).

Für das Fachwerk ergiebt sich:

$$\delta_m = \frac{1}{E}\,\Sigma \frac{S S'' s}{f} + \Sigma \varepsilon t S'' s \quad . \; . \; . \; . \quad (14)$$

Beispiel 1. Gesucht die Durchbiegung des durch P und pl belasteten Freiträgers, Fig. 1. Man hat es mit einfacher Biegungsfestigkeit zu thun, erhält also

$$\delta = \int \frac{M M'' dx}{EJ}.$$

Das wirkliche Moment ist $M = Px + p\,\frac{x^2}{2}$ und das durch $P = 1$ erzeugte Moment $M'' = 1.x$, weshalb

$$\delta = \frac{1}{EJ}\left\{ P\int_0^l x^2 dx + \frac{p}{2}\int_0^l x^3 dx \right\} = \frac{1}{EJ}\left\{ \frac{Pl^3}{3} + \frac{pl^4}{8} \right\}.$$

Beispiel 2. Für die Torsionskegelfeder (Fig. 2) erhält man, sobald nur die Torsionsbeanspruchung berücksichtigt wird:

$$\delta = \int \frac{M_t M_t'' ds}{G J_p},$$

worin zu setzen: $M_t = P\varrho$ und $M_t'' = 1.\varrho$, weshalb mit $ds = \varrho\, d\varphi$ wie früher:

$$\delta = \frac{P}{G J_p}\int \varrho^3 d\varphi = \frac{16 P R^2 l}{\pi d^4 G}.$$

Nachträgliche Bemerkung.

Zu dem in No. 27 d. Z. enthaltenen Aufsatze des Hrn. Prof. Dr. Fränkel erlaube ich mir, mit Bezugnahme auf die an Gleichung 7 jenes Aufsatzes geknüpften Bemerkungen, auszuführen, dass — nach der Beweisführung des Hrn. Prof. Dr. Fränkel — in dieser Gleichung unter σ_x, σ_y, σ_z, τ_x, τ_y, τ_z nur diejenigen Spannungen verstanden werden dürfen, welche in einem innerlich wie äufserlich statisch unbestimmten elastischen Körper lediglich infolge einer Temperaturänderung entstehen, während der von mir bewiesene Satz $\delta = \frac{dA_i}{dP}$ viel allgemeinere Giltigkeit besitzt und die Verschiebungen der Körperpunkte bei beliebigem Belastungs- und Temperaturzustande bestimmen lehrt, sobald nur ein spannungsloser Anfangszustand angenommen wird. Dabei betone ich, dass der von mir für den Satz $\delta = \frac{dA_i}{dP}$ gegebene Beweis ebenso einfach ist, wie die bisher für den Satz $A =$ minim. (für $t = 0$) veröffentlichten Beweise, und dass man schneller von dem ersten Satz auf den letzteren schliefsen kann als umgekehrt. Ich halte deshalb die Einführung des Begriffes A_i nicht für überflüssig, sondern für sehr zweckmäfsig, weil es jedenfalls wichtig ist, diejenige Function der Spannungen und Temperaturänderungen kennen zu lernen, durch deren Differentialquotienten die Verschiebungen der Punkte eines elastischen Körpers allgemein dargestellt werden können, und weil sich mit Hilfe des Satzes $\delta = \frac{dA_i}{dP}$ viele Aufgaben unmittelbar lösen lassen, deren Lösung mit Hilfe des Satzes $A =$ minimum noch die Aufstellung einer Reihe von Nebenbedingungen nötig macht.

Zu obigem Aufsatze bezw. der nachträglichen Bemerkung sind von den Herren Verfassern der früher veröffentlichten Aufsätze folgende Zuschriften eingegangen:

»In dem erwähnten Aufsatze habe ich zu beweisen gesucht, dass das Princip der kleinsten Deformationsarbeit allgemeine Giltigkeit hat, was bekanntlich bis jetzt bezweifelt worden ist. Es wurde behauptet, dass diejenige Function der inneren Kräfte, welche zu einem Minimum wird, in verschiedenen Fällen verschieden sei, und man daher nicht von einem Principe der kleinsten wirklichen Deformationsarbeit, sondern höchstens von einem Princip einer ideellen Deformationsarbeit (als eine Art Surrogat für die erstere) sprechen kann.

Ich habe gezeigt, dass für die Anwendung des Princips der kleinsten Deformationsarbeit die Einführung des Begriffes ideelle Deformationsarbeit überflüssig sei, wenn man die Nebenbedingung berücksichtigt, dass die Arbeit der inneren Kräfte gleich der negativen Arbeit der äufseren Kräfte beziehentlich der Wärme ist.

Selbstverständlich liegt es mir fern, allgemein zu behaupten, dass der von Hrn. Müller-Breslau bewiesene wichtige Satz: $\frac{dA_i}{dP} = \delta$, überflüssig sei.«

Dr. W. Fränkel.

Aus vorstehendem Aufsatze ist ersichtlich, dass Hr. Müller-Breslau sich nunmehr ebenfalls zu der Ansicht bekehrt hat, welche ich am Schlusse meines Fachberichtes auf S. 323 dieses Jahrganges unserer Zeitschrift ausgesprochen habe, dass nämlich von einem allgemein giltigen Principe der kleinsten Deformationsarbeit keine Rede sein kann. Zu Anfang des § 3 giebt Hr. Müller unumwunden zu, dass die Deformationsarbeit nur in einzelnen besonderen Fällen zu einem Minimum wird; die meisten der Herren Fachgenossen werden nun wohl mit mir der Ansicht sein, dass es nicht empfehlenswert ist, ein solches zuweilen giltiges und zuweilen nicht giltiges Princip zu benutzen. Anders liegt die Frage nach der Verwendbarkeit des Satzes von der Abgeleiteten der Deformationsarbeit, welcher von Hrn. Müller zu Anfang des § 2 und in meinem Fachbericht auf S. 322, Zeile 17 bis 12 v. u. ausgesprochen ist. Erörterungen darüber, ob genannter Satz mit Vorteil zu benutzen sei, habe ich in meinem Referate, welches vom Principe der kleinsten Deformationsarbeit handeln sollte, nicht angefügt. Der vorstehende Aufsatz des Hrn. Müller sowie die Arbeiten von Prof. Winkler über Windverstrebungen zeigen, dass der Satz von den Abgeleiteten der Deformationsarbeit in manchen Fällen mit Vorteil verwendet werden kann, und stehe ich keinen Augenblick an, den Wert dieses Satzes voll und ganz anzuerkennen.

Was schliefslich die Bemerkung des Hrn. Müller betrifft,

$$\varepsilon_x = \left(\sigma_x - \frac{\sigma_y + \sigma_z}{m}\right)\frac{1}{E} + \varepsilon t; \quad \gamma_x = \frac{\tau_x}{G}$$
$$\varepsilon_y = \left(\sigma_y - \frac{\sigma_z + \sigma_x}{m}\right)\frac{1}{E} + \varepsilon t; \quad \gamma_y = \frac{\tau_y}{G}$$
$$\varepsilon_z = \left(\sigma_z - \frac{\sigma_x + \sigma_y}{m}\right)\frac{1}{E} + \varepsilon t; \quad \gamma_z = \frac{\tau_z}{G},$$

so gelangt man zur Gleichung 12. Erwägt man dann, dass

$$\sigma_x'' = \frac{d\sigma_x}{dP_m},\ \sigma_y'' = \frac{d\sigma_y}{dP_m} \ldots\ \tau_x'' = \frac{d\tau_x}{dP_m},\ \tau_y'' = \frac{d\tau_y}{dP_m} \ldots\ldots$$

ist, so erhält man das durch die Gleichungen 8 und 9 ausgedrückte Gesetz und kann von hier aus auf die in den §§ 2 und 3 mitgeteilten Gesetze in der oben angedeuteten Weise schliefsen. Die Gleichung 12 gestattet eine directe Bestimmung der Verschiebung δ_m sobald sich angeben lässt, in welcher Weise die Spannungen von den äufseren Kräften abhängen. Trotzdem bin ich überzeugt, dass sehr viele Praktiker (und diese allein kommen bei der Discussion über die Zweckmäfsigkeit des einen oder des anderen Verfahrens in Betracht) von den im § 2 und im § 3 mitgeteilten Methoden mit besonderer Vorliebe Gebrauch machen werden, da es sich hier um die Differentiation einfacher, geläufiger Gröfsen handelt.

[1]) Eine ausführliche Anwendung dieser Gleichung findet sich in des Verfassers Abhandlung: »Theorie des durch einen Balken verstärkten steifen Bogens« im Civilingenieur 1883. Man vergleiche auch des Verfassers Aufsatz: »Anwendung des Principes der Arbeit in der Festigkeitslehre« im Wochenblatt für Architekten und Ingenieure 1883.

dass ich der Bezeichnung »ideelle Formänderungsarbeit« jene von mir gerügte Unbestimmtheit erst beigelegt hätte, während von Hrn. Müller mit diesem Namen ein eindeutiger mathematischer Ausdruck bezeichnet wäre, so erlaube ich mir, folgendes zu erwidern. In den Ausführungen auf S. 274 und 275 des Wochenbl. f. Arch. u. Ing., 1883, tritt Hr. Müller dafür ein, dass alle Aufgaben, welche mit Hilfe des Principes der virtuellen Geschwindigkeiten zu lösen sind, sich auch mit Hilfe des Principes der kleinsten Deformationsarbeit behandeln lassen. Um den bezügl. Nachweis führen zu können, ist Hr. Müller gezwungen, dem Begriffe Deformationsarbeit bald diese, bald jene Bedeutung beizulegen, wie ich solches in dem mehrerwähnten Fachberichte dargelegt habe. Hr. Müller wendet nun den Namen »ideelle Deformationsarbeit« nur in einem Falle an, nämlich dann, wenn Temperaturspannungen mit in Rechnung zu ziehen sind, während in jenen Fällen, in welchen, um richtige Resultate zu erlangen, die Deformationsarbeit fingirter Stäbe eingeführt werden muss, Hr. Müller den Ausdruck »ideelle Deformationsarbeit« nicht gebraucht. Da man aber doch die Deformationsarbeit fingirter Stäbe nicht wohl der wirklichen Deformationsarbeit eines Stabsystemes zurechnen kann, so habe ich, ebenso wie Prof. Mohr, den Ausdruck »ideell« auch auf diesen Fall mit bezogen.

R. Krohn.

Das Frühjahrsmeeting 1884 des Iron and Steel Institute.

Ueber die Benutzung der rohen Kohle in Hochöfen hielt Mr. J. L. Bell[1]) einen Vortrag, welcher nach den Berichten die Aufmerksamkeit der Zuhörer nur in geringem Grade in Anspruch nahm, und besonders für Deutschland nur wenig praktisch Interessantes bietet, weil bei uns die Stückkohle selten die Haupteigenschaften hat, welche für die Möglichkeit der Benutzung der Kohle im unverkokten Zustande mafsgebend sind. Diese Eigenschaften sind: fest und billig. Ich habe im Jahre 1861/62 Gelegenheit gehabt, Erfahrung in Verhüttung roher Kohlen in Georgsmarienhütte zu machen. Es wurden dort während eines Zeitraumes von 14 Monaten 6590^t rohe Stücksteinkohlen von Ibbenbüren und Borgloh bei Osnabrück in Mischung mit 21359^t Koks verhüttet. Während dieser Zeit wurden damit, bei dem sehr geringen Ausbringen von 23,19 pCt. aus der Beschickung, 16513^t Eisen bester Qualität erblasen. Der Brennmaterialverbrauch betrug demnach auf 1^t Roheisen 1,692^t, nämlich 1,293^t Koks und 0,399^t rohe gasreiche Kohle; letztere machte also in dieser Zeit durchschnittlich 23,5 pCt. des im ganzen verbrauchten Brennmaterials aus. Die Verwendung roher Kohle, welche sehr vorteilhaft war, wurde lediglich darum eingestellt, weil das Flötz sich in Ibbenbüren weniger fest zeigte und deshalb weniger Stückkohlen fielen.

In Amerika wurden 1882 nicht weniger als 2042138^t Roheisen oder 39 pCt. der ganzen Production mit roher Kohle erblasen. Diese amerikanische Anthracitkohle ist allerdings auch sehr für den Hochofenbetrieb geeignet.

Sie enthält:

festen Kohlenstoff	Gas	Asche
94,10	1,40	4,50
92,07	5,03	2,90
90,20	2,52	7,28
88,20	7,50	4,30

Es werden von dieser Kohle nur die gröfsten Stücke genommen, und so lange solche angeboten bleiben, wird diese Verwendung dauern. Die Verhüttung mit Koks nimmt jedoch schon jetzt auch in Amerika von Jahr zu Jahr zu.

Mr. Bell liefs sich auf eine weitläufige Berechnung der mit roher Kohle im Vergleiche zum Koks zu entwickelnden Wärmemengen ein, welche nichts neues bietet.

Der Benutzung der rohen Kohle, welche in Schottland, Wales und Staffordshire sehr häufig, wurde schliefslich das Wort geredet und hervorgehoben, dass im Koksofen immer, aufser den flüchtigen Kohlenwasserstoffen mindestens auch 10 pCt. des festen Kohlenstoffes der Kohle dadurch verloren gingen, dass es unvermeidlich(?) sei, die Luft aus den gewöhnlichen Koksöfen fern zu halten. Wenn Mr. Bell, der vor wenigen Jahren noch die alten englischen Bienenkorböfen für die besten Koksöfen, auch gegenüber den verschiedenen auf dem Continent längst im Gebrauch befindlichen besseren Koksöfen, erklärt, also die Mängel der Bienenkorböfen anerkennt, so will das viel sagen.

Aus der Besprechung des Vortrages des Mr. Bell scheint mir folgendes mitteilenswert:

In Derbyshire sind nach Mr. Stores Smith gute feste Stückkohlen für den Hochofenbetrieb zu 6 sh für die Tonne von 21 cwt zu kaufen, während der Koks dort 12 sh pro Tonne von 20 cwt kostet. Man hat dort seit Einführung wärmeren Windes, d. h. seit 1880, den Kohlenverbrauch von 2^t 5 cwt, auf 2^t im December 1883 heruntergebracht. Die Production von 5 Oefen hat vor 10 Jahren nur 36000^t im Jahr oder etwa 20^t für Tag und Ofen betragen, während diese jetzt 52000^t im Jahr oder etwa 288^t für Tag und Ofen beträgt.

Im Verfolge der Besprechung ist man nicht einig darüber, ob es besser sei, die Hochöfen mit roher Kohle mit oder ohne Gasfang zu betreiben.

Mr. Markham stellt gegenüber Mr. Cochrane die wunderbare Ansicht auf, dass bei geschlossenem Gasfange der Teer den Kalk- und Eisenstein mit einem dünnen, nicht verbrennlichen Häutchen überzöge, welches so die Productionsmenge vermindere.

Man hat im Anfang in England bei Anwendung der Gasfänge für Hochöfen, welche mit rohen Kohlen betrieben werden, dieselben Schwierigkeiten mit Teerverdickungen, also Verstopfungen der Gasleitungen durch asphaltartige Ausscheidungen aus dem Teer, gehabt, welche man jetzt auch wieder an manchen Stellen bei der Ableitung der Gase der Koksöfen zu den Kühl- und Waschräumen erlebt.

Es liegt bei den Hochöfen so wenig wie bei den Koksöfen an den Oefen, an den Kohlen, an der Art der Einrichtungen für den Abzug, sondern an dem Mangel an Ueberlegung, mit welchem man die Stoffe, als Teer und Ammoniakwasser, welche aus den Gasen gewonnen werden sollen, sich schon oben auf den Hochöfen oder Koksöfen abscheiden lässt, d. h. da, wo die Bedingungen zur schadlosen und nützlichen Abscheidung noch nicht vorhanden sind.

In den Abzugsröhren auf den Oefen bleiben die abgeschiedenen Teere immerfort der Einwirkung der darüber wegstreichenden heifsen Gase ausgesetzt, werden zersetzt, verlieren dadurch an Wert und verstopfen, was viel schlimmer ist, die Leitungen durch asphaltartige Ausscheidungen, d. h. machen den Betrieb unmöglich.

Seitdem man nach den Mitteilungen des Mr. Rob. Heath bei den Hochöfen die Leitungen übermäfsig weit macht und aufserdem z. B. ausmauert oder sonstwie so warm hält, dass der Niederschlag von Teer in den Röhren vermieden werden muss, sind natürlich auch alle Schwierigkeiten beseitigt.

Es ist merkwürdig, dass sich die Erbauer der Koksöfen mit Teer- und Ammoniakgewinnung diese alten Erfahrungen der Hochofenleute nicht zu Nutzen gemacht und sich so vor grofsem Schaden bewahrt haben.

Ich glaube, man hat beim Bau der ersten Koksöfen mit Teer- und Ammoniakgewinnung zuviel auf die kleinlichen Vorbilder der Gasanstalten gesehen, anstatt die verwandteren Hochofeneinrichtungen nachzuahmen.

Durch ihre Bestimmtheit bemerkenswerte Aussprüche that der bekannte frühere General-Manager der Eisen- und Stahlwerke von Bolckow, Vaughan & Co. in Eston bei Middlesborough, Mr. Edw. Williams. Nach ihm werden im ganzen Clevelanddistrict zu 1^t Roheisen eher 23 cwt Koks als 19 cwt gebraucht; den letzteren Verbrauch kennt Mr. Williams garnicht. Mr. Williams hat auch die von mir[1]) wiederholt hervorgehobene Erfahrung gemacht, dass die Vergröfserung nur des Inhaltes der Hochöfen, ohne entsprechende Erhöhung desselben, keinerlei Ersparnis mit sich gebracht habe, sondern das Gegenteil. Wenn man dagegen den Inhalt der Hoch-

[1]) Iron 1884, No. 590, S. 373.

[1]) Z. 1883, S. 799, und Z. 1884, S. 81.